



CONFORTO TÉRMICO EM PISOS CERÂMICOS

Carmeane Effting (1); Saulo Güths (2); Orestes E. Alarcon (3)

- (1) Departamento de Engenharia Mecânica – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: carmeane@terra.com.br
(2) Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: saulo@lmpt.ufsc.br
(3) Departamento de Engenharia Mecânica – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – e-mail: orestes@materiais.ufsc.br

RESUMO

Proposta: Em locais onde normalmente as pessoas encontram-se descalças sob um piso aquecido ou resfriado, tem-se observado que a sensação térmica depende das condições ambientais locais e das propriedades do material incluindo sua microestrutura e rugosidade superficial. O desconforto pode ser por calor em pisos de ambientes externos expostos à radiação solar (áreas de piscinas, terraços) ou desconforto por frio (quartos, banheiros). Materiais com baixa condutividade e baixa densidade podem ser obtidos pela inclusão de poros decorrentes das condições de processamento empregadas. Em relação ao comportamento mecânico, a presença de poros implica em diminuição da resistência. No entanto, a presença de uma porosidade controlada é essencial para materiais com funções térmicas, garantindo a transferência de calor adequada. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é utilizar duas técnicas para a obtenção de cerâmicas porosas que proporcionem conforto térmico ao contato, mantendo as propriedades e características requeridas para os produtos de revestimentos cerâmicos. A primeira, variando-se a pressão de compactação das placas cerâmicas constituídas de massa atomizada tipo semi-grês e a segunda incorporando fibras de sílica amorfa à massa atomizada. **Método de pesquisa/ Abordagens:** Avaliação das propriedades térmicas: efusividade e resistência de contato e mecânicas como: módulo de ruptura em flexão e resistência ao desgaste superficial. Análise por microscopia eletrônica de varredura das amostras obtidas. **Resultados:** Foi comprovado que as duas técnicas possibilitam a obtenção de cerâmicas porosas. Quanto à influência da porosidade nas propriedades térmicas das placas, foi constatado que na medida que a porosidade aumenta, a condutividade e a efusividade térmica diminuem melhorando o grau de conforto por contato. **Contribuições/Originalidade:** Elaboração do dispositivo experimental para o ensaio de contato entre um pé descalço e um piso aquecido para o estudo da avaliação do conforto térmico visto que a temperatura teórica e experimental de interface diminuem com a redução da efusividade.

Palavras-chave: pisos cerâmicos; propriedades térmicas; conforto térmico; porosidade.

ABSTRACT

Propose: In places where people are bare feet, the thermal sensation of cold or hot depends on the environmental conditions and material properties including its microstructure and crustiness surface. The uncomfoting can be characterized by heated floor surfaces in external environments which are exposed to sun radiation (swimming polls areas, terraces) or by cold floor surfaces in internal environments (bed rooms, path rooms). Materials with low conductivities and densities can be obtained by porous inclusion are due particularly to the processing conditions usually employed. In respect to the mechanical behavior, the presence of pores generally involves low mechanical strength. However, a controlled porosity is essential for materials with thermal functions since it ensure a suitable heat exchange. In this context, this work has the objective to develop two methods to obtaining porous ceramics that promotes thermal comfort to contact, maintaining the properties and characteristics required for finished ceramic floor tile products. In this first method, porous ceramics where obtained by the aplication of different compaction pressures in atomized ceramic powder

(semigres) and the second method by pressing an industrial atomized ceramic powder incorporated with different weight fractions of amorphous silica fibers. **Methods:** Thermal properties as contact resistance and effusivity and mechanical properties as: bending strength and wear resistance were evaluated. The samples obtained were studied through the scanning electron microscopy (SEM). **Findings:** It is possible to obtain porous ceramic floor tiles through the two methods used. With regard to the influence of porosity on the thermal properties of the ceramic tiles, the results show that by increasing the porosity, the thermal conductivity and effusivity decreases improving the comfort level by contact. **Originality/value:** Elaboration of experimental apparatus for the contact test of a bare foot on a hot ceramic floor tile to evaluate the thermal comfort since the theoretical and experimental interface temperature decrease as the effusivity decrease too.

Keywords: floor tiles; thermal and mechanical properties; thermal comfort; porosity.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Descrição do problema e justificativa

Os revestimentos cerâmicos de pavimentos são largamente utilizados em edificações. Eles possuem funções técnicas e estéticas. Entretanto a função técnica dos revestimentos cerâmicos como a radiação solar se torna muito importante em edificações com ocupação humana onde o conforto térmico é requerido.

Pode-se considerar o corpo humano como uma “máquina térmica” que gera uma quantidade de calor que pode variar de 100 a 1000W, dependendo da atividade desempenhada. Como somos um ser homeotérmico, essa quantidade de calor precisa ser dissipada para poder manter a temperatura interna do corpo constante (considerada normal entre 35 a 37°C). Os mecanismos termoreguladores (vaso constricção, sudação) encarregam-se dessa tarefa.

São diversos os elementos que contribuem para a sensação de conforto, caracterizados pela intensidade das respostas fisiológicas e psicológicas do indivíduo ao meio ambiente que o cerca (XAVIER, 2000). As principais variáveis ambientais são: a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do vento e o campo de radiação (FANGER, 1970; ASHRAE, 1997). Porém, podemos estar sujeitos à algum tipo de desconforto localizado, como por exemplo, o contato dos pés quando o piso estiver aquecido ou resfriado. Em estudos realizados referente à resposta das pessoas com relação à temperatura do piso, tem-se observado que quando as pessoas encontram-se calçadas normalmente, o material de acabamento do piso não é importante, porém em locais onde normalmente as pessoas encontram-se descalças, esse item já torna-se significativo. O desconforto pode ser por calor em pisos de ambientes externos expostos à radiação solar (áreas de piscinas, terraços) ou desconforto por frio em ambientes internos (quartos, banheiros). A sensação térmica está relacionada com a temperatura da pele, nesses casos a temperatura da sola do pé em contato com o piso. A temperatura de contato pode ser correlacionada por uma propriedade chamada efusividade térmica. Quanto menor a efusividade do piso, mais a temperatura de contato se aproxima da temperatura do corpo, resultando em um maior conforto.

A efusividade térmica é diretamente correlacionada com a condutividade térmica e a densidade do material. Materiais com baixa condutividade e baixa densidade podem ser obtidos pela inclusão de poros. Pode-se considerar como regra geral que a condutividade térmica de materiais porosos diminui com o aumento da porosidade (RHEE, 1975). A presença de poros em cerâmicas é decorrente das condições de processamento usualmente empregadas e pode ter consequências positivas ou não em relação ao desempenho desses materiais. Em relação ao comportamento mecânico, a presença de poros implica em diminuição da resistência. Combinando adequadamente as matérias-primas e técnicas de processamento, é possível obter cerâmicas porosas com elevados valores de resistência mecânica, resistência ao ataque químico, elevada refratariedade, elevada uniformidade estrutural e propriedades térmicas favoráveis à sua aplicação. Existem vários métodos para a obtenção de cerâmicas porosas. Um dos primeiros métodos desenvolvidos, e que ainda hoje é largamente usado, consiste na

incorporação de produtos orgânicos dentro dos corpos cerâmicos, os quais são removidos durante a queima, deixando poros cujo tamanho está relacionado com o tamanho das partículas dos agentes orgânicos. Cada método tem as suas vantagens e usos potenciais. Contudo, o controle do processamento e, conseqüentemente as propriedades finais dos materiais, são um problema geral (LEMONS e FERREIRA, 2001). Neste trabalho foram utilizadas duas técnicas para a obtenção de cerâmicas porosas. Inicialmente, foram compactadas placas cerâmicas variando-se a porosidade das mesmas com a incorporação de frações em massa de 10, 20, 30, 40% de fibras de sílica amorfa ao corpo cerâmico constituído de massa atomizada tipo semi-grês. Outra alternativa foi a elaboração de placas cerâmicas porosas variando-se a pressão de compactação da massa atomizada em 10, 15, 20, 25 e 30 MPa, sem a incorporação de fibras de sílica, com a finalidade de se avaliar a influência da variação de pressão de compactação na porosidade de placas cerâmicas obtidas. As matérias-primas e as amostras das placas cerâmicas compactadas obtidas foram avaliadas por análise química, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise semi-quantitativa EDS bem como pela medição das propriedades térmicas (condutividade e efusividade térmica) e físicas (porosidade). Os resultados mostram que através do aumento da porosidade das placas cerâmicas obtidas a condutividade e a efusividade térmica diminuem, assim com os transdutores de fluxo de calor utilizados podem ser considerados uma ferramenta importante para a avaliação de sistemas térmicos transientes.

1.2 Teoria

1.2.1 Efusividade

Dois sólidos (A e B) semi-infinitos, inicialmente nas temperaturas uniformes T_A e T_B , colocados em contato tenderão a entrar em equilíbrio. Desprezando a resistência de contato, pode-se demonstrar que a temperatura de interface (T_{interf}) será constante ao longo do tempo e apresentará o seguinte valor expresso pela eq. 1:

$$T_{\text{interf}} = \frac{\varepsilon_A T_A + \varepsilon_B T_B}{\varepsilon_A + \varepsilon_B} \quad (\text{eq. 1})$$

onde $\varepsilon_{A,B}$ é a efusividade térmica dos corpos A e B definida pela eq. 2:

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (\text{eq. 2})$$

onde λ é a condutividade térmica (W/m.K), ρ é a densidade (kg/m³) e c é o calor específico (J/kg.K).

Ou seja, a efusividade é um fator de ponderação que determina se a temperatura de interface (T_{interf}) ficará mais próxima de T_A (se $\varepsilon_B > \varepsilon_A$) ou de T_B (se $\varepsilon_B < \varepsilon_A$). Os materiais cerâmicos (porosos ou não) apresentam valores de calor específicos bastante semelhantes (em torno de 1 kJ/ kg.K). Conseqüentemente, a efusividade depende da condutividade térmica e da densidade do material.

1.2.2 Correlações entre a porosidade e as propriedades térmicas das cerâmicas porosas

Um modelo teórico proposto por Aivazov e Domashnev (1968), que correlaciona bem a condutividade térmica de cerâmicas porosas com a porosidade pode ser obtido pela eq. 3:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1-P}{1+nP^2} \quad (\text{eq. 3})$$

onde λ é a condutividade térmica de uma cerâmica porosa, λ_0 que é do corpo cerâmico livre de poros, P a fração de volume de poros, e n uma constante. SUGAWARA e YOSHIZAWA (1962), obtiveram o valor da condutividade térmica de grês à 70°C. De acordo com esses dados, o valor de n corresponde

a 3 e $\lambda_0 = 1,65$ W/m.K. Considerando que não há variação do calor específico com a inclusão de poros e que a densidade do ar pode ser desprezada face à densidade da matriz cerâmica, a eq. 3 pode ser escrita em termos da efusividade (ε) através da eq. 4:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{1 - P}{\sqrt{1 - nP^2}} \quad (\text{eq. 4})$$

onde ε_0 é a efusividade da fase contínua.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o conforto térmico de revestimentos cerâmicos não-esmaltados preparados através de corpos cerâmicos industriais variando-se a pressão de compactação e de corpos cerâmicos incorporados com fibras de sílica amorfa natural.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 *Pó atomizado (semi-grês)*

Através da composição química do pó atomizado tipo semi-grês utilizado neste trabalho (Tabela 1), podemos observar que os óxidos constituintes são típicos de corpos cerâmicos empregados para a manufatura de pisos cerâmicos.

Tabela 1 – Composição química do pó atomizado utilizado neste trabalho.

ÓXIDOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO
Peso (%)	67,35	19,79	2,52	0,15	4,13	0,92	2,00	2,32

3.1.2 *Fibras de sílica amorfa*

As fibras de sílica amorfa (FSA) utilizadas neste trabalho são corpos minerais oriundos de depósitos geológicos existentes em abundância no Brasil, as quais são resultantes de precipitações biogenéticas realizadas por esponjas de água doce. No Brasil os índios já utilizavam misturas de argila e fibras de sílica amorfa na produção de tijolos (ESPER, 2000). As fibras não se encontram na natureza na forma de sílica pura, possuindo pequenas quantidades de alumina, ferro e metais alcalinos, alguma matéria orgânica e resíduos de areia bem como argilas. Conseqüentemente, para algumas aplicações de engenharia as fibras de sílica precisam ser beneficiadas para remover as impurezas. De fato, a fibra utilizada neste trabalho, de acordo com a análise por EDS é constituída apenas por sílica.

A morfologia das fibras de sílica amorfa naturais utilizadas neste trabalho é mostrada nas micrografias de MEV (Figura 1) em baixa e alta ampliação, respectivamente.

De acordo com as micrografias de MEV as fibras de sílica são caracterizadas por uma forma acicular com um diâmetro médio de aproximadamente 10 μm e comprimentos entre 200 a 600 μm . Além disso, as fibras de sílica são tubulares apresentando um furo central com diâmetros menores que 1 μm . As fibras de sílica, de acordo com Esper (2000) e Gregolin (2000), apresentam uma densidade de aproximadamente 1,7 g. cm⁻³ e cor variando de branco a bege claro.

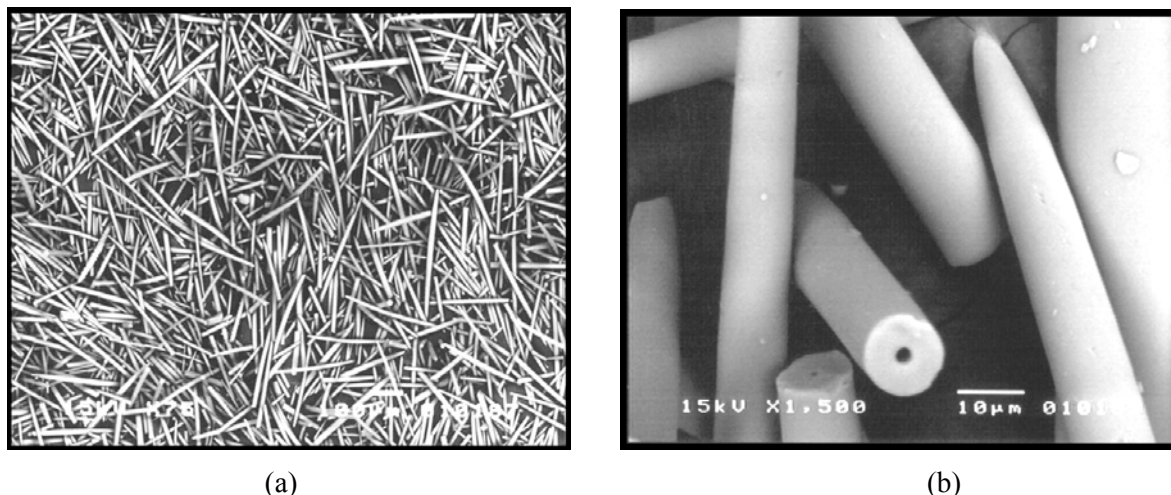


Figura 1 – Micrografias de MEV das fibras de sílica amorfa (a) aumento 75x e (b) aumento 1500x (dados de Barra, 2004).

3.2 Fabricação de placas cerâmicas porosas utilizando fibras de sílica amorfa

Na técnica de compactação da massa tipo semi-grês com a incorporação de sílica, a sílica amorfa será o material formador de poros. O corpo cerâmico constituído de pó atomizado com a incorporação de fibras de sílica amorfa (FSA) foi preparado em uma planta industrial, onde foi previamente colocado em um moinho para a sua homogeneização. Logo após, a mistura foi desagregada e umidificada na faixa de 10 a 14% e em seguida compactada a 30 MPa. Para as medições, foram utilizadas amostras compactadas com dimensões nominais de 100 x 100 x 10 mm.

3.3 Fabricação de cerâmicas porosas com a variação da pressão de compactação

Nesta técnica de compactação, foram obtidas placas cerâmicas porosas utilizando-se apenas a massa atomizada com uma umidade de 5,9% (umidade contida na massa atomizada) variando-se a pressão de compactação (10, 15, 20, 25 e 30 MPa) sem a incorporação de fibras a fim de se avaliar a influência da pressão de compactação.

3.4 Queima das placas cerâmicas

Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h. Em seguida, foram queimadas em um forno a rolos cuja temperatura de pré-aquecimento foi de 900°C, a temperatura de queima utilizada foi de 1170°C e o patamar utilizado foi de 9 min sendo o ciclo térmico total de 55 minutos.

3.5 Propriedades térmicas

Para o ensaio da condutividade foram utilizadas amostras de 100x100mm, com espessura igual a 10mm. O condutímetro utilizado pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas foi construído seguindo os procedimentos descritos na Norma Técnica ISO 8301(1991). Os ensaios foram realizados a uma temperatura próxima da temperatura ambiente (25°C) sendo a incerteza de medição estimada em 3%. A efusividade foi calculada a partir das medições da condutividade térmica e da densidade, sendo o calor específico obtido de valores tabelados. No entanto, foi montado um aparato experimental (Figura 2) buscando avaliar a temperatura da sola de um pé descalço quando em contato com o piso aquecido.

A placa cerâmica é assentada sobre um contra-piso utilizando uma fina camada de pasta com alta condutividade térmica ($\lambda \approx 10 \text{ W/mK}$). A base do contra-piso, com 20mm de espessura, é mantida a uma temperatura constante igual à 23°C . A placa cerâmica é inicialmente submetida à uma radiação infravermelha de forma que sua temperatura superficial (T_{placa}) permaneça constante. A medição de temperatura é realizada por termopar tipo T, AWG 26 e o controle por um dispositivo PID.

O termopar $T_{\text{pé}}$ foi laminado, de forma que sua espessura atingiu apenas $80 \mu\text{m}$. O fluxo de calor foi medido por um transdutor do tipo “tangencial gradient” (Güths, 1995), com espessura igual a $300 \mu\text{m}$. O contato pé-transdutor foi assegurado com a pasta de alta condutividade térmica e para o contato transdutor-piso foi utilizado uma fina película de borracha de silicone, com espessura igual a $100 \mu\text{m}$. Procurou-se, com essa borracha, assegurar um contato térmico semelhante ao contato da sola do pé com um piso. O ensaio consiste em aquecer a superfície da placa cerâmica até uma determinada temperatura e subitamente posicionar o pé de uma pessoa sobre a mesma, registrando os valores das temperaturas e fluxo de calor em intervalo de 1 segundo até a obtenção do “steady state” (estado permanente).

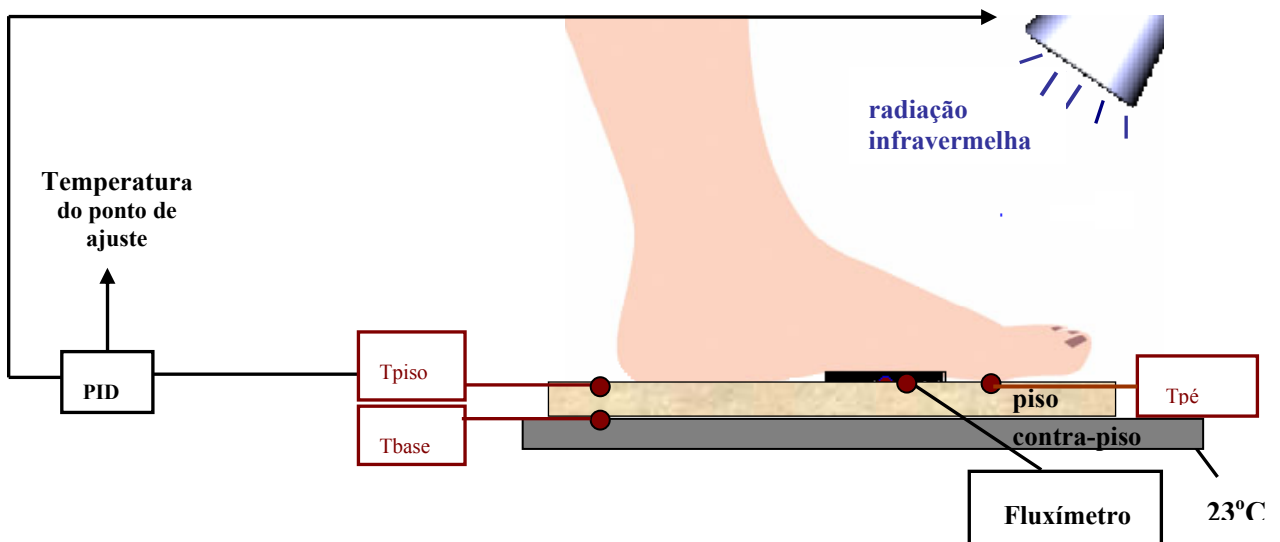


Figura 2 - Esquema ilustrativo do aparato experimental.

3.6 Determinação da porosidade

A porosidade das placas cerâmicas foram calculadas a partir da densidade aparente ρ_a dos corpos-de-prova (dimensões e peso das amostras) e da densidade real ρ_r (picnometria de hélio), sendo obtida pela eq. 5:

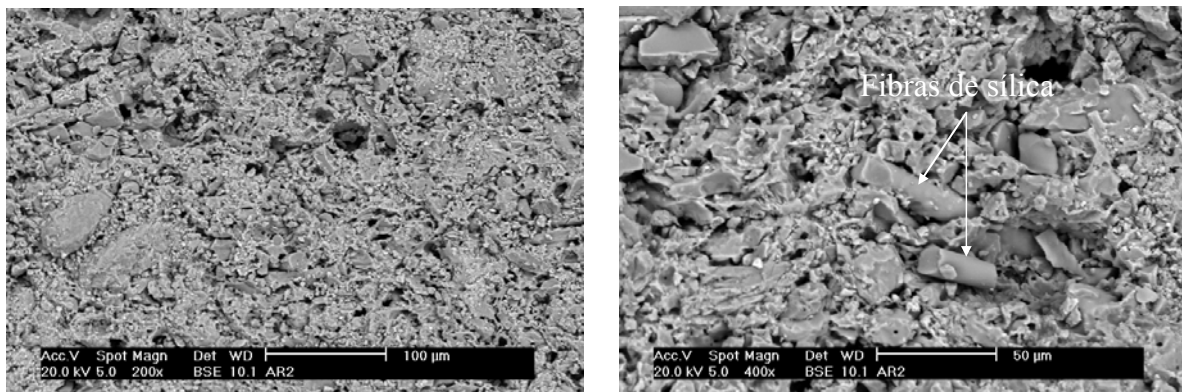
$$P = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (\text{eq. 5})$$

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Caracterização microestrutural das cerâmicas porosas

As micrografias de MEV para uma amostra cerâmica compactada com a incorporação de 10% de sílica são apresentadas em baixa e alto aumento, respectivamente (Figura 3). Para um aumento de 400x, pode-se observar que além da porosidade normal usualmente observada em típicos revestimentos cerâmicos, há também porosidade proveniente das fibras de sílica. Pode-se verificar a presença de tubos fraturados devido ao processo de compactação das placas cerâmicas, que são as fibras de sílica responsáveis pela geração de uma maior porosidade na amostra. Além disso, espera-se

que as fibras de sílica, considerando suas propriedades intrínsecas, atuam como uma segunda fase de reforço melhorando a resistência mecânica e a estabilidade dimensional.



(a) (b)
Figura 3 – Micrografias de MEV da amostra cerâmica com a incorporação de 10% de fibras de sílica amorfa (a) aumento 200x e (b) aumento 400x.

4.2 Propriedades térmicas e mecânicas

Pode-se observar através do gráfico a seguir (Gráfico 1) que a condutividade e a efusividade térmica decrescem com o aumento da porosidade variando-se a pressão de compactação de 30 para 10 MPa. Comparando os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto por Aivazov e Domashnev (1968) para a condutividade térmica, de acordo com a eq. 3, pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade estudado para $n = 8$ e $\lambda_0 = 1,6 \text{ W/m.K}$.

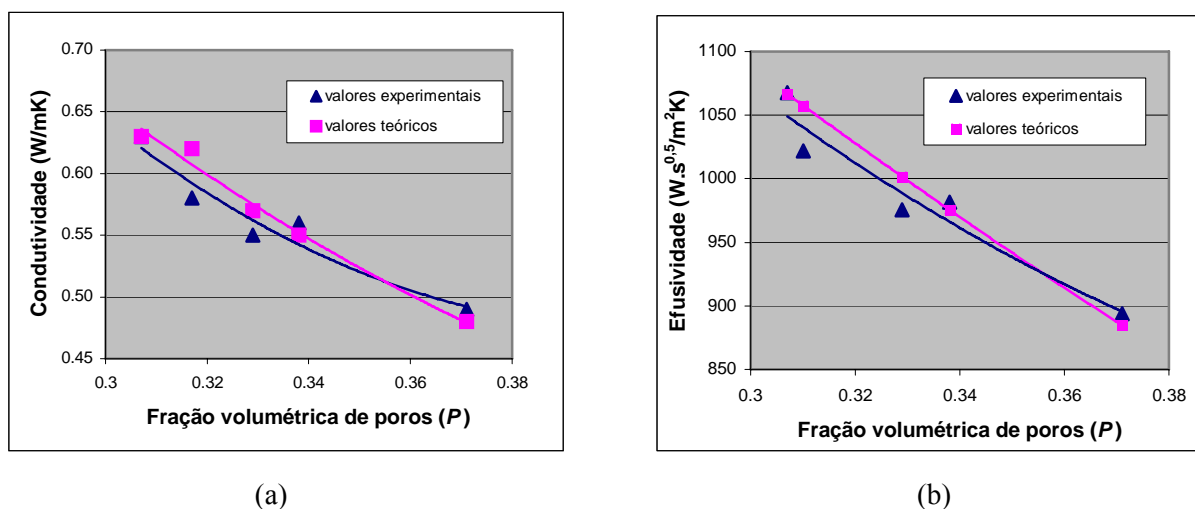


Gráfico 1 - Condutividade teórica e experimental em função da porosidade (a) e Efusividade teórica e experimental em função da porosidade(b) para as amostras sem sílica (variando-se a pressão de compactação).

Já o próximo gráfico (Gráfico 2) mostra o efeito da porosidade na condutividade e na efusividade térmica, respectivamente, para corpos cerâmicos com a incorporação de fibras de sílica e compactados a 30 MPa. Pode-se observar através do gráfico que a condutividade e a efusividade térmica decrescem com o aumento da porosidade variando-se a percentagem de fibras de sílica de 0 a 40% em massa. Como a percentagem de fibras de sílica incorporada não é constante λ_0 foi ponderado porém mantendo-se $n = 14$. Neste caso, os resultados experimentais, não correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto pois ele não considera o material cerâmico como um compósito.

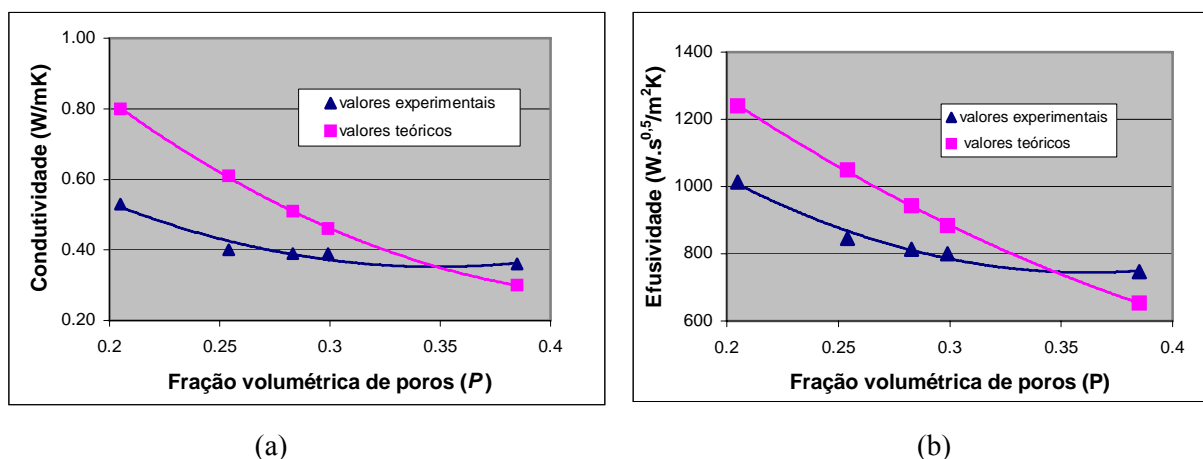


Gráfico 2 - Condutividade teórica e experimental em função da porosidade (a) e Efusividade teórica e experimental em função da porosidade (b) para amostras compactadas a 30 MPa (com a incorporação de 0 a 40% em massa de sílica amorfa).

4.3 Ensaio de contato: pé descalço-placa cerâmica

De acordo com o aparato experimental mostrado (Figura 2), que permite avaliar o nível de desconforto de uma pessoa andando descalça sob um piso aquecido, duas placas cerâmicas ambas compactadas a 30 MPa mas sem a incorporação de fibras de sílica (amostra M) e com 40% de fibras de sílica (amostra MS40) foram aquecidas a uma temperatura de 60°C (temperatura superficial) durante um período de 15 minutos. Em seguida fez-se o contato súbito de um pé descalço na superfície da amostra aquecida, registrando-se a temperatura da sola do pé ($T_{pé}$) e o fluxo de calor (Gráfico 3).

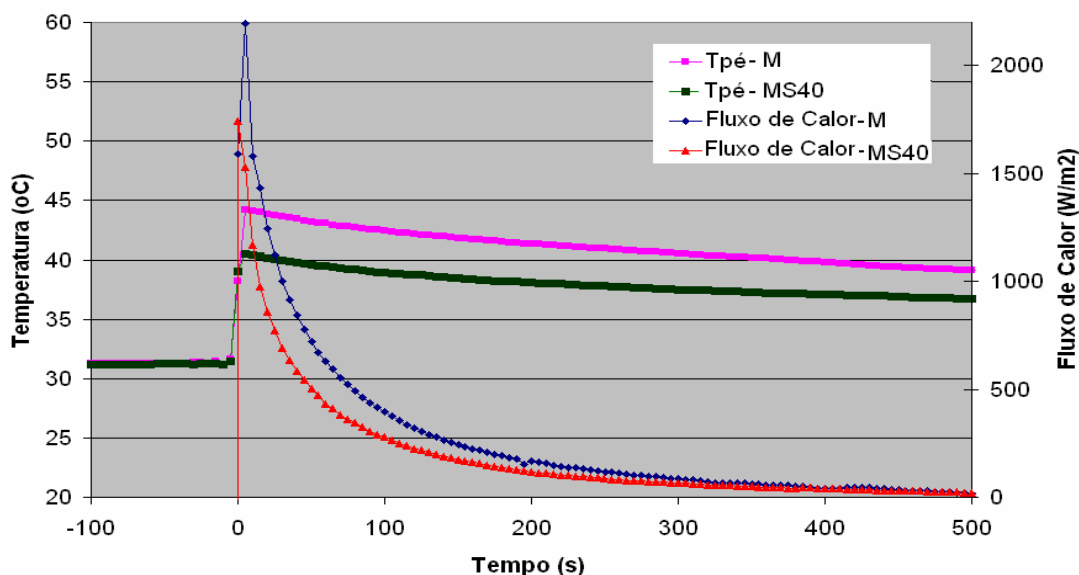


Gráfico 3 – Representação gráfica do ensaio de contato: pé descalço-placa cerâmica.

Nota-se o súbito aumento da temperatura da sola do pé no momento do contato (tempo = 0), tendendo a uma redução progressiva devido ao sombreamento da radiação incidente. Como esperado, a amostra MS40 (40% de sílica, porosidade igual a 39%) atingiu uma temperatura de 4°C a menos que a temperatura da amostra M (sem sílica, porosidade igual a 21%). Esse fato já representa uma pequena

melhora no grau de conforto por contato. Além disso, no mesmo gráfico (Gráfico 3), podemos observar os fluxos de calor medidos no contato pé-placa cerâmica. No instante do contato o fluxo atinge um valor máximo, diminuindo assintoticamente durante o ensaio. Conforme esperado, a troca de calor entre o pé e a placa cerâmica é menor para a amostra com maior porosidade. Considerando o pé e a placa cerâmica como sólidos semi-infinitos, pode-se determinar a temperatura de interface através da eq. 1. O pé pode ser considerado com condutividade térmica igual a 0,37 W/mK, densidade igual a 1000 Kg/m³ e calor específico igual a 1000 J/kgK, resultando em uma efusividade igual a 600 Ws^{0,5}/m²K (INCROPERA, 1992).

A Tabela abaixo (Tabela 2), mostra uma comparação entre o valor da temperatura da sola do pé obtido nos ensaios e a temperatura teórica da interface.

Tabela 2 - Resultados obtidos entre o valor da temperatura da sola do pé e a temperatura teórica da interface.

AMOSTRAS	T _{placa} (°C)	T _{pé initial} (°C)	ε _{placa} (Ws ^{0,5} /m ² K)	T _{pé máx} (°C)	T _{intef} (°C)
M (sem sílica)	60	31,5	1015	44,2	49,3
MS40 (40% de sílica)	60	31,5	750	40,5	47,2

Pode-se verificar uma significativa diferença entre os valores teóricos e experimentais. Entre as possíveis causas pode-se mencionar a incerteza do valor das propriedades térmicas do pé, a resistência de contato pé-placa cerâmica e o modelo de sólido semi-infinito.

Os resultados permitem concluir que:

As placas cerâmicas constituídas de semi-grês variando-se a pressão de compactação e as placas cerâmicas constituídas de semi-grês com a incorporação de sílica amorfa são métodos que possibilitam a obtenção de cerâmicas porosas.

Quanto à influência da porosidade nas propriedades térmicas das placas cerâmicas porosas, foi constatado que na medida que a porosidade aumenta, a condutividade e a efusividade térmica diminuem.

O modelo teórico proposto por Aivazov e Domashnev (1968) correlaciona bem com a condutividade experimental obtida para as placas cerâmicas com várias pressões de compactação para o valor de $n=8$ e $\lambda_0 = 1,6$ W/m.K. Já para as placas cerâmicas com várias percentagens de sílica amorfa os valores das condutividades obtidas experimentalmente não correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto, pois este modelo não considera a cerâmica como um compósito.

O dispositivo experimental elaborado para o ensaio de contato entre um pé descalço e um piso aquecido, mostrou-se coerente e importante para o estudo da avaliação do conforto térmico visto que a temperatura teórica e experimental de interface diminuem com a redução da efusividade térmica. As pequenas diferenças entre os valores teóricos e experimentais podem ser creditados à incerteza nas propriedades térmicas do pé, a resistência de contato pé-piso e o modelo de sólido semi-infinito.

Os transdutores de fluxo de calor podem ser considerados uma ferramenta importante na avaliação de sistemas térmicos transientes.

5 REFERÊNCIAS

AIVAZOV, M.I.; DOMASHNEV, I.A. **Poroshkovaya Met.**, 8 (1968) 51.

ASHRAE Fundamentals-Cap 8: **Thermal Comfort**. Atlanta, 1997.

BARRA, G. M. O. **Compósito de Poliuretano/Fibra Natural: Preparação e Estudo da Viabilidade de Utilização de Fibra Natural Inorgânica**. Monografia, UFSC (2004).

ESPER, J.A.M.M. **Caracterização Mineralógica de Espongilito da Região de João Pinheiro, MG**,

Belo Horizonte, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas-Universidade Federal de Minas Gerais.

FANGER, P.O. **Thermal Confort.** New York, McGraw-Hill Book Company, 1970.

GREGOLIN, E.N. **Estudo de um Compósito de Matriz de Alumínio Reforçado com Fibras de Al- Al_2O_3 obtido pela reação da Matriz com Fibras de SiO_2 .** Campinas, 2000. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

GÜTHS, S. ; PHILIPPI, P.C. ; GAVIOT, E. e THERY, P. **Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial.** Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica (COBEM), CDROM, Belo Horizonte, 1995.

INCROPERA, F. e DE WITT, D. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa.** Editora Guanabara Koogan, 3ª Edição, 1992.

ISO 8301- **Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus,** 1991.

LEMOES, A.F.; FERREIRA, J.M.F. **Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica,** Florianópolis, S.C. (2001).

RHEE, S.K. **Porosity-Thermal Conductivity Correlations for Ceramic Materials.** Materials Science and Engineering, 20 (1975) 89-83.

SUGAWARA, A. ; YOSHIKAWA, J. **Appl. Phys.,** 33 (1962) 3135.

XAVIER, A.A.P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias-Teoria física aplicada a estudos de campo.** Florianópolis, 2000. 251p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Catarina.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro recebido da CAPES, ao Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Materiais Porosos-LMPT e Laboratório de Materiais-LABMAT, ao Centro de Tecnologia em Materiais- CTCmat, em Criciúma-SC e à empresa Gytoku-SP .