

## AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO CONTATO COM PISOS CERÂMICOS

### **Carneane Effting**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
carneane@terra.com.br

### **Saulo Güths**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
saulo@lmpt.ufsc.br

### **Orestes Estevam Alarcon**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
orestes@materiais.ufsc.br

**Resumo.** 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) ou por frio (quartos e banheiros). A propriedade térmica efusividade define a temperatura de interface quando dois corpos semi-infinitos são colocados em contato perfeito. A introdução de uma rugosidade no piso interfere na temperatura de contato e também pode ser uma estratégia na busca de pisos mais confortáveis. Materiais com baixa condutividade e densidade podem ser obtidos pela inclusão de poros decorrentes das condições de processamento empregadas. Entretanto, a presença de poros implica em diminuição da resistência. O objetivo do trabalho é avaliar o conforto térmico de revestimentos cerâmicos não-esmaltados preparados através da incorporação de matéria-prima refratária (resíduo do polimento do porcelanato) à massa atomizada industrialmente, através das propriedades térmicas e mecânicas. Os resultados teóricos e experimentais mostram que a medida que a porosidade e a rugosidade aumentam, há sensível melhora no conforto por contato.

*Palavras chave:* revestimentos cerâmicos, matérias-primas refratárias, propriedades térmicas, conforto térmico, porosidade.

### **1. Introdução**

A indústria cerâmica está constantemente visando a ampliação de mercado para o setor e, em razão disto, procura aprimorar a qualidade dos produtos e aumentar a variedade de funções desempenhadas pelos componentes. Além disso, com o correto gerenciamento e valoração dos resíduos gerados pela empresa (como por exemplo: o polimento do porcelanato), almeja-se diminuir estes resíduos e obter um maior valor agregado ao mesmo. A tecnologia de obtenção de pisos cerâmicos que proporcionem conforto térmico ao contato atende nichos de mercado pouco explorados, como ambientes quentes (áreas de piscinas, terraços e varandas) e ambientes frios (quartos e banheiros). Em áreas de piscinas, o material mais utilizado é a pedra brasileira São Tomé. Porém, tem-se observado que a mesma apresenta problemas de aplicação e deterioração com o passar dos anos (lascamentos e incrustações de sujeiras).

Os pisos cerâmicos de pavimentos são largamente utilizados em edificações, possuindo funções técnicas e estéticas. Entretanto a função técnica se torna muito importante em edificações com ocupação humana onde o conforto térmico é requerido. Dessa forma, podemos verificar que em muitas situações os pisos cerâmicos não oferecem conforto térmico adequado.

O corpo humano pode ser considerado como uma “máquina térmica” que gera uma quantidade de calor que pode variar de 100 a 1000W, dependendo da atividade desempenhada. Essa quantidade de energia precisa ser dissipada para manter a temperatura interna do corpo constante (considerada normal entre 35 a 37°C). Os mecanismos termoreguladores (vaso constricção, sudação) são responsáveis por essa tarefa. São diversos os elementos que contribuem para a sensação de conforto e eles são 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 e Ashrae, 1997).

Porém, podemos estar sujeitos a algum desconforto localizado, como por exemplo o contato dos pés descalços com um piso que está aquecido ou resfriado, onde 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 ou desconforto por frio em ambientes internos. A sensação térmica está relacionada com a temperatura da pele, nesses casos a temperatura da sola do pé em contato com o piso. São poucos os trabalhos que avaliam o desconforto por contato, sendo mais voltados para a condição de segurança (NR

15, 1978 e PD 6504, 1983). 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 uma maior conforto.

A efusividade térmica é diretamente correlacionada com a condutividade térmica e a densidade do material. A temperatura de interface também depende da resistência de contato, altamente dependente da rugosidade das superfícies.

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 conseqüências 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 (Lemos e Ferreira, 2001).

Neste trabalho, placas cerâmicas porosas foram obtidas através da incorporação de matéria-prima refratária à massa atomizada industrialmente. Inicialmente, foram compactadas placas cerâmicas variando-se a porosidade das mesmas com a incorporação de frações em massa de 10, 20, 30, 40, 50 e 70% de resíduo do polimento do porcelanato ao corpo cerâmico constituído de massa atomizada tipo semi-grês. Após a obtenção das placas cerâmicas porosas, foram avaliadas as propriedades térmicas: efusividade e condutividade, bem como a propriedade mecânica: módulo de ruptura em flexão. As placas foram expostas à radiação solar, obtendo-se a máxima temperatura superficial. Paralelamente as placas foram submetidas a um contato súbito com uma fonte fria, obtendo-se por extrapolação a temperatura de contato entre o piso e o pé descalço para pisos com diferentes rugosidades.

## 2. Fabricação das placas cerâmicas porosas

Na técnica de compactação da massa tipo semi-grês com a incorporação do resíduo, o resíduo do polimento do porcelanato será o material formador de poros. O corpo cerâmico constituído de pó atomizado com a incorporação deste resíduo foi preparado em uma planta industrial. As misturas de massa atomizada com resíduo, utilizando-se frações em massa de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% (MAR10, MAR 20, MAR 30, MAR 40, MAR 50 e MAR 75), foram previamente colocadas em um moinho tipo Y para a sua homogeneização, secados em estufa à 110°C por 24 h e preparadas com uma umidade de 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12% para as porcentagens de 10, 20, 30, 40, 50, 75 e 100% de resíduo do porcelanato com a massa atomizada respectivamente. Em seguida, a mistura foi compactada a 30 MPa em placas com dimensões nominais de 58x126x10mm.

Após a compactação, as placas cerâmicas foram levadas à estufa a 110°C por 24h, e em seguida queimadas em um forno mufla à 1170°C (patamar de 3 min e com uma taxa de aquecimento e resfriamento de 10°C/min). Através da composição química do pó atomizado tipo semi-grês utilizado neste trabalho (Tab. 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 <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO
PESO (%)	67,35	19,79	2,52	0,15	4,13	0,92	2,00	2,32

Já a matéria-prima refratária utilizada neste trabalho, o resíduo do porcelanato, é proveniente do polimento feito no porcelanato por uma empresa brasileira. O resíduo fornecido pela empresa possui a cor branca e foi previamente preparado com uma granulometria adequada para a massa atomizada.

Foi realizado um estudo de caracterização da morfologia dos dois materiais utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, constatando-se uma heterogeneidade da forma e do tamanho dos grânulos conforme ilustrado nas Figs. 1 e 2 com uma ampliação de 30X. De uma forma geral os grânulos da massa atomizada apresentam-se sob a forma de partículas esféricas devido ao processo de atomização e com diâmetros médios variando entre 300 a 600µm (Fig. 1). Já a Fig. 2 mostra a imagem de microscopia do resíduo onde podemos observar que as partículas apresentam granulometria bem mais fina que a massa atomizada. A técnica de microanálise por EDX foi utilizada para verificar a composição química desses aglomerados, onde os elementos encontrados foram Si, Al, Mg, Fe e K.

Assim, a caracterização química do resíduo foi realizada através do ensaio na massa bruta, método de lixiviação e solubilização para avaliar o seu comportamento ambiental. Com relação à composição química, os componentes encontrados neste resíduo foram: carbonato de cálcio, carbeto de silício, cloreto de magnésio, óxido de magnésio, quartzo, sulfato de magnésio. Através do ensaio de lixiviação, o resíduo é classificado como "Não Perigoso" e pelo

ensaio de solubilização o resíduo é classificado como Resíduo Classe II- Não Inerte devido aos teores de sulfatos e dureza obtidos no extrato solubilizado do resíduo estarem acima do limite especificado.

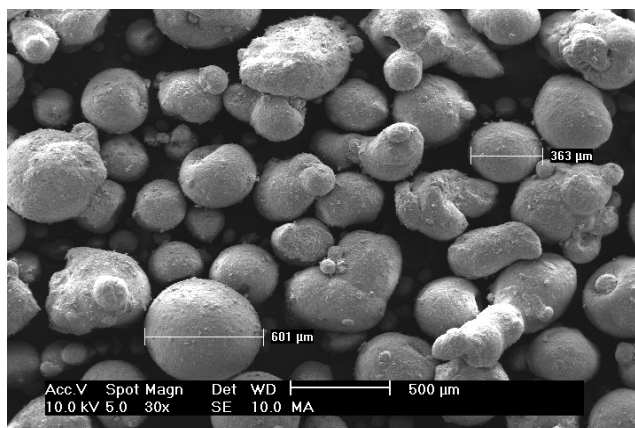


Figura 1. Microscopia eletrônica de varredura, aumento 30 X, da massa atomizada.

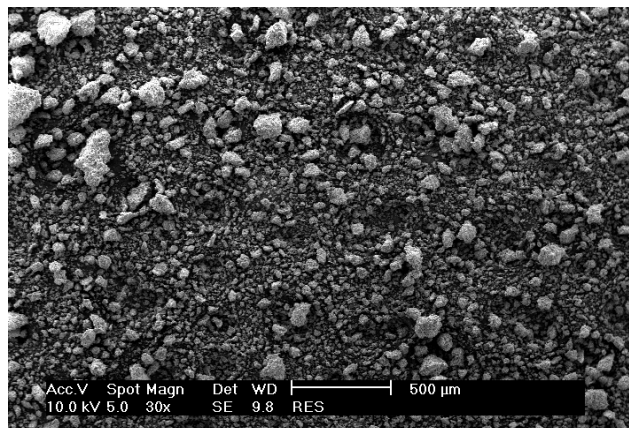


Figura 2. Microscopia eletrônica de varredura, aumento 30 X, do resíduo do polimento do porcelanato.

### 3. Caracterização Mecânica

As micrografias de MEV para uma amostra cerâmica compactada com a incorporação de 0, 40, 75 e 100 % de resíduo são apresentadas nas Figs. 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Para uma ampliação de 50X, pode-se observar que além da porosidade normal usualmente observada em típicos revestimentos cerâmicos, há também a porosidade proveniente do resíduo do polimento do porcelanato que aumenta a medida que uma maior quantidade de resíduo é incorporado à massa atomizada. Pode-se também visualizar o aumento da quantidade e tamanho de poros na medida em que a quantidade de resíduo é aumentada.

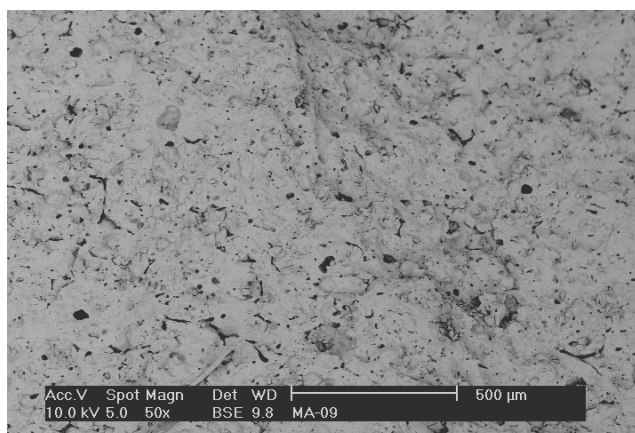


Figura 3. Microestrutura da superfície de fratura da massa atomizada sem a incorporação de resíduo (aumento 50X).

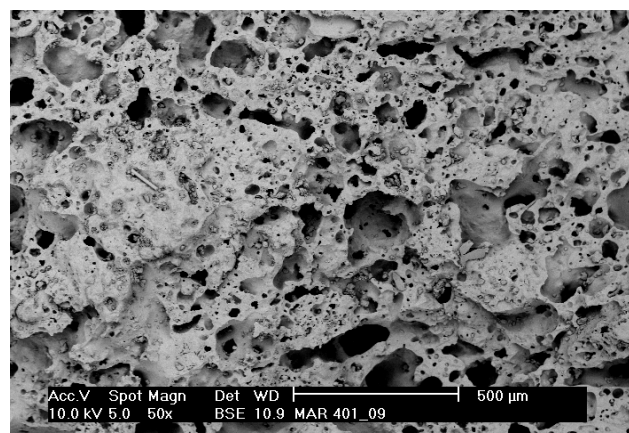


Figura 4. Microestrutura da superfície de fratura da massa com a incorporação de 40% de resíduo (aumento 50X).

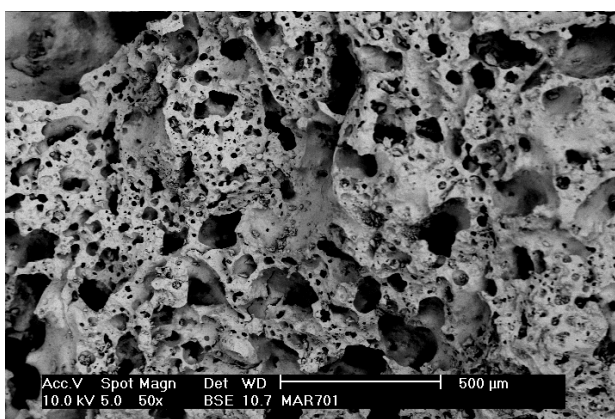


Figura 5. Microestrutura da superfície de fratura da massa com a incorporação de 75% de resíduo (aumento 50X).

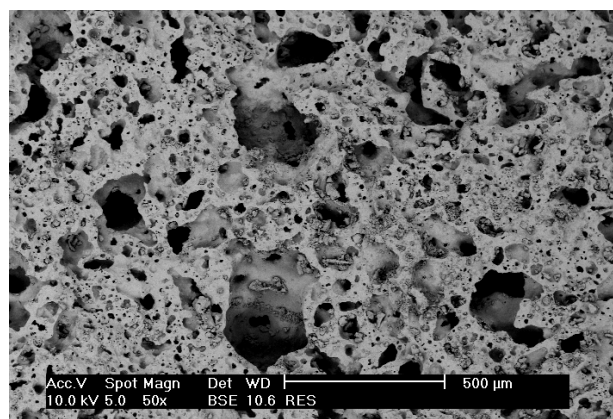


Figura 6. Microestrutura da superfície de fratura do resíduo do polimento do porcelanato (aumento 50X).

O módulo de ruptura em flexão (NBR13818, 1997) foi medido a partir do ensaio de flexão em três pontos, calculado a partir da Eq. (1):

$$MRF = \frac{3F \times L}{2b \times e_{\min}^2} \quad (1)$$

F é a força de ruptura em newtons (N), L é a distância entre as barras de apoio (mm), b é a largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm), MRF é o módulo de ruptura em flexão (MPa) e  $e_{\min}$  é a mínima espessura do corpo-de-prova (mm).

A porosidade das placas cerâmicas foram calculadas a partir da densidade aparente  $\rho_a$  dos corpos-de-prova (método volumétrico) e da densidade real  $\rho_r$  (picnometria de hélio), sendo obtida pela Eq. (2):

$$P = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (2)$$

A Tabela 2 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas e físicas medidas para cada cinco placas cerâmicas constituídas de diferentes frações em massa do resíduo do polimento do porcelanato incorporados à massa atomizada. Podemos observar na Tab. 2 que a amostra M (sem resíduo), que é um produto semi-grês, possui módulo de resistência à flexão  $\geq 22$ MPa, portanto está dentro da norma ISO 13006 (1995). Conforme esperado, a presença de poros implicou em diminuição da resistência mecânica.

Tabela 2. Resultados obtidos para placas cerâmicas com a incorporação de resíduo.

AMOSTRAS	VALORES EXPERIMENTAIS			
	MRF (MPa)	$\rho_a$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_r$ (kg/m <sup>3</sup> )	P (%)
M (sem resíduo)	33	2307	3235	29
MAR 10	25	2130	3176	33
MAR 20	21	1990	3085	36
MAR 30	16	1845	2980	38
MAR 40	13	1680	2967	43
MAR 50	13	1560	2930	47
MAR 75	9	1100	3180	65
RES	10	1110	3127	64

Uma elevada fração de resíduos é almejada do ponto de vista térmico (menor efusividade), entretanto o piso será mais frágil, necessitando de uma maior espessura para atender as normas vigentes. Com relação às propriedades físicas, podemos observar que a densidade aparente diminui à medida que aumentamos a incorporação dos resíduos já que há um aumento da porosidade. Para a densidade real, que representa a densidade da matriz sólida, verifica-se que tanto a massa atomizada quanto o resíduo do porcelanato possuem densidades muito semelhantes.

#### 4. Caracterização Térmica

##### 4.1. Avaliação da Temperatura Superficial

Antes de iniciar o ensaio de contato pé-piso propriamente dito, as diferentes amostras foram assentadas com argamassa sobre um contrapiso padrão e expostas ao sol, e após a cura completa (3 semanas) foram registrados os valores da temperatura superficial ( $T_{sol}$ ). Essa temperatura superficial foi medida por um termopar plano, tipo T, assim como a temperatura do solo, do contrapiso e do ar ambiente. O sistema foi monitorado 24h/dia durante um período de duas semanas, de forma a obter os valores máximos, correlacionados com os valores de radiação e temperatura do ar.

Dessa forma, obteve-se a temperatura superficial de um piso comercial Granitti Enduro Bianco (rugoso e liso) e das placas cerâmicas fabricadas quanto a sua exposição à radiação solar. Para um dia típico, sem nuvens e de forte insolação registrou-se as máximas temperaturas superficiais apresentadas na Tab. 3.

Tabela 3. Resultados obtidos da temperatura para os pisos e placas expostas ao sol.

AMOSTRAS	Piso GEB (liso)	Piso GEB (rugoso)	M	MAR 10	MAR 20	MAR 30	MAR 40	MAR 50	MAR 75	RES
$T_{sol}$ (°C)	50,4	50,4	56,3	54,1	54,4	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0

A superfície de um piso cerâmico exposto ao sol troca calor com o meio por convecção e radiação. Os materiais de construção são seletivos à radiação solar de onda curta e a principal determinante desta característica é a sua cor superficial. Cores mais claras resultam em uma menor temperatura superficial e portanto poderiam apresentar maior conforto térmico para o usuário. Assim, em um primeiro momento, podemos dizer que pisos claros seriam adequados em relação ao conforto térmico. Entretanto, cabe ressaltar que neste caso, não estaríamos considerando o conforto visual do indivíduo. Este piso, por ser mais claro, pode ofuscar sob ensolação direta. Na tabela 3, pode-se verificar que os dois primeiros pisos (GEB) apresentaram uma menor temperatura, consequência de uma cor mais clara.

#### 4.2. Ensaio da Resistência e Efusividade Térmica

Para o ensaio da condutividade térmica foram utilizadas amostras de 58x126mm, 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). Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ) através da Eq. (3):

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (3)$$

onde  $\lambda$  é a condutividade térmica (W/m K) e L é a espessura do material (m).

A condutividade térmica de um material poroso é fortemente dependente da densidade do material (ou fração de poros). Aivazov e Domashnev (1968) apresentam um modelo teórico que correlaciona bem a condutividade térmica de cerâmicas porosas com a porosidade, como mostrado na Eq. (4):

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1-P}{1+nP^2} \quad (4)$$

onde  $\lambda$  é a condutividade térmica de uma cerâmica com poros,  $\lambda_0$  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 a 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. (4) pode ser escrita em termos da efusividade ( $\varepsilon$ ) através da Eq. (5):

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{1-P}{\sqrt{1-nP^2}} \quad (5)$$

onde  $\varepsilon$  é a efusividade térmica do corpo cerâmico com poros e  $\varepsilon_0$  a efusividade térmica do corpo cerâmico livre de poros, sendo  $\varepsilon$  definida pela Eq. (6):

$$\varepsilon = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (6)$$

sendo que  $\rho$  é a massa específica (kg/m<sup>3</sup>) e  $c$  é o calor específico (J/kg.K).

Na Tab. 4 e Figs. 7 e 8, observa-se também que para as placas de massa com a incorporação de resíduo, a condutividade e a efusividade térmica decrescem com o aumento da porosidade total. Comparando os resultados obtidos experimentalmente com o modelo teórico proposto por Aivazov e Domashnev (1968) para a condutividade térmica, de acordo com a Eq. (4), pode-se verificar uma boa correlação no intervalo da porosidade entre 0 a 50% para  $n = 4,5$  e  $\lambda_0 = 1,6$  W/m.K. Já para o intervalo de porosidade estudado (de 0 a 100%), neste caso, os resultados experimentais não correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto pois ele não considera o material cerâmico como um compósito. Por isso, é necessário utilizarmos outro modelo que considere a cerâmica como um compósito já que estamos incorporando o resíduo ao semi-grês e esses materiais possuem condutividades diferentes.

Tabela 4. Condutividade e efusividade térmica teórica e experimental.

AMOSTRAS	VALORES EXPERIMENTAIS			VALORES TEÓRICOS	
	P (%)	$\lambda$ (W/mK)	$\epsilon$ (Ws <sup>0,5</sup> /m <sup>2</sup> K)	$\lambda$ (W/mK)	$\epsilon$ (Ws <sup>0,5</sup> /m <sup>2</sup> K)
M (sem resíduo)	29	0,80	1359	0,81	1319
MAR 10	33	0,73	1247	0,69	1193
MAR 20	36	0,60	1093	0,63	1104
MAR 30	38	0,53	944	0,57	1046
MAR 40	43	0,48	898	0,46	909
MAR 50	47	0,43	819	0,40	809
MAR 75	65	0,40	663	0,17	439
RES	64	0,36	632	0,18	456

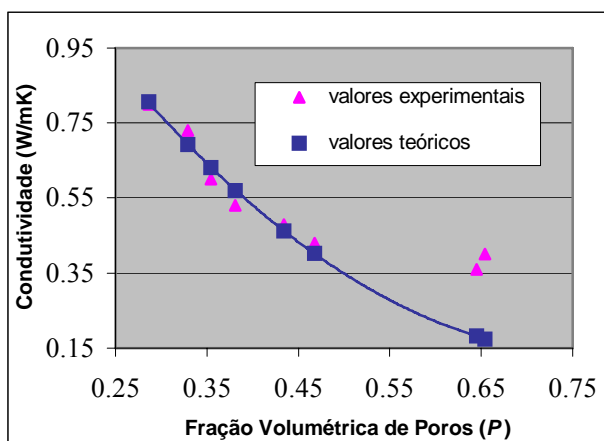


Figura 7. Condutividade térmica teórica e experimental em função da porosidade.

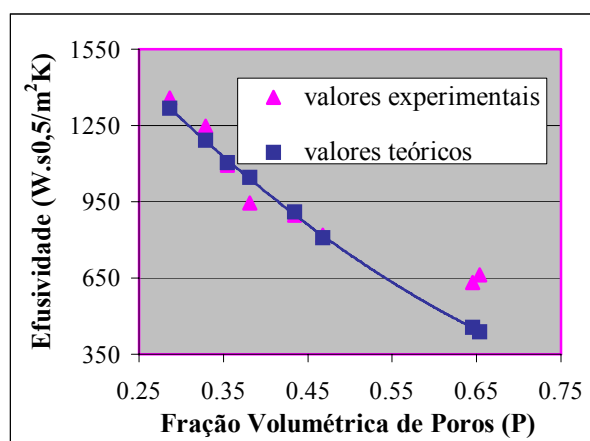


Figura 8. Efusividade térmica teórica e experimental em função da porosidade.

Além das placas cerâmicas fabricadas, foram avaliadas as amostras obtidas do piso comercial Granitti Enduro Bianco (rugoso e liso). Esse piso apresenta uma superfície rugosa, com uma distância entre picos e valor de aproximadamente 0,55mm. Uma das amostras foi extraída do piso original e outra amostra obtida através do polimento da rugosidade desse mesmo piso. Essas duas amostras, foram ensaiadas no condutímetro fluximétrico (Fig. 9). Nesses ensaios foi intercalado uma fina película de látex (espessura = 0,1mm) entre a superfície superior da amostra e o fluxímetro superior de forma a simular a resistência de contato entre um pé descalço e o piso avaliado.

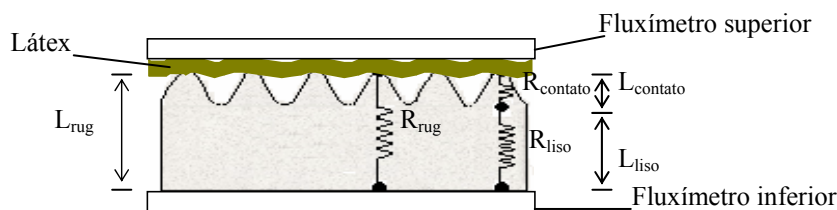


Figura 9. Esquema do condutímetro fluximétrico.

Dessa forma a diferença entre as resistências de contato do Piso Rugoso ( $R_{rug}$ ) e Piso Liso ( $R_{liso}$ ) indica a resistência de contato ( $R_{contato}$ ). Foi possível ainda obter a condutividade térmica aparente desse contato, conforme apresentado na Tab. 5.

Tabela 5. Condutividade aparente e resistência térmica de contato para o pisos GEB liso e rugoso.

AMOSTRAS	ESPESSURA (mm)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA APARENTE (W/m.K)	RESISTÊNCIA TÉRMICA (W/K)
Piso GEB (rugoso)	$7,70 \times 10^{-3}$	0,48	$16,04 \times 10^{-3}$
Piso GEB (liso)	$7,15 \times 10^{-3}$	0,72	$9,90 \times 10^{-3}$
Contato	$0,55 \times 10^{-3}$	0,09	$6,14 \times 10^{-3}$

### 4.3. Ensaio de Contato Pé-Piso

A variável de interesse que ocorre no contato de um pé descalço com um piso quente (ou frio) é a temperatura máxima (ou mínima). Dada a dificuldade de obter repetibilidade nos ensaios utilizando o pé de uma pessoa, idealizou-se um aparato (Fig. 10) onde o mesmo foi simulado por uma dupla luva de látex (espessura = 0,65 mm) preenchida com uma mistura de água e gelo fundente, garantindo dessa forma uma temperatura constante e igual a 0°C.

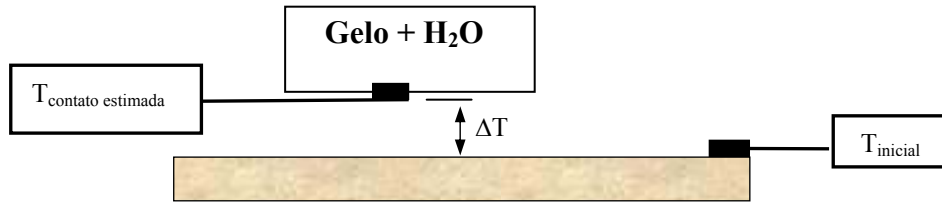


Figura 10. Esquema ilustrativo do contato pé-piso.

Nessa luva foi fixado um termopar plano tipo T (espessura = 0,1 mm) para determinar a máxima temperatura no contato súbito com um piso isotérmico à temperatura ambiente. A temperatura do piso foi medida também por um termopar plano (espessura = 0,1 mm). Esse dispositivo experimental foi elaborado para se avaliar a temperatura máxima da sola de um pé descalço quando em contato com o piso ao longo do tempo, conforme mostrado na Fig. 11.

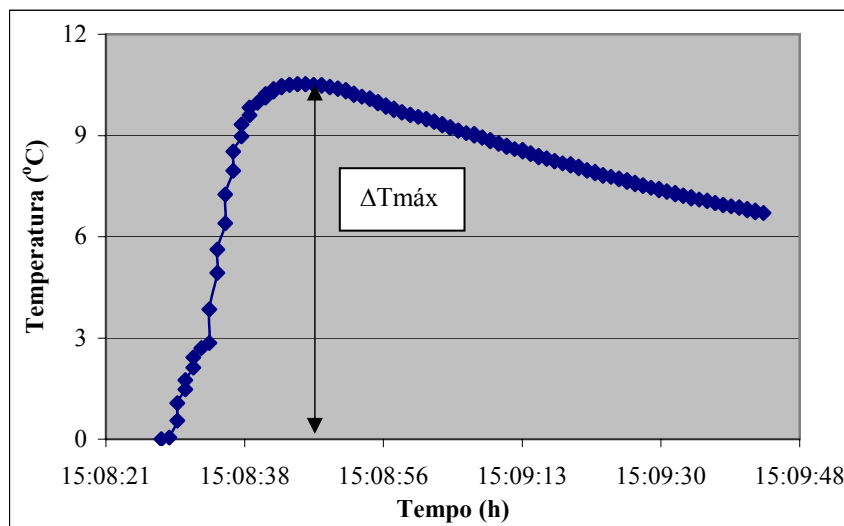


Figura 11. Esquema ilustrativo da temperatura de contato (luva-piso granitti enduro bianco liso) ao longo do tempo.

Nota-se que essa temperatura atinge um valor máximo ( $\Delta T_{\text{máx}}$ ), que é a temperatura de interesse nessa análise. Extraindo o valor da máxima variação da temperatura de contato ( $\Delta T_{\text{máx}}$ ), determinou-se uma razão ( $f$ ) entre a variação máxima da temperatura de contato (luva-piso) e a temperatura do piso ( $T_{\text{inicial}}$ ), obtida pela Eq. (7):

$$f = \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{T_{\text{inicial}}} \quad (7)$$

A temperatura de contato pé-piso pode ser estimada a partir dos resultados anteriores, considerando-se o pé a uma temperatura de 34°C em contato com os pisos expostos ao ambiente ensolarado a temperaturas superficiais apresentadas. Considerando-se que a variação de temperatura de contato pé-piso é semelhante aos resultados obtidos (temperatura de contato luva-piso) obtêm-se a temperatura de contato pé-piso ( $T_{\text{contato estimada}}$ ) através da Eq. (8):

$$T_{\text{contato estimada}} = 34 + f (T_{\text{sol}} - 34) \quad (8)$$

As duas amostras do piso Granitti Enduro Bianco (rugoso e liso) foram avaliadas a uma temperatura superficial do piso medida através do dispositivo elaborado. Em seguida fez-se o contato súbito de um pé descalço (luva) sob os pisos, registrando a temperatura de contato (luva-piso) ao longo do tempo. Como esperado, o piso Granitti Enduro Bianco liso e rugoso atingiram uma temperatura de contato de 40,5 e 37,8, respectivamente. Já para as placas cerâmicas fabricadas,

M (sem resíduo porosidade igual a 29%) e MAR 40 (40% de resíduo porosidade igual a 43%) a temperatura foi de aproximadamente 42,8 e 39,1. Logo o MAR 40 apresenta aproximadamente 4°C a menos que a temperatura do piso M. Esse fato já representa uma pequena melhora no grau de conforto por contato.

A Tabela 6 apresenta a temperatura superficial das amostras expostas ao sol ( $T_{sol}$ ), a temperatura inicial ( $T_{inicial}$ ) dos pisos, valores máximos de temperatura de contato luva-piso ( $\Delta T_{m\acute{a}x}$ ) e a temperatura de contato luva-piso ( $T_{contato\ estimada}$ ) obtidos através do dispositivo elaborado.

Tabela 6. Estimativa da temperatura de contato pé-piso.

AMOSTRAS	$T_{inicial}$ (°C)	$\Delta T_{m\acute{a}x}$ (°C)	f	$T_{sol}$ (°C)	$T_{contato\ estimada}$ (°C)
Piso Granitti Enduro Bianco (liso)	26,7	10,52	0,39	50,4	40,5
Piso Granitti Enduro Bianco (rugoso)	24,1	5,62	0,23	50,4	37,8
Placa cerâmica M (liso)	24,0	9,45	0,39	56,3	42,8
Placa cerâmica MAR 10	23,6	8,72	0,37	54,1	41,4
Placa cerâmica MAR 20	24,4	7,92	0,32	54,4	40,6
Placa cerâmica MAR 30	24,5	7,07	0,29	55,0	40,0
Placa cerâmica MAR 40	23,9	5,85	0,25	55,0	39,1
Placa cerâmica MAR 50	24,1	5,82	0,24	55,0	39,0
Placa cerâmica MAR75	24,3	4,80	0,20	55,0	38,0
Placa cerâmica RES	24,3	3,50	0,14	55,0	37,0

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 ( $T_{contato}$ ) será constante ao longo do tempo e apresentará o seguinte valor expresso pela Eq. (9):

$$T_{contato\ teórica} = \frac{\epsilon_A T_A + \epsilon_B T_B}{\epsilon_A + \epsilon_B} \quad (9)$$

A efusividade é um fator de ponderação que determina se a temperatura de contato ( $T_{contato}$ ) ficará mais próxima de  $T_A$  (se  $\epsilon_B > \epsilon_A$ ) ou de  $T_B$  (se  $\epsilon_B < \epsilon_A$ ). Os materiais cerâmicos (porosos ou não) apresentam valores de calor específicos bastante semelhantes (em torno de 1 kJ/kg.K). Conseqüentemente, a efusividade depende basicamente da condutividade térmica e da massa específica do material. Dessa forma, a efusividade foi calculada a partir das medições da condutividade térmica e da massa específica, sendo o calor específico obtido de valores tabelados.

Considerando o pé e o piso como sólidos semi-infinitos, pode-se determinar a temperatura de contato teórico através da Eq. (9). O pé pode ser considerado com condutividade térmica igual a 0,37 W/mK, massa específica igual a 1000 kg/m<sup>3</sup> e calor específico igual a 1000 J/kgK, resultando em uma efusividade igual a 600 W s<sup>0,5</sup>/m<sup>2</sup>K (Incropera, 1992).

A Tabela 7, mostra uma comparação entre o valor da temperatura da sola do pé obtido nos ensaios e a temperatura teórica de contato.

Tabela 7. Resultados obtidos entre o valor da temperatura da sola do pé e a temperatura teórica da interface.

AMOSTRAS	$T_{sol}$ (°C)	$T_{pé}$ (°C)	$\epsilon_{piso}$ (W s <sup>0,5</sup> /m <sup>2</sup> K)	$T_{contato\ teórica}$ (°C)	$T_{contato\ estimada}$ (°C)
M (sem resíduo)	56,3	34	1359	49,4	42,8
MAR 40 (40% de resíduo)	55,0	34	898	46,6	39,1

Pode-se constatar uma significativa diferença entre os valores teóricos e experimentais. Entre as possíveis causas pode-se citar a incerteza do valor das propriedades térmicas dos corpos em contato e o modelo de sólido semi-infinito, como também as incertezas de medição.

Comprovou-se que a introdução de uma resistência de contato adicional (rugosidade superficial) produz uma redução na temperatura de contato. Dessa forma as duas estratégias poderiam ser combinadas (piso poroso e rugoso), produzindo pisos com elevado grau de conforto térmico, tanto para o calor quanto para o frio. Outros aspectos ainda necessitam ser melhor estudados com relação à resistência mecânica, resistência à abrasão, grau de incrustação e manchabilidade.

## 5. Conclusões

O desconforto sentido no contato com uma superfície fria ou quente está relacionada com a temperatura de interface. Essa temperatura é tradicionalmente correlacionada com a efusividade térmica dos corpos em contato. Procurou-se a redução da efusividade com a inclusão de poros, gerados pela adição de resíduo de porcelanato em uma



massa atomizada semi-grês. A incorporação de poros reduziu a resistência mecânica, mas esta pode ser compensada pelo aumento da espessura do piso.

O modelo teórico proposto por Aivazov e Domashnev (1968) correlaciona bem com a condutividade experimental obtida para as placas cerâmicas com várias percentagens de resíduo para o intervalo da porosidade entre 0 a 50% e para o valor de  $n = 4,5$  e  $\lambda_0 = 1,6$  W/m.K. Já para o intervalo de porosidade estudado (de 0 a 100% de resíduo), neste caso, os resultados experimentais não correlacionam tão bem com o modelo teórico proposto pois ele não considera o material cerâmico como um compósito. Por isso, é necessário utilizarmos outro modelo que considere a cerâmica como um compósito já que estamos incorporando o resíduo ao semi-grês e esses materiais possuem condutividades diferentes.

O dispositivo experimental elaborado para o ensaio de contato entre pé e piso, 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 do valor das propriedades térmicas dos corpos em contato e o modelo de sólido semi-infinito, como também as incertezas de medição.

A metodologia de medição da resistência térmica do piso rugoso mostrou-se eficaz, reproduzindo de maneira simples o contato da sola do pé com uma superfície qualquer.

Comprovou-se que a introdução de uma resistência de contato adicional (rugosidade superficial) produz uma redução na temperatura de contato. Dessa forma as duas estratégias poderiam ser combinadas (piso poroso e rugoso), produzindo pisos com elevado grau de conforto térmico, tanto para o calor quanto para o frio. Outros aspectos ainda necessitam ser melhor estudados com relação à resistência mecânica, resistência à abrasão, grau de incrustação e manchabilidade.

## 6. Agradecimentos

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

## 7. Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997, “NBR13818: Placas Cerâmica para revestimento–Especificação e métodos de ensaios”, Procedimento, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987, “NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10004/1987”, Rio de Janeiro.
- Ashrae Fundamentals-Cap 8, 1987, “Thermal Comfort”, Atlanta, 1997.
- Aivazov, M.I., Domashnev, I.A, 1968, “Poroshkovaya Met.”, Vol. 8, 51p.
- British standards institution (BSI), 1983, “Medical information on human reaction to skin contact with hot surfaces”, PD 6504.
- Fanger, P.O., 1970, “Thermal Comfort”, New York, McGraw-Hill Book Company.
- IPAT (Instituto de Análises de Solo e Fertilizantes-UNESC), 2003, “Relatório de ensaio 313, 314 e 315”, Criciúma, SC.
- Incropera, F. e De Witt, D., 1992, “Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa”, Editora Guanabara Koogan, 3ª Edição.
- ISO 8301, 1991, “Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”.
- ISO 13006, 1995, “Ceramic tile-Definitions”, classification, characteristics and marking.
- Lemos, A.F., Ferreira, J.M.F., 2001, “Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica”, Florianópolis, S.C.
- Norma reguladora NR-15, 1978, “Atividades e Operações Insalubres”.
- Rhee, S.K. Porosity, 1975, “Thermal Conductivity Correlations for Ceramic Materials”. Materials Science and Engineering, Vol. 20, pp. 89-93.
- Sugawara, A. , Yoshizawa, 1962, “J. Appl. Phys. ”, Vol. 33, 3135p.
- Xavier, A.A.P, 2000, “Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias-Teoria física aplicada a estudos de campo”, Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 251p.

## EVALUATION OF THE THERMAL CONFORT IN CONTACT WITH CERAMIC TILES

### **Carmeane Effting**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
carmeane@terra.com.br

### **Saulo Güths**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
saulo@lmpt.ufsc.br

### **Orestes Estevam Alarcon**

Universidade Federal de Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica-Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Campus Universitário-Trindade, Florianópolis-Santa Catarina, Brasil, CEP 88040-900, P.O. Box 476.  
orestes@materiais.ufsc.br

**Abstract.** *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) or by cold floor surfaces in internal environments (bed rooms, path rooms). The property named thermal effusivity which define the interface temperature when two semi infinite solids are putted in perfect contact. The introduction of the crustiness surface on the ceramic tiles interfere in the contact temperature and also it can be an strategy to obtain ceramic tiles more comfortable. Materials with low conductivities and densities can be obtained by porous inclusion are due particularly to the processing conditions usually employed. However, the presence of pores generally involves low mechanical strength. This work has the objective to evaluate the thermal confort of ceramics floor obtained by incorporation of refractory raw materials (residue of the polishing of the porcelanato) in industrial atomized ceramic powder, through the thermal and mechanical properties. The theorical and experimental results show that the porosity and crustiness surface increases, there is sensitive improvement in the confort by contact.*

**Keywords:** *ceramic tiles, refractory raw materials, thermal properties, thermal confort, porosity.*