



## EFEITO DA GRANULOMETRIA E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DA FASE DE REFORÇO ( $ZrSiO_4$ ) NA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DE CERÂMICAS DE PISO

**Rafael Ariza Gonçalves**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
ltm-ariza@ufu.br

**José Daniel Biasoli de Mello**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
ltm-demello@ufu.br

**Francisco Guimarães da Rosa**, Maximiliano Gaidizinsk – Revestimentos Cerâmicos Eliane S.A.

**Kassiana Maldonado Aguiar**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
maldonadoaguiar@yahoo.com.br

**Mayron Cesar Borges Rodrigues**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC

**Rodrigo Andrade Rezende**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
andraderezende@yahoo.com.br

**Resumo.** *Algumas cerâmicas de piso do tipo vidrado são constituídas de esmalte vitrocerâmico reforçadas com fases duras para aumentar a resistência ao desgaste. No presente trabalho foi verificada a influência do silicato de zircônia, como fase de reforço. Foram testadas seis amostras cerâmicas com duas granulometrias e três frações volumétricas de silicato de zircônia. A avaliação da resistência ao desgaste foi feita em um abrasômetro com a configuração a três corpos e pelo método PEI. Os resultados não apresentaram correlação com as quantidades da fase de reforço. Em virtude disso, foram medidas as frações volumétricas da fase de reforço para verificar se havia concordância com as quantidades adicionadas durante a produção. Foi verificado que os valores medidos não concordam com aqueles da formulação. Além disso, foi detectada uma variação das quantidades da fase de reforço para diferentes níveis abaixo da superfície das cerâmicas, indicando uma decantação das partículas e que a fase de reforço intencionalmente colocada não atua efetivamente no sentido de melhorar a resistência à abrasão das cerâmicas testadas.*

**Palavras-chave:** cerâmica, abrasão, PEI

### 1. INTRODUÇÃO

Os pisos em geral, são componentes sujeitos ao desgaste abrasivo, uma vez que enormes quantidades de abrasivos atuam sobre os mesmos por ação dos pés.

As cerâmicas de piso do tipo vidrado tem sido uma alternativa econômica bastante interessante por associar qualidade, beleza e baixo custo. São constituídas de esmalte vitrocerâmico, reforçadas com fases duras para aumentar a resistência ao desgaste, aplicados em substratos também cerâmicos. Os materiais vitro-cerâmicos são muito adequados, em particular, para a preparação de vidrados para pisos e azulejos, uma vez que podem suportar a ação de agentes abrasivos e tensões mecânicas elevadas, Leonelli et al (1996).

O esmalte é responsável também pelo fator estético, que é o principal apelo das cerâmicas revestidas. O aspecto estético, embora subjetivo, é o responsável pela existência do produto, pois é ele que conduz a uma aceitação comercial, sem o qual sua produção se tornaria inviável, Doneda et al (1993).

A avaliação e certificação das cerâmicas comerciais é realizada por laboratórios credenciados que submetem as mesmas a vários testes como: aspecto visual; características geométricas; absorção de água; carga de ruptura e módulo de resistência a flexão; gretagem; expansão por umidade; resistência ao manchamento e resistência ao ataque químico para todos os usos; resistência ao congelamento quando usado em regiões frias; dilatação térmica e choque térmico quando usado em lareiras e assemelhados; resistência ao impacto; atrito; dureza Mohs; abrasão superficial e abrasão profunda para pisos e determinação da ausência de chumbo e cádmio para usos em contato com alimentos.

O principal fator de alteração das características estéticas dos pisos cerâmicos é o desgaste abrasivo e que no caso dos pisos esmaltados é avaliado pelo ensaio de abrasão superficial PEI, desenvolvido pelo Porcelain Enamel Institute, também adotado no Brasil e descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas através da Norma NBR 13818 (1997).

O método PEI consiste em submeter peças cerâmicas à abrasão, como descrito de forma resumida a seguir: numa placa suporte para um máximo de nove corpos-de-prova, são presos na sua superfície inferior cilindros ocos revestidos por borracha. Através de alças, são fixados os ladrilhos cerâmicos com a superfície vidrada voltada para cima. Através de orifícios no cilindro, uma carga abrasiva é colocada para cada corpo-de-prova. A carga consiste de 70,0 g de esferas de aço de 5 mm de diâmetro; 52,5 g de esferas de aço de 3 mm de diâmetro; 43,75 g de esferas de aço de 2 mm de diâmetro; 8,75 g de esferas de aço de 1 mm de diâmetro; 3,0 g de óxido de alumínio fundido de grana 80 (tamanho de grão: 0,1 a 0,25 mm) e 20 ml de água destilada ou deionizada. A Figura (1) mostra a configuração do ensaio.

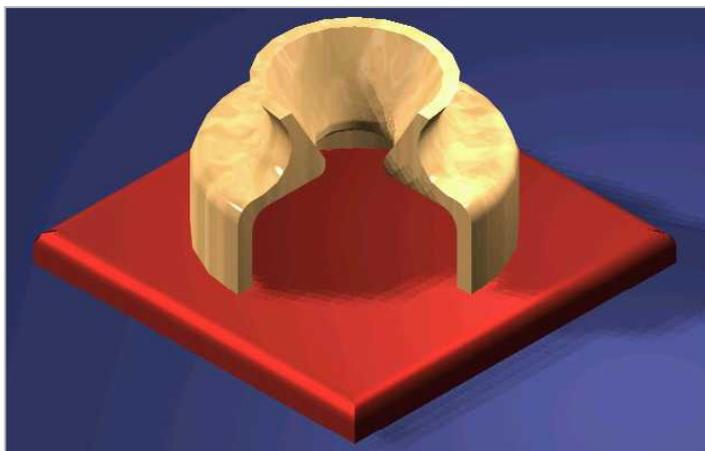


Figura 1. Configuração do ensaio abrasométrico PEI.

A placa suporte gira a 300 rpm com uma excentricidade de 22,5 mm. O número de ciclos exigidos para cada estágio de abrasão é de 100, 150, 600, 750, 1500, 2100, 6000 e 12000. A avaliação é visual, onde um corpo-de-prova ensaiado é misturado a peças intactas, e um observador a 2m de distância e de uma altura de 1,65m sob um iluminamento de 300 lux, tenta identificar qual foi submetida ao ensaio de abrasão, como ilustrado na Fig. (2).

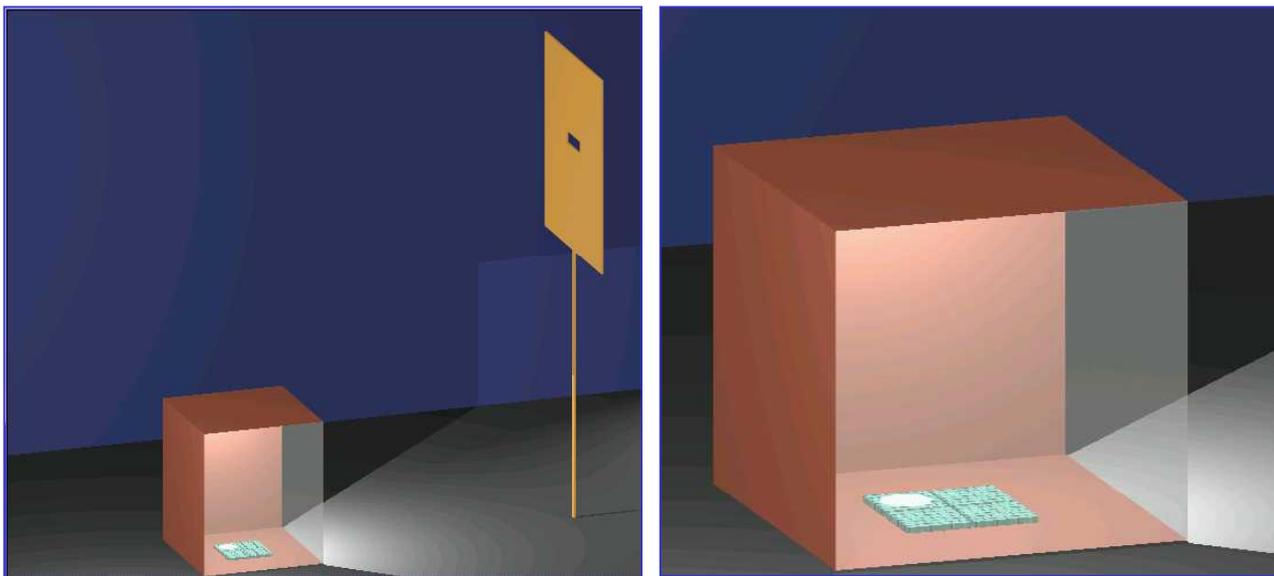


Figura 2. Representação do método de avaliação visual do ensaio abrasométrico PEI.

Os corpos-de-prova são classificados em grupos de acordo com a Tab. (1) abaixo.

Tabela 1 – Classificação por grupo após ensaio abrasométrico – Método PEI

Nº de Ciclos em que se Visualiza a Abrasão	Classificação PEI
100	0
150	I
600	II
750, 1500	III
2.100, 6.000, 12.000	IV
>12.000	V

O método PEI apresenta no entanto alguns problemas por ser fortemente dependente da acuidade visual do técnico que realiza a classificação e também por ter o resultado influenciado pela cor e serigrafia da cerâmica.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a resistência à abrasão de pisos cerâmicos através do ensaio abrasométrico a três corpos, Avery et al (1977), e correlacioná-los com as respectivas classificações PEI, dureza Mohs, granulometria e fração volumétrica da fase de reforço.

## 2. MATERIAIS

Foram preparadas seis placas cerâmicas com variação da granulometria e da fração volumétrica do silicato de zircônia utilizado como fase de reforço. As cerâmicas foram produzidas em unidade industrial.

### 3. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

#### 3.1. Ensaio Abrasométricos e de Dureza

Foram realizados ensaios abrasométricos na configuração a três corpos por representar a configuração que normalmente acontece com os pisos, ou seja, o próprio piso (corpo), o abrasivo solto (geralmente areia) e os sapatos dos transeuntes (contracorpo).

As amostras foram tiradas através de uma trepanadora e os ensaios abrasométricos realizados no Abrasômetro Ltm, Costa et al (2001), projetado e construído no Laboratório de Tribologia e Materiais da UFU, onde se destaca o contracorpo de borracha. O abrasivo utilizado foi a areia normal brasileira produzida pelo IPT de São Paulo, e cujas características são descritas pela norma NBR 7214 (1982). A granulometria foi de 100 $\mu$ m e a pressão aplicada em cada amostra foi de 0,02 N/mm<sup>2</sup>.

A realização dos ensaios abrasométricos foi precedida pela limpeza das amostras com acetona sob ultra-som, seguida de secagem em estufa a 110 °C, resfriamento em dessecador e pesagem em balança analítica. Após os ensaios, as mesmas operações de limpeza e secagem foram realizadas. A avaliação do desgaste foi expressa em massa perdida por unidade de área por tempo de ensaio.

Foi tomado o cuidado de definir o tempo necessário para que o desgaste entrasse em regime estacionário. Para isso foram realizados ensaios abrasométricos de 10 em 10 minutos para cada amostra e verificado o tempo necessário para que a perda de massa se tornasse aproximadamente constante, na condição tribológica imposta. A Figura (3) mostra um dos resultados obtidos, onde se vê claramente que o regime estacionário é obtido com 40 minutos de ensaio, sendo este tempo considerado para pré-desgaste. Os resultados obtidos para as demais amostras foram similares. Após o pré-desgaste foram realizados os ensaios abrasométricos propriamente ditos, no tempo de 40 minutos. Com os dados obtidos, foram calculadas as respectivas taxas de desgaste.

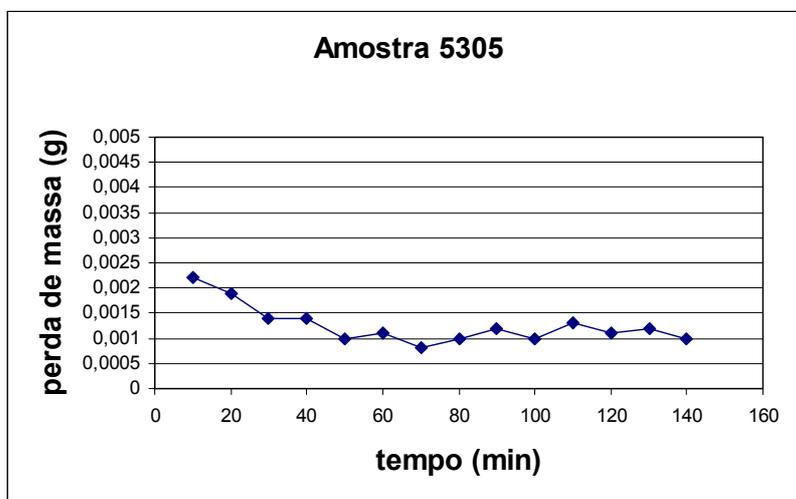


Figura 3. Resultado de um ensaio abrasométrico para a determinação do tempo de regime estacionário.

As amostras cerâmicas foram também submetidas aos ensaios abrasométrico PEI e de dureza Mohs, avaliados segundo procedimentos descritos pela norma NBR 13818 (1997).

#### 3.2. Medidas da granulometria e fração volumétrica da fase de reforço

Para verificar se as granulometrias e frações volumétricas da fase de reforço correspondiam aos valores prescritos para a produção das amostras, foram feitas as medidas desses parâmetros.

Foram cortadas uma amostra de cada cerâmica no tamanho de 2,5 x 2,5 cm e polidas com pasta de diamante 1 $\mu$ m por 15 minutos sob uma força de 3N e, limpas com acetona em ultra-som.

As amostras foram então analisadas com o auxílio de um analisador de imagens montado em um banco metalográfico, donde foram medidas as granulometrias e frações volumétricas em cinco regiões por amostra.

Após as primeiras medidas, foram realizados mais dois polimentos nas mesmas condições, seguidos de novas medidas para verificar se a distribuição das partículas de reforço estavam uniformemente distribuídas em toda a espessura da camada de esmalte.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos dos ensaios abrasométricos a três corpos, PEI e de dureza Mohs são apresentados na Tab. (2).

Tabela 2: Resultados dos ensaios abrasométricos e de dureza Mohs.

Identificação	Granulometria ( $\mu\text{m}$ )	Fração Volumétrica (%)	Classificação PEI	Dureza Mohs	Taxa de desgaste ( $\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{min}$ )
5305	53	5	III	4	2,08512E-07
5310	53	10	III	5	1,97819E-07
5320	53	20	III	5	2,19204E-07
6905	69	5	III	5	1,87126E-07
6910	69	10	III	4	1,49701E-07
6920	69	20	III	6	2,4059E-07
6930	69	30%	III	9	2,19204E-07

Vê-se que os resultados da classificação PEI foram os mesmos para todas as amostras cerâmicas, o que indica que as granulometrias e frações volumétricas não influenciaram nestes resultados.

Para melhor comparação dos resultados dos ensaios abrasométricos, foi plotado o gráfico mostrado na Fig (4) onde podem ser comparados os desempenhos em abrasão a três corpos das cerâmicas testadas.

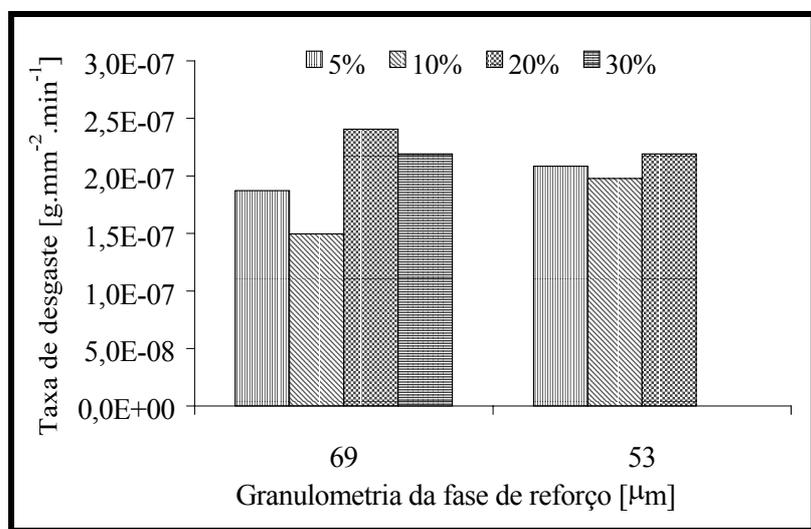


Figura 4. Comparação das taxas de desgaste das cerâmicas.

Vê-se na figura que os ensaios abrasométricos na configuração utilizada mostrou distintos comportamentos para as cerâmicas testadas. Vê-se também que o melhor comportamento em abrasão é apresentado pela amostra 6910, o que indica que a melhor combinação granulometria-fração volumétrica é 69  $\mu\text{m}$  – 10%.

A Tabela (3) mostra os resultados das medidas das frações volumétricas da fase de reforço a três níveis abaixo da superfície, evidenciando que há um significativo aumento das frações volumétricas para níveis abaixo da superfície indicando uma possível decantação das partículas.

Tabela 3. Frações volumétricas do silicato de zircônia a três níveis abaixo da superfície.

Amostras	Primeiro polimento		Segundo polimento		Terceiro polimento	
	Fração volumétrica (%)	Desvio (%)	Fração volumétrica (%)	Desvio (%)	Fração volumétrica (%)	Desvio (%)
5305	6.370	1,75	7.240	1,48	8.280	1,23
5310	13.58	1,27	12.77	1,17	12.88	2,24
5320	22.64	3,50	29.69	2,00	36.56	2,68
6905	4.070	4,14	6.970	5,16	7.350	2,19
6920	27.87	5,65	35.87	5,66	40.02	5,14
6930	37.58	2,32	47.96	1,81	43.86	4,92

## 5. CONCLUSÕES

1. O ensaio abrasométrico PEI não distinguiu as amostras cerâmicas estudadas.
2. As classificações PEI não apresentaram nenhuma relação com as durezas Mohs.
3. O ensaio abrasométrico a três corpos se mostrou sensível para distinguir a resistência à abrasão das amostras cerâmicas testadas.
4. Foi detectado um aumento de concentração das partículas da fase de reforço para diferentes níveis de profundidade, tendo como consequência que as mesmas não atuam efetivamente como obstáculo ao riscamento.

## 6. REFERÊNCIAS

- Leonelli, C. e Manfredini, T., “Vidrados Cerâmicos para Queima Rápida, Cerâmica Industrial”, Vol 1, nº 3, 1996.
- Doneda, C., “Efeito de Aditivos Endurecedores em Fritas Cerâmicas de Monoqueima Rápida: Relação entre Viscosidade, Microestrutura e Resistência a Abrasão”, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis – SC, 1993.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13818. “Placas cerâmicas para revestimento” – Especificação e métodos de ensaios. ABR/1997, 78 p. Anexo D – “Determinação da abrasão superficial”, pp. 17 a 22, Anexo V – “Determinação da dureza segundo a escala Mohs”, p.71.
- Avery, H. S., “Classification and Precision of Abrasion Tests”, International Conference on Wear Material, pp 148 – 157, 1977.
- Costa, H. L and De Mello, J. D. B., “Development of a New Abrasive Wear Tester”, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG, Brasil, 2001.
- ABNT, NBR 7214 – 1982. “Areia Normal Brasileira para Ensaio de Cimento”.

# EFFECT OF GRANULOMETRY AND VOLUMETRIC FRACTION OF ZIRCONIUM SILICATE AS REINFORCEMENT PHASE IN THE WEAR RESISTANCE OF CERAMIC FLOOR

**Rafael Ariza Gonçalves**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
ltm-ariza@ufu.br

**José Daniel Biasoli de Mello**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
ltm-demello@ufu.br

**Francisco Guimarães da Rosa**, Maximiliano Gaidizinsk – Revestimentos Cerâmicos Eliane S.A.

**Kassiana Maldonado Aguiar**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
maldonadoaguiar@yahoo.com.br

**Mayron Cesar Borges Rodrigues**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC, ltm-ariza@ufu.br

**Rodrigo Andrade Rezende**, Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC,  
andraderezende@yahoo.com.br

**Abstract.** *Some ceramic floors of glazed type are constituted of enamel vitroc ceramic reinforced with hard phases to increase the wear resistance. In the present work it was verified the influence of the zirconium silicate, as reinforcement phase. Six ceramic were tested with two granulometry and three volumetric fractions of zirconium silicate. The evaluation of the wear resistance was made in an abrasometer with the configuration three bodies and for the PEI method. The results didn't present any correlation with the amounts of the reinforcement phase. By virtue of that, they were measured the volumetric fractions of the reinforcement phase to verify if there was agreement with the amounts added during their production. It was verified that the measured values don't agree with those of the formulation. Besides, a variation of the amounts of the reinforcement phase was detected for different levels below the surface of the ceramics, indicating a precipitation of the particles and that the reinforcement phase intentionally placed it doesn't act indeed in the sense of improving the resistance to the abrasion of the tested ceramic.*

**Keywords:** *ceramic, abrasion, PEI*