

Relação entre Desgaste Abrasivo Superficial e Brilho em Porcelanato Esmaltado

Oscar Rubem Klegues Montedo^a, Antonio Pedro Novaes de Oliveira^{b*}

^aCentro de Tecnologia em Materiais – SENAI/Criciúma-CTCmat,
88802-330, Criciúma - SC, Brasil

^bPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGMAT,
Departamento de Engenharia Mecânica – EMC,
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC,
88040-900, Florianópolis - SC, Brasil

*e-mail: pedronovaes@emc.ufsc.br

Resumo: Este artigo reporta os resultados de um trabalho de pesquisa, cujo objetivo principal está relacionado ao desenvolvimento de uma solução técnica, que leva em conta a relação entre a resistência ao desgaste por abrasão e o brilho e o seu entendimento, para a obtenção de produtos cerâmicos esmaltados com propriedades otimizadas e de elevado desempenho para uma aplicação específica. Assim, esmaltes formulados a partir de composição vitrocerâmica do sistema LZSA, reforçados com partículas cristalinas de alumina ou quartzo ou silicato de zircônio, foram preparados e caracterizados quanto à resistência ao risco, à abrasão e ao brilho. Neste contexto, foi obtido um revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato brilhante (71,2 UB), com elevada resistência ao risco (9 Mohs), elevada resistência à abrasão (PEI 5) e boa resistência ao manchamento (Classe 4).

Palavras-chave: cerâmica, esmalte, vitrocerâmico, resistência à abrasão, brilho.

1. Introdução

Nos últimos anos têm-se observado, por conta da globalização, algumas mudanças no cenário econômico mundial, o que tem impulsionado as empresas, incluindo também as do setor de revestimentos cerâmicos, a buscarem a modernização tecnológica e a competitividade como forma de ganharem espaço no mercado. Conseqüentemente, muito se tem investido, ao longo dos últimos anos, em tecnologia de automação e otimização dos processos produtivos, podendo-se citar¹: moagem a úmido; queima e secagem rápida em equipamentos a rolos; automação e integração das etapas produtivas por meio de software de controle; etc. Estas mudanças passaram cada vez mais a estar disponíveis a todos os fabricantes de produtos cerâmicos que, dispendo de crédito, tiveram acesso às mais novas tecnologias mundiais. Por outro lado, mudanças comportamentais no consumidor, como o aumento do nível de esclarecimento, e institucionais, como a criação do código de defesa do consumidor, no Brasil, têm conduzido o cliente a exigir produtos técnica e esteticamente diferenciados, com forte apelo à qualidade. Surgiu, então, a necessidade de inovar tecnologicamente, criando produtos diferenciados, seguros e ecologicamente corretos, e que apresentassem soluções técnicas que atendessem aos apelos dos clientes. Assim, ao longo dos tempos, novas tecnologias têm permitido o desenvolvimento de novos produtos, tais como os de monoqueima, as peças especiais e os produtos de terceira queima, além de, mais recentemente (1984 na Itália e 1996 no Brasil), o grês porcelanato. O grês porcelanato, apesar das suas excelentes propriedades como revestimento cerâmico, quando polido fica sujeito à intrusão de detritos, já que a sua porosidade fechada se torna aberta, o que resulta na diminuição de sua resistência ao manchamento e, por conseguinte da sua classificação de acordo com a norma ISO 10545. Por outro lado, o mercado nacional tradicionalmente tem demonstrado maior preferência por produtos com elevados índices de brilho. Para se obter placas de grês porcelanato com elevados índices de brilho e, ao mesmo tempo, com elevada resistência ao manchamento, pode-se

aplicar uma camada vítrea sobre a superfície das placas para reduzir a porosidade superficial. No entanto, a camada vítrea aplicada apresenta baixa resistência ao risco. Assim, surge um desafio a ser superado, isto é, produzir um produto técnico, de elevado brilho, com elevadas resistências ao risco, manchamento e ao desgaste por abrasão, e que seja agradável esteticamente a um custo compatível.

Seguindo esta tendência de evolução tecnológica, os materiais vitrocerâmicos podem ser uma alternativa importante para a obtenção de placas cerâmicas esmaltadas tecnicamente diferenciadas. De fato, muitos trabalhos de pesquisa sobre materiais vitrocerâmicos foram realizados nos últimos anos²⁻¹⁰, inclusive na área de cerâmica de revestimento^{1,11-12}. Alguns exemplos de sucesso de aplicação de materiais vitrocerâmicos como revestimentos são o produto italiano comercialmente registrado como Enduro (placa cerâmica recoberta com esmalte vitrocerâmico), produzido há mais de 20 anos em um processo denominado Firestream, e o produto japonês sob a marca comercial Neoparies (produto vitrocerâmico sinterizado). Ambos os produtos, apesar do sucesso, são resultados de tecnologias de difícil difusão nos dias atuais. O desenvolvimento de uma solução técnica e tecnologicamente viável para a produção de um revestimento cerâmico, baseado em um material vitrocerâmico, utilizando-se da tecnologia atualmente disponível nas indústrias, poderia permitir um salto em inovação tecnológica, de qualidade e de diferenciação de produto, portanto de competitividade, às empresas brasileiras¹³.

Dentre os vários sistemas vitrocerâmicos investigados, destaca-se o sistema LZS ($\text{Li}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$)¹⁴. Este sistema apresenta algumas propriedades interessantes, devidas às fases cristalinas formadas (silicato de zircônio, ZrSiO_4 , e dissilicato de lítio, $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$), tais como elevadas resistências à flexão, à abrasão e química. Entretanto, as composições pertencentes ao sistema LZS apresentam, em geral, elevados coeficientes de expansão térmica linear ($90-110 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), o que as torna de difícil utilização como esmalte cerâmico. Uma

alternativa, por outro lado, pode ser a utilização de composições vitrocerâmicas do sistema LZSA ($\text{Li}_2\text{O}-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$)¹⁵, as quais apresentam coeficientes de expansão térmica linear (CET) compreendidos entre 46 e $75 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Todavia, este novo sistema apresenta ainda uma baixa resistência ao risco (dureza 6 na escala Mohs). Para superar esta limitação, a utilização de vitrocerâmicos reforçados com partículas cristalinas (compósitos) de elevada dureza pode ser uma solução. De fato, de acordo com trabalhos realizados por Montedo¹⁵, vitrocerâmicos reforçados com partículas de silicato de zircônio ou com alumina ou com quartzo resultaram em materiais com resistência ao risco de até 9 na escala Mohs.

Neste contexto e considerando os requisitos técnicos e estéticos atribuídos a uma placa cerâmica para pavimento e também as exigências do mercado, este artigo reporta os resultados de um trabalho de pesquisa, cujo objetivo principal é o desenvolvimento de uma solução técnica que leva em conta a relação entre a resistência ao desgaste por abrasão e o brilho e o seu entendimento para a obtenção de produtos cerâmicos com propriedades otimizadas e de elevado desempenho para uma aplicação específica.

2. Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho foram formulados e preparados esmaltes constituídos (fração sólida) de uma frita vitrocerâmica do sistema LZSA de composição química molar correspondente a $19\text{Li}_2\text{O} \cdot 8\text{ZrO}_2 \cdot 64\text{SiO}_2 \cdot 9\text{Al}_2\text{O}_3$ e de partículas cristalinas (alumina, silicato de zircônio e quartzo) duras de reforço cujas proporções, definindo-se assim as formulações investigadas, são apresentadas na Tabela 1. A frita vitrocerâmica LZSA, após sinterização no intervalo de temperatura compreendido entre 700 e $900 \text{ }^\circ\text{C}$, apresentou CET entre $52,8$ e $51,4 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ($25-325 \text{ }^\circ\text{C}$), conforme trabalhos prévios realizados pelos autores¹⁷. Os materiais de reforço, de uso industrial e no estado de fornecimento, apresentaram tamanhos médios de partículas, determinados por difração laser (CILAS 1064L), de $75,0 \text{ }\mu\text{m}$ para a alumina (Al_2O_3), $2,7 \text{ }\mu\text{m}$ para o quartzo (SiO_2) e $6,6 \text{ }\mu\text{m}$ para o silicato de zircônio (ZrSiO_4). Maiores detalhes sobre o processamento e as propriedades da frita vitrocerâmica LZSA podem ser obtidos no trabalho de Montedo¹⁵. Em uma etapa sucessiva, os constituintes de cada composição formulada (Tabela 1) foram moídos a úmido, em moinho de laboratório, tal que, após secagem, pós com tamanhos de partículas inferiores a $5 \text{ }\mu\text{m}$ (determinado por difração laser, CILAS 1064L), foram obtidos. Os pós obtidos foram então misturados a um veículo serigráfico, fornecido pela ZSCHIMMER-SCHWARZ, na proporção de 55% em massa, de maneira que pastas serigráficas (esmaltes) foram obtidas e aplicadas sobre placas de grês porcelanato esmaltado brilhante (resistência ao risco de 4 Mohs e CET igual a $64,0 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), utilizando-se diferentes telas serigráficas com malha de 32 mesh para reproduzir o design apresentado na Figura 1, obtida em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Philips XL 30. As aplicações serigráficas dos esmaltes foram realizadas de forma a se obter espessura de camada (h) de, aproximadamente, $75 \text{ }\mu\text{m}$. Subseqüentemente, as placas esmaltadas foram submetidas a secagem em forno de laboratório a $110 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 horas e então tratadas termicamente em um forno elétrico contínuo a rolos de laboratório com ciclo de 41 minutos e temperatura máxima de $880 \text{ }^\circ\text{C}$. Após tratamentos térmicos, as peças, em formatos apropriados,

foram caracterizadas quanto à resistência ao risco conforme NBR 13818/97 – Anexo V, resistência ao desgaste por abrasão superficial (NBR 13818/97 – Anexo D) e resistência ao manchamento (NBR 13818/97 – Anexo G e ISO 10545-14/95). Foi também determinado o brilho das superfícies das placas cerâmicas investigadas (BYK-GARDNER Instruments, modelo Micro Tri-Gloss μ , com ângulo de 60°). Finalmente, as placas cerâmicas, após desgaste superficial, foram avaliadas comparando-se a área de material removido e a área total por meio de software Imago versão 2.1.32 em microscópio ótico (MO), modelo Olympus modelo BX60M.

3. Resultados e Discussão

Apesar dos bons e interessantes resultados obtidos com relação às propriedades intrínsecas do vitrocerâmico LZSA e das misturas de vitrocerâmico LZSA com partículas cristalinas de reforço, conforme o trabalho de Montedo¹⁵, a resistência ao risco e à abrasão superficial dos esmaltes preparados e oportunamente depositados sobre placas de grês porcelanato esmaltadas com esmalte brilhante, não tinham sido avaliadas. Estas composições constituem, portanto, o principal foco de interesse deste trabalho, já que o plano é obter placas cerâmicas esmaltadas, compatibilizando o elevado brilho da camada de esmalte do porcelanato e as boas resistências ao desgaste, mecânica e química das misturas, conforme trabalho prévio de Montedo¹⁵. Neste contexto e procurando otimizar o brilho e as propriedades mecânicas e químicas das misturas preparadas, foram selecionadas, fundamentalmente, as composições P10C e P20C para este estudo.

A Figura 2 mostra micrografias (MEV) das seções transversais de amostras, devidamente tratadas termicamente, referentes às composições P10C, P20C e P20B. A partir da análise das micrografias, pode-se observar que o esmalte vítreo (escolhido) do porcelanato apresenta baixa porosidade, o que é um requisito importante para minimizar a tendência ao manchamento. Nas micrografias das Figuras 2c e d, referentes à composição P20B, pode-se observar que a porosidade e a rugosidade são pronunciadas e por esta razão esta composição não foi selecionada para este estudo, já que a intrusão de detritos e o conseqüente manchamento ficam facilitados neste caso.

A Tabela 2 mostra os resultados de resistência ao risco das composições de esmaltes P (frita vitrocerâmica LZSA), P10C e P20C,

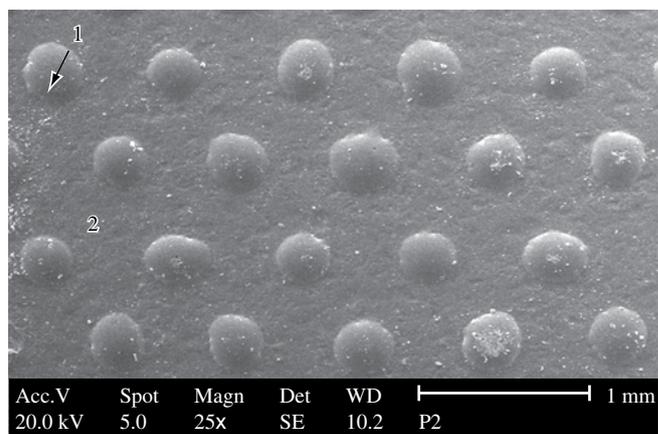


Figura 1. Micrografia (MEV) referente à vista superior de placa cerâmica recoberta com esmalte vitrocerâmico LZSA (1) sobre superfície vidrada (2)^{13,15}.

Tabela 1. Formulações de esmaltes preparadas e investigadas.

Constituintes	Composição (% massa)						
	P	P10A	P20A	P10B	P20B	P10C	P20C
Frita LZSA	100,0	90,0	80,0	90,0	80,0	90,0	80,0
Al_2O_3	0,0	10,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quartzo	0,0	0,0	0,0	10,0	20,0	0,0	0,0
ZrSiO_4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	20,0

aplicadas sobre a superfície do porcelanato esmaltado. A partir da análise da tabela, pode-se observar que há uma tendência ao aumento da resistência ao risco com o aumento da fração de área coberta por esmalte (f_{ac}), dentro do intervalo analisado. Por outro lado, como esperado, o brilho superficial diminuiu com o aumento de f_{ac} , já que os esmaltes compósitos não apresentam brilho apreciável. Entretanto, a composição P, para quaisquer dos valores de livre caminho médio (λ) testados, não apresentou resistência ao risco mínima necessária (>7 Mohs) para os objetivos deste trabalho, não sendo, portanto, utilizada nos experimentos subsequentes, apesar de apresentarem maior brilho. Por outro lado, as composições P10C e P20C apresentaram, sob determinadas condições, valores de resistência ao risco iguais ou superiores a 8 Mohs. Isto significa que, para os valores de altura de aplicação (h) e de diâmetro dos pontos (d_c) utilizados, a aplicação destas composições, com valores de λ que permitiram obter estes valores de resistência ao risco, impediu o contato do material abra-

sivo com a superfície vidrada ou esmaltada, ocorrendo assim, certa proteção da mesma. Isto não significa, entretanto, que estes materiais não tenham sido desgastados, como será visto posteriormente. Para f_{ac} igual a 23,1%, ambas as amostras das composições consideradas apresentaram resistência ao risco em níveis aceitáveis. No entanto, o valor de brilho obtido foi muito baixo, de tal forma que, nestas condições, estas composições foram aprovadas no critério resistência ao risco, mas reprovadas com relação ao brilho. Valores superiores de f_{ac} foram testados, porém não foi alcançada suficiente definição dos pontos aplicados, além de que os valores de resistência ao risco aproximaram-se dos valores das respectivas composições na forma de monólitos e os valores de brilho foram reduzidos drasticamente.

Como já assinalado, os esmaltes das misturas preparadas, após queima, não apresentaram resistência ao risco elevada. Entretanto, sob determinadas condições, amostras contendo a camada de esmalte de proteção da superfície vidrada da placa cerâmica, apresentaram

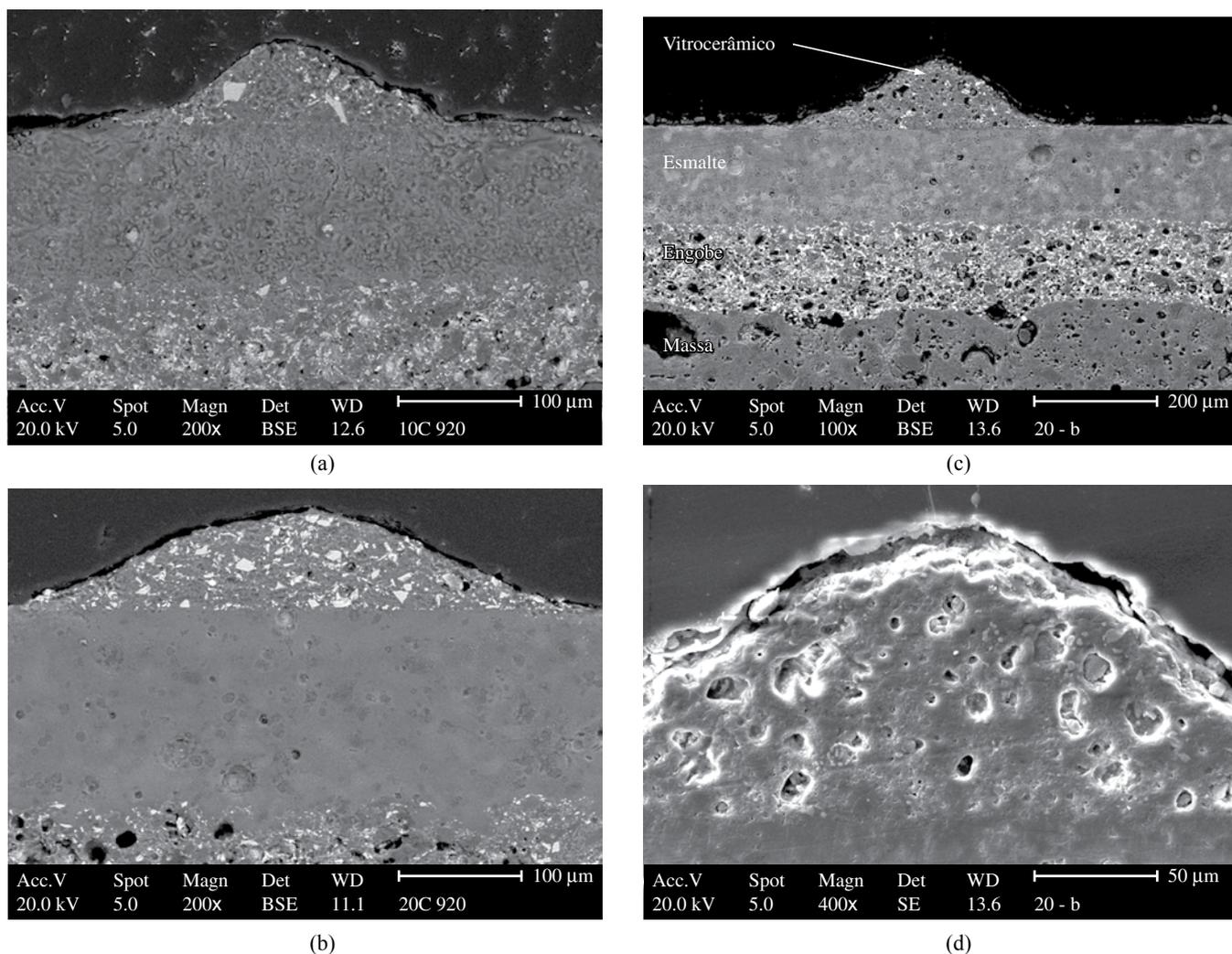


Figura 2. Micrografias (MEV) da seção transversal das composições; a) P10C (200x); b) P20C (200x); c) P20B (100x); e d) P20B (400x). Ataque: HF 2%, 25 s.

Tabela 2. Brilho e resistência ao risco das amostras testadas.

Composição	$\lambda = 0$		$\lambda = 0,248$		$\lambda = 0,353$		$\lambda = 0,605$		$\lambda = 0,678$		$\lambda = \infty$	
	$f_{ac} = 100$		$f_{ac} = 23,1$		$f_{ac} = 19,8$		$f_{ac} = 10,9$		$f_{ac} = 6,1$		$f_{ac} = 0$	
	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
P	8,5	5	69,5	7	73,5	7	77,8	<7	84,8	<7	96,2	4
P10C	3,6	7	33,5	9	52,2	7	59,1	<7	64,3	<7	96,2	4
P20C	6,4	6	42,8	8	71,2	9	72,6	<7	75,8	<7	96,2	4

λ : livre caminho médio, em mm; f_{ac} : fração de área coberta, em %; B: brilho superficial, em unidades de brilho (UB); e M: resistência ao risco na escala Mohs.

elevada resistência ao risco fornecendo, assim, uma efetiva proteção ou atenuação dos efeitos produzidos pelo desgaste. A Figura 3a mostra os sulcos produzidos na camada vidrada, sem a camada de proteção, após ser riscada com o topázio (Mohs 8), enquanto que as Figuras 3b, c e d mostram os riscos produzidos na camada vidrada, com proteção superficial, após ser riscada com o mesmo topázio. As Figuras 3b e c mostram riscos que atravessam toda a extensão da superfície do material, atingindo a superfície vidrada e a camada do esmalte compósito de proteção. Pode-se perceber que a intensidade dos sulcos produzidos na superfície esmaltada (camada de proteção) é muito menor do que aquela provocada pelo mesmo material abrasivo na superfície vidrada sem a camada de proteção, mesmo quando produzidos somente no esmalte de proteção, Figura 3d. De fato, a camada de proteção criou barreiras à ação do material abrasivo, dificultando a visualização a olho nu dos riscos gerados, resultando, desta forma, em elevados valores de resistência ao risco. Assim, a composição P20C com f_{ac} igual a 19,8% ($d_c = 0,316$ mm e $\lambda = 0,353$ mm) foi escolhida e submetida ao desgaste superficial. A composição P20C, aplicada sobre a superfície da placa cerâmica, foi submetida ao ensaio de resistência ao desgaste por abrasão (PEI) por 2.000 giros. A avaliação foi realizada com base na fração de área desgastada (f_{ad}) e os resultados são mostrados na Tabela 3. A partir da análise da tabela, pode-se observar que existe uma tendência de redução de f_{ad} à medida que λ diminuiu (aumento de f_{ac}). A composição P20C, com $\lambda = 0,353$ mm

($f_{ac} = 19,8\%$), apresentou menor f_{ad} dentre as amostras ensaiadas, possivelmente pela redução, de maneira otimizada, do surgimento de tensões residuais críticas que produzem a nucleação e a propagação de trincas laterais¹⁶⁻¹⁷. Isto significa que o valor de λ empregado está contido na faixa ótima em relação à altura de aplicação (h) e o diâmetro dos pontos (d_c) utilizados. Isto é, o valor de f_{ac} de 19,8%, representa não só o valor ótimo da relação resistência ao risco e brilho superficial, mas também a condição que possibilita a obtenção de maior proteção da superfície vidrada dentre os valores testados. Por outro lado, o aumento de f_{ad} para $\lambda = 0,248$ mm ($f_{ac} = 23,1\%$) pode ser explicado pelo aumento acentuado de material abrasivo causando desgaste da superfície vidrada, ocasionado pelo desgaste provocado no próprio material vitrocerâmico. Além disso, a Tabela 3 mostra que para $f_{ac} = 19,8\%$, as composições P e P10C não apresentaram o mesmo desempenho que a composição P20C, resultando

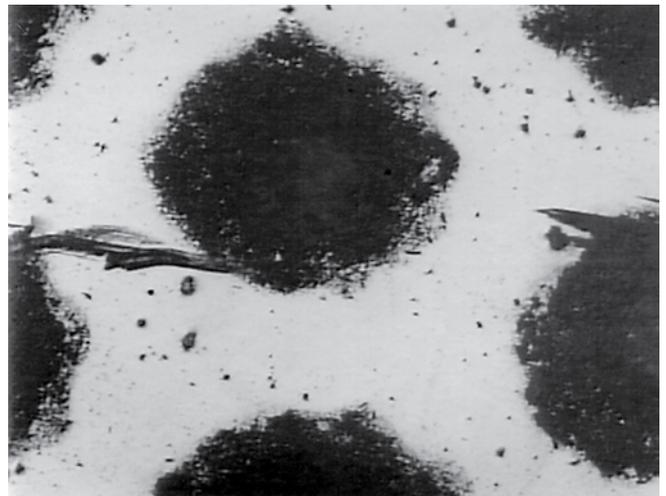
Tabela 3. Fração de área desgastada (f_{ad}) das amostras testadas.

Composição	Fração de área desgastada (%)				
	$\lambda = 0,248$ $f_{ac} = 23,1$	$\lambda = 0,353$ $f_{ac} = 19,8$	$\lambda = 0,605$ $f_{ac} = 10,9$	$\lambda = 0,678$ $f_{ac} = 6,1$	$\lambda = \infty$ $f_{ac} = 0$
P	-	69 ± 4	-	-	77 ± 6
P10C	-	58 ± 1	-	-	77 ± 6
P20C	54 ± 1	44 ± 2	72 ± 5	74 ± 4	77 ± 6

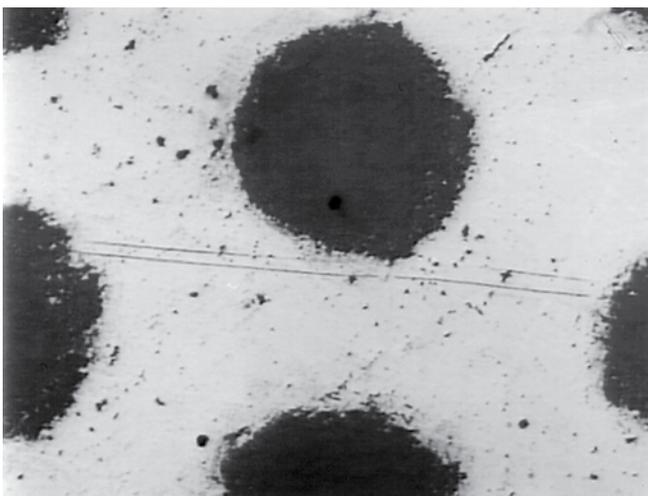
λ : livre caminho médio, em mm; e f_{ac} : fração de área coberta, em %.



(a)



(c)



(b)



(d)

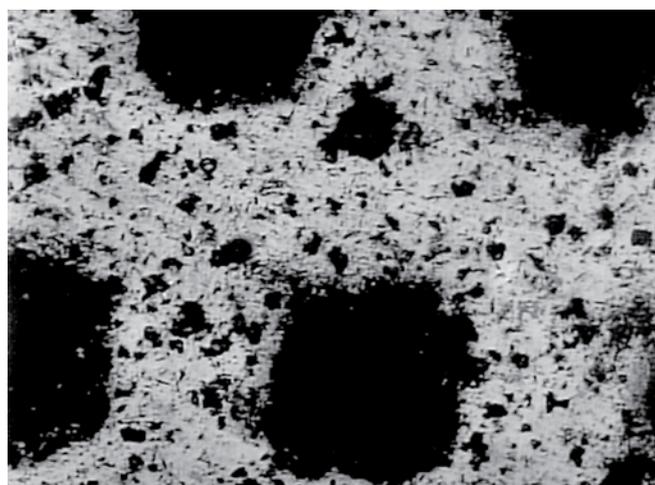
Figura 3. Micrografias (MO) de amostras riscadas com topázio; a) superfície vidrada sem a camada de proteção; b), c) e d) superfície vidrada recoberta com esmalte de proteção P20C aplicado na forma de pontos. Sem ataque. Aumento: 5X.

em maior desgaste superficial da camada vidrada, confirmando os baixos valores de resistência ao risco e de brilho obtidos. De fato, a Figura 4a mostra uma região entre pontos da superfície vidrada de uma amostra contendo a aplicação da composição P20C, com diâmetro de pontos de 0,316 mm e $\lambda = 0,353$ mm ($f_{ac} = 19,8\%$) após ter sido submetida a 2.000 giros no equipamento de abrasão. Nesta mesma figura é possível observar ainda o aspecto e o mecanismo de desgaste predominante em uma superfície vidrada de um revestimento cerâmico. A superfície vidrada em análise é amorfa e o processo de fratura ocorre de maneira frágil, isto é, com pouca ou nenhuma deformação plástica, e em duas etapas: nucleação e propagação da trinca até a fratura final⁴. Neste caso, a aparência da fratura superficial é denominada concoidal. Oliveira¹⁶⁻¹⁷ estudou o mecanismo de fratura frágil em vidrados cerâmicos e demonstrou que esta ocorre com a formação de crateras pela propagação de trincas laterais, evidenciando a similaridade entre o modelo de fratura produzida por um indentador e o produzido em um vidrado após processo de abrasão.

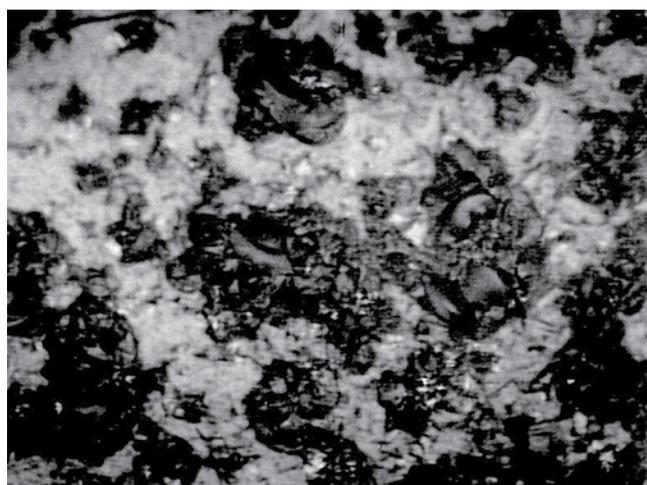
A Figura 5 mostra a evolução do desgaste pelo qual passou a camada vidrada contendo a aplicação da composição P20C na forma de pontos com $\lambda = 0,353$ mm ($f_{ac} = 19,8\%$), submetida a diferentes níveis de abrasão, traduzidos em número de giros (N). Na Figura 5a pode-se observar a existência de uma trinca e de lascamentos provocados pelo desgaste abrasivo. Na seqüência, a 300 giros, a quantidade de

material removido aumenta consideravelmente. O processo evolui até que a 6.000 giros a superfície está completamente desgastada e, conseqüentemente, o brilho superficial é quase nulo.

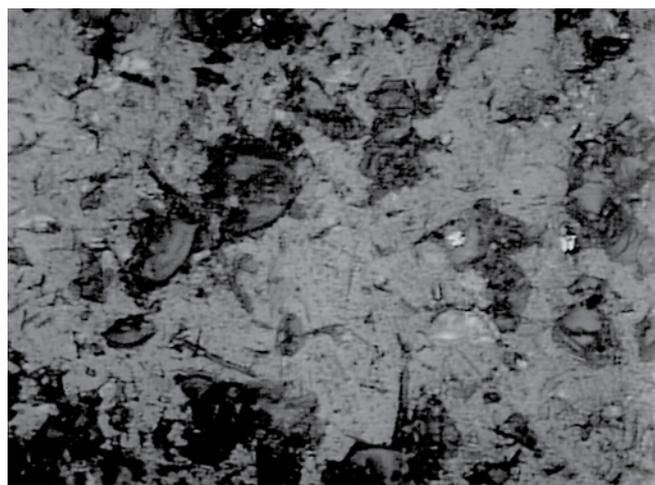
A Figura 6 mostra a evolução do desgaste ocorrido e do brilho resultante de amostras com pontos de esmalte da composição P20C. Como esperado, com o aumento de N a quantidade de material removido aumentou e o brilho diminuiu. Entretanto, a partir de 2.000 giros, a quantidade de material removido da superfície passa a ser excessivamente elevada, comprometendo o brilho superficial. Este ponto (interseção) poderia representar a vida útil do material. É importante destacar (Figura 7) o efeito provocado pela presença do esmalte de proteção da superfície vidrada, Figura 7a, em relação à camada vidrada sem proteção, Figura 7b. Pode-se perceber ainda, pela análise da Figura 7a, que a área desgastada por abrasão ($f_{ad} = 44\%$) é significativamente inferior àquela referente à superfície protegida ($f_{ad} = 77\%$). Isto significa que a vida útil do revestimento cerâmico, em relação às características superficiais iniciais, pode praticamente ser dobrada pelo uso da camada de proteção, de acordo com o gráfico da Figura 6. Considerando-se o melhor resultado (otimizado) da relação resistência ao risco, brilho superficial e desgaste da composição P20C, $\lambda = 0,353$ mm ($f_{ac} = 19,8\%$), a resistência à abrasão PEI foi avaliada. O revestimento cerâmico tipo grês porcelanato esmaltado, cuja camada vidrada era brilhante e branca, contendo uma proteção da composição P20C aplicado na forma de pontos circulares, foi ca-



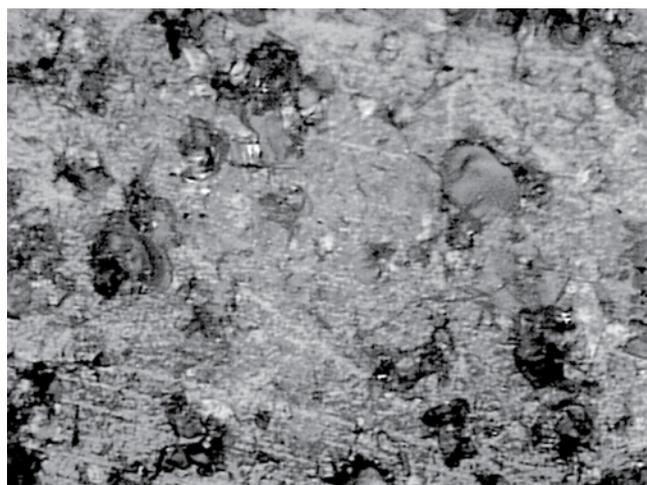
(a)



(c)



(b)

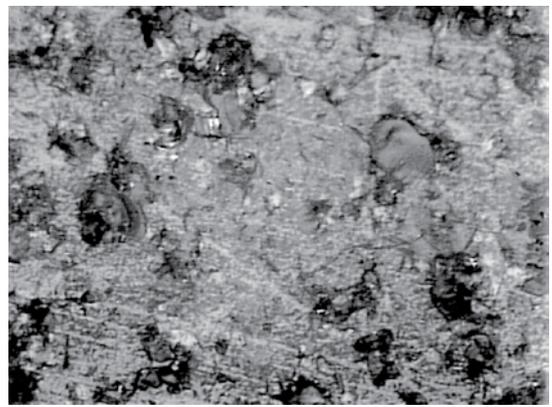


(d)

Figura 4. Micrografias (MO) de superfícies vidradas com aplicação de esmaltes de proteção na forma de pontos, após 2.000 giros no equipamento de abrasão; a) P20C (5x); b) P (20x); c) P10C (20x); e d) P20C (20x). Sem ataque.



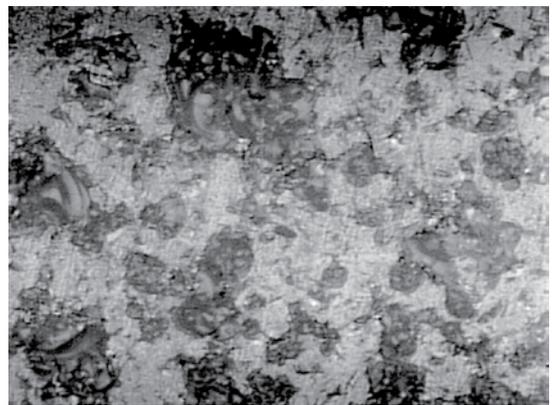
(a)



(e)



(b)



(f)



(c)



(g)



(d)



(h)

Figura 5. Micrografias (MO) de superfícies vidradas com aplicação de esmalte de proteção (P20C) na forma de pontos, após N ciclos de abrasão; a) 150 giros; b) 300 giros; c) 800 giros; d) 1.000 giros; e) 2.000 giros; f) 3.000 giros; g) 4.000 giros; e h) 6.000 giros. Sem ataque.

racterizado como PEI 5, conforme norma NBR 13818/97 – Anexo D, não sendo a marca de desgaste visível depois de 24.000 giros de abrasão, embora tenha sido classificada como Classe 4 em relação à resistência ao manchamento. Apesar deste valor de resistência ao manchamento, as características finais do produto já o destacariam comercialmente.

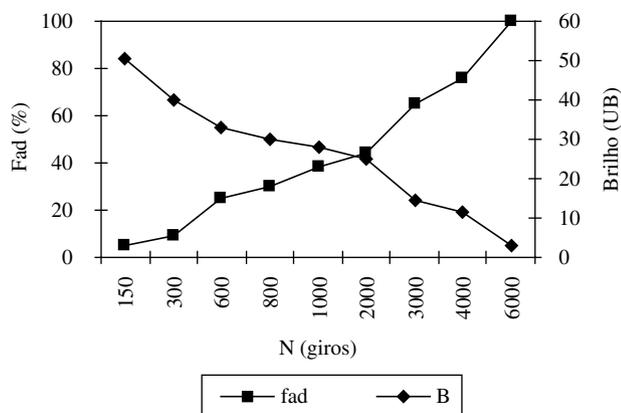
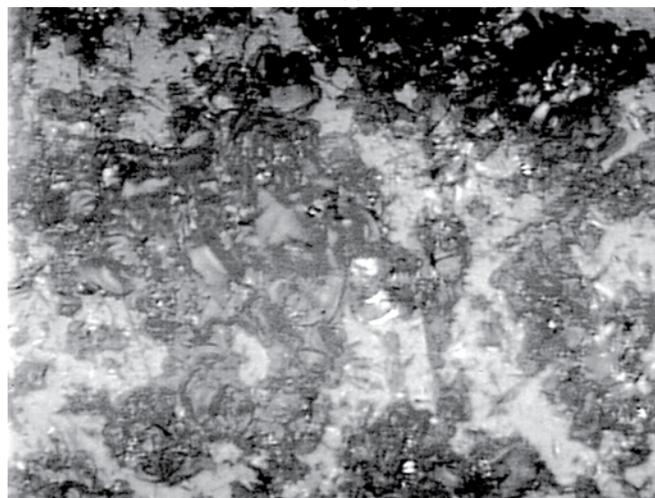


Figura 6. Evolução do desgaste e do brilho de amostra vidrada e recoberta como o esmalte de proteção P20C na forma de pontos.



(a)



(b)

Figura 7. Micrografias (MO) de superfícies vidradas com aplicação de esmalte de proteção (P20C) na forma de pontos, após 2.000 giros no equipamento de abrasão; a) com a camada de proteção; e b) sem a camada de proteção. Aumento: 20x.

4. Conclusões

Revestimento cerâmico tipo grês porcelanato esmaltado e recoberto com camada de esmalte para proteção da superfície vidrada, com resistência ao risco 4 Mohs e brilho igual a 96,2 UB, foi obtido e caracterizado.

Os melhores resultados foram obtidos com a composição P20C aplicada como camada de proteção na forma de pontos circulares, que possuíam diâmetro de ponto (d_p) de 0,316 mm e altura (h) de 0,075 mm, dispostos com livre caminho médio (λ) igual a 0,353 mm e fração de área coberta (f_{ac}) de 19,8%. Desta forma, o produto final alcançou resistência ao risco 9 Mohs e brilho superficial de 71,2 UB.

Foi constatado que o aumento da resistência ao risco ocorreu devido ao fato que a camada de proteção, nas condições de aplicação descritas anteriormente, dificultou o contato do corpo abrasivo com a superfície vidrada, de forma que os riscos gerados foram de tal ordem de grandeza que não foram observados a olho nu.

Após 2.000 giros no abrasímetro PEI, o material apresentou 44% da área vidrada removida e brilho de 25 UB, sendo este o limite de durabilidade do mesmo e representando cerca de duas vezes a durabilidade da camada vidrada sem a camada de proteção.

Desta forma, foi obtido um revestimento cerâmico do tipo grês porcelanato brilhante (71,2 UB), com elevada resistência ao risco (9 Mohs), elevada resistência à abrasão (PEI 5) e boa resistência ao manchamento (Classe 4).

Agradecimentos

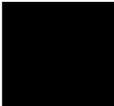
Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES.

Referências

- Leonelli, C.; Manfredini, T. Vidrados Vitrocerâmicos para Queima Rápida. **Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 3, p. 31-34, jul./ago., 1996.
- Beall, G. H. **Glass-Ceramics**. In: Boyd, D. C.; Macdowell, J. F. *Advances in Ceramics*. Columbus, The American Ceramic Society, Inc., v. 18, p. 157-173, 1986.
- Folgueras, M. V. Obtenção de Vitrocerâmicos Sinterizados a Partir da Combinação de Escórias Siderúrgicas e Cinzas Volantes. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001. 144 p.
- Kingery, W. D.; Bowen, H. K.; Uhlmann, D. R. **Introduction to Ceramics**. 2. ed., New York, John Wiley & Sons, 1976, 1032 p.
- Manfredini, T.; Pellacani, G. C.; Rincon, J. M. **Glass-Ceramic Materials: Fundamentals and Application**. Mucchi Editore, Modena-Italy, 1997, 250 p.
- Navarro, J. M. F. **El Estado Vítreo y la Estructura de los Vidrios**. El Vidrio. 2. ed., Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1991, p. 47-123.
- Paul, A. Glass Formation. **Chemistry of Glasses**. London, Chapman and Hall, cap. 1, p. 1-15, 1990.
- Silveira, C. B. da. Obtenção e Caracterização Físico-Química de Vidros e Vitrocerâmicos Baseados no Sistema $Li_2O-ZrO_2-BaO-SiO_2$. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001, 76 p.
- Strnad, Z. **Glass-Ceramic Materials: Glass Science and Technology**; v. 8, 1. ed. Elsevier, New York, 1986. 268 p.
- Varshneya, A. K. **Fundamentals of Inorganic Glasses**. New York, Academic Press, Inc., 1994. 570 p.
- Barbieri, L. et al. Glass-Ceramics as Tile Glazes. In: MANFREDINI, T.; PELLACANI, G. C.; RINCON, J. M. **Glass-Ceramic Materials: Fundamentals and Application**. Mucchi Editore, Modena-Italy, 1997. p. 201-211.
- Rincon, J. M.; Romero, M. **Glass-Ceramics as Building Materials. Materiales de Construcción**, v. 46, n. 242-243, p. 91-106. 1996.

13. Oliveira, A. P. N.; Montedo, O. R. K. Esmaltes Vitrocerâmicos: Características e Soluções Técnicas. **Cerâmica Industrial**, v. 12 n. 3, maio/jun., 2007.
14. Oliveira, A. P. N. Progettazione, Caratterizzazione ed Ottenimento di Vetri-Vetroceramici Appartenenti al Sistema $\text{Li}_2\text{O-ZrO}_2\text{-SiO}_2$. PhD Thesis in Materials Engineering, Faculty of Engineering, University of Modena – Italy. 94 p. (In Italian).
15. Montedo, O. R. K. Projeto, Caracterização e Preparação de Camada de Proteção para Revestimento Cerâmico Constituída por Vitrocerâmico do Sistema LZSA. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 140 p.
16. Oliveira, A. P. N. et. al. Effect of the volumetric fraction and particle size on the abrasive wear mechanism in ceramic glazes. **International Ceramics Journal** (Gruppo Editoriale Faenza Editrice SpA) ITSE EDITION, Italia, p. 11-17, apr. 1995.
17. Oliveira, A. P. N. et. al. Effetto della Frazione Volumetrica e delle Dimensioni delle Particelle sul Meccanismo di Usura per Abrasione in Smalti Ceramici. **Ceramica Informazione** (Gruppo Editoriale Faenza Editrice SpA) Italia, n. 347 p. 78-84, febr. 1995.



 Faenza Editrice
do Brasil Ltda.

Faenza Editrice do Brasil Ltda.
Tel. 55 19 3533.5047 / Fax. 55 19 3532.1389
Av. Visconde de Rio Claro nº 1.082 - Centro - Rio Claro-SP - CEP. 13500-580