

## Avaliação do desgaste de porcelanatos esmaltados polidos

Isaura Morona Zaccaron <sup>1</sup>, Laura Savi Rosso <sup>1\*</sup>; Juliana de Oliveira Menegon <sup>1</sup>; Aline Demarch <sup>1</sup>; Angela Waterkemper Vieira <sup>1</sup>; Pâmela Milak <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eliane Revestimentos Cerâmicos, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, 88845-000, Santa Catarina

<sup>2</sup> Instituto Maximiliano Gaidzinski, Rua Edson Gaidzinski 352, Cocal do Sul, 88845-000, Santa Catarina

\*e-mail: laurasavirrosso@hotmail.com

### Resumo

O Brasil destaca-se como o terceiro maior produtor global de revestimentos cerâmicos, ampliando a diversidade e qualidade desses materiais ao longo do tempo. A durabilidade comprovada faz das cerâmicas uma escolha popular para aplicações em pisos, paredes e fachadas, tanto em ambientes internos quanto externos. O porcelanato, conhecido por sua baixa absorção de água e alta resistência mecânica, tem crescido no mercado, especialmente com a introdução do porcelanato esmaltado polido, que apresenta efeitos decorativos e superfícies polidas. No entanto, desafios, como a abrasão superficial ao longo do tempo, têm levado os fabricantes a buscarem soluções para atender às demandas dos consumidores. Desta forma, este estudo tem como objetivo analisar a perda de brilho e massa na superfície do porcelanato esmaltado polido, buscando compreender a relação entre desgaste, quantificado pela perda de massa e brilho, e a percepção visual do material. Para isso, peças de porcelanato esmaltado polido produzidas industrialmente foram coletadas e submetidas aos testes. O desgaste superficial foi induzido por abrasão usando um abrasímetro Gabrielli, conforme ABNT NBR ISO 10545-7, com ciclos de 25 giros, progredindo até 4.000 giros. As amostras foram avaliadas visualmente e submetidas a medições de massa e brilho em Unidades de Brilho (UB). Os testes foram conduzidos em triplicata, com dados analisados pela média das medições. Equações matemáticas foram desenvolvidas para modelar o fenômeno. Os resultados indicam uma perda significativa de brilho nos produtos até 3.000 giros, destacando a sensibilidade desse atributo à abrasão superficial. Por outro lado, o teste de perda de massa, embora informativo, revela limitações de precisão devido à pequena quantidade de massa perdida em cada ciclo de abrasão, dificultando a quantificação precisa. A modelagem por meio de equações permitiu criar um modelo médio que representa a perda de brilho e massa para essa tipologia de produto. Essa abordagem pode ser estendida a outras tipologias, sujeitas a testes semelhantes, proporcionando uma ferramenta valiosa para compreender e prever o comportamento desses materiais diante da abrasão superficial.

**Palavras-chave:** Desgaste; abrasão superficial; porcelanato polido.

### 1. INTRODUÇÃO:

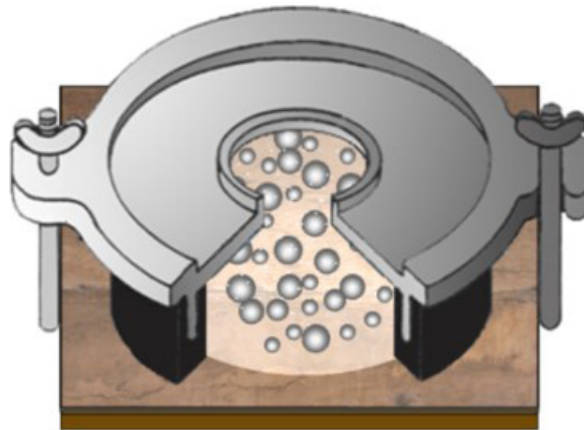
O Brasil possui uma grande representatividade no setor de revestimentos cerâmicos, posicionando-se como o terceiro maior produtor global [1][2][3]. Ao longo do tempo, a diversidade e qualidade desses materiais têm crescido, impulsionando a utilização de cerâmicas para revestimento em diversas aplicações, como pisos, paredes e fachadas. A durabilidade comprovada ao longo dos séculos faz dos materiais cerâmicos uma escolha adequada para ambientes internos e externos [4].

Dentro desse contexto, o porcelanato, produzido a partir de matérias-primas nobres, caracteriza-se por baixa absorção de água e alta resistência mecânica, experimentando um progressivo crescimento [5].

Recentemente, o mercado testemunhou a introdução do porcelanato esmaltado polido, uma inovação que consiste na aplicação de uma camada de esmalte sobre a peça. Esse processo permite a criação de diversos efeitos decorativos na superfície do porcelanato, enquanto o polimento em peças sinterizadas busca reduzir a rugosidade e intensificar o brilho, características esteticamente valorizadas pelos consumidores.

Entretanto, ao longo do tempo, o porcelanato enfrentou desafios relacionados ao desgaste, especialmente a abrasão superficial durante o uso, levando os fabricantes a buscarem maneiras de desestimular a demanda por esse tipo de produto. A abrasão superficial é uma característica crucial na especificação de pisos cerâmicos, variando desde a capacidade de suportar tráfego intenso em ambientes industriais até a resistência em áreas de menor fluxo, como banheiros residenciais [6].

O procedimento de teste de abrasão superficial em revestimentos cerâmicos adota a metodologia normatizada pela ISO 10545-7, que compreende a exposição da superfície cortada de amostras a uma carga abrasiva. Essa carga é constituída por esferas de aço, coríndon e água, aplicada por meio de um abrasímetro padronizado. Este instrumento executa movimentos rotativos, caracterizados pelo deslocamento circular de um objeto em torno de um ponto de rotação, sendo este o centro das esferas abrasivas conforme ilustrado na Fig.1 [7][8].



**Figura 1.** Representação da rotação de desgaste em um produto cerâmico [6]

O resultado obtido é expresso numa escala denominada PEI (Porcelain Enamel Institute) que varia de 0 a 5 conforme indicado na Tab.1. Essa classificação é essencial para descrever a resistência ao desgaste superficial do esmalte presente na placa cerâmica, influenciado pelo trânsito de pessoas e contato com objetos, proporcionando uma avaliação abrangente da durabilidade do material em condições de uso cotidiano [8].

**Tabela 1.** Classe de abrasão (PEI) [7]

Estágio de abrasão em que o efeito é observado (ciclo)	Classe de abrasão (PEI)
100	0
150	1
600	2
750, 1500	3
2100, 6000, 12000	4
> 12000	5

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a perda de brilho e massa na superfície do porcelanato esmaltado polido, explorando a relação entre o desgaste, quantificado pela perda de massa e brilho, e a percepção visual do material.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

O trabalho é dividido em cinco etapas principais, conforme o fluxograma mostrado na Fig.2, que ilustra as atividades desenvolvidas.



**Figura 2.** Fluxograma das etapas do desenvolvimento do trabalho

### 2.1. Seleção das amostras:

Foram coletadas peças produzidas em escala industrial de dois diferentes produtos da tipologia de porcelanato esmaltado polido, de diferentes unidades produtoras. As amostras selecionadas foram denominadas como produto A e B. Após a seleção e coleta dos materiais, três amostras de cada produto foram cortadas em amostras de 10 × 10 mm, com o objetivo de realizar os testes em triplicata.

### 2.2. Ensaio de desgaste:

O desgaste das superfícies dos corpos de prova e a análise visual deles foram deliberadamente induzidos por meio de testes de abrasão superficial utilizando um abrasímetro da marca Gabrielli, conforme especificado pela ABNT NBR ISO 10545-7. O procedimento consistiu em ciclos de 25 giros de abrasão, nos quais, a cada intervalo, as amostras foram submetidas à secagem em estufa em preparação para avaliações subsequentes, conforme explicado adiante.

Conforme mencionado anteriormente, o ensaio de abrasão superficial foi conduzido em incrementos de 25 giros até atingir 3.000 giros. Após esse ponto, a frequência foi ajustada para ciclos de 50 giros, continuando até atingir 4.000 giros. A decisão de encerrar o ensaio com 4.000 giros foi baseada em estudos bibliográficos que indicaram uma estabilização na perda de brilho das superfícies cerâmicas entre 3.000 e 4.000 giros [6]. Essa constatação foi corroborada pelos resultados obtidos neste trabalho, conforme será apresentado na seção dedicada aos resultados.

### 2.3. Caracterização superficial:

Os testes de caracterização compreenderam principalmente a determinação da massa dos corpos de prova e a medição do brilho. A determinação da massa foi efetuada tanto antes da submissão dos corpos de prova ao ensaio de abrasão superficial quanto após cada ciclo de 25 ou 50 giros, conforme o caso. As medições foram realizadas em uma balança de precisão (Marte), com uma resolução de 0,001 g. Antes de cada medição de massa, os corpos de prova foram colocados em estufa por 24 horas para remover qualquer umidade absorvida durante o ensaio de abrasão superficial, possibilitando a quantificação de material removido pelo desgaste resultante do ensaio.

A avaliação do brilho seguiu um procedimento semelhante. Utilizou-se glossímetro (Konica Minolta BE110411) com o ângulo de 60°, que mensura o brilho em Unidades de Brilho (UB). Para realizar a medição, as amostras foram limpas com flanela e álcool etílico, e foram conduzidas três medições em cada corpo de prova.

A análise visual foi conduzida de acordo com as diretrizes da ABNT NBR ISO 10545-7, utilizando uma caixa de avaliação, além de uma análise visual direta. Durante esta análise, os corpos de prova foram posicionados a aproximadamente 30 cm dos olhos, permitindo a identificação de possíveis diferenças de brilho e cor entre as áreas desgastadas e não desgastadas.

### 2.4. Análise estatística:

Conforme já citado os testes foram realizados em triplicata, ou seja, 3 corpos de prova de cada produto foram analisados, dessa forma a análise dos dados foi realizada por meio da média das medições desses 3 corpos de prova.

A perda de massa foi analisada em termos de diminuição de massa em gramas, já que a massa é uma propriedade intensiva. A perda de brilho foi analisada em percentual, já que o brilho é uma propriedade extensiva dos corpos de prova.

Após o tratamento dos dados, conforme descrito, foi modelado o fenômeno de perda de massa e perda de brilho por meio de equações matemáticas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

#### 3.1. Perda de massa e brilho:

A representação gráfica das Fig.3 e Fig.4 fornece uma visualização clara dos resultados obtidos em relação à perda de massa e brilho resultantes da abrasão das amostras ensaiadas dos produtos A e B respectivamente. Em ambos os gráficos, os pontos azuis ilustram de maneira precisa a variação da perda de massa à medida que o número de giros de abrasão superficial aumenta, este comportamento também foi observado no estudo de [7], o qual indica que a abrasão pode influenciar significativamente a perda de cor e brilho das cerâmicas [9]. Por sua vez, os pontos vermelhos mostram o percentual de perda de brilho ao longo dos giros de abrasão.

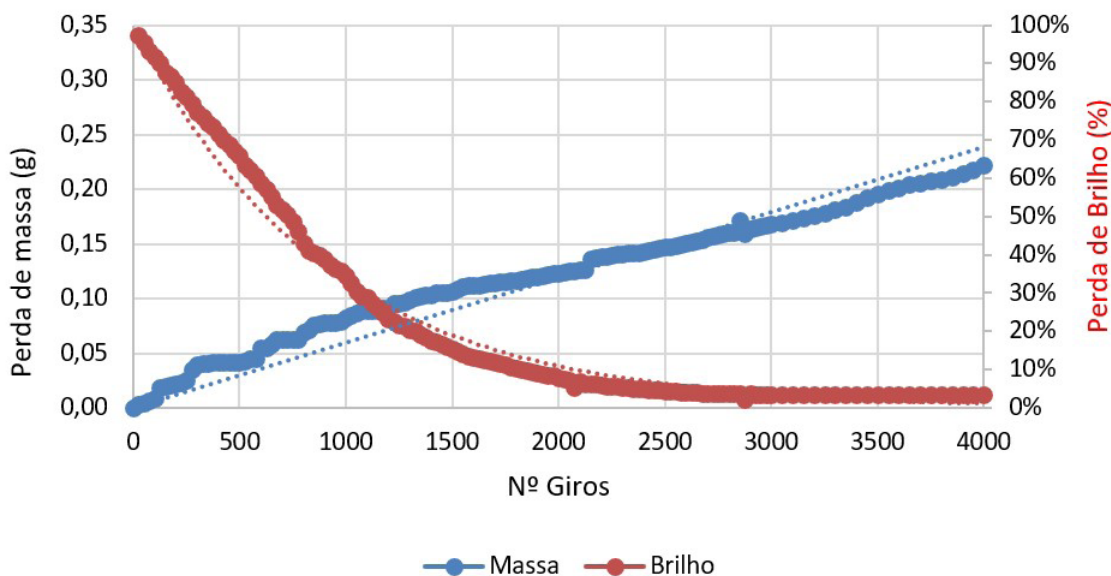


Figura 3. Perda de massa e brilho. Produto A

A Fig.3 mostra uma análise detalhada da perda de massa e brilho do produto A, inicialmente exibindo 94 UB, conferindo-lhe um brilho superior ao produto A. Pode-se perceber que a perda de brilho segue uma trajetória exponencial, atingindo seu ponto mínimo após 3.000 giros de abrasão.

Com relação à perda de massa, embora essa tenha se manifestado de forma linear, observou-se uma considerável variação nos valores entre os três corpos de prova testados. Isso se deve, em grande parte, ao grande desvio padrão nas medidas, especialmente nos ciclos iniciais de abrasão, com valores máximos variando de 0,012 g a 0,015 g de desvio. Essa amplitude é considerável em comparação com a grandeza das medidas de perda de massa. Tal fenômeno é explicado pela pequena perda de massa nas amostras, principalmente no início dos testes, onde a balança de 0,001 g pode não fornecer a resolução necessária para uma medição precisa. Este fato destaca a sensibilidade da instrumentação utilizada, revelando a importância de considerar essa limitação ao interpretar os resultados obtidos.

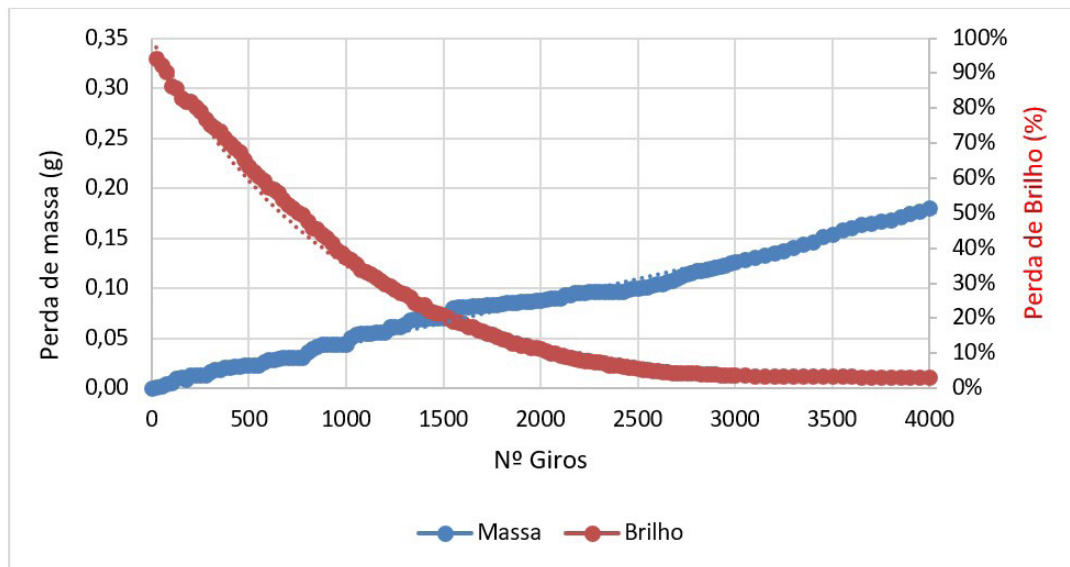


Figura 4. Perda de massa e brilho. Produto B

A Fig.4 mostra a perda de massa e brilho do produto B. Esse produto possuía 87 UB antes do processo de abrasão, valor consideravelmente menor que o do produto A, porém o comportamento foi muito semelhante no que diz respeito à tendência de perda de massa e brilho.

**3.2. Modelos matemáticos:**

A partir dos gráficos construídos por meio dos pontos experimentais foi possível chegar à equação que representa o fenômeno em questão. Conforme discutido, a perda de massa ocorre de forma linear seguindo a equação:

$$y=a.x+b \tag{1}$$

Onde: y = perda de massa (g); x = número de giros; a = coeficiente angular da reta; b = coeficiente linear da reta.

No caso estudado, o valor de b é igual a zero, pois sempre que o número de ciclos de abrasão, representado por x, for igual a zero, não há desgaste, o valor de perda de massa, representado por y, será igual a zero. A Tab.2 mostra a equação que descreve o fenômeno de perda de massa para cada produto testado, bem como o valor de R<sup>2</sup> de cada equação.

Tabela 2. Modelo de regressão para a perda de massa

Produto	Equação	R <sup>2</sup>
A	y=0,000060x	0,93
B	y=0,000044x	0,98

Quanto maior for o coeficiente angular da equação, coeficiente representado por “a”, mais rápida é a perda de massa do produto estudado. Os valores de “a” são pequenos, pois a perda de massa também é muito pequena no decorrer dos testes de abrasão.

O produto A apresentou perda de massa mais rápida que o produto B, conforme pode ser observado pelo coeficiente angular, que no produto A, é em média 20% maior que no produto B.

A Tab.3 mostra a equação da evolução do brilho no decorrer dos ciclos de abrasão. A equação mostra a tendência exponencial do comportamento do brilho:

$$y=e^{k.x} \tag{2}$$

Onde: y = evolução do brilho (%); x = número de giros; k = valor real; e = neperiano/nº de Euler.

Sempre que o número de giros for igual a 0, não há desgaste, o valor da evolução do brilho “y”, será igual a 1, ou seja, o brilho não teve nenhuma alteração, está com 100% do valor original.

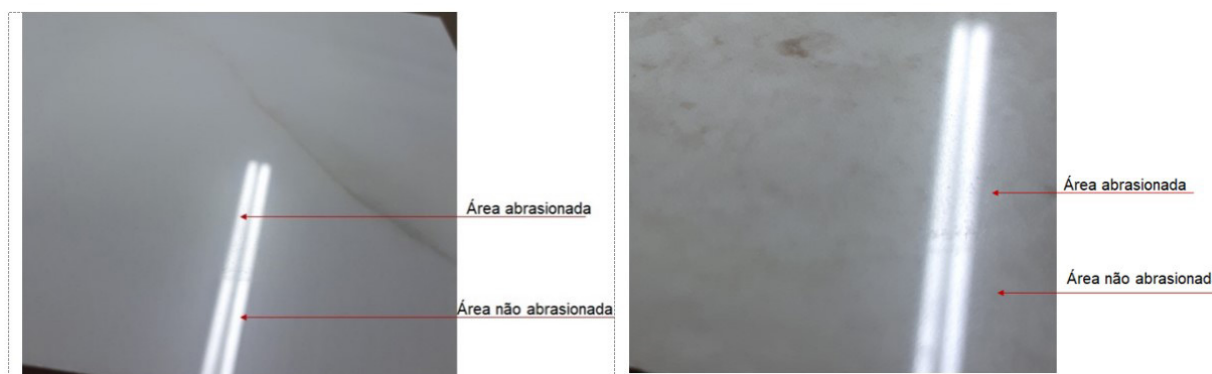
Quanto mais acentuada é a inclinação das curvas exponenciais, maior é a velocidade da perda de brilho, portanto quanto maior for o módulo de “k”, mais acentuada é a inclinação da curva.

**Tabela 3.** Modelo de regressão para a perda de brilho

Produto	Equação	R <sup>2</sup>
A	$y=e^{-0,001108x}$	0,93
B	$y=e^{-0,001043x}$	0,97

### 3.3. Análise visual:

Analisando visualmente, as amostras dos dois produtos apresentaram leves sinais de alteração no brilho com 175 giros de abrasão. A Fig.5(a) apresenta o produto A que apresentou 87% do seu brilho original após 175 giros.



**Figura 5.** Evolução do brilho com 175 giros: (a) Produto A; (b) Produto B

A Fig.5(b) mostra a comparação entre a área abrasionada e não abrasionada do produto B, que apresentou 82% do brilho inicial após a abrasão. A maior diferença percebida está na forma como a luz é refletida, sendo muito mais difusa na parte abrasionada.

Na avaliação convencional conforme a ABNT NBR ISO 10545-7, tanto o produto A quanto o produto B apresentaram classe de PEI igual a 4. Isso comprova que a classificação de PEI é capaz de identificar alterações visuais na superfície, como por exemplo, a perda de brilho mostrada anteriormente, conforme também constatado por [10].

### 4. CONCLUSÕES:

A resistência à abrasão em revestimentos cerâmicos é crucial devido à sua influência direta na aparência da superfície, uma característica de grande relevância. A análise dos resultados revela que, nos produtos testados, o desgaste provocado pela abrasão em porcelanatos polidos ocasiona variações na perda de massa e brilho conforme o aumento do número de giros de abrasão superficial. Enquanto a perda de massa segue um comportamento linear, a perda de brilho é exponencial.

A linearidade na perda de massa, entretanto, é acompanhada por grande variação entre os três corpos de prova, especialmente nos ciclos iniciais, devido ao expressivo desvio padrão nas medidas. A limitação da balança de 0,001g no início dos testes destaca a sensibilidade da instrumentação, enfatizando a importância de considerar essa restrição na interpretação dos resultados.

A construção de modelos matemáticos a partir dos pontos experimentais permitiu representar matematicamente o fenômeno, possibilitando a modelagem de uma equação média para a perda de brilho e massa desse tipo de produto. Essa abordagem pode ser replicada em outras tipologias por meio de testes similares.

Visualmente, ambas as amostras apresentaram leves alterações no brilho após 175 giros de abrasão, com a diferença mais perceptível na forma como a luz é refletida, tornando-se mais difusa na área abrasada.

A avaliação conforme a ABNT NBR ISO 10545-7 revela que os produtos A e B mantêm a classe de PEI igual a 4, validando a capacidade dessa classificação em identificar alterações visuais na superfície, como a previamente destacada perda de brilho. Em suma, os resultados oferecem insights valiosos sobre o desempenho desses revestimentos cerâmicos frente à abrasão, fornecendo subsídios para aprimoramentos e desenvolvimentos futuros.

**AGRADECIMENTOS:**

Os autores agradecem ao Colégio Maximiliano Gaidzinski e ao Departamento de Garantia da Qualidade da Empresa Mohawk Brasil, bem como aos seus colaboradores, pela disponibilização dos equipamentos, colaboração e orientação.

**REFERÊNCIAS:**

[1] Morfino A, Gediga J, Harlow K, Mazzanti B, 2022. Life cycle assessment comparison between zircon and alumina sand applied to ceramic tiles. *Cleaner Engineering and Technology* 6, 100359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100359>

[2] Anfacer, 2022. Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica. <https://www.anfacer.org.br/>

[3] Lu Q, Lin J, Luo L, Zhang Y, Zhu W, 2022. A supervised approach for automated surface defect detection in ceramic tile quality control. *Advanced Engineering Informatics* 53, 101692. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2022.101692>

[4] Silva M N P, Silva M N P, Barrionuevo B U S, Feitosa I M, Silva G S, 2015. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. *Ciências Exatas e Tecnológicas* 2, 3, 87-97.

[5] Ochen W, D'ujanga F M, Oruru B, Olupot P W, 2021. Physical and mechanical properties of porcelain tiles made from raw materials in Uganda. *Results in Materials* 11, 100195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rinma.2021.100195>

[6] Demarch A, 2019. Análise da relação entre rugosidade superficial e resistência ao escorregamento de revestimentos cerâmicos submetidos ao desgaste. Criciúma: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

[7] NBR 10545-7, 2017. Placas Cerâmicas. Parte 7: Determinação da resistência à abrasão superficial para placas esmaltadas. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[8] Sousa L C, Félix M R, 2021. Avaliação das manifestações patológicas em pisos cerâmicos utilizando o método de mensuração de degradação (MMD). Brasília: Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.

[9] Ramos N C, Augusto M G, Alves L M M, Kleverlaan C J, Dal Piva A M O, 2023. Wear of dental ceramics. *Brazilian Dental Science* 26, 1, 1-18. <http://dx.doi.org/10.4322/bds.2023.e3638>

[10] Oliveira A P N, Alarcon O E, 2011. Desgaste por abrasão de esmaltes cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 16, 3, 17-24.