

Influência da etapa de prensagem e pré-esmaltação na rugosidade superficial de placas cerâmicas de monoporosa

Monique Farias, Laura Savi Rosso^{a*}, Maria Laura Mezzari Mariot^a, Natalia da Coreggio Redivo^a, Aline Bartosiak Rodrigues Peruchi^a, Aline Ribeiro^a, Aline Demarch^a, Angela Waterkemper^a

^aMohawk Brasil, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, Santa Catarina, Brasil

*e-mail: laurasavirrosso@hotmail.com

Resumo

A rugosidade superficial das peças cerâmicas é um fator crucial para a percepção de qualidade do produto final, afetando propriedades ópticas, durabilidade e facilidade de limpeza. Essa característica pode ser significativamente afetada pela granulometria do pó atomizado cerâmico, as condições de prensagem do material e a aplicação de engobes e esmaltes. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo principal analisar a influência da dureza e da camada de resina que reveste o punção da prensa, bem como o papel da escova utilizada na pré-aplicação do esmalte, na rugosidade de placas cerâmicas de monoporosa. Para isso, foram realizadas três análises de rugosidade principais: a primeira variou a dureza dos punções, comparando punções com resina de dureza 94-95 Shore e 96-97 Shore. A segunda análise investigou a influência do lixamento do substrato cerâmico e a variação da camada de resina dos punções. Por fim, a terceira análise comparou punções com camada de resina de 700 μm e punções com micro camada de resina (300 μm). Os resultados indicam que a dureza do punção, o lixamento do substrato e a espessura da camada de resina desempenham papéis importantes na melhoria da qualidade das superfícies cerâmicas, sendo a medição da rugosidade essencial para garantir um acabamento de alto padrão nas peças cerâmicas. A implementação desses parâmetros no controle de qualidade pode contribuir para a produção de revestimentos cerâmicos com características otimizadas, alinhadas às expectativas do mercado.

Palavras-Chave: Rugosidade superficial, punção de prensa, cerâmica monoporosa, camada de resina, controle de qualidade

1. INTRODUÇÃO:

Os revestimentos cerâmicos destacam-se por sua robustez, sendo uma escolha em projetos de designs contemporâneos, devido a sua combinação de funcionalidade, estética moderna e facilidade de manutenção [1]. A produção global atingiu 18,3 milhões de m^2 no ano de 2021, marcando um expressivo aumento em relação ao ano anterior [1]. A textura superficial das peças cerâmicas é um fator determinante na percepção de qualidade pelo consumidor final, influenciando diretamente a escolha do produto. Superfícies mais lisas e brilhantes são frequentemente preferidas, pois conferem maior valor estético e sofisticação ao revestimento cerâmico. Contudo, a rugosidade, pode comprometer essa percepção geral do produto, tornando-se um desafio técnico e comercial [2].

A rugosidade superficial refere-se a elevações ou cavidades na superfície do suporte cerâmico, impactando diretamente várias propriedades do produto acabado [3][4], como: propriedades ópticas, incluindo brilho e nitidez (reflexão da luz); uniformidade de textura; durabilidade química; resistência ao desgaste por abrasão; resistência ao escorregamento, com texturas lisas e baixa rugosidade resultando em um menor coeficiente de atrito (COF) e, conseqüentemente, menor resistência ao deslizamento; facilidade de limpeza e retenção de sujeira.

Essas irregularidades na superfície que dispersam a luz em várias direções, afetando brilho e nitidez, são exemplificadas na Fig.1 [5]. Portanto, a medição precisa dessa característica é fundamental para garantir a uniformidade e a qualidade do acabamento.

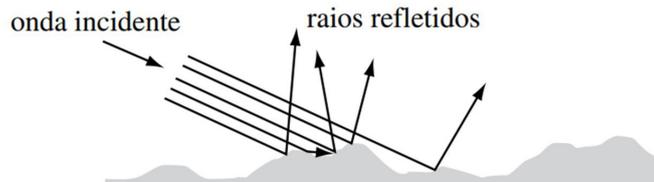


Figura 1. Efeitos da rugosidade superficial sobre a reflexão de luz [3]

Desta forma, métodos quantitativos, como o uso de rugosímetros, representam uma alternativa eficiente para medir e avaliar a rugosidade de superfícies cerâmicas. Esses equipamentos fornecem parâmetros essenciais, sendo os mais utilizados para verificar as superfícies dos revestimentos cerâmicos a rugosidade média aritmética (R_a) e a rugosidade máxima (R_z) [2]. A seguir, apresenta-se uma descrição mais detalhada desses parâmetros.

R_a : é a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil de avaliação em relação à linha média, tendo por comprimento, o percurso de medição, como demonstrado na Fig.2 [6].

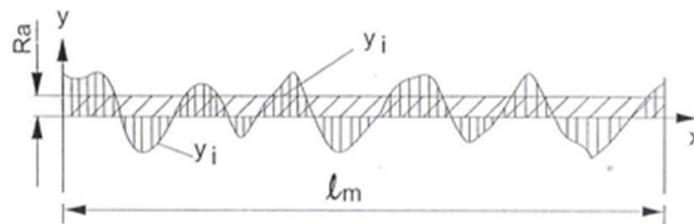


Figura 2. Rugosidade média (R_a) [6]

R_z : é a média aritmética dos cinco valores da rugosidade parcial. A rugosidade parcial R_z é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem. Graficamente, este valor representa a altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, dentro do percurso de medição, como evidenciado na Fig.3 [2].

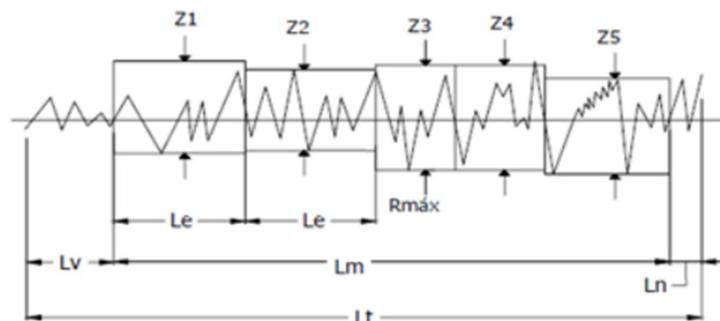


Figura 3: Rugosidade média (R_z) [7]

Tais medições possibilitam análises precisas e comparativas entre diferentes produtos, sendo indispensáveis para identificar melhorias no processo fabril e otimizar a qualidade final dos revestimentos cerâmicos, considerando que fatores como a granulometria do pó cerâmico, as condições de prensagem do material e a aplicação de engobes e esmaltes podem alterar significativamente essa característica. Esses elementos influenciam diretamente tanto o desempenho funcional quanto a estética do produto acabado [2].

Nesse contexto, no processo de prensagem, por exemplo, os punções utilizados na compactação das peças cerâmicas desempenham um papel essencial na definição da textura superficial. Para minimizar os defeitos causados pelo atrito e garantir alta resistência ao desgaste abrasivo é fundamental utilizar materiais específicos, como resinas de poliuretano, na confecção desses componentes. Complementarmente, as camadas de engobe e esmalte são aplicadas para corrigir irregularidades no suporte (substrato) cerâmico, resultando em uma superfície mais uniforme e esteticamente atrativa [8][9][10].

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a influência da dureza e da camada de resina que reveste o punção da prensa, bem como o papel da escova utilizada na pré-aplicação do esmalte, na rugosidade de placas cerâmicas de monoporosa. Além disso, o estudo visa implementar a medição quantitativa da rugosidade como parte do controle de qualidade na empresa em análise, promovendo uma produção mais eficiente e alinhada às exigências do mercado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

O fluxograma da Fig.4 representa as etapas para desenvolvimento do trabalho proposto.

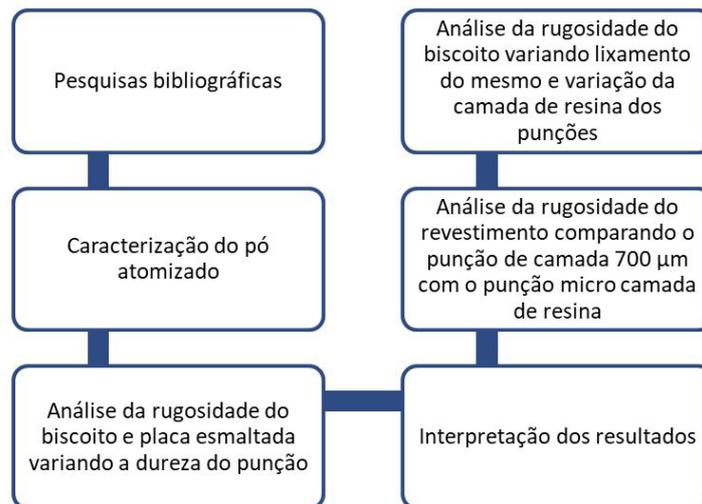


Figura 4: Etapas para o desenvolvimento do trabalho proposto

2.1. Caracterização do pó atomizado:

Inicialmente, foi coletada amostra de 300 g de pó atomizado de monoporosa com 6% de umidade destinado à produção das peças a serem avaliadas. Esse material foi submetido a testes para analisar a distribuição granulométrica por 15 min, utilizando peneiras e malha 500, 420, 297, 210 e 125 µm e prato para o restante do material passante. Além disso, avaliou-se a forma e a textura superficial dos grânulos, bem como a aderência entre eles, aspectos fundamentais para garantir a qualidade e uniformidade do produto final. Para isso, utilizou-se um microscópio com ampliação de 1000× (Refined Microscope 31001 DM4).

2.2. Análise da rugosidade do substrato e placa esmaltada variando a dureza do punção:

Após análise inicial, foram coletadas amostras de substrato cerâmico prensado na bitola 10×30 cm, incluindo substrato cerâmico simples e placa esmaltada com 32 g de camada de esmalte branco brilhante. Para os substratos esmaltados, a camada de esmalte foi variada em 10, 20 e 30% para avaliar também a influência dessa variação na rugosidade. As primeiras amostras foram produzidas com

punções de dureza 94-95 Shore e foram identificadas como "STD". Em seguida, os punções foram substituídos por punções de resina com dureza 96-97 Shore, e novas amostras, nas mesmas condições de produção, foram prensadas e coletadas para avaliação, sendo identificadas como "PROVA".

2.3. Análise da rugosidade do substrato variando lixamento do mesmo e variação da camada de resina dos punções:

Para a segunda análise, o objetivo foi avaliar a influência de duas novas variáveis: o lixamento do substrato cerâmico e a variação da camada de resina do punção de maior dureza. O lixamento do substrato cerâmico envolve a limpeza da superfície para prepará-la adequadamente para a aplicação das camadas de engobe e esmalte. Em relação à variação das camadas de resina de poliuretano no punção de maior dureza, foram testadas diferentes espessuras, variando de 400, 500, 700, 900 até 1500 µm (1,5 mm). Para esta análise, foram coletadas e avaliadas amostras de substratos cerâmicos lixados e não lixados na bitola 10×30 cm.

2.4. Análise da rugosidade do revestimento comparando o punção de camada 700 µm com o punção de micro camada de resina:

Na terceira análise, foi realizada uma comparação entre punções com camada de resina de 700 µm e punções com micro camada de resina, com aproximadamente 300 µm. O punção com micro camada de resina foi fabricado com uma espessura de resina abaixo do convencional. Para verificar as camadas de resina dos punções utilizados, foram feitas dez medições em cada um, utilizando um medidor de espessura de camada (Minipa MCT 401). Nessa análise, foram coletadas amostras de substrato cerâmico prensado na bitola 10×30, incluindo substrato cerâmico simples, placa engobada e placa esmaltada com 32 g de camada de esmalte branco brilhante. Para os substratos esmaltados, a camada de esmalte foi variada em 10, 20 e 30% para avaliar a influência dessa variação na rugosidade. As primeiras amostras foram produzidas com punções de 700 µm e foram identificadas como "STD (CR 0,7)". Em seguida, os punções foram substituídos por punções com micro camada de resina, e novas amostras, nas mesmas condições de produção, foram prensadas e coletadas para avaliação, sendo identificadas como "MICRO CAMADA".

Todas as análises de rugosidade foram realizadas com um Rugosímetro Portátil Digital SJ-210 Mitutoyo avaliando-se o parâmetro de rugosidade Rz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização do pó atomizado:

Os primeiros resultados deste estudo referem-se à caracterização do pó atomizado de monoporosa utilizado na produção das peças cerâmicas analisadas. As propriedades avaliadas incluíram a distribuição granulométrica, a forma e a textura superficial dos grânulos, além da aderência entre eles.

A Tab.1 apresenta os resultados do teste de distribuição granulométrica, indicando o peso retido em cada peneira e o percentual correspondente para cada faixa granulométrica. Complementando essa análise, a Fig.5 ilustra a morfologia dos grãos retidos em cada malha, fornecendo uma visão detalhada das diferenças de forma e textura entre as partículas analisadas.

Tabela 1. Distribuição granulométrica do pó atomizado

Malha (µm)	Peso (g)	Peso (%)
500	42,80	14,27
420	45,10	15,04
297	104,05	34,68
210	63,90	21,30
125	34,30	11,43
Prato	9,85	3,28

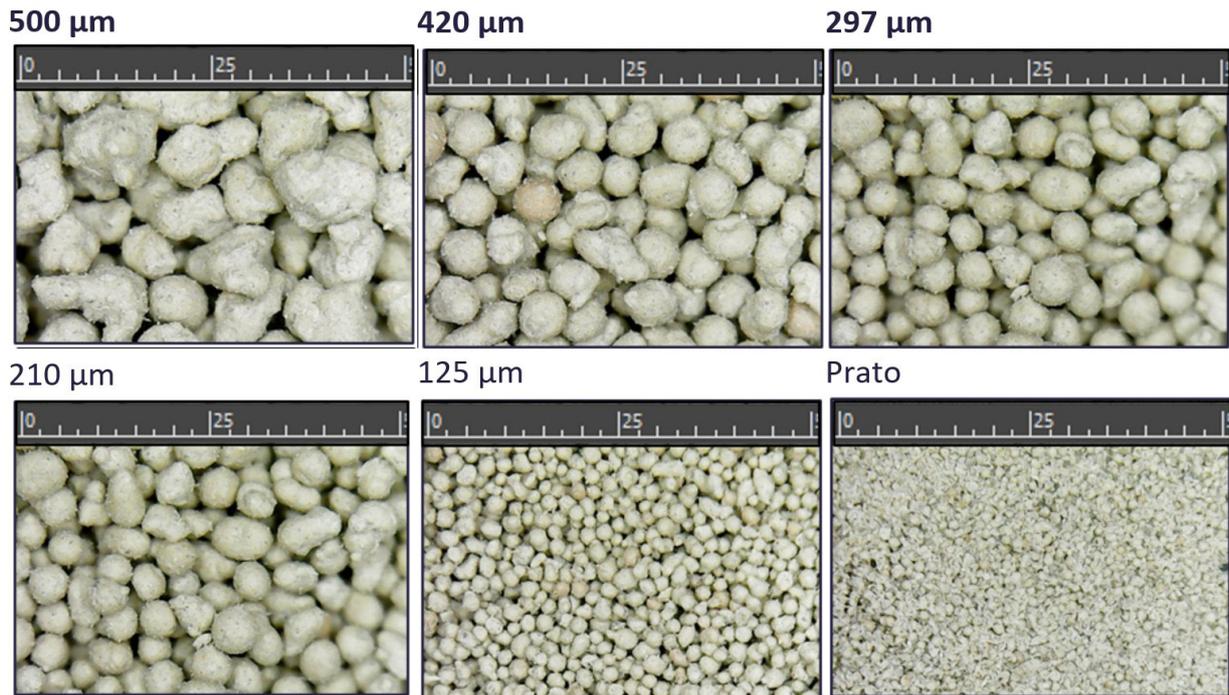


Figura 5. Morfologia dos grânulos do pó atomizado

A Tab.1 mostra que a distribuição granulométrica do pó atomizado de monoporosa tem predominância de partículas intermediárias, com 34,7% na faixa de 297 µm e 21,3% na faixa de 210 µm. Partículas maiores (420 µm) representam 15,0%, enquanto as mais finas, com 500 µm e 125 µm, correspondem a 14,3 e 11,4%, respectivamente. A fração mais fina, retida no prato, é de 3,3%. Essa distribuição indica uma boa combinação de tamanhos, favorecendo o processamento, a compactação e a qualidade do produto final. A Fig.5 complementa essa análise, mostrando que, à medida que os grânulos passam pelas peneiras, o material retido exibe um tamanho cada vez menor.

3.2. Análise da rugosidade do substrato e placa esmaltada variando a dureza do punção:

Com base nas especificações da massa utilizada, os punções foram substituídos e a rugosidade das amostras prensadas (substrato queimado) e esmaltadas foi analisada antes e após a troca. A Fig.6 apresenta a comparação da rugosidade do substrato cerâmico, destacando as amostras prensadas com os punções padrão de produção (STD) e com os punções revestidos com resina de maior dureza (PROVA).

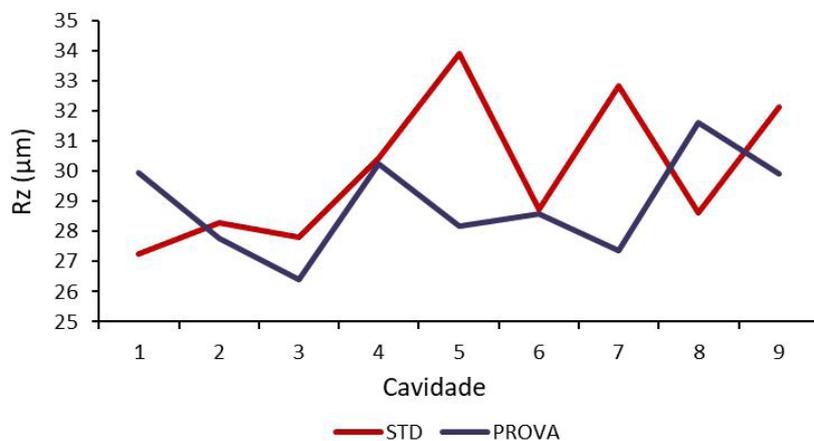


Figura 6. Rugosidade do substrato

É possível observar na Fig.6 que os punções revestidos com resina de maior dureza apresentaram, na maioria das cavidades, uma redução no parâmetro Rz do substrato cerâmico, indicando uma menor rugosidade em comparação com os punções padrão de produção, os quais possuem uma menor dureza.

A Fig.7 apresenta a rugosidade da placa esmaltada queimada reduzindo 10, 20 e 30% da camada de esmalte padrão, comparando os punções padrão de produção (STD) com os punções com resina de maior dureza (PROVA). A aplicação do engobe e do esmalte foi realizada por meio de véu utilizando campanas, e as peças foram submetidas a um ciclo de queima em forno industrial (Nasseti) com temperatura máxima superior de 1140°C e máxima inferior de 1145°C, com duração total de ciclo de queima de 36 minutos.

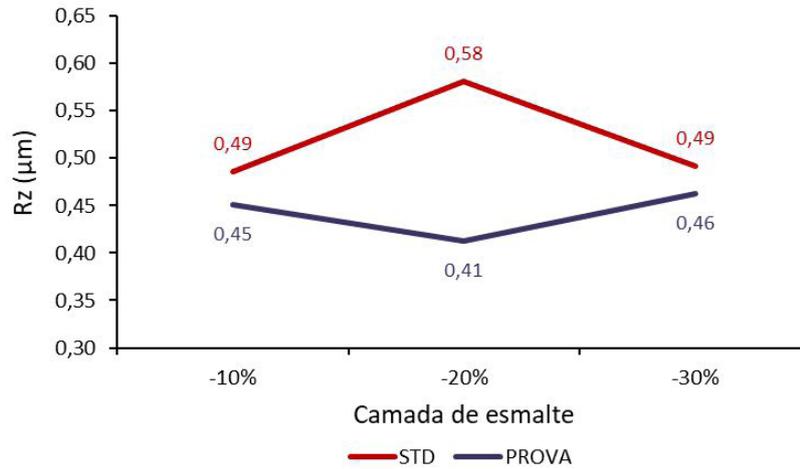


Figura 7. Rugosidade da placa esmaltada

Na Fig.7, a partir das amostras coletadas com os diferentes punções, foi possível observar que, independente da camada de esmalte, os punções com resina de maior dureza resultaram em valores de rugosidade menores no produto acabado. Embora não tenham sido detectadas diferenças visuais nas placas ao alterar os punções, as amostras "STD" apresentaram um efeito "martelado" mais pronunciado quando foram aplicadas camadas diferentes de esmalte.

3.3. Análise da rugosidade do substrato variando lixamento do mesmo e variação da camada de resina dos punções:

A Fig.8 representa a rugosidade do suporte analisando a influência do lixamento, alterando as camadas de resina dos punções.

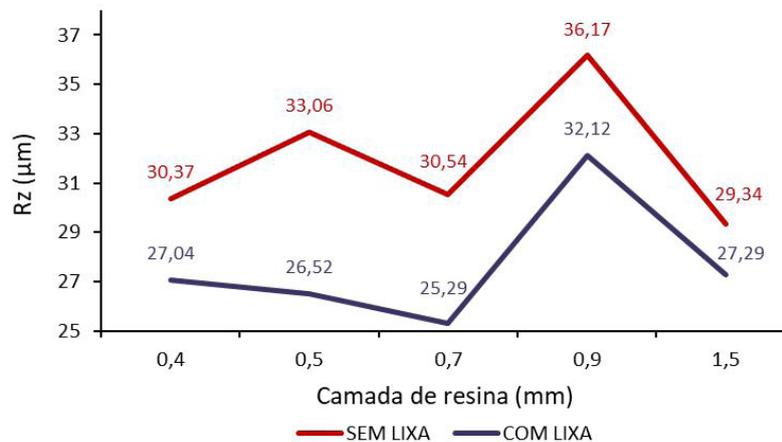


Figura 8. Influência do lixamento

Em todas as variações da camada de resina dos punções, foi observado que as placas submetidas ao lixamento apresentaram menor rugosidade, o que foi comprovado também por meio da avaliação visual. No entanto, para camadas de resina superiores a 700 µm (0,7 mm), os valores de Rz aumentaram, indicando um efeito contrário. Por isso, a camada de resina de 700 µm foi considerada como o limite ideal. Sendo o punção com camada de resina de 700 µm o que apresentou os menores valores de rugosidade, ele foi utilizado como referência para comparação com o punção de micro camada de resina.

3.4. Análise da rugosidade do revestimento comparando o punção de camada 700 µm com o punção de micro camada de resina:

Nesta análise, a primeira etapa foi a verificação da camada de resina dos punções utilizados, foram efetuadas dez medições em cada punção, conforme a Tab.2.

Tabela 2. Espessura da camada de resina para o punção referência e de micro camada

Posição	Camada de resina 700 µm	Micro camada de resina
Superior esquerdo	732-718	313-302
Inferior esquerdo	609-614	329-327
Centro	753-749	310-311
Superior direito	898-896	273-275
Inferior esquerdo	783-774	289-288
Média	752,6 µm	301,7 µm

Na sequência, a Fig.9 representa a rugosidade do substrato comparando o punção com camada de resina de 0,7 mm e o punção de prova com micro camada de resina.

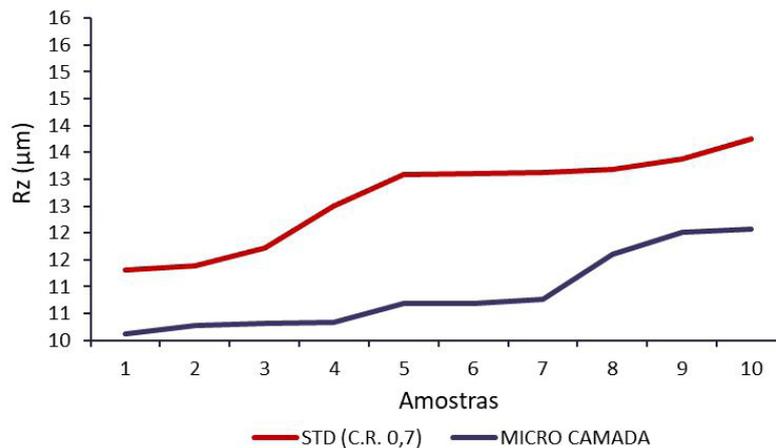


Figura 9. Rugosidade do substrato

Conforme mostrado na Fig.9, os punções com micro camada de resina apresentaram, em todas as amostras coletadas, uma menor rugosidade em comparação aos punções com camada de resina de 700 µm. No entanto, na análise visual do produto acabado, essa diferença na rugosidade da superfície não foi perceptível. Em seguida, a Fig.10 representa os resultados de rugosidade das peças engobadas comparando o punção com camada de resina de 700 µm e o punção de prova com micro camada de resina.

Observando-se a Fig.10 percebe-se que o punção com micro camada de resina apresentou, em todas as amostras coletadas, menor rugosidade, variando entre 11 e 14 µm. No entanto, os valores de rugosidade das peças engobadas foram maiores que os das peças sem engobe, conforme mostra a Fig.7. Essa diferença foi corroborada pela análise tátil, que revelou uma superfície mais áspera nas peças engobadas.

Por fim, a Fig.11 representa a rugosidade das peças esmaltadas comparando o punção com camada de resina 0,7 mm e o punção de prova com micro camada de resina com diferentes camadas de esmalte.

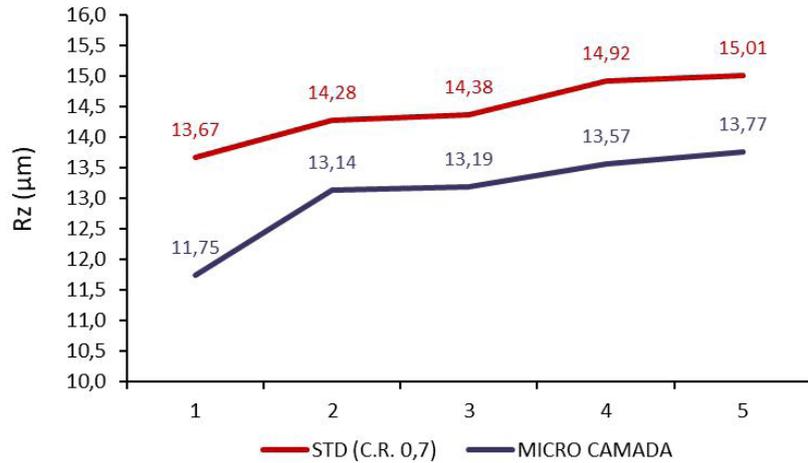


Figura 10. Rugosidade da placa engobada

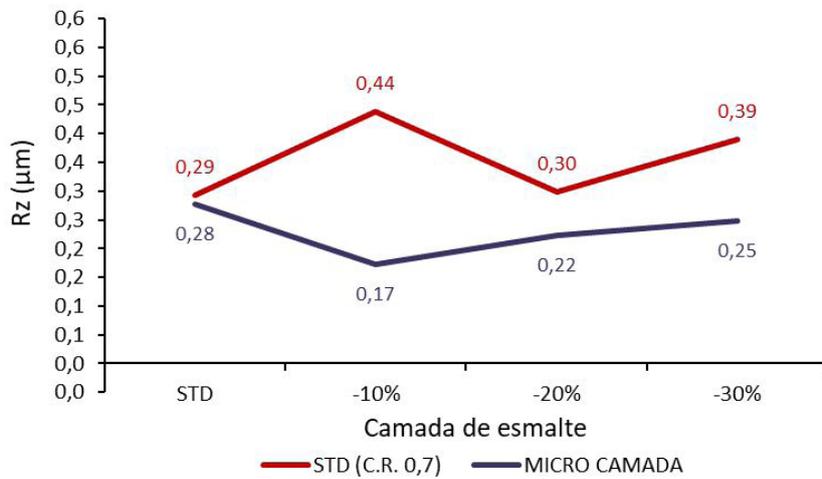


Figura 11. Rugosidade das placas esmaltadas

A Fig.11 apresenta os valores do gráfico, que são baseados na média de 20 medições realizadas em 5 peças diferentes. Em todas as variações da camada de esmalte, o punção com micro camada de resina demonstrou uma menor rugosidade. Na análise visual, observou-se uma diferença entre as camadas de esmalte, no entanto, para a variação de esmalte de 10%, o punção de prova proporcionou um acabamento superior. Para as demais variações da camada de esmalte, não foram identificadas diferenças significativas entre os punções.

A rugosidade superficial das peças cerâmicas é um fator determinante para a qualidade estética e funcional dos revestimentos. Este estudo investigou a influência da dureza dos punções e da espessura da camada de resina na rugosidade das peças cerâmicas, com o objetivo de otimizar o acabamento e garantir produtos de melhor desempenho.

As análises realizadas neste estudo demonstraram que a dureza dos punções e a espessura da camada de resina influenciam diretamente a rugosidade superficial das peças cerâmicas. Punções com resina de maior dureza e com microcamada de resina apresentaram medições de rugosidade inferiores no suporte cerâmico, em comparação com os punções padrão utilizados na produção. A escova aplicada na pré-aplicação do esmalte também se mostrou eficaz na redução da rugosidade, contribuindo para um acabamento superficial superior.

4. CONCLUSÕES:

Nas condições específicas para o tipo de massa, engobe e esmalte utilizados foi possível reduzir a camada de esmalte, com redução na rugosidade observada na comparação entre punções de prova

e os punções de produção, especialmente com a redução de 10% na camada de esmalte padrão. No entanto, nas demais espessuras de esmalte, não foram identificadas alterações significativas na textura superficial.

Os resultados indicam que a dureza dos punções, o lixamento do substrato cerâmico e a espessura da camada de resina são fatores essenciais para a otimização da rugosidade das peças cerâmicas, sendo a medição da rugosidade fundamental para assegurar um acabamento de alta qualidade. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se investigar a influência dos engobes nos parâmetros de rugosidade e avaliar a repetibilidade dos resultados, variando as condições de produção, como diferentes formulações de massa, engobe e esmalte, além de outras variáveis do processo produtivo. Esses estudos poderão ampliar o entendimento sobre os fatores que impactam a rugosidade e contribuir para a melhoria contínua da qualidade e estética dos revestimentos cerâmicos.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao Colégio Maximiliano Gaidzinski e à equipe técnica da Empresa Mohawk Brasil, bem como aos seus colaboradores, pela disponibilização dos equipamentos, colaboração e orientação.

REFERÊNCIAS:

- [1] Varghese L, Cedillo-González E I, Cattini A, Vacchi M, Siligardi C, 2024. Frit-free solar reflective porcelain stoneware ceramic tiles using recycled granite waste: an investigation on its engobe and glaze formulations. *Energy and Buildings* 311, 114129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114129>
- [2] 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.
- [3] Parra B S, Gennari R C, Melchiades F G, Boschi A O, 2006. Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 2, 11, 15-18.
- [4] Demarch A, Angioletto E, Vieira A W, Dal Molin A, Montedo O R K, Angioletto E, 2019. Coefficients of static and dynamic friction of ceramic floor tiles: proposal of new method of surface roughness determination. *International Journal of Metrology and Quality Engineering* 10, 4. <http://dx.doi.org/10.1051/ijmqe/2019002>
- [5] Teixeira M M, 2021. O que é reflexão da luz? *Brasil Escola*. <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm>
- [6] Deveras AM, 2016. Estudo da rugosidade superficial no torneamento do aço AISI 8640 com ferramentas alisadora e convencional. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [7] Nunes H, 2021. Parâmetros de avaliação da rugosidade: acabamento superficial. <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/parametros-de-avaliacao-da-rugosidade-acabamento-superficial/>
- [8] Albero J L A, 2000. A operação de prensagem. Considerações técnicas e sua aplicação industrial: o preenchimento das cavidades do molde. *Cerâmica Industrial* 5, 5, 23-28.
- [9] Santos B D S, Saviato D, Martins E M, Mellho E, Sartor R, Barbosa T, Cargnin M, De Noni Jr A, Modesto C O, Tassi R, 2007. Estudo da influência das variáveis do pó atomizado e da prensa nas características técnicas do produto final. *Cerâmica Industrial* 12, 6, 37-41.
- [10] Bristot V M, 1996. Máquinas e equipamentos para cerâmica. Criciúma: Luana.