

## Análise comparativa dos parâmetros de rugosidade em revestimentos cerâmicos com diferentes acabamentos

Aline Bartosiak Rodrigues Peruchi<sup>a\*</sup>, Laura Savi Rosso<sup>a</sup>, Maria Laura Mezzari Mariot<sup>a</sup>, Natália da Coreggio Redivo<sup>a</sup>, Aline Ribeiro<sup>a</sup>, Hilária Mendes de Souza<sup>a</sup>, Juliana de Oliveira Menegon<sup>a</sup>, Aline Demarch<sup>a</sup>, Angela Waterkemper<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mohawk Brasil, Rua Maximiliano Gaidzinski 245, Cocal do Sul, Santa Catarina, Brasil

\*e-mail: alinebartosiak@hotmail.com

### Resumo

O Brasil ocupa a terceira posição mundial tanto na produção quanto no consumo de revestimentos cerâmicos, sendo o mercado de revestimentos um dos mais relevantes do setor cerâmico. A rugosidade superficial dos revestimentos cerâmicos é um aspecto importante, influenciando não só a estética, mas também características como a facilidade de limpeza e resistência ao escorregamento. Apesar da importância desse parâmetro, a rugosidade superficial tem sido mais estudada em materiais metálicos, sendo menos abordada em cerâmicas, o que limita o conhecimento e a padronização das medições desta característica. Além disso, as normas existentes não oferecem uma classificação específica para a rugosidade das superfícies cerâmicas, e o controle de qualidade, muitas vezes, é realizado por meio de métodos qualitativos, como a análise tátil, que pode ser subjetiva. Este estudo tem como objetivo analisar a relação entre alguns dos parâmetros de rugosidade ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_t$  e  $R_{sm}$ ) em revestimentos cerâmicos por meio de medições realizadas com rugosímetro de perfilômetro de contato mecânico. Os resultados mostraram que os parâmetros  $R_q$ ,  $R_z$ ,  $R_p$ ,  $R_v$ , e  $R_t$  apresentaram correlações lineares com o parâmetro  $R_a$ , cujo valores de  $R^2$  estão entre 0,9355 e 0,9991, enquanto o parâmetro  $R_{sm}$  não apresentou correlação significativa com  $R_a$ . A dificuldade de medição do  $R_{sm}$  foi observada em superfícies cerâmicas mais rugosas, possivelmente pela limitação do equipamento utilizado. O estudo contribui para uma melhor compreensão da rugosidade em cerâmicas e para a padronização das medições, oferecendo uma ferramenta objetiva para o controle de qualidade, que pode ser útil na indústria para uma avaliação mais precisa das superfícies cerâmicas.

**Palavras chave:** Rugosidade superficial, revestimentos cerâmicos, controle de qualidade, rugosímetro, parâmetros de rugosidade, textura superficial.

### 1. INTRODUÇÃO:

De acordo com dados da Anfacer (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres) o Brasil é o terceiro maior produtor e o terceiro maior mercado consumidor de revestimentos cerâmicos no mundo. Em 2022 as exportações brasileiras alcançaram mais de 110 países, fazendo o Brasil ocupar a sexta posição entre os maiores exportadores globais [1].

O revestimento cerâmico evoluiu ao longo do tempo, deixando de ser apenas um item de decoração e acabamento [2], pois a estética do produto frequentemente acaba prevalecendo sobre as características técnicas pelo consumidor final no momento da escolha [3]. Sendo assim, a textura das

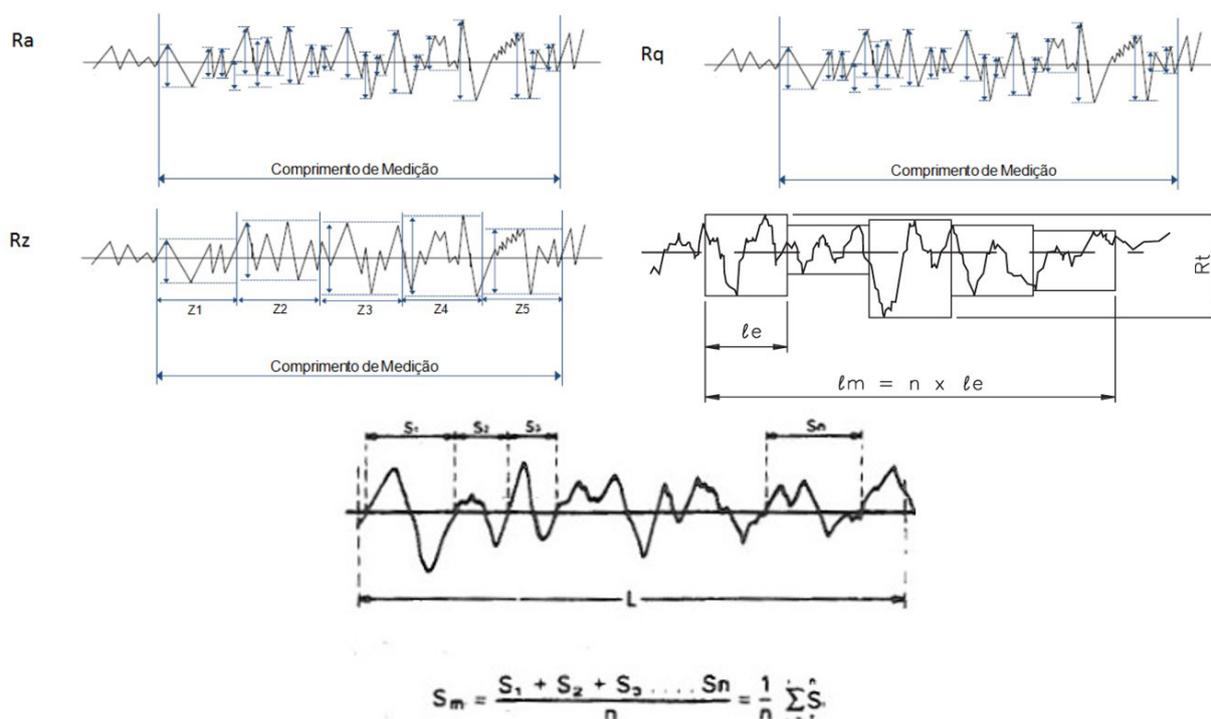
superfícies cerâmicas é um fator determinante no processo de venda, mas para garantir a qualidade e atender às exigências do mercado, é essencial que haja um controle eficiente no dia a dia da produção.

A textura dos materiais é medida por sua rugosidade superficial [4], definida como um conjunto de irregularidades caracterizadas por saliências e reentrâncias. A rugosidade superficial dos revestimentos cerâmicos, além de qualificar as propriedades ópticas, também afeta a facilidade de limpeza e a retenção de sujeira [3] e as propriedades de resistência ao deslizamento [5].

A rugosidade superficial é bastante estudada na área de engenharia mecânica, em peças usinadas por exemplo. Embora seja fundamental para as propriedades dos revestimentos cerâmicos, os estudos existentes sobre o assunto são limitados. Além disso, não há uma classificação específica para rugosidade para os materiais cerâmicos nas normas existentes [3]. Uma maneira que os fabricantes de revestimentos cerâmicos encontraram para padronizar a rugosidade é sentindo a textura da superfície pela sensibilidade do toque, comparando a peça produzida com uma placa padrão. Porém essa metodologia, além de ser apenas qualitativa, é também muito subjetiva, uma vez que avaliações empíricas variam de uma pessoa para outra.

Uma das maneiras de quantificar a textura superficial dos revestimentos cerâmicos é pela utilização do rugosímetro de perfilômetro de contato mecânico, equipamento que possui uma agulha apalpadora que consiste em percorrer a superfície que será analisada. O movimento da agulha é transformado em impulsos elétricos e, a partir disso, o parâmetro desejado é registrado no display do equipamento [6]. Os parâmetros que o rugosímetro pode indicar são:

- a) Rugosidade média ( $R_a$ ): é obtida pela média aritmética dos valores absolutos das alturas dos picos que formam o perfil, em relação à linha média (Fig.1(a)). A linha média é uma linha de referência que divide o perfil de rugosidade de maneira que a soma das áreas acima dela seja igual à soma das áreas abaixo dela. Esse é o parâmetro mais comum utilizado para indicar a rugosidade superficial [3].



**Figura 1.** Parâmetros de rugosidade: (a)  $R_a$  [7]; (b)  $R_q$  [7]; (c)  $R_z$  [7]; (d)  $R_t$  [8]; e (e)  $R_{sm}$  [4]

- b) Rugosidade média quadrática ( $R_q$ ): é a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios a partir da linha média do perfil [7], indicando a amplitude média das irregularidades da superfície (Fig.1(b)). O valor de  $R_q$  é mais sensível a picos e vales quando comparado com  $R_a$  [4].

c) Rugosidade média ( $R_z$ ): corresponde à média dos cinco maiores picos e cinco maiores vales, ao longo do comprimento de medição [4]. Neste caso,  $R_p$  é a distância entre o pico mais alto em relação à linha média;  $R_v$  é a distância entre o vale mais baixo em relação à linha média; e  $R_t$  é a soma da distância do pico mais alto em relação à linha média e a distância da base mais baixa em relação à linha média, dentro do comprimento de avaliação (Fig.1(d)) [7].

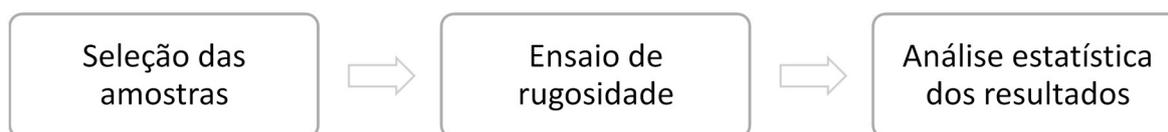
d) Média das Distâncias entre Saliências ( $R_{sm}$ ): definida como a média da largura das saliências, medidas sobre a linha média, no comprimento de amostragem (Fig.1(e)) [4].

A rugosidade média da superfície ( $R_a$ ) oferece uma visão geral eficaz das variações de altura, mas não considera a ondulação nem é sensível a pequenas alterações no perfil. Já o desvio quadrático médio do perfil avaliado ( $R_q$ ) apresenta maior sensibilidade às variações em relação à linha principal do que o  $R_a$ . Os demais parâmetros de rugosidade de superfície possuem influência ainda pouco compreendida ou claramente definida [9].

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre os parâmetros de rugosidade mencionados anteriormente, por meio de medições realizadas em diferentes acabamentos de revestimentos cerâmicos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

O trabalho é dividido em três 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 coletados da produção porcelanatos esmaltados e não esmaltados ao longo de um período de 11 meses, abrangendo diferentes tipos de acabamento: acetinado, resistente ao escorregamento, mate, brilhante e natural. As peças foram utilizadas em sua forma original, sem qualquer tipo de corte.

### 2.2. Ensaio de rugosidade:

Conforme mencionado anteriormente, não há um procedimento específico para a determinação da rugosidade em superfícies cerâmicas. Por esse motivo, foi desenvolvido internamente um procedimento com base na norma ISO 4288:2008 [10] apenas como referência, pois a mesma é utilizada para medições em superfícies metálicas que, em geral, apresentam menos irregularidades que as superfícies cerâmicas.

O rugosímetro utilizado para realização do ensaio é da marca Mitutoyo modelo SJ 210. O ensaio foi realizado cinco vezes em diferentes pontos da superfície, com o objetivo de avaliar a variabilidade das medições e a uniformidade da rugosidade nas superfícies cerâmicas.

Sempre que o equipamento é ligado, é necessário calibrá-lo utilizando a placa padrão fornecida pela Mitutoyo, a fim de verificar se a ponteira do rugosímetro está reproduzindo corretamente o parâmetro de rugosidade  $R_a$  da placa padrão.

Antes de realizar o ensaio, é fundamental limpar a superfície cerâmica, pois a ponteira do rugosímetro pode ser facilmente danificada caso entre em contato com sujidades. Após a limpeza, o equipamento deve ser posicionado sobre a superfície da peça e deve-se verificar se a ponteira de contato está devidamente nivelada. Em seguida, é preciso acionar o equipamento, fazendo com que o detector inicie o deslocamento da agulha para realizar a medição.

Ao finalizar a medição, os resultados mostram os parâmetros Ra, Rq e Rz e demais parâmetros. Os resultados obtidos de todos os parâmetros de rugosidade foram registrados em uma planilha, porém os parâmetros utilizados para realização do estudo foram: Ra, Rq, Rz, Rp, Rv, Rsm e Rt.

### 2.3. Análise estatística dos resultados:

A média dos cinco resultados obtidos para cada peça ensaiada foi calculada, e a relação do parâmetro Ra com os demais parâmetros (Rq, Rz, Rp, Rv, Rsm e Rt) foi analisada por meio de gráficos de correlação, nos quais no eixo "x" optou-se por utilizar o Ra, enquanto que no eixo "y" são mostrados os parâmetros restantes.

Por meio dos gráficos, foi possível obter equações de regressão para cada relação entre alguns dos parâmetros analisados, permitindo descrever o comportamento dos dados de forma matemática. Além disso, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi calculado para cada correlação, indicando o grau de ajuste das equações em relação aos dados experimentais. Valores de  $R^2$  próximos de 1 sugerem uma forte correlação entre os parâmetros, enquanto valores mais baixos indicam uma relação mais dispersa. Essas análises possibilitam avaliar a confiabilidade das equações geradas e identificar quais parâmetros possuem maior dependência em relação à rugosidade média (Ra).

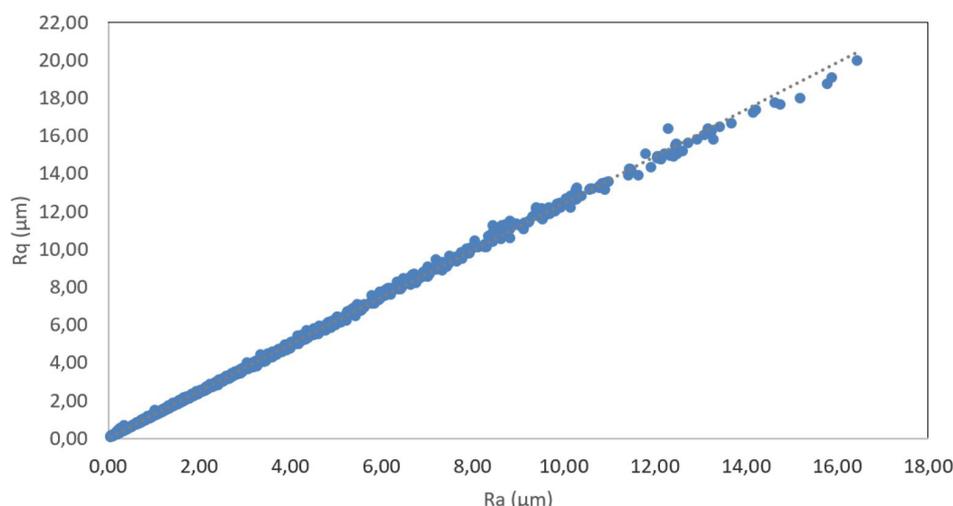
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Todos os gráficos plotados mostram pontos azuis que indicam os pontos experimentais, formados pela medição de 1997 produtos, e a linha pontilhada cinza representando a linha de tendência linear. A partir de cada gráfico de correlação construído foi possível determinar a equação que representa a relação entre os dois parâmetros, sendo eles de natureza linear  $y=a \cdot x+b$ , onde  $y = Rq$  ( $\mu\text{m}$ );  $a =$  coeficiente angular da reta;  $x = Ra$  ( $\mu\text{m}$ );  $b =$  coeficiente linear da reta.

Nos casos estudados o valor de  $b$  é igual a zero, pois no caso hipotético de se testar uma superfície perfeitamente lisa, todos os parâmetros de rugosidade seriam iguais a zero.

### 3.1. Relação entre Ra e Rq:

A Fig.3 mostra a correlação entre os parâmetros Ra e Rq.

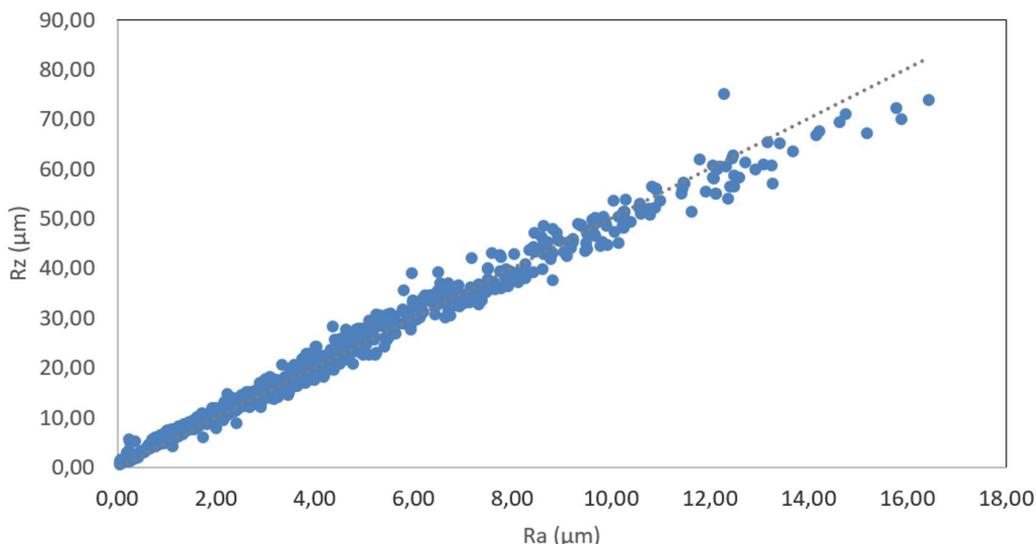


**Figura 3.** Gráfico de relação entre Ra e Rq

O valor de  $R^2$  para essa equação foi de 0,9991. E a equação obtida foi  $Rq=1,2417 \cdot Ra$ , o que significa que Rq é aproximadamente 24% maior que os valores de Ra. Portanto, basta conhecer Ra para saber o valor de Rq.

### 3.2. Relação entre Ra e Rz:

A Fig.4 mostra a correlação entre os parâmetros Ra e Rz.



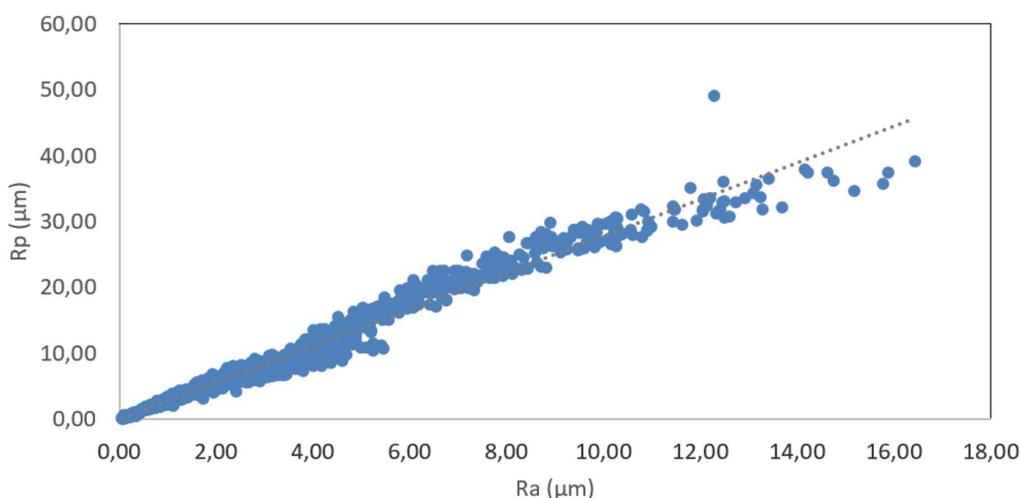
**Figura 4.** Gráfico de relação entre Ra e Rz

Percebe-se que quanto maior o valor de Ra e Rz, menor é a correlação entre eles, pois os pontos experimentais azuis ficam distantes da linha de tendência cinza pontilhada. Isso se deve ao fato de que superfícies com elevada rugosidade, e conseqüentemente maiores valores de Ra e Rz são em geral as granilhadas. A granilha é distribuída na peça de forma irregular, não sendo homogênea, quando se refere à escala de micrometros. Dessa forma, o desvio padrão das medições aumenta e por isso a correlação é menor.

A equação que representa a correlação entre Ra e Rz para as superfícies cerâmicas é  $Rz=5,0169 \cdot Ra$ . O valor do  $R^2$  nesse caso foi de 0,9849, um valor bastante elevado que mostra que a equação é válida. Portanto, pode-se afirmar que Rz é aproximadamente 5 vezes maior que Ra.

### 3.3. Relação entre Ra e Rp:

A Fig.5 mostra a correlação entre os parâmetros Ra e Rp.

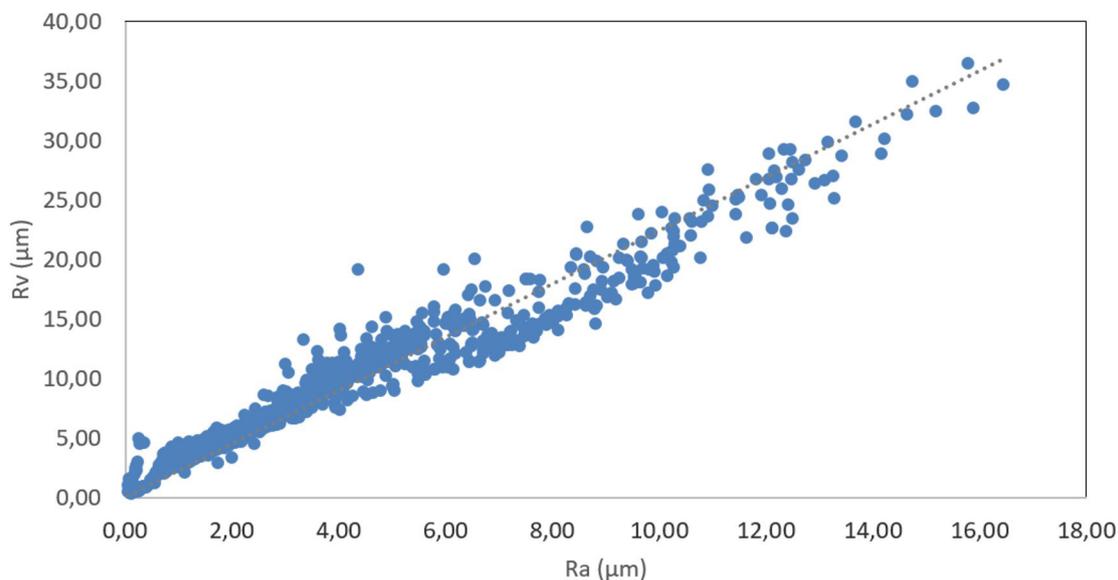


**Figura 5.** Gráfico de relação entre Ra e Rp

A equação que representa a correlação entre Ra e Rp para as superfícies cerâmicas é  $Rp=2,7764 \cdot Ra$ , e o valor do  $R^2$  nesse caso foi de 0,9776, também bastante elevado, mostrando que a equação reproduz bem os pontos experimentais.

### 3.4. Relação entre Ra e Rv:

A Fig.6 mostra a correlação entre os parâmetros Ra e Rv.

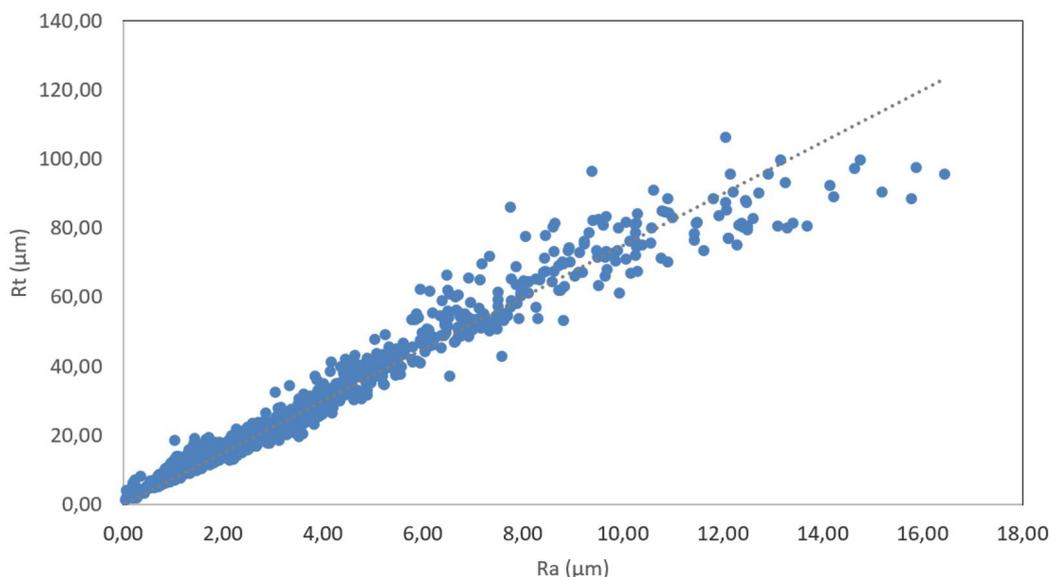


**Figura 6.** Gráfico de relação entre Ra e Rv

O valor de  $R^2$  para essa relação foi de 0,9355, o mais baixo encontrado, mas ainda assim pode ser considerada uma boa relação, e a equação que representa a correlação entre Ra e Rv para as superfícies cerâmicas é  $Rv=2,2405 \cdot Ra$ .

### 3.5. Relação entre Ra e Rt:

A Fig.7 mostra a correlação entre os parâmetros Ra e Rt.



**Figura 7.** Gráfico de relação entre Ra e Rt

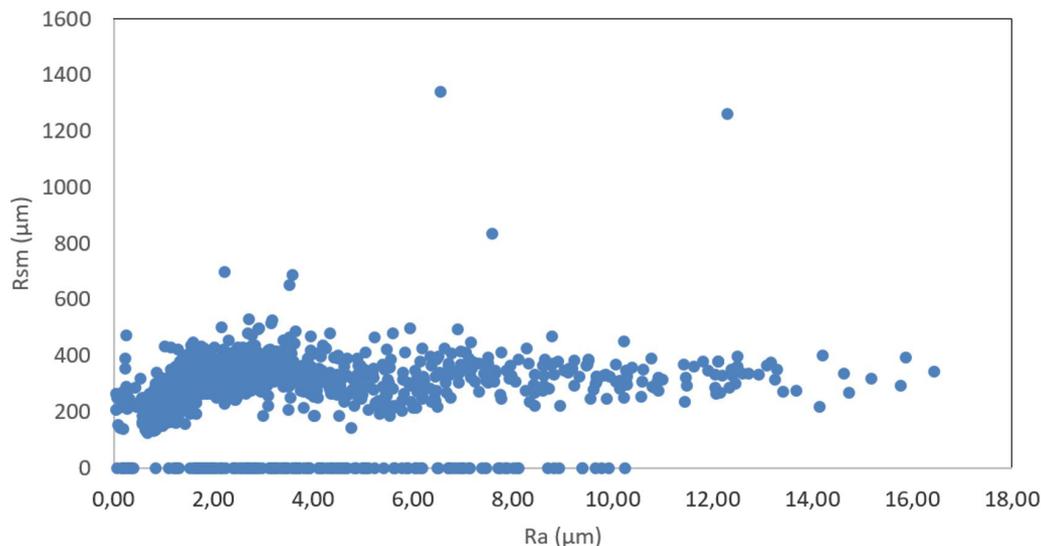
A relação entre Ra e Rt para as superfícies cerâmicas é representada pela seguinte equação:

$$Rt = 7,4951 \cdot Ra$$

Nesse caso, o coeficiente de determinação  $R^2$  foi de 0,9665.

### 3.6. Relação entre Ra e Rsm:

O parâmetro Rsm, que representa a distância horizontal entre o pico (ponto mais alto do perfil de rugosidade) e o vale (ponto mais baixo do perfil de rugosidade), não apresentou nenhuma correlação com o parâmetro Ra, conforme ilustrado na Fig.8.



**Figura 8.** Gráfico de relação entre Ra e Rt

Além disso, observa-se a dificuldade na medição desse parâmetro em algumas superfícies cerâmicas. A presença de pontos concentrados no valor 0,00 no eixo y sugere a ocorrência de erros durante a medição, resultando em valores de Rsm zerados. Nota-se ainda que a maioria dos resultados de Rsm se concentra no intervalo de 200  $\mu\text{m}$  a 400  $\mu\text{m}$ , indicando que a largura do perfil de rugosidade varia entre 0,2 mm e 0,4 mm.

## 4. CONCLUSÃO:

O estudo realizado analisou a correlação entre os parâmetros de rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos, obtidos por meio de medições realizadas com um rugosímetro de perfilômetro de contato mecânico (Mitutoyo modelo SJ 210). Em função dos valores encontrados em 1997 amostras de peças cerâmicas, cada uma submetida a cinco medições, foi possível desenvolver equações de regressão lineares e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), identificando as correlações entre a rugosidade média (Ra) e os parâmetros de rugosidade Rq, Rz, Rp, Rv e Rt.

Observou-se que os parâmetros Rq, Rz, Rp, Rv e Rt apresentaram correlações lineares com Ra, com  $R^2$  variando entre 0,9355 e 0,9991, o que indica a confiabilidade das equações obtidas. Em particular: Rq é aproximadamente 24% maior que Ra, sendo possível calcular seu valor diretamente a partir de Ra; Rz se mostrou aproximadamente 5 vezes maior que Ra; Rp e Rv apresentaram valores de 2,7764 e 2,2405 vezes maiores que Ra, respectivamente; Rt apresentou uma relação próxima de 7,4951 vezes Ra.

Entretanto, o parâmetro Rsm, que representa a distância horizontal entre picos e vales, não apresentou correlação significativa com Ra. Isso pode ser pelo fato de que foram encontradas dificuldades na medição desse parâmetro em superfícies cerâmicas, que pode ser por alguma limitação na capacidade do equipamento para capturar valores precisos em superfícies com maiores asperezas.

Apesar das irregularidades das superfícies cerâmicas, a rugosidade média (Ra) pode ser utilizada como parâmetro base para estimar outros parâmetros de rugosidade com boa precisão. Diante disto, pode-se concluir que o estudo realizado oferece uma importante contribuição para a padronização das medições na indústria de revestimentos cerâmicos, proporcionando uma abordagem objetiva para o controle de qualidade. Dessa forma, os fabricantes podem tomar decisões mais embasadas e eficazes ao longo do processo produtivo, melhorando a avaliação e o desempenho de seus produtos.

**AGRADECIMENTOS:**

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

**REFERÊNCIAS:**

- [1] Ceramics of Brazil, 2023. Brasil é o terceiro maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos. <https://www.ceramicsofbrazil.com/noticias/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-mundial-de-revestimentos-ceramicos>
- [2] Silva M N P, Silva M N P, Barrionuevo B U S, Feitosa I M, Silva G S, 2015. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. *Cadernos de Graduação, Ciências exatas e tecnológicas* 2, 3, 87-97. <https://periodicos.set.edu.br/cdgexatas/article/download/2138/1263/6995>
- [3] Parra B S, Gennari R C, Melchtiades F G, Boschi A O, 2006. Rugosidade superficial de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial* 11, 2, 0-4,
- [4] Carpinett L C R, Gonçalves Filho E V, Porto A J V, Jasiñevicius R G, 1996. Rugosidade superficial conceitos e princípios de medição. São Carlos: EESC-USP. <http://repositorio.eesc.usp.br/server/api/core/bitstreams/85ba77b9-6fb0-4691-9488-f807e5e1e0bc/content>.
- [5] Kim In-Ju, 2016. A study on wear development of floor surfaces: impact on pedestrian walkway slip-resistance performance. *Tribology International* 95, 316-323. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.039>.
- [6] Instrusul, 2017. Rugosímetro: como funciona. *Instrumentos de Medição*. <https://blog.instrusul.com.br/rugosimetro-como-funciona>
- [7] 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, Unesc. <http://repositorio.unesc.net/handle/1/6995>
- [8] Leódido L, 2024. *Metrologia*. Brasília: Instituto Federal de Brasília. <https://s14057791a82db508.jimcontent.com/download/version/1426252206/module/8799206369/name/Rugosidade.pdf>
- [9] Sedlaček M, Podgornik B, Vižintin J, 2009. Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear. *Wear* 266, 3-4, 482-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2008.04.017>
- [10] ABNT NBR ISO 4288, 2008. Especificações geométricas do produto (GPS). Rugosidade: Método do perfil. Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas.