

# Influência do tipo de moagem em uma massa cerâmica para a produção de louças sanitárias

Ana Paula Hertel Dutra <sup>1</sup> 

Felipe de Paula Faria <sup>1\*</sup> 

Sylma Carvalho Maestrelli <sup>1</sup> 

## Resumo

Este estudo investigou a viabilidade de reduzir os custos de produção associados à barbotina cerâmica utilizada na fabricação de louças sanitárias, por meio da substituição do processo convencional de moagem a seco do granito por um processo de moagem a úmido. Além de redução de custos, essa substituição teve como objetivo diminuir a dependência de um fornecedor externo responsável pela moagem a seco, mantendo as características essenciais da barbotina, incluindo comportamento reológico, distribuição do tamanho de partículas, área superficial, desempenho na moldagem, resistência mecânica, propriedades de secagem e de queima. Os resultados experimentais demonstraram que o processo de moagem a úmido preservou o comportamento de moldagem da barbotina e a estabilidade dimensional dos corpos cerâmicos. Ademais, o novo processo proposto manteve perfis equivalentes de distribuição do tamanho de partículas e valores de área superficial em comparação com a rota de moagem a seco, ao mesmo tempo que também preservou as propriedades mecânicas dos corpos cerâmicos após secagem e queima. Esta pesquisa conseguiu evidenciar o sucesso obtido com a com a implantação do novo processo, trazendo uma redução de custo 23% associada às matérias-primas e a menor dependência de fornecedores externos.

**Palavras-chave:** Moagem; Colagem de barbotina; Louças sanitárias; Reologia.

## Influence of the milling type on a ceramic body for sanitary ware production

## Abstract

This study investigated the feasibility of reducing the production costs associated with the ceramic slip used in sanitary ware manufacturing by replacing the conventional dry milling process of granite with a wet milling process. In addition to potential cost savings, this substitution aimed to reduce reliance on an external supplier responsible for the dry milling operation, while maintaining the essential characteristics of the slip, including rheological behavior, particle size distribution, surface area, casting performance, mechanical strength, drying, and firing properties. The experimental results demonstrated that the wet milling process preserved the slip casting behavior and dimensional stability of the ceramic bodies. Moreover, the proposed process maintained equivalent particle size distribution profiles and surface area values compared to the dry milling route, while simultaneously maintaining the mechanical characteristics of the ceramic samples after drying and firing. This research was able to demonstrate the success achieved with the implementation of the new process, resulting in a 23% cost reduction associated with raw materials and reduced dependence on external suppliers.

**Keywords:** Milling; Slip casting; Sanitary ware; Rheology.

## 1 Introdução

Comumente utilizada na fabricação de louças sanitárias, a conformação por *slip casting* baseia-se no preenchimento de um molde poroso com uma suspensão

cerâmica de consistência fluida. Particularmente, a definição do processo e as condições sob as quais a barbotina cerâmica será processada, bem como sua distribuição granulométrica,

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, Brasil.

\*Autor correspondente: felipe.faria@sou.unifal-mg.edu.br

E-mails: ana.hertel.dutra@gmail.com; sylma.maestrelli@unifal-mg.edu.br



2176-1523 © 2026. Dutra et al. Publicado pela ABM. Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

são variáveis fundamentais que influenciam diretamente as características e propriedades desejadas do produto acabado [1-3].

A moagem é o principal processo utilizado para controle da distribuição granulométrica em pós cerâmicos. Nesse estágio as partículas são reduzidas por impacto, compressão, abrasão e/ou atrito, até atingirem um tamanho adequado para a liberação do material à próxima operação unitária ou processo de transformação. Trata-se de uma etapa que, além de demandar elevados investimentos, também apresenta um dos maiores consumos energéticos do processo produtivo [4-7].

Entre os equipamentos de cominuição usados no processo de moagem, destaca-se o moinho de bolas, que atua reduzindo os tamanhos médio e máximo das partículas, modificando suas distribuições granulométricas e promovendo a quebra de aglomerados [8-10]. Ainda, a moagem pode ser realizada por via seca ou úmida, sendo que, no processo a úmido, podem ser atingidos tamanhos de partículas mais finos e uma distribuição de tamanho de partículas mais estreitas, com sistemas mais homogêneos em comparação ao processo a seco [7,11,12].

Aproximadamente 40% da composição da barbotina na indústria de louça sanitária em questão é constituída por granito (constituído basicamente por feldspato e quartzo), o que reforça a relevância deste estudo. O controle e a adequação da granulometria do granito são essenciais, uma vez que as louças sanitárias, por sua própria utilização, devem apresentar como características baixa porosidade, alta vitrificação e alta resistência mecânica [13,14]. Além disso, destaca-se que a alta retração após queima, característica desse tipo de cerâmica, e seu elevado nível de vitrificação dificultam a produção de peças de grandes dimensões, especialmente em função da deformação por fluência durante a queima, provocada pela exposição a tensões (geralmente de compressão) em temperaturas elevadas [15].

Além do granito, a barbotina das louças cerâmicas é composta por outras matérias-primas como argila, caulim, feldspato e filito. As argilas, além de serem a principal fonte de aluminossilicatos, possuem estrutura em camadas, originando partículas micrométricas em forma de placas. Quando suspensas em água, as partículas configuram uma reologia que, aliada à plasticidade do material, favorecem os processos típicos de conformação de cerâmicas, como é o caso da colagem de barbotina [16].

Os caulins, por sua vez, compostos majoritariamente pelo argilomineral caulinita, são utilizados na indústria de cerâmica sanitária para fornecer plasticidade e trabalhabilidade ao material. Devido à sua elevada pureza e grau de finura, elevado teor de caulinita (75-93%), pequenas quantidades de quartzo (1-4%) e mica (4-20%), além de baixo teor ou ausência de minério de ferro, contribuem para uma cor de queima mais clara, para a formação de espessura adequada durante o processo de colagem e aumento da resistência à deformação em altas temperaturas [17-20].

O feldspato atua como fundente, preenchendo os vazios entre as partículas de sílica e argila, favorecendo a coesão dessas matérias-primas [13,18-20]. O filito, por sua vez, devido à sua composição mineralógica, apresenta propriedades intermediárias entre materiais plásticos e não plásticos, podendo atuar como fundente secundário. Quando finamente moído, colabora para a vitrificação, auxiliando ainda na compactação e densificação do corpo cerâmico [18-21].

A produção de louças sanitárias de qualidade exige o controle integrado das etapas de formulação, moagem, colagem de barbotina e queima. Especificamente, a formulação influencia a reologia da barbotina, enquanto a moagem garante sua homogeneidade. A colagem eficiente, por sua vez, depende das propriedades físico-químicas da suspensão, enquanto a queima consolida a estrutura, conferindo resistência e acabamento.

Uma vez que todas essas etapas estão correlacionadas, a alteração em uma parte da linha de produção (objeto de estudo desta pesquisa) pode ser determinante tanto para aumentar a eficiência do processo produtivo quanto para reduzir custos, assegurando, a obtenção de peças cerâmicas com desempenho técnico e estético superior.

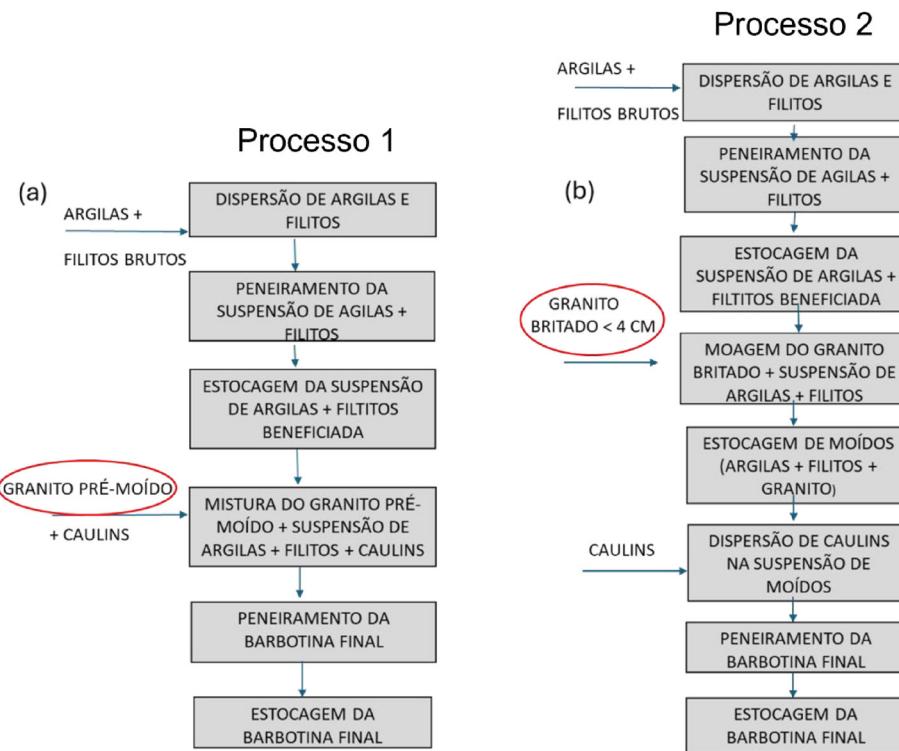
Em face do cenário apresentado, esta pesquisa investigou os efeitos da alteração do processo de produção de uma barbotina cerâmica utilizada em uma indústria produtora de louças sanitárias em Minas Gerais, a partir da substituição do processo de moagem de granito a seco, que vêm sendo realizado por fornecedor externo, pela moagem a úmido, realizada pela própria indústria produtora das louças. Com essa alteração, a indústria buscou a redução de custo de produção, sem alteração das características e comportamentos da barbotina cerâmica produzida em termos de reologia, distribuição granulométrica, área de superfície específica, comportamento de colagem, secagem e queima.

## 2 Metodologia

Para melhor compreensão do processo de produção das louças sanitárias e da etapa onde essa pesquisa foi focada, bem como facilitar as discussões dos resultados, a Figura 1 apresenta o fluxograma do (a) processo atual, com a moagem do granito a seco, denominado Processo 1 e (b) novo processo em estudo, com a moagem a úmido do granito, denominado Processo 2.

Avaliando-se os fluxogramas do processo 1, nota-se que a etapa inicial, onde é feita a dispersão das argilas e filitos em água em misturadores de alta rotação não sofreu alteração, nem como seu peneiramento e estocagem. Após essa etapa é que as mudanças foram promovidas.

No processo 1, tanto o granito pré-moído (por um fornecedor externo), quanto os caulins, filito e argila, são adicionados em moinhos de revestimento de borracha com corpos de prova mistos de seixos e esferas de alumina, sem controle de distribuição de tamanho do meio de moagem, conforme Figura 2. A barbotina moída é então passada em



**Figura 1.** Comparação dos processos de produção (a) atual, denominado Processo 1, com o granito moído a seco e (b) em estudo, com a moagem do granito a úmido, Processo 2.



**Figura 2.** Moinho do processo atual (denominado processo 1), usado para misturar o granito moído com a barbotina de argila plástica, filito e os caulins. O moinho possui revestimento de borracha e corpos moedores mistos.

peneira Tyler 325 mesh, descarregada e estocada em tanques para estabilização e ajuste reológico, antes de serem utilizadas na etapa de colagem.

No processo 2, o granito foi previamente britado na indústria e em seguida, moído a úmido juntamente com uma suspensão de argilas e filitos previamente dispersa, peneirada, estocada e ajustada em termos de viscosidade. Após a estocagem dos moídos (argila, filito e granito), foi adicionado o caulin à suspensão e então a barbotina final foi passada em peneira Tyler 325 mesh, descarregada e estocada em tanques para estabilização e ajuste reológico,

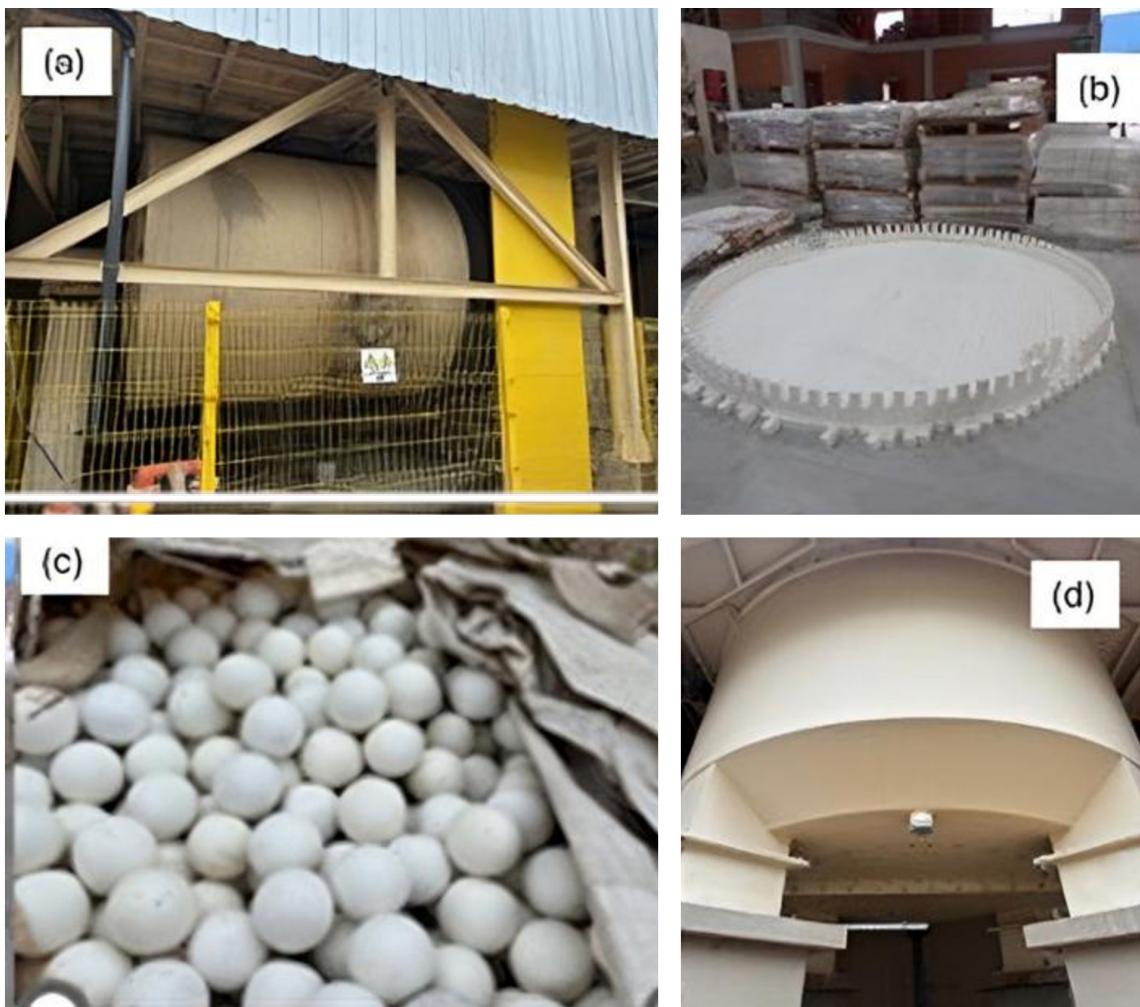
antes de serem utilizadas na etapa de colagem. A Figura 3 ilustra os novos equipamentos utilizados para o processo 2.

Os novos moinhos têm revestimento de alumina (Figura 3(a)) e maior potência de motor, o que permitiu utilizar-se como meio de moagem apenas esferas de alumina (Figuras 3(b) e 3(c)), com distribuição de tamanho pré-definida, sendo 40% de 60mm, 30% de 50mm e 40% de 40mm.

Após a moagem, também controlada por resíduo em peneira Tyler 325 mesh, a suspensão foi descarregada do moinho e estocada. Essa suspensão foi direcionada na sequência para dispersores de alta rotação ou *blungers* (Figura 3(d)), para mistura dos caulins. Depois da mistura, a barbotina foi descarregada em tanques para estabilização e ajuste final da reologia para posterior colagem.

As duas barbotinas obtidas (dos processos 1 e 2) foram caracterizadas pelos ensaios de: distribuição de tamanho de partículas, realizando-se medidas da massa retida em sequência de peneiras Tyler, abrangendo as malhas de 80 mesh (180 mm), 140 (106 mm), 200 (75 mm) e 325 mesh (45 mm). O procedimento foi realizado de acordo com a norma NBR NM46 [22]; sedimentação, em equipamento Sedigraph III plus, Micromeritics e determinação da área de superfície específica pelo método de fisissorção de nitrogênio (técnica de B.E.T.), em equipamento Gemini VII, Micromeritics.

As propriedades reológicas também foram avaliadas, determinando-se a viscosidade mínima das barbotinas dos processos 1 e 2 em viscosímetro Brookfield modelo Dv2T, com *spindle* número 2 e 12 rpm de rotação, utilizando-se



**Figura 3.** Equipamento do novo processo (denominado processo 2): (a) Moinho de bolas com revestimento de alumina Blunger; (b) Revestimento de alumina; (c) Esferas de alumina; e (d) Blunger.

como defloculante o silicato de sódio. A tixotropia foi avaliada em viscosímetro de torção Gallenkamp, fabricante Ej. Payne, com fio de 3 mm. A medição de tixotropia, nesse caso, é feita de maneira indireta, sendo que se associa a resistência da amostra ao giro do *spindle* do equipamento com a viscosidade. A diferença dessa resistência em uma leitura inicial e após um determinado tempo de repouso estará então relacionado ao ganho de viscosidade; ou seja, à tixotropia.

O processo de conformação por colagem das duas barbotinas (processos 1 e 2) são estruturados visando atender os requisitos de desempenho mecânico e conformidade dimensional estabelecidos pela ABNT NBR 16613. A preparação da barbotina foi realizada de modo a assegurar a ausência de aglomerados e a estabilidade da suspensão. A moldagem foi realizada utilizando-se moldes porosos de gesso de consistência 65% e tempo de permanência de 45 minutos, seguida da drenagem do excesso de barbotina líquida. Após a consolidação, as peças foram cortadas para a determinação da espessura utilizando-se um paquímetro

digital da marca Mitutoyo. Além da medição de espessura, foi medida a dureza da parede formada, utilizando-se um durômetro Shore C (ensaio adaptado da norma ASTM D-2240) [23].

A resistência mecânica, antes e após a queima, foi obtida por meio de ensaio de flexão a três pontos, em máquina de compressão LS5, da marca Ametek, com célula de carga da série YLC, velocidade de ensaio de 1,0 N/s e carga inicial de 0,2N. Corpos de prova cilíndricos de 16,5mm de diâmetro e 170,0 mm de comprimento (ensaio adaptado da norma ABNT NBR 16613) [24] e da norma americana ASTM E9 - 89a [25] foram previamente conformados pela técnica de colagem, utilizando as barbotinas oriundas dos processos 1 e 2.

Após a colagem e secagem em estufa até a umidade zero, foram realizados os ensaios de flexão em corpos a verde; outros corpos seguiram para a etapa de queima em forno industrial a 1180°C por 18 horas para então serem avaliados mecanicamente. Foram determinadas ainda a retração linear antes e após queima e a retração total das peças, (ensaio adaptado da norma ABNT NBR 16834 [26].

A fim de se ter um controle rigoroso do processo produtivo (antes e após a mudança), além de valores comparativos, as propriedades investigadas foram monitoradas e os dados coletados durante dois meses, obtendo-se, no mínimo, dez medidas para cada caracterização anteriormente mencionada.

### 3 Resultados e discussão

A moagem de granito por fornecedor externo onera a produção de barbotina e aumenta o risco em função da dependência de um terceiro para a realização de uma etapa crítica da produção da barbotina. Assim, esse estudo é de suma importância para a indústria produtora de louças sanitárias envolvida nesta pesquisa.

A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos a partir de ensaios de distribuição do tamanho de partículas, sedimentação de área de superfície específica para os processos 1 e 2.

Avaliando-se os resultados obtidos nos ensaios de distribuição de tamanhos de partículas e sedimentação, observa-se semelhança entre eles, sendo que o valor obtido para o diâmetro médio foi exatamente o mesmo. Outro importante resultado diz respeito à área de superfície específica, que poderia mostrar uma inviabilidade de alteração de processo, caso sofresse variação significativa. Essa afirmação, conforme nos reforça Fortuna [17], diz respeito à importância da minimização de partículas finas na barbotina para cerâmica sanitária em função da formação de espessura estar altamente associada à sedimentação das partículas dentro do molde.

A Tabela 2 mostra os resultados da viscosidade mínima e da tixotropia no ponto mínimo para os processos 1 e 2. Essas medições foram feitas por meio da defloculação das amostras com silicato de sódio a uma concentração de 10,5 a 11,5% de Na<sub>2</sub>O, comumente utilizado para o ajuste reológico das barbotinas em indústrias de cerâmica sanitária;

**Tabela 1.** Resultados dos ensaios de distribuição de tamanho de partículas, sedimentação e área de superfície específica, comparando-se o processo atual (processo 1) e o processo em teste (processo 2)

Medidas	Processo 1	Processo 2
Resíduo – 80 mesh (%)	0,1 ± 0,1	0
Resíduo – 140 mesh (%)	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,2
Resíduo – 200 mesh (%)	1,5 ± 0,4	1,5 ± 0,6
Resíduo – 325 mesh (%)	4,4 ± 0,6	4,7 ± 0,6
< 50 micrões (%)	98,0 ± 0,6	98,2 ± 0,4
< 20 micrões (%)	83,8 ± 0,6	85,7 ± 0,7
< 10 micrões (%)	68,0 ± 1,0	69,7 ± 0,7
< 5 micrões (%)	52,6 ± 1,7	53,2 ± 0,8
< 2 micrões (%)	35,4 ± 3,5	35,2 ± 0,8
< 1 micron (%)	27,1 ± 1,1	26,6 ± 0,9
D50 (mm)	4,4 ± 0,4	4,4 ± 0,2
Surface área (m <sup>2</sup> /g)	4,4 ± 0,4	4,4 ± 0,2

porém, isso foi orientativo para que, durante o processo de colagem a barbotina do teste fosse ajustada para um ponto menos defloculado, de forma a garantir um valor de tixotropia semelhante à referência e, assim, manter-se o comportamento de colagem e valores de dureza Shore C, apresentados na Tabela 3, também semelhantes.

Embora o resultado dureza Shore C no processo 2 tenha apresentado resultados na média inferior ao processo 1, isso não trouxe nenhum comprometimento no comportamento das peças durante a secagem ou mesmo na movimentação das mesmas para as próximas etapas do processo.

Os resultados de resistência mecânica, tanto a verde, quanto após queima, estão apresentados na Tabela 4. A comparação entre as médias dos grupos amostrais foi conduzida utilizando-se o Teste *t* de Student para amostras pareadas (tipo 1), uma vez que se pressupõe variação entre as observações dos dois processos. O nível de significância adotado para a tomada de decisão ( $\alpha$ ) foi de 0,05.

Os resultados obtidos indicaram um valor  $p$  de 0,86 para o teste bicaudal, em relação à resistência mecânica após secagem, e de 0,51 para a amostra de dados associados à resistência mecânica após queima. Dado que o  $p$ -valor, em ambos os casos, é superior ao nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ), a hipótese nula ( $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ) não foi rejeitada. Consequentemente, não há evidência estatisticamente significativa para afirmar que existe uma diferença real entre as médias populacionais dos dois grupos avaliados ao nível de 5% de significância. Logo, as modificações estabelecidas não influenciaram o desempenho mecânico dos materiais avaliados.

**Tabela 2.** Resultados dos ensaios reológicos para os processos 1 e 2

Processo	Viscosidade mínima (cP)	Temperatura (°C)	Tixotropia (graus)	Tixotropia na viscosidade mínima (graus)
1	611 ± 54	30 ± 1	90 ± 2	13 ± 2
2	539 ± 35	31 ± 1	91 ± 2	9 ± 1

**Tabela 3.** Resultados dos testes de colagem: medida da espessura da parede e dureza Shore C após conformação das peças utilizando as barbotinas do processo 1 e do processo 2

Processo	Espessura obtida (nm)	Dureza Shore C
1	8,5 ± 0,1	22 ± 2
2	8,5 ± 0,1	19 ± 3

**Tabela 4.** Resultados dos testes de resistência mecânica a verde e após a queima para corpos obtidos por meio de colagem de barbotina dos processos 1 e 2

Processo	Resistência mecânica após secagem (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistência mecânica após queima (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	28,2 ± 2,8	647,6 ± 47,8
2	29,7 ± 2,1	653,0 ± 58,3

**Tabela 5.** Resultados dos testes de retração a verde, após a queima e total

Processo	Retração após secagem (%)	Retração pós queima (%)	Total (%)
1	2,6 ± 0,1	9,8 ± 0,1	12,2 ± 0,1
2	2,7 ± 0,1	9,7 ± 0,1	12,1 ± 0,1

A Tabela 5 mostra os resultados referentes à retração das peças após secagem, após queima e a retração total, que refletem as características dimensionais das peças antes e após queima. O resultado da retração nas peças também foi muito semelhante para os processos. Caso isso não ocorresse, a mudança do processo 1 para o processo 2 se tornaria inviável, pois seria necessária a substituição de todos os ferramentais em função do novo processo, visto que sua fabricação é demorada e bastante onerosa.

#### 4 Conclusão

O processo proposto gera uma barbotina muito semelhante àquela utilizada como referência, sem gerar maiores variações que possam trazer alterações negativas no produto final. Ainda, o novo processo gera o benefício de excluir a dependência de um fornecedor externo para executar a moagem a seco do granito, o que é bastante relevante em termos de controle de processo e custo.

Analisando-se o custo do granito com a implementação do processo interno de moagem a úmido em comparação com a moagem a seco desse material feito por fornecedor externo, haverá uma redução de aproximadamente 60%. Isso acarretará um menor custo total das matérias-primas que compõem a barbotina em 23%, justificando o investimento nos equipamentos necessários para promover a mudança de processo, objeto da pesquisa.

#### Referências

- 1 Boch P, Niepce JC. Materiais cerâmicos: processos, propriedades e aplicações. São Paulo: Hermes Ciência Europe Ltda; 2001.
- 2 Omerašević M, Krsmanović M, Radovanović Ž, Bučevac D. Mechanical properties and thermal shock resistance of anorthite ceramics obtained by slip casting. Ceramics International. 2024;50(3):5787-5795. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.11.381>.
- 3 Le Ferrand H. Magnetic slip casting for dense and textured ceramics: a review of current achievements and issues. Journal of the European Ceramic Society. 2021;41(1):24-37. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.08.030>.
- 4 Beraldo JL. Moagem de minérios em moinhos tubulares. São Paulo: Edgard Blucher; 1987.
- 5 Bergeman MG. Dimensionamento e simulação de moinhos verticais [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2013. <https://doi.org/10.11606/T.3.2013.tde-23092014-095131>.
- 6 Usman H, Taylor P, Spiller DE. The effects of lifter configurations and mill speeds on the mill power draw and performance. AIP Conference Proceedings. 2017;1805:050001. <https://doi.org/10.1063/1.4974432>.
- 7 Yu J, Jin SH, Raju K, Lee Y, Lee HK. Analysis of individual and interaction effects of processing parameters on wet grinding performance in ball milling of alumina ceramics using statistical methods. Ceramics International. 2021;47(22):31202-31213. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.07.296>.
- 8 Reed JS. Principles of ceramics processing. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 1995.
- 9 Liu JA, Li CH, Zou Y, Chen AN, Hu L, Shi YS. Effect of ball milling on the sintering performance of indium-gallium-zinc oxide ceramics: the diffusion mechanism and lattice distortion of milled powders. Ceramics International. 2021;47(11):15682-15694. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.138>.
- 10 Wu C, Chen Z, Liao N, Zeng C, Wang Y, Tian J. Enhancing the grinding efficiency of a magnetite second-stage mill through ceramic ball optimization: from laboratory to industrial applications. Minerals. 2024;14(2):160. <https://doi.org/10.3390/min14020160>.
- 11 Paksoy A, Arabi S, Balci-Çağiran Ö. Overview of the dry milling versus wet milling. In: Rajendrachari S, editor. Mechanical alloying of ferrous and non-ferrous alloys. Amsterdam: Elsevier; 2024. p. 59-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16151-3.00003-8>.
- 12 Rao RR, Sharath BN, Madhu KS, Pradeep S. Comparison of wet and dry milling. In: Rajendrachari S, Mahale RS, editors. Advancements in powder metallurgy: processing, applications, and properties. Hershey: IGI Global Scientific Publishing; 2024. p. 1-32.
- 13 Garcia ACM, Santos AC, Sison BA, Torres CIV. Chemical process industries. Ceramic Industry. 2016;16-17.
- 14 Mendaci S, Boudeghdeghe K, Roula A, Boulache K, Bouzidi N. Effects of soda lime glass waste on the physical, mechanical and aesthetics properties of sanitary-ware glazes. Science of Sintering. 2024;57(3):389-409. <https://doi.org/10.2298/SOS241008046M>.

- 15 Callister WD Jr, Rethwisch DG. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora; 2016. 458 p.
- 16 Santos PS. Tecnologia das argilas aplicada às argilas brasileiras. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; 1975. p. 1–3.
- 17 Fortuna D. Ceramic technology: sanitary ware. São Paulo: Faenza Editrice S.p.A; 2000.
- 18 Desole MP, Fedele L, Gisario A, Barletta M. Life cycle assessment (LCA) of ceramic sanitaryware: focus on the production process and analysis of scenario. International Journal of Environmental Science and Technology. 2024;21(2):1649-1670. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05074-6>.
- 19 Mingione E, Marconi M, Rubino G, Salvi D. Reduction of energy consumption and environmental impact in ceramic sanitary ware production through fluxing agents: a case study. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2025;139(5):2671-2686. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-16069-7>.
- 20 Sawadogo Y, Sawadogo M, Sory N, Ouedraogo M, Dao K, Seynou M, et al. Porcelain: raw materials, technological properties and applications--a review. Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie. 2024;53:1-10.
- 21 Moreto ALR. Características química, mineralógica e tecnológica dos filitos da região de Itapeva - SP empregados na indústria de cerâmica [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2006.
- 22 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 46 – Agregados — Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT; 2003.
- 23 American Society for Testing and Materials. D 2240-00: Standard test method for rubber property – durometer hardness. West Conshohocken: ASTM; 2000.
- 24 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16613 – Freio ferroviário – Sapatas de freio não metálicas – Classificação, requisitos de fabricação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2017.
- 25 American Society for Testing and Materials. E 9-89a (reapproved 1995): Standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature. West Conshohocken: ASTM; 1995.
- 26 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16834 – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT; 2020.

Recebido em: 27 Ago. 2025

Aceito em: 9 Jan. 2026

Editor responsável:

Sabrina Arcaro 