

## **INFLUÊNCIA DA NATUREZA DA ÁGUA E DA TEMPERATURA DE MOAGEM NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ESMALTES CERÂMICOS**

**Karoline de Villa Machinski<sup>1</sup>**

**Débora De Pellegrin Campos<sup>2</sup>**

**Resumo:** As Indústrias de colorifícios são responsáveis pelo fornecimento das principais matérias primas e tecnologias para as cerâmicas. Apesar da autonomia dos colorifícios no desenvolvimento de esmaltes e outros produtos, os diferentes *layouts* e características de processo de cada cerâmica exigem que os testes de formulação sejam realizados dentro dos padrões de cada cliente e, em alguns casos, testados diretamente no cliente a fim de evitar divergências. O processo de moagem é uma das etapas mais importantes do processamento de esmaltes cerâmicos sobre a qual não se tem controle direto, vez que a moagem é realizada diretamente pelos clientes dentro de seus padrões de produção. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência de dois parâmetros de moagem: a natureza da água utilizada e a temperatura atingida. No procedimento experimental, foram realizados testes empregando amostras de mesma composição de matérias primas, variando entre elas apenas os parâmetros analisados. Na análise da influência da natureza da água, foi evidenciado que amostras de dureza muito elevada resultam no aumento da viscosidade e na ocorrência de tixotropia. Em relação à influência da temperatura, pode-se concluir que temperaturas acima de 55 °C durante a moagem, armazenagem e aplicação dos esmaltes resulta no aumento da viscosidade e na degradação química dos compostos orgânicos empregados na aditivação, interferindo na estabilidade reológica e gerando fenômeno de tixotropia.

**Palavras-chave:** Cerâmica. Esmalte. Reologia. Água. Temperatura.

### **1 INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento tecnológico do setor cerâmico na última década se deu de modo exponencial, onde inovações como a impressão digital e a produção de grandes formatos foram responsáveis pelo crescimento econômico do segmento (NAKAMURA, 2019). Para o mercado mundial, o relatório “*Ceramic Tile Market Forecast Analysis - Trend 2021-2025*” (2022) do Centro de Estudos MECS, aponta que entre os anos de 2021 e 2025 a produção mundial de cerâmicas para revestimentos irá crescer a taxa anual de 5%, enquanto o consumo deve crescer a taxa de 5,1%.

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Química, 2023. E-mail: karoline.machinski@gmail.com

<sup>2</sup>Prof. do Centro Universitário UniSATC E-mail: debora.campos@satc.edu.br

O desempenho do setor de revestimentos cerâmicos é também reflexo do desempenho do setor de construção civil (PRADO; BRESSIANI, 2012). Em um relatório emitido pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2022) a projeção de crescimento do setor de construção civil para o ano de 2023 é de 2,5%, representando um terceiro ano consecutivo em que o setor supera a projeção da economia do Brasil, significando uma maior demanda por produtos e tecnologias associadas à cerâmica.

Segundo a ANFACER (2021), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de revestimentos cerâmicos e o segundo maior consumidor, além de ser o 7º país no ranking de exportações. Tais dados de mercado ressaltam a importância do desenvolvimento de novas tecnologias e da otimização dos processos da indústria cerâmica.

Indústrias de coloríficos fornecem as principais matérias primas e tecnologias para as cerâmicas, onde pode-se citar a formulação de engobes, esmaltes, coberturas, tintas para impressão digital e diversos outros materiais. Apesar de não comercializarem o produto final, as tecnologias e inovações de maior impacto no setor de revestimentos são desenvolvidas pelos coloríficos, responsáveis pelo lançamento de tendências para novos produtos e de novas formulações de materiais de acordo com as necessidades das cerâmicas (JUNIOR et al., 2010).

Apesar da autonomia dos coloríficos no desenvolvimento de esmaltes e outros produtos, os diferentes layouts e características de processo de cada cerâmica exigem que os testes de formulação sejam realizados dentro dos padrões de cada cliente e, em alguns casos, testados diretamente no cliente a fim de evitar divergências (SANTOS, 2018).

O processo de moagem a úmido visa a diminuição da granulometria das partículas e a obtenção de uma suspensão homogênea. Essa homogeneização é uma característica crucial para os esmaltes cerâmicos, pois além de uma boa aplicação na peça garante a formação da camada vítrea do esmalte de maneira uniforme, evitando defeitos (SUSKI, 2022). Dentre as variáveis do processo de moagem, as mais conhecidas são aquelas referentes as características do material, como dureza, tamanho e forma do material, resistência a temperatura e tendência a aglomeração (BERNARDINI, 2017).

A reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação de materiais complexos. No contexto de esmaltes cerâmicos, a reologia é um parâmetro fundamental que governa a capacidade de processamento e as propriedades finais dos esmaltes, tais como a viscosidade, a tensão superficial, a sedimentação e a dispersão de partículas (GOIS, 2021). A importância do estudo das variáveis do processo de moagem se dá justamente pela influência desta nas propriedades reológicas de um material cerâmico.

Os aditivos cerâmicos são compostos orgânicos empregados em pequenas quantidades para atingir alguma característica reológica necessária ao processo de aplicação do esmalte. Tratando-se de compostos orgânicos, tendem a degradar-se quimicamente em temperaturas muito menores que as temperaturas de queima das peças cerâmicas, atuando apenas nas suspensões (DANTAS, 2021). Durante o processo de moagem, o atrito gerado na movimentação das bolas do moinho acarreta um aumento de temperatura do sistema; é de conhecimento prático nas cerâmicas que alguns compostos que são submetidos a agitação prolongada em vascas e, portanto, sofrem um aumento de temperatura, tendem a tornar-se mais viscosos. A hipótese a ser estudada neste trabalho é a investigação da faixa de temperatura de trabalho destes aditivos cerâmicos, a fim de otimizar o processo e evitar custos com o aumento da dosagem dos aditivos.

As suspensões de esmaltes cerâmicos formadas durante a moagem são sistemas sólido-líquido caracterizados por partículas sólidas distribuídas de forma parcialmente uniforme em um meio líquido, sem que este material se encontre dissolvido no meio (ROXO, 2020). Sendo as suspensões constituídas (de acordo com cada material) de até 40% de água, justifica-se a necessidade de estudos sobre a influência da água nas características dos esmaltes cerâmicos.

Devido ao baixo custo e alta disponibilidade, a água utilizada nos processos cerâmicos geralmente é advinda de poços artesianos, onde as particularidades do solo influenciam de maneira intrínseca as propriedades e características da mesma (PERFURARTE, 2021). Para os coloríficos, essa prática significa possíveis divergências entre materiais moídos com a água do colorífico e com a água utilizada nas cerâmicas.

O estudo da influência da natureza da água evita que sejam adicionados outros produtos para correção dos parâmetros, além de garantir melhoria da qualidade

do produto final. A otimização de uso dos recursos naturais disponíveis segue os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 6 (Água potável e saneamento) e 12 (Consumo e produção responsáveis), propostos pela Organização das Nações Unidas (2015).

## **2. INDÚSTRIA DE COLORIFÍCIOS**

A indústria de colorifícios tem papel importante na cerâmica de revestimentos não só no fornecimento de insumos, mas também no desenvolvimento de novas tecnologias e inovações para o mercado cerâmico. Os colorifícios integram a cadeia produtiva da cerâmica produzindo insumos de diversas naturezas: corantes, tintas para decoração digital, granilhas, pastas serigráficas e principalmente as fritas, que são os insumos minerais mais comercializados pelo segmento (JUNIOR et al., 2010).

Os colorifícios brasileiros lançam tendências e propõem melhorias direcionadas ao mercado nacional a partir dos grandes centros tecnológicos e de design da Itália e Espanha. As inovações abrangem desde o desenvolvimento de novos produtos – como engobes, esmaltes, granilhas, tintas e efeitos digitais –, até melhorias de processo e equipamentos, como é o caso da inserção das impressoras por jato de tinta no mercado (JUNIOR et al., 2019).

O serviço de atendimento ao cliente prestado pelos colorifícios estreita relações com a indústria, propiciando desenvolvimento colaborativo e melhorias na qualidade e diversificação dos produtos. O acompanhamento da inserção de um novo produto na linha de produção industrial e adequação técnica aos parâmetros individuais de cada fábrica agrega valor aos produtos ofertados e garante confiabilidade da cerâmica aos colorifícios (HERAS, 2002).

### **2.1 ESMALTES CERÂMICOS**

Os esmaltes cerâmicos são compostos fundamentalmente vítreos fundidos em suportes cerâmicos por queima em altas temperaturas, responsáveis por decorar, impermeabilizar e conferir resistência às peças cerâmicas. São constituídos por fritas

cerâmicas e demais matérias-primas como argila, caulim, feldspato entre outras, que fornecem características específicas para cada esmalte formulado (ROXO, 2020).

No geral, são comercializados pelos coloríficos na forma de compostos, onde as matérias-primas, fritas e aditivos são mesclados em um big bag. Nas cerâmicas os compostos são submetidos a moagem visando a formação de uma suspensão estável e com as características reológicas apropriadas. O teor de água das suspensões de esmalte para aplicação em vela ou campana corresponde em média a 40%, já para aplicação em cabines *airless* esse teor pode chegar a 60% em massa, evidenciando a importância do estudo da interferência da natureza da água empregada (SÁNCHEZ, 1997).

### **2.1.1 Propriedades Reológicas**

A reologia de esmaltes cerâmicos é a ciência que estuda o comportamento mecânico de materiais líquidos ou pastosos, incluindo o fluxo e a deformação, sob a influência de forças externas, como tensão e cisalhamento. A caracterização reológica permite identificar as propriedades que afetam o processamento, a aplicação e a secagem do esmalte, bem como a sua performance em termos de brilho, dureza e resistência a riscos e abrasão (GOIS, 2021).

A reologia de esmaltes cerâmicos pode ser analisada por meio de diversas técnicas, tais como a viscosidade aparente e a tixotropia, sendo:

- Viscosidade aparente: Resistência que um líquido apresenta ao seu movimento quando submetido a uma tensão;
- Tixotropia: Propriedade de um fluido viscoso de se liquefazer diante de uma força ou agitação mecânica, apresentando características de fluido não-newtoniano (ROCHA; ZANARDO; MORENO; 2008).

Os parâmetros que influenciam o comportamento reológico de um esmalte são variados e complexos. A concentração de sólidos é um dos principais fatores que afetam a viscosidade aparente do esmalte, quanto maior a concentração, maior será a viscosidade. A presença de aditivos, tais como agentes espessantes e dispersantes, propositalmente afeta a reologia do esmalte (CARLOS, 2018).

### **2.1.2 Moagem**

A moagem tem por objetivo principal a diminuição da distribuição granulométrica das partículas sólidas do esmalte, garantindo uma aplicação uniforme e uma boa interação entre as matérias primas. É realizada via úmido em moinhos de bolas de alta alumina, onde são adicionadas as matérias-primas do composto, aditivos e água de moagem, visando a suspensão estável dos sólidos (SARTOR et al., 2022).

O resíduo é um indicativo da distribuição de tamanho de partícula pós moagem, realizado a partir da quantificação de material retido em uma peneira de malha #325 *mesh*. O tempo de moagem para cada material está relacionado a taxa de resíduo desejada; quanto menor o resíduo de um esmalte, maior a fusibilidade das matérias primas, afetando diretamente em aspectos como brilho e estiramento pós queima (SILVEIRA et al., 2021).

### **2.1.3 Aditivos**

Os aditivos possuem por finalidade o controle das condições de moagem, descarga e aplicação dos esmaltes cerâmicos, influenciando diretamente no seu comportamento reológico. Podem atuar de diversas formas, sendo os agentes de suspensão e defloculantes os mais comuns. Os agentes de suspensão, como caulim e bentonita, são adicionados para melhorar a estabilidade da suspensão e evitar a sedimentação das partículas. Já os agentes defloculantes, como silicato de sódio, tripolifosfato de sódio e poliacrilato de sódio, são adicionados para reduzir a força de atração entre as partículas, melhorando a dispersão e a homogeneização da suspensão. Outro aditivo amplamente utilizado é o CMC (carboximetilcelulose), aditivo orgânico de cargas inorgânicas empregado como agente de adesão para melhorar a fixação do esmalte na peça cerâmica, aumentar a viscosidade e estabilizar o comportamento reológico (DANTAS, 2021).

A dosagem de aditivos ocorre em pequenas proporções, sendo que em excesso sua adição pode afetar negativamente a qualidade e o desempenho do material, resultando em problemas como a formação de bolhas, “empapamento” e falhas de aplicação (DANTAS, 2021).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE MOAGEM

Os sais que se encontram naturalmente dissolvidos nas águas empregadas no processo de moagem aportam uma série de ânions e cátions que podem interagir com os aditivos das suspensões de esmaltes (JUNIOR; CISESKI, 2019). A relação entre as alterações no comportamento reológico empregando águas de diferentes níveis de dureza permite uma avaliação quantitativa da influência da concentração iônica das águas.

### 2.2.1 Dureza da água

A dureza da água é uma medida da quantidade de íons de cálcio e magnésio presentes na mesma. É comumente medida em miligrama por litro (mg/L) ou partes por milhão (ppm) de carbonato de cálcio equivalente (MOLETA, 2022).

A análise da dureza da água pode ser realizada por meio de testes químicos como o método complexométrico, que utiliza um indicador específico para quantificar a concentração de íons de cálcio e magnésio na água. Outro método comum é a titulação com ácido etilenodiaminotetracético (EDTA), um agente quelante que se liga aos íons de cálcio e magnésio, permitindo sua quantificação (CANDIDO et al.; 2022).

A dureza pode ser classificada em dois tipos: dureza temporária e dureza permanente. A dureza temporária é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, que podem ser removidos por meio da adição de cal ou soda cáustica, promovendo a precipitação desses íons na forma de carbonatos insolúveis. Já a dureza permanente é causada pela presença de sulfatos e cloretos de cálcio e magnésio, que não podem ser removidos por esse método (CASTRO; ZÚÑIGA; ALVARADO, 2018).

#### 2.2.1.2 Influência da origem da água utilizada

A dureza da água está diretamente relacionada a sua origem e ao seu contato com o solo e rochas durante o processo de infiltração. A água de poços artesianos geralmente tem uma dureza maior do que a água tratada devido a maior

quantidade de minerais dissolvidos, especialmente cálcio e magnésio, presentes nas rochas e solos dos aquíferos subterrâneos.

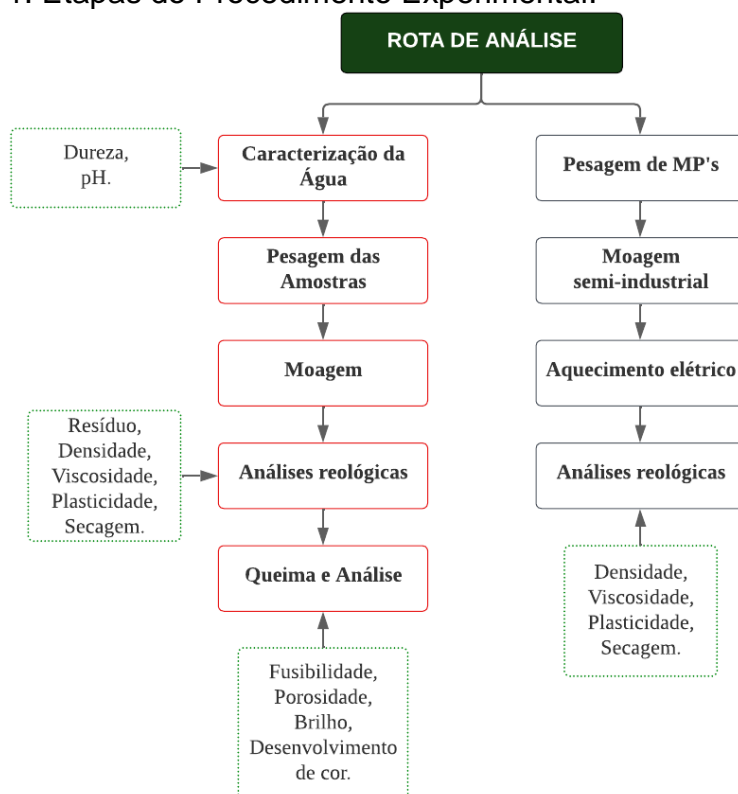
A água tratada, por sua vez, pode ter sua dureza reduzida por meio de processos envolvendo adição de produtos químicos, como o hidróxido de cálcio e carbonato de sódio, que promovem a precipitação dos sais minerais presentes na água (BAGATINI; BONZANINI; OLIVEIRA, 2017).

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta sessão são descritos os procedimentos adotados para a realização dos testes, baseados na metodologia interna de análise empregada em uma Indústria de coloríficos da região sul catarinense.

A Fig. 1 exemplifica a rota adotada; os passos destacados na cor vermelha compreendem as análises utilizadas para verificação da influência da natureza da água utilizada no processo, já as etapas destacadas em preto compreendem a rota de análise da influência da temperatura de moagem.

Figura 1: Etapas do Procedimento Experimental.



Fonte: Da autora (2023).



### 3.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA NATUREZA DA ÁGUA DE MOAGEM

Nesta seção serão descritos os testes empregados na análise da influência da natureza da água de moagem na reologia de esmaltes cerâmicos.

#### 3.1.1 Caracterização da Água

Os ensaios de caracterização da água foram realizados no Laboratório de Química II do curso de Engenharia Química do Centro Universitário UNISATC. A determinação da dureza seguiu a metodologia proposta pelo Manual Prático de Análise de Água, da Fundação Nacional da Saúde (2013). O pH e temperatura das amostras foram analisados pelo equipamento *Water Quality Tester* da Multifunction e os dados foram utilizados para ajustar as amostras às condições dos ensaios de dureza.

Foram analisadas 6 amostras de água providas de três diferentes indústrias cerâmicas dos estados Santa Catarina e Paraná, denominadas RA, PA, RB, PB, RC e PC, sendo:

- R: Água de reciclo e/ou provinda de Estação de Tratamento de Efluentes da indústria, não empregada no processo;
- P: Água comumente utilizada na preparação dos esmaltes da cerâmica, provinda de poço artesiano;
- A, B e C: Identificação da cerâmica de origem da amostra.

#### 3.1.2 Pesagem das amostras e moagem

Para as análises da influência da natureza da água, foram pesadas seis cargas de mesma composição de um esmalte branco mate para porcelanato, submetido às mesmas condições de moagem conforme metodologia interna do colorífico, variando em cada teste apenas a água adicionada. A Tabela 1 exibe a composição do esmalte analisado.

Tabela 1: Fórmula de esmalte base para testes.

<b>Matéria-prima</b>	<b>Quantidade (g)</b>
Frita Cerâmica	90,50
Caulim	9,00
Tripolifosfato (TPF)	0,25
Carboximetilcelulose (CMC)	0,20
Sal	0,05

Fonte: Da autora (2023).

A moagem foi realizada em moinho planetário Servitech modelo CT-12242 com esferas de alta alumina, por 15 minutos com 35% em massa de água.

### 3.1.3 Análises Reológicas

A densidade das amostras foi aferida em um Picnômetro Servitech de 100 mL e os valores de densidade foram ajustados para que as análises fossem realizadas com amostras de mesma densidade, representando o desempenho real da composição. O resíduo de moagem foi analisado pela quantificação dos sólidos retidos em uma peneira de malha #325 *mesh*.

A viscosidade foi analisada em um viscosímetro Copo Ford Servitech, sendo realizada em triplicata. A temperatura das amostras foi ajustada para  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  e foi anotado o tempo de escoamento utilizando um cronômetro. A tixotropia foi avaliada visualmente durante o ensaio de viscosidade correlacionando a taxa de escoamento com o tempo decorrido.

A plasticidade e o tempo de secagem dos esmaltes foram avaliados por meio da aplicação em bases cerâmicas de porcelanato engobado utilizando pistola *airless* de abertura 0,2 mm. Para a aplicação, a densidade foi ajustada para 1,45 g/mL e a avaliação realizada visualmente.

### 3.1.4 Queima e Análise

As amostras foram aplicadas em base de porcelanato engobada com binil de abertura de lâmina 0,2 mm. Sobre a aplicação foi impressa uma faixa colorimétrica nas cores ciano, marrom, amarelo e preto em uma impressora digital *Durst* a jato de

tinta. A queima das peças foi realizada em ciclo de porcelanato 1195°C a 60 minutos, em forno industrial de rolos Enaplic modelo FR18/12.

#### **3.1.4.1 Fusibilidade**

Os corpos de prova para o ensaio de fusibilidade foram preparados em um molde cilíndrico lubrificado que foi colocado sobre uma base de porcelanato engobado, em seguida o molde foi preenchido com a suspensão de esmalte e retirado após secagem superficial.

A peça foi colocada em forno de rolos a 1150 °C durante 40 minutos para aderir os corpos de prova à base cerâmica e em seguida submetida à sinterização em forno mufla a 1180 °C, posicionada em um ângulo de 90 °C com a superfície de modo a possibilitar o escorrimento do esmalte. As peças foram resfriadas em temperatura ambiente e o escorrimento aferido em centímetros utilizando uma régua.

#### **3.1.4.2 Porosidade**

A porosidade foi avaliada de modo visual a partir da aplicação de uma solução de corante azul de metileno sobre a peça queimada, seguida de lavagem com água, onde a maior retenção de corante indica maior índice de porosidade no esmalte.

#### **3.1.4.3 Brilho e Desenvolvimento de cor**

O brilho foi avaliado por um brilhaômetro modelo 480B da Elcometer e o desenvolvimento de cor avaliado em Espectrofotômetro modelo CM-25000d da Konica Minolta a partir da leitura da impressão digital realizada anteriormente na peça.

### **3.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE MOAGEM**

Para se aproximar de um cenário real, a análise da influência da temperatura na reologia foi analisada a partir de uma carga de esmalte a nível semi-industrial. Foi pesada uma fórmula X, de composição interna fechada, com alto teor

do aditivo Carboximetilcelulose (CMC), responsável pelo controle da plasticidade e viscosidade das suspensões.

O composto foi moído em moinho semi-industrial, em uma batelada de 50 kg com percentual de 35% de água em massa por 1 hora. A temperatura foi aferida com termômetro imediatamente na descarga do moinho. Após, utilizando uma resistência elétrica, a suspensão foi aquecida e foram coletadas amostras em intervalos de 5 °C entre a temperatura inicial e 65 °C. Uma alíquota foi transferida para uma forma metálica e aquecida em forno mufla até 80 °C (simulando uma condição extrema), devido a incapacidade da resistência de elevar a temperatura do fluido até este valor.

As análises reológicas empregadas na análise das amostras se deram conforme item 3.1.3, com exceção da análise de resíduo que não foi necessária.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados foram divididos em duas subseções de acordo com a rota experimental proposta, dividindo-se em análise da influência da natureza da água e em análise da influência da temperatura de moagem.

### **4.1 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA NATUREZA DA ÁGUA**

Nesta seção serão descritos os resultados referentes a análise da influência da natureza da água na reologia de esmaltes cerâmicos.

#### **4.1.1 Determinação da Dureza das amostras**

A Tab.2 expressa os resultados de dureza encontrados para cada amostra analisada.

Tabela 2: Caracterização da Água.

Amostra	Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
RA	240
PA	190
RB	500
PB	240
RC	410
PC	200

Fonte: Da Autora (2023).

Segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde (2006), a água é considerada dura em concentrações entre 150 mg/L e 300 mg/L e muito dura em concentrações superiores a 300 mg/L. A dureza das amostras provindas de água de poços artesianos (P) deve-se ao contato que estas fontes têm com rochas dolomíticas, fornecedoras de íons Ca<sup>+</sup> e Mg<sup>-</sup> (CASTRO; ZÚÑIGA; ALVARADO, 2018). No ano de 2021 foi publicada a portaria de n° 888, que dispõe dos padrões de análise e potabilidade de águas e estabelece o valor máximo permitido de dureza total em 300 mg/L, valor anteriormente fixado em 500 mg/L pela antiga portaria n° 2914, atualmente fora de vigor.

No caso das amostras de águas de reciclo, durante o processo das amostras RB e RC costuma haver perda por evaporação, causando concentração dos sais presentes na água e conseqüente aumento no teor de dureza, fato que inviabilizaria a potabilidade das mesmas considerando apenas o critério de dureza máxima permitida.

#### 4.1.2 Análises Reológicas

Após moagem as suspensões apresentaram pequena diferença de densidade (ocorrência comum em testes laboratoriais) e todas as amostras foram padronizadas no valor de 1,84 g/mL, possibilitando comparativo real nos testes subsequentes. Os valores de resíduo encontrados também se mantiveram próximos em todas as amostras, correspondendo a  $\pm 5\%$ .

Quanto a secagem e plasticidade, as amostras RB e RC apresentaram-se levemente mais plásticas e de secagem mais lenta, contudo uma diferença mínima para aplicações por *Airlless*.

Os dados obtidos para a viscosidade aparente estão expressos na Tab. 3. Os valores de tempo de escoamento referem-se a média entre os três valores obtidos (teste realizado em triplicata).

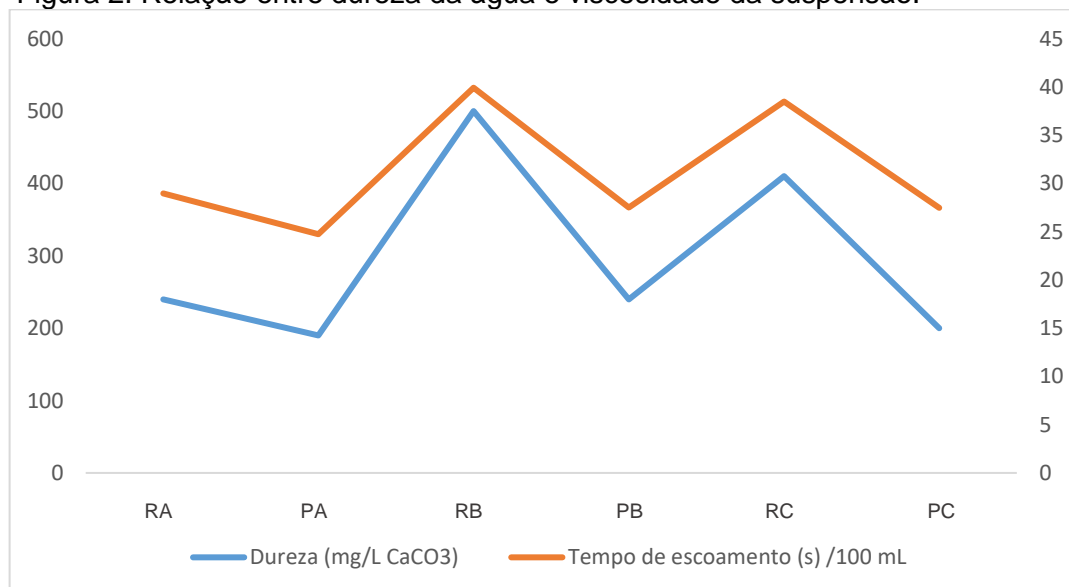
Tabela 3: Viscosidade Aparente.

Amostra	Tempo de escoamento (s) /100 mL
RA	28,98
PA	24,74
RB	39,92
PB	27,49
RC	38,47
PC	27,46

Fonte: Da Autora (2023).

As suspensões de águas de reciclo (R) apresentaram maior tempo de escoamento, conseqüentemente maior viscosidade, conforme exemplificado na Fig.2.

Figura 2: Relação entre dureza da água e viscosidade da suspensão.



Fonte: Da Autora (2023).

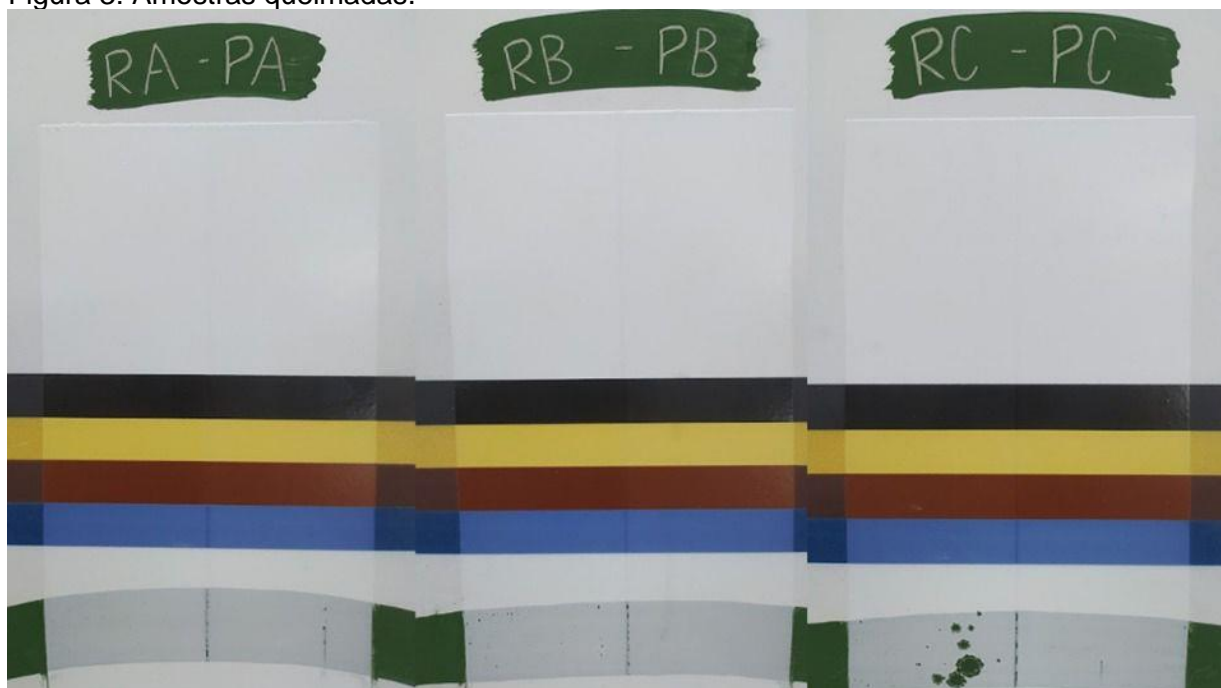
Relacionando as Tabelas 2 e 3 com a figura 2, evidencia-se que as amostras de maior grau de dureza apresentaram suspensões mais viscosas, indicando a influência deste parâmetro na reologia do esmalte.

Apesar da correlação entre o aumento do teor de dureza e o aumento da viscosidade da suspensão, não houve proporcionalidade entre os resultados. Um dos fatores a ser levado em consideração é que a análise complexométrica empregada na determinação da dureza contabiliza apenas a dureza total (soma dos íons  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Mg}^-$ ), não levando em consideração espécies que se associam em menor quantidade como os íons de Ferro, Manganês, Estrôncio e Alumínio (CANDIDO et al.; 2022). Outro fator de maior impacto é o fenômeno de tixotropia, observado de maneira mais presente nas suspensões RB e RC em relação as demais e que apresenta grande impacto na análise da viscosidade, pois torna o fluxo irregular.

#### 4.1.3 Análises pós-queima

A Fig. 3 exibe as amostras queimadas.

Figura 3: Amostras queimadas.



Fonte: Da Autora (2023).

A diferença entre as aplicações se deu de maneira sutil, não sendo evidenciada em foto. Notou-se uma leve diferença visual no brilho. A Tab. 4 exibe os valores de brilho medidos, em Unidades de Brilho (U.B), por meio do equipamento brilhaômetro.

Tabela 4: Resultados de medição de brilho dos esmaltes queimados.

<b>Amostra</b>	<b>Medição De Brilho (U.B)</b>
RA	15
PA	18
RB	13
PB	16
RC	13
PC	15

Fonte: Da Autora (2023).

Os resultados indicam que as amostras de maior dureza R desenvolveram menos brilho, comparadas às amostras de menor dureza P. Ao analisar visualmente as peças, pôde-se perceber que o desenvolvimento de ambas as cores foi afetado por igual em cada teste, portanto a análise no espectrofotômetro se deu com base na cor preta. Este modelo de equipamento exige que para cada leitura realizada seja estabelecido um padrão de comparação, e o resultado da leitura é uma expressão da diferença de coloração entre o padrão e a amostra teste (KONICA MINOLTA, 2003). Portanto, as análises foram realizadas comparando a amostra R e P de cada origem, tendo por resultado valores de  $\Delta L$  que expressam a diferença de intensidade entre as amostras (Tab.5) e sendo R apontado como padrão.

Tabela 5: Desenvolvimento de cor avaliado em Espectrofotômetro.

<b>Amostra</b>	<b><math>\Delta L</math> (%)</b>
RA – PA	-4,56
RB – PB	-2,92
RC – PC	-3,245

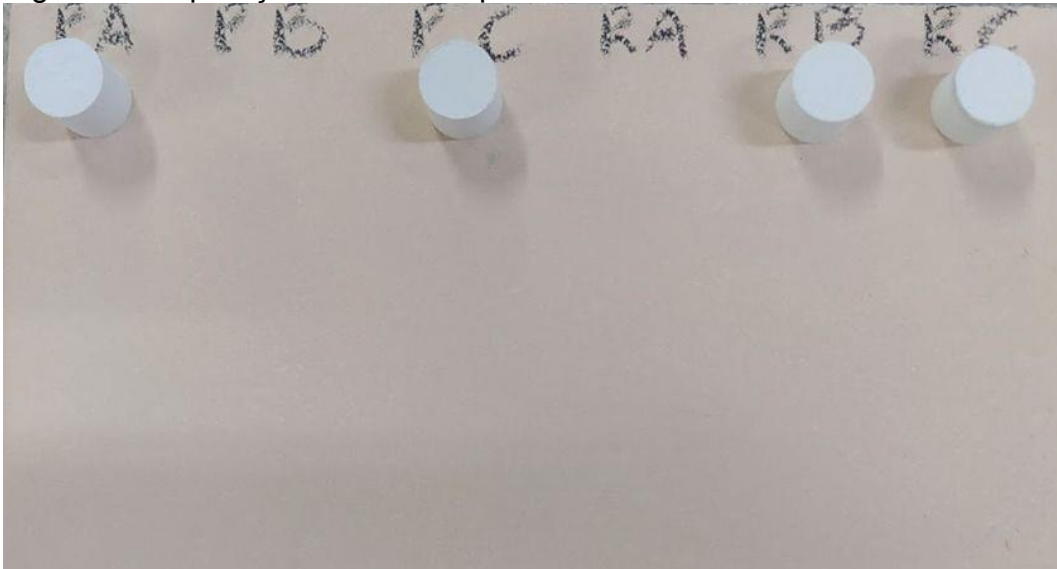
Fonte: Da Autora (2023).

Os sinais negativos indicam que as amostras analisadas P são maiores em intensidade de cor em relação às amostras R, estabelecidas como padrão. Observa-se maior  $\Delta L$  entre as amostras RA e PA, sendo a amostra PA o esmalte preparado com a água de menor dureza do estudo. Têm-se como conhecimento prático que amostras com  $\Delta L$  até o valor máximo de 1% podem ser consideradas aptas como contratipo de seu padrão, portanto as amostras de dureza mais elevada (R) estariam



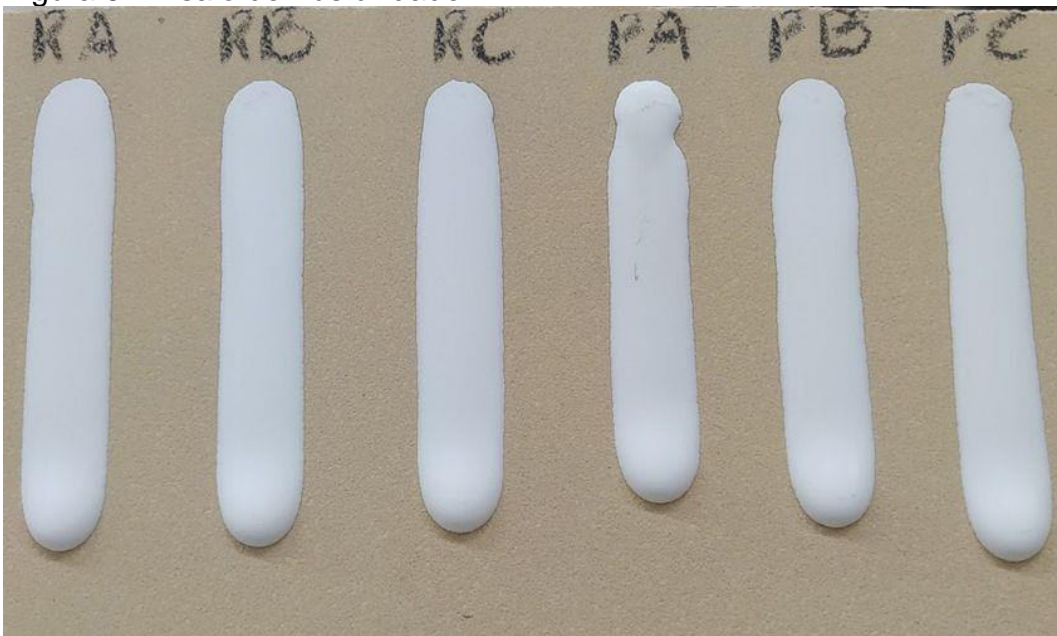
reprovadas em desenvolvimento de cor se comparadas às amostras de dureza mais branda (P), indicando a influência do parâmetro. A Fig.4 exibe o processo de preparo das amostras para o ensaio de fusibilidade e a Fig. 5 exibe o resultado do ensaio.

Figura 4: Preparação dos botões para ensaio de fusibilidade.



Fonte: Da Autora (2023).

Figura 5: Ensaio de Fusibilidade



Fonte: Da Autora (2023).

O escorrimento das amostras é resultante da etapa de sinterização em fase líquida do esmalte, que segundo Richerson e Lee (2018) é determinada

principalmente pela composição química, tamanho de partícula, viscosidade e tensão superficial do esmalte enquanto líquido. Segundo COELHO (2014), A fusibilidade é medida pela distância percorrida pelo botão durante a fusão, que ocorre durante a fase de amolecimento e fusão líquida, sendo que quanto maior esta distância maior a fusibilidade do material e menor sua viscosidade líquida de fusão (que não está relacionada com a viscosidade da suspensão).

Segundo Bragança (2022), a composição química de um esmalte e a ordenação de sua cadeia vítrea está diretamente ligada a suas propriedades e características reológicas. Durante a fusão, compostos alcalinos e alcalinos terrosos (como carbonatos e sulfatos) e aluminossilicatos (como caulim e feldspato) e outros em menor quantidade sofrem decomposição ou fusão química e têm seus óxidos dissolvidos e sinterizados na composição da estrutura vítrea do esmalte. Dentre as classificações desses óxidos existem os óxidos “não formadores”, que atuam como modificadores de rede abrindo as estruturas tridimensionais dos vidrados. Como resultado dessa incorporação, várias propriedades mecânicas, térmicas, ópticas e reológicas são afetadas, destacando-se a diminuição da viscosidade do vidro líquido durante a fusão, sendo este aumento de fluidez uma consequência direta da quebra de rede.

Relacionando a Fig.5 com a Tab.2, percebe-se que não há relação proporcional entre o aumento de dureza da água e a fusibilidade do material, podendo esta ser decorrente de outras interações entre sais ionizados da água e os componentes da suspensão. De acordo com a bibliografia de Bragança (2022), as amostras PA e PB, que possuem maior viscosidade líquida, devem apresentar em sua composição uma quantidade menor destes óxidos modificadores de rede em relação às demais amostras. Considerando que ambos os esmaltes possuem a mesma composição em termos de matérias-primas, a presença de óxidos responsáveis pela alteração destes parâmetros é atribuída à composição da água de moagem, sendo o único parâmetro de diferenciação entre as amostras.

#### 4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE MOAGEM

A temperatura do esmalte durante a descarga do moinho semi industrial, aferida com termômetro, atingiu a temperatura de 47 °C, considerando uma carga de

50 kg e o moinho tendo capacidade de moagem de 300 kg. Considera-se que no momento da descarga do moinho a amostra já não estava mais sofrendo aumento de temperatura causado pelo atrito do movimento e já havia tido contato com o ar ambiente, provavelmente reduzindo em alguns graus sua temperatura. A amostra foi resfriada em temperatura ambiente para início dos testes, a Fig.6 exibe a montagem do experimento e a medição de temperatura.

Figura 6: Montagem do teste de influência da temperatura.



Fonte: Da Autora (2023).

Durante o aquecimento do esmalte, foi visualizado que conforme o aumento da temperatura o esmalte se tornou mais viscoso, mesmo não apresentando evaporação de água considerável, vez que não houve grande diferença entre a densidade das amostras (exceto a de temperatura 80 °C). As amostras foram resfriadas em temperatura ambiente e a densidade foi ajustada para as análises, os valores de viscosidade encontram-se na Tab.6.

Tabela 6: Temperatura de aquecimento e tempo de escoamento.

Temperatura da amostra (°C)	Tempo de escoamento (s)
24,2 (inicial)	27,8
30	27,6
35	28,3
40	27,4
45	28,8
50	29,8
<b>55</b>	31,6
<b>60</b>	36,9
<b>65</b>	39,2
<b>80</b>	47,9

Fonte: Da Autora (2023).

A plasticidade e a secagem, analisadas pela aplicação via *airless*, seguiram o padrão de resultados da viscosidade, apresentando maior plasticidade e tempo de secagem nas amostras que foram submetidas a temperaturas mais elevadas, acima de 55 °C, nas quais também foi visualizado o fenômeno de tixotropia, apresentando-se com características de fluidos não-newtonianos. Essas características foram evidenciadas de maneira mais presente na amostra submetida a 80 °C, que mesmo com sua densidade ajustada em valor próprio para aplicação apresentou-se bastante viscosa e emborrachada, impossibilitando uma boa aplicação seja por *airless* ou campana.

É importante levar em consideração que as amostras já haviam atingido mais de 47 °C durante a moagem, o que explica os resultados de viscosidade semelhantes entre a amostra de temperatura ambiente e as amostras até 55 °C. De acordo com Bragança (2022), as ligações químicas de um esmalte cerâmico já começam a se alterar a partir de 25 °C de aquecimento, apesar de a sinterização e amolecimento só ocorrerem em temperaturas de queima muito mais elevadas, tornando-se um fator que influencia no aumento da viscosidade.

É de conhecimento prático nas cerâmicas que um esmalte deixado na vasca (sistema de bombeamento e agitação do esmalte) por um tempo prolongado (acarretando no aumento da temperatura) pode deixar o esmalte mais viscoso, empapado e/ou com comportamento tixotrópico, estando de acordo com o comportamento visualizado no teste.

Avaliando o conjunto, pode-se relacionar a tixotropia observada nas amostras mais aquecidas como a falta de estabilidade de suspensão causada pela ausência e/ou degradação do aditivo carboximetilcelulose, que tem por função controlar e estabilizar o comportamento reológico do esmalte.

Os resultados indicam que a dureza da água, que varia conforme sua natureza e processos aos quais é submetida, interfere diretamente nas características reológicas das suspensões de esmaltes cerâmicos, aumentando a viscosidade e propiciando a ocorrência de defeitos de aplicação. Já a temperatura durante a moagem interfere na reologia das suspensões de duas formas, promovendo o aumento da viscosidade: na sinterização da fase vítrea do esmalte e na degradação química dos aditivos orgânicos presentes.

## **5. CONCLUSÃO**

Os testes realizados com as águas de poços artesianos de diferentes localidades apresentaram resultados muito próximos em termos de viscosidade, brilho, desempenho de cor e demais comportamentos reológicos, tendo essas águas teores de dureza total bastante semelhantes apesar das localizações geográficas distintas.

Já as amostras de águas de reciclo indicaram resultados não satisfatórios para utilização como águas de preparação de esmaltes, apresentando menor desempenho em desenvolvimento de cor e aumentando a viscosidade da suspensão, podendo ocasionar problemas de empapamento, falhas de véu de aplicação e outros.

Se o comparativo entre as amostras de água envolvesse uma água de reciclo e uma água tratada de rede, a água de reciclo/ETE poderia ser considerada como uma opção para utilização parcial (em conjunto com a água tratada) em fórmulas que não exigissem alto desempenho nos parâmetros afetados, resultando no aproveitamento destas águas e reduzindo custos com a água de rede. Contudo, vez que as cerâmicas já utilizam águas provindas de poços artesianos, não se justifica a incorporação de águas reaproveitadas na preparação dos esmaltes, considerando que estas afetarão negativamente as propriedades reológicas da suspensão e não representarão redução considerável de custos.

Apesar dos resultados bastante próximos entre as amostras de poços artesianos das diferentes localidades, deve-se levar em consideração que a qualidade das águas de fontes naturais como os poços artesianos varia de acordo não só com a região, mas também com a sazonalidade (MARTINS, et al. 2017). Os resultados demonstraram que existe influência do teor de dureza da água utilizada no comportamento reológico dos esmaltes cerâmicos, indicando a importância do monitoramento da qualidade da água empregada nos processos cerâmicos e de sua análise quando encontradas divergências na aplicação de esmaltes ligadas a viscosidade e tixotropia.

Quanto à análise da influência da temperatura no processo, o aumento na viscosidade relacionado ao aumento de temperatura atingida pode estar atrelado a diversos outros fatores alheios à aditivação, principalmente ao início da formação de compostos entre as matérias primas. O resultado representa que o processamento do material atua diretamente nas características reológicas do esmalte, indicando a importância do controle de temperatura durante o processo, transporte, armazenagem e aplicação de uma suspensão de esmalte cerâmico.

Contudo, o comportamento tixotrópico visualizado no decorrer do aumento da temperatura do esmalte indica relação com o carboximetilcelulose, sendo este um aditivo de controle e estabilização reológica.

O estudo permitiu a identificação de diferentes fontes de divergência de resultados atrelados ao processo de moagem de um composto cerâmico. Para os coloríficos, a etapa de moagem é de extrema importância pois é uma das principais etapas do processamento sobre a qual não se tem controle direto, vez que a moagem é realizada diretamente pelos clientes dentro de seus padrões e *layouts* de produção. A identificação destas fontes contribui para uma resolução mais eficiente de possíveis divergências e para a consideração de fatores externos à formulação, evitando sobredosagem de aditivos e outras matérias primas, representando ganhos técnicos e comerciais.

## REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. (2015). **ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres – ANFACER. Números do Setor Cerâmico. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BAGATINI, Marília; BONZANINI, Victória; OLIVEIRA, Eniz Conceição. Análise da qualidade da água de poços artesianos do município de Imigrante, Vale do Taquari. **Revista Caderno Pedagógico**, Lageado, v. 14, n. 1, p. 84-91, 2017. Disponível em:< <http://univates.br/revistas/index.php/cadped/article/view/1417/1167> >. Acesso em: 20 abr. 2023.

BERNARDINI, Luara Pires; JUNIOR, Salesio Sebastião de Oliveira; MARQUES, Carolina Resmini Melo; MELO, Aline Resmini. Estudo de caso: O quanto a concentração de uma moagem interfere na reologia e no tamanho da partícula do produto acabado. **Revista Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 107, n. 1, 2017. Disponível em:< <https://semanaacademica.org.br/artigo/estudo-de-caso-o-quanto-concentracao-de-uma-moagem-interfere-na-reologia-e-no-tamanho-da>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

BRAGANÇA, Saulo Roca. Esmaltação: Conceito e Função. Faianças, Grês e Porcelanas. Editora Cientifika. – 1. ed. - Porto Alegre, 2022. p. 275-312.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água / Fundação Nacional de Saúde** – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2013. 150 p.

BRASIL. **Portaria nº 888**, de maio de 2021.

BRASIL. **Portaria nº 2914**, de dezembro de 2011.

**Câmara Brasileira da Indústria da Construção – Agência CBIC**. Indústria da construção prevê crescimento de 2,5% em 2023. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://cbic.org.br/industria-da-construcao-preve-crescimento-de-25-em-2023/>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

CANDIDO, Andrey Yuri de Freitas; RODRIGUES, Beatriz; BISPO, Heloisa Melo; LIMA, Stephanie Pereira. **Análise da qualidade da água de um minadouro de São Paulo/SP utilizada para consumo humano**. 2022, 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Química) - Escola Técnica Júlio de Mesquita, Santo André, 2022. Disponível em: < <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/12133/1/Monografia%20-%20AN%c3%81LISE%20DA%20QUALIDADE%20DA%20%c3%81GUA%20DE%20>

UM%20MINADOURO%20DE%20S%c3%83O%20PAULOSP%20UTILIZADA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CARLOS, Elione Moura. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento técnico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos**. 2018, 123 f. Tese (Pós Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25066/1/ElioneMouraCarlos\\_TESE.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25066/1/ElioneMouraCarlos_TESE.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2023.

CASTRO, Yuliana Solís; ZÚÑIGA, Luis Alberto Zúñiga; ALVARADO, Darner Mora. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. **Revista Tecnología en Marcha**, Costa Rica, v. 31, n. 1, p. 35-46, Janeiro/Março 2018. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

*Ceramic Tile Market Forecast Analysis, TREND 2021-2025. MECS Manufacturing Economic Studies Center*. 2022, Itália. Disponível em: <<https://www.mecs.org/EN/shop/cat/sector-reports/prod/111-world-production-and-consumption-of-ceramic-tiles>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

COELHO, Jorge Luiz. **Utilização do resíduo de beneficiamento mineral de uma rocha com espodumênio no desenvolvimento de fritas e esmaltes cerâmicos**. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://rb.gy/xlqwmz>. Acesso em: 07/12/2023.

DANTAS, Gerbeson Carlos Batista. **Preparação de pigmentos cerâmicos à base de cinza da casca de arroz impregnados com íons ferro e cromo**. 2021, 67 f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/7365/1/GerbesonCBD\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/7365/1/GerbesonCBD_DISSERT.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2023.

GOIS, Jonas Morais De. **Estudos da obtenção de esmaltes aplicados à cerâmica vermelha**. 2021, 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/8166/1/TCC%20JONAS%20-%20FINAL%20-%20JONAS%20MORAIS%20DE%20GOIS.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

HERAS, Federico Michavila. A Evolução das Fábricas de Fritas, Esmaltes e Corantes Cerâmicos e sua Contribuição para o Setor Cerâmico. **Revista Cerâmica Industrial**, Espanha, v. 7, n. 4, p. 7-17, 2002. Disponível em:<<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657137f8c9d6e028b4673/pdf/ci-7-4-587657137f8c9d6e028b4673.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2023.



JUNIOR, Marsis Cabral; AZEVEDO, Paulo Brito Moreira De; CUCHIERATO, Gláucia; MOTTA, José Francisco Marciano. Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte III – Indústrias de Colorifícios, Sanitários e Cerâmica Técnica - Isoladores. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.24 (3), p.15-26, Julho/Setembro 2019. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.014/pdf/ci-24-3-15.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

JUNIOR, Marsis Cabral; BOSCHI, Anselmo; FERREIRA, André Luiz Baradel; COELHO, José Mario. A Indústria de Colorifícios no Brasil: Situação Atual e Perspectivas Futuras. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.15 (1), p.13-18, Janeiro/Febrero 2010. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876573f7f8c9d6e028b4776/pdf/ci-15-1-5876573f7f8c9d6e028b4776.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

JUNIOR, Salésio Sebastião de Oliveira; CISESKI, Tatiani Malgarise Brolesi. **Tratamento de água através de troca iônica por meio de zeólitas como proposta para melhoria da reologia da frita cerâmica e dos compostos moídos**. 2019, 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Centro Universitário UNISATC, Criciúma, 2019. Disponível em: <<http://repositorio.satc.edu.br/bitstream/satc/368/2/TCC%20II%20-%20SALESIO%20SEBASTI%c3%83O%20DE%20OLIVEIRA%20JUNIOR%c2%a0.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

KONICA MINOLTA. Espectrofotômetro CM-26dG CM-26d CM-25d Pt - Manual de Instruções. 2003.

MARTINS, Adriana Sotero. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Maranhão, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1962>> Acesso em: 11 nov. 2023.

MOLETA, Juliano. **Avaliação da colorimetria por imagens digitais empregando smartphones para determinação da dureza em águas**. 2022, 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/31300/1/durezaaguaimagensdigitais.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

NAKAMURA, Juliana. Inovações tecnológicas conferem novo status aos revestimentos cerâmicos. **Revista AECWeb**, 19/02/2019. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/inovacoes-tecnologicas-conferem-novo-NAstatus-aos-revestimentos-ceramicos/18454>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PRADO, Ulisses Soares; BRESSIANI, José Carlos. Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na última década. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 56º., 2012, Curitiba. **Anais**. Pág. 3035 – 3047. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/cbc/18423.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Qualidade: Por que água de poço artesiano é muito melhor do que água de abastecimento público. **PERFURARTE**, 30. nov. 2020. Minas Gerais. Disponível em: <<https://www.perfurarte.com.br/post/agua-poco-artesiano-qualidade>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

RICHERSON, David W.; LEE, William E. **Modern Ceramic Engineering: properties, processing and use in design**. 4. ed. New York, USA: CRC Press, 2018. 812 p.

ROCHA, Rogers Raphael Da.; ZANARDO, Antenor; MORENO, Maria Margarita Torres. Estudo do comportamento reológico de barbotinas preparadas com argilas da Formação Corumbataí utilizadas no pólo cerâmico de Santa Gertrudes (SP). **Revista Cerâmica 54**, São Paulo, p.332-337, 2008. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/jdqgkM5B69kjtzbmcDJG3Mx/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ROXO, Roberto S. **Relatório de estágio supervisionado desenvolvido na indústria Portobello: Organização e desenvolvimento de um banco de dados para esmaltes cerâmicos**. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis, SC, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/220004>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SANCHÉZ, Enrique. Matérias-Primas para a Fabricação de Fritas e Esmaltes Cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.2 (3/4), p. 32-40., Maio/Agosto 1997. Disponível em: <<https://ceramicaindustrial.org.br/article/587656fd7f8c9d6e028b45ed/pdf/ci-2-3-4-587656fd7f8c9d6e028b45ed.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SANTOS, Jonatas Rangel Dos. **Melhoria de um processo de produção de peças cerâmicas através do Seis Sigma**. 2018, 84 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Qualidade Lean Seis Sigma Green Belt) – Universidade de Taubaté, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4957/1/Jonatas%20Rangel%20dos%20Santos.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SARTOR, Beatriz Alves; RODRIGUES, Emily Nauana Marques; BRUNEL, Gabriel Goularti; GEREMIAS, Layrine; ROSA, Maria Eduarda de Souza Da.; SAVI, Suelen Reus; BAESSO, Vitoria Spadel; BARRETO, Priscilla; DAL BÓ, Marcelo. Otimização do processo de moagem em moinho planetário. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.27 (1), p.01-09, 2022. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2021.005/pdf/ci-26-1-1.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SILVEIRA, Ronaldo; ZACCARON, Alexandre; PEZENTE, E.; OLIVEIRA, A.; ARCARO, Sabrina; MONTEDO, Oscar Rubem Klegues; JUNIOR, Agenor de Noni; ANGIOLETTO, Elidio. Esmalte de baixa temperatura à base de óxido de estrôncio para cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.26 (1), p.1-11, 2021. Disponível em: <

<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2021.005/pdf/ci-26-1-1.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

SUSKI, Cássio Aurélio. Melhoria da produtividade no processo de decoração de revestimentos cerâmicos por meio do PDCA. **Revista Técnico Científica do IFSC**, Santa Catarina, v.1 (12), p.01-14, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/3061>>. Acesso em: 28 abr. 2023

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora, que me guiaram durante todo o caminho até aqui. Aos meus pais, Edson Machinski e Clarice Nazário Pires e ao meu irmão Guilherme Machinski, por todo amor, dedicação e união que me fazem a pessoa e profissional que sou hoje.

Aos meus colegas de curso, os quais levarei comigo como bons amigos. À UNISATC e todos os professores que fizeram parte da minha trajetória, em especial minha orientadora Débora De Pellegrin Campos e à banca Morgana Nurenberg Sartor, por toda orientação e apoio. À Empresa onde desenvolvi o estudo a todos meus colegas que contribuíram de alguma forma, em especial à Thayse de Oliveira Júnior, que participou como banca avaliadora.