

ESTUDO SOBRE DEFEITOS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS E SUAS POSSÍVEIS CAUSAS CONTAMINANTES

Maíne da Silva de Oliveira¹

Débora De Pellegrin Campos²

Resumo: Em todos os ramos industriais existem inúmeras situações cotidianas que colocam em risco a qualidade dos produtos que estão sendo fabricados. A presença de defeitos nas peças cerâmicas caracteriza material de segunda qualidade e valor comercial inferior. Com isso, há necessidade de uma atenção redobrada de diversas áreas da engenharia e produção para prever a ocorrência desses problemas, ou então, caso eles ocorram, deve-se encontrar rapidamente a solução dessas possíveis interferências no processo fabril. Este trabalho apresenta os principais defeitos identificados em placas cerâmicas produzidas pelo processo “via úmida”, as fontes geradoras e as formas de evitá-los ou minimizá-los. As fontes geradoras foram identificadas a partir do mapeamento de todo o processo produtivo e controle individual das matérias-primas. As formas de evitá-los apresentadas foram baseadas em trabalhos desenvolvidos na referida indústria e experiências adquiridas ao longo dos anos. Para a obtenção dos resultados foram estudadas peças cerâmicas contaminadas com ferro, borracha, graxa, óleo, grânulos e partículas com dimensões maiores que a malha adotada no processo de peneiramento do moinho. O estudo foi baseado na simulação de defeitos a partir da contaminação de corpos de prova em laboratório com as substâncias citadas. Após a determinação da origem do defeito, sugere-se medidas para eliminar ou reduzir os defeitos nas peças de revestimentos. De acordo com o estudo realizado é possível afirmar que a grande maioria dos defeitos superficiais encontrados em placas cerâmicas são possíveis de evitar com controles relativamente simples como domínio do processo produtivo e controle de matérias-primas.

Palavras-Chave: Processo Produtivo. Defeitos Superficiais. Peças Cerâmicas. Fontes Geradoras.

1 INTRODUÇÃO

As empresas de modo geral buscam rentabilidade por meio de projetos planejados e eficazes. Na indústria de revestimentos cerâmicos não é diferente, a rentabilidade do negócio pode ser obtida por meio de uma combinação de fatores que

¹ Graduanda em Engenharia de Química. Ano 2021-2. E-mail: mainedasilva@hotmail.com

² Professora do Centro Universitário UniSATC. E-mail: debora.campos@satc.edu.br

englobam as necessidades do cliente e as características técnicas e estéticas do produto.

As cerâmicas podem ser produzidas por um conjunto de matérias-primas, ou apenas de argilas, material encontrado em abundância no Brasil, o que estimulou o crescimento desse mercado. Os tipos de argila mais usados na produção de cerâmica são a argila vermelha, argila branca, argila plástica e argila fundente (GRASEL, 2017).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica – ABCERAM, a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas embutidas nos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada.

Atualmente a competitividade de um produto baseia-se em muitos critérios, incluindo custos e qualidade de produção. Portanto, a fim de maximizar os lucros, as empresas estão cada vez mais se voltando para a máxima confiabilidade e qualidade de seus produtos acabados, bem como no processo de fabricação e armazenamento.

Essa crescente conscientização, aliada a disseminação de diversas ferramentas relacionadas a qualidade nas indústrias envolvidas no controle de qualidade, podem identificar e analisar as causas dos problemas e possíveis soluções no chão de fábrica, gerando benefícios econômicos e um diferencial perante o mercado. Essa preocupação com a qualidade está necessariamente ligada à resolução dos problemas encontrados. À medida que resultados indesejáveis são percebidos, como defeitos e falhas, deve-se atuar de maneira ordenada para encontrar a causa raiz para evitá-las.

A fim de se identificar os defeitos mais comuns serão estudadas peças cerâmicas contaminadas com borracha, madeira, óleo, graxa, grânulos, plástico, ferro e partículas com dimensões maiores que a malha adotada no processo de peneiramento.

Por fim, tem-se o objetivo de reduzir a incidência de não conformidades na produção de revestimentos cerâmicos a partir do estudo sobre os defeitos e suas possíveis causas contaminantes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será relatado, de forma concisa, aspectos sobre o setor cerâmico e o processo de fabricação da cerâmica de revestimentos, dando ênfase aos processos de produção do porcelanato da Empresa em estudo.

2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA

A cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pelo homem. Do grego “*kerámos*” (“terra queimada” ou “argila queimada”), possui grande resistência e frequentemente é encontrada em escavações arqueológicas. Pesquisas apontam que a cerâmica é produzida há cerca de 10-15 mil anos (ANFACER, 2017).

Simplificando o processo de obtenção do material, a cerâmica é uma atividade de produção de artefatos a partir da argila, que se torna plástica e de fácil modelagem quando umedecida. Após ser submetida a secagem, para retirar a maior parte da água, a peça moldada é submetida a altas temperaturas, a partir de 800 °C, que lhe atribuem rigidez e resistência. Assim, a cerâmica pode ser tanto utilizada como uma atividade artística, em que são produzidos utensílios com valor estético, quanto como uma atividade industrial, em que são produzidos artefatos para uso na construção civil e na engenharia (NAPOLI, 2015).

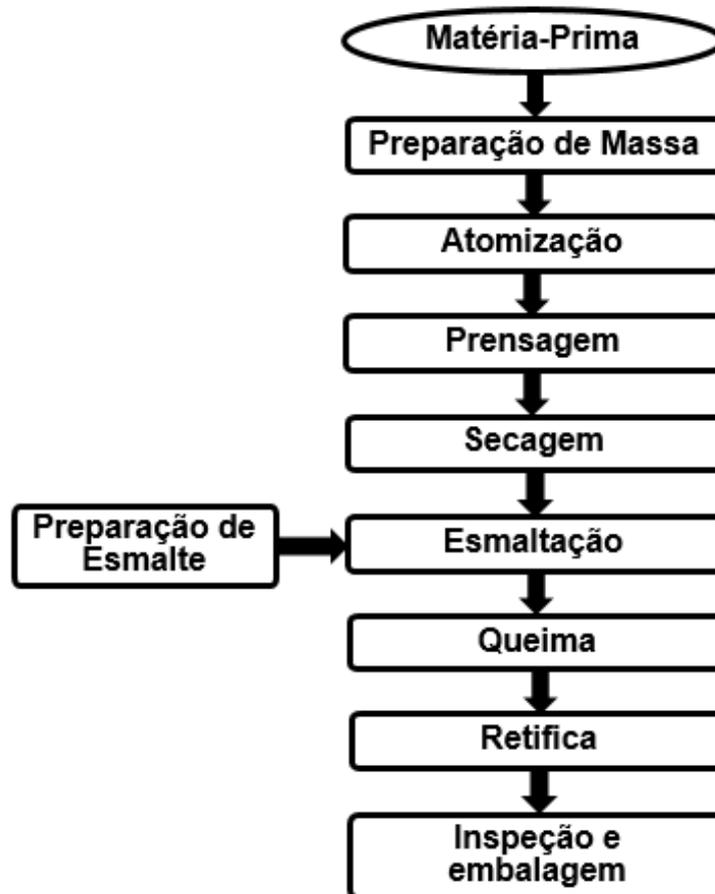
A indústria brasileira de cerâmica para revestimentos surgiu no início do século 20, a partir de antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica vermelha, que começaram a produzir ladrilhos hidráulicos e, mais tarde, azulejos e pastilhas cerâmicas e de vidros. No início dos anos 70 que a produção de revestimentos cerâmicos alcançou uma demanda contínua, em modo tal que a indústria ampliou significativamente a sua produção, determinando o surgimento de um grande número de empresas (OLIVEIRA, 2015).

Além das vantagens e da durabilidade provocada através dos séculos, os revestimentos cerâmicos possuem as qualidades que uma avançada tecnologia lhes confere. Eles se mostram apropriados para pequenos detalhes, ambientes interiores ou para grandes escalas ao ar livre. São oferecidos de maneira a satisfazer os mais variados gostos, como padronagens e texturas diversas (ANFACER, 2017).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de produção de revestimentos cerâmicos envolve diversas etapas e setores da fábrica. Este tópico irá abordar de forma geral a manufatura de um revestimento cerâmico. Para melhor visualização das principais etapas do processo foi desenvolvido um fluxograma simplificado com as principais etapas, mostrado na Fig. 1, que serão descritos nos subtópicos seguintes.

Figura 1: Fluxograma do processo produtivo.



Fonte: Do autor (2021)

2.2.1 Matéria-prima

As matérias-primas utilizadas na fabricação da cerâmica de revestimentos são estocadas no interior da fábrica, em locais chamados de boxes. Com o armazenamento das matérias-primas, ocorre a pesagem de acordo com a formulação interna, visando as características desejadas. Após esta etapa, as matérias-primas

são encaminhadas por correia transportadora até o moinho, onde ocorre a preparação de massa.

2.2.2 Preparação de massa (moagem)

Depois de separadas, as matérias-primas são transportadas por correias até o moinho descontínuo que faz a moagem por meio de bolas de alta alumina e revestimentos de borracha. A moagem é realizada no moinho de bolas, que são constituídos por um cilindro oco, de metal, com um eixo na posição horizontal sobre o qual é imprimido um movimento de rotação. Dentro do moinho rolam os corpos moedores em conjunto com o material a ser moído (HILGEMBERG, 2015).

A moagem tem por objetivo a redução das dimensões e a homogeneização das matérias-primas. No processo de moagem as matérias-primas devem ser pesadas e transportadas para moinhos de bolas de seixos de ágata ou alumina. Após obter a formulação adequada, a moagem é realizada em meio aquoso para uma melhor homogeneização da barbotina (mistura das matérias-primas com água e defloculante) (ROXO, 2020).

2.2.3 Atomização

A atomização é um processo no qual a água contida em uma barbotina é removida por evaporação de maneira controlada. A remoção não é total já que uma certa quantidade de água residual deve permanecer nos grânulos formados para lhes conferir uma plasticidade adequada para a etapa de compactação por prensagem (OLIVEIRA, 2015).

O processo consiste em pulverizar a barbotina no interior de uma câmara de secagem ventilada com ar aquecido. As gotas pulverizadas adquirem uma forma esférica pela força da pressurização e os granulados secos são separados do ar quente e úmido para utilizar no processo cerâmico (ROXO, 2020).

Após o processo de atomização, os grânulos formados, com granulometria e umidade controladas, são transportados através de esteiras para os silos de estocagem. Lá permanecem em repouso por ao menos 48 horas para a homogeneização e estabilidade da umidade (OLIVEIRA, 2015).

2.2.4 Prensagem

A prensagem é a fase do processo onde o pó atomizado é submetido à alta pressão, o que dará a sua forma definida, o chamado biscoito. Promove a compactação do pó, unindo e deformando os grãos, reduzindo o volume inicial, eliminando quase por completo o ar que ocupava os espaços entre os grãos (SILVA, 2013).

A prensa é um dos equipamentos que devem ter excelentes controles de pressão específica, espessura e densidade aparente, pois ela pode ocasionar graves defeitos que desqualificam o produto. Pode-se citar defeitos dimensionais, trincas de diferentes origens e diferenças de compactação (HILGEMBERG, 2015).

2.2.5 Secagem

A secagem é a etapa do processo produtivo onde ocorre a eliminação da umidade residual dos produtos provenientes da etapa de prensagem. Essa operação pode ser realizada por meio de secadores verticais ou horizontais. Os secadores horizontais operam com ciclos de secagem mais rápidos (6 a 20 minutos), já que fisicamente são mais longos, a temperaturas que podem variar de 200 a 250 °C. A duração do ciclo depende das características da massa, da dimensão e espessura das placas cerâmicas (OLIVEIRA, 2015).

2.2.6 Esmaltação

No setor de esmaltação o produto passa por correias onde recebe uma sequência de aplicações de matérias que fornecerão a peça as características necessárias para o produto final. Alguns dos produtos aplicados são o engobe que permite esconder a coloração da massa e impermeabilizar o produto e o esmalte que determina a característica final do produto e decorações (MARQUES, 2017).

Segundo Silva (2013), os esmaltes são aplicados em peças cerâmicas com diversas finalidades: impermeabilização, embelezamento, aumento da resistência aos ataques químicos (ácidos e bases) e a resistência mecânica.

2.2.7 Queima

A queima tem a função de sinterizar as peças cerâmicas, bem como a vitrificação dos esmaltes e estabilização das cores. Esse processo também confere o tamanho final das peças caso não sofram o processo de retificação, influenciando a classificação dos produtos de acordo com a absorção de água que lhe são conferidas após a queima, de acordo com a norma Organização Internacional de Normalização (ISO) 13006 (1997).

O processo de queima ocorre em seguida a secagem e a esmaltação. Após a redução da umidade e o recebimento da camada de esmalte, as peças são encaminhadas para fornos contínuos e submetidos a um tratamento térmico entre 800 °C e 1700 °C. A operação acontece em três fases, que são: aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura desejada, patamar durante certo tempo na temperatura específica e resfriamento até temperaturas inferiores a 200 °C (SILVA; MAIA, 2016).

2.2.8 Retífica

De acordo com Marques (2017), a retífica consiste em um equipamento onde discos diamantados fazem a retífica ou corte, realizando o acabamento lateral da peça que garantem dimensões precisas ao porcelanato.

Na retificação da cerâmica o diamante é o abrasivo utilizado, devido a sua dureza e condutividade térmica. Nesta etapa são retirados, em média, cinco milímetros de cada lado da peça cerâmica.

2.2.9 Inspeção e embalagem

Na saída do forno está instalada a linha de seleção automática, onde o produto é separado através de classificação visual dos defeitos superficiais, realizada pelo operador industrial e defeitos de ortogonalidade separados pela própria máquina. Após o processo de escolha, os produtos são devidamente encaixotados, paletizados e estocados para expedição (JÚNIOR, 2018).

2.3 DEFEITOS SUPERFICIAIS

Os revestimentos cerâmicos são produtos destinados ao setor da construção civil, servindo de acabamento superficial para pisos e paredes dos mais diferentes tamanhos, formatos e aplicações, dando, na maioria das vezes, um ar sofisticado ao ambiente em que é instalado. Por isso, o processo de fabricação destes revestimentos está em constante evolução, buscando sempre uma maior automatização, aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos produtos para seguir a tendência mundial de inovação e design arrojado que os clientes valorizam (HILGEMBERG, 2015).

De acordo com Júnior (2018), os defeitos superficiais são um dos principais causadores do aumento da quantidade de peças de segunda qualidade. Como as peças de segunda qualidade são comercializadas a um valor inferior, a presença do defeito resulta em perda de qualidade da produção e perdas financeiras significativas.

Sendo assim, qualquer minimização ou eliminação de possíveis defeitos gerados durante a fabricação dos revestimentos cerâmicos geram redução de custos para o fabricante, além de consumidores mais satisfeitos com o produto (HILGEMBERG, 2015).

Para aqueles defeitos que não são comuns do cotidiano operacional, é difícil dizer qual a origem dos defeitos mediante uma análise apenas visual, o que dificulta a sua classificação. Dependendo do colaborador que está fazendo a classificação do produto defeituoso ele poderá nomear esta falha de diferentes formas, como grumos, contaminação de massa e bolhas, devido a semelhança entre todos eles quando é feita apenas a avaliação visual (HILGEMBERG, 2015).

Nos últimos anos os defeitos das indústrias cerâmicas tem sido tema de várias pesquisas a fim de solucionar ou amenizar os problemas encontrados dentro do setor produtivo (JÚNIOR, 2018).

A maior dificuldade de identificação de defeitos visuais é que não se sabe ao certo em que etapa do processo fabril o mesmo ocorreu. Alguns materiais podem gerar contaminação na peça final, como borrachas de correias transportadoras, plásticos de diferentes naturezas e óleos de equipamentos (HILGEMBERG, 2015).

2.3.1 Defeitos superficiais mais comuns encontrados na indústria de revestimentos cerâmicos

Serão citados alguns dos defeitos superficiais mais comuns encontrados nas indústrias de revestimentos cerâmicos.

✓ Contaminação de massa

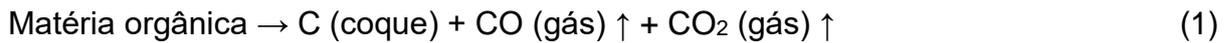
Na contaminação de massa sobre a superfície lisa da peça forma-se uma pequena ondulação que difere do restante. É difícil dizer qual a origem do defeito mediante uma análise visual, o que dificulta a classificação do defeito, podendo confundir se o problema está no processo de esmaltação ou se está no suporte cerâmico. Por isso é necessário romper a peça no local afetado para identificar se a contaminação de massa se origina no interior da peça ou se ela é um defeito superficial decorrente de esmalte.

✓ Coração negro

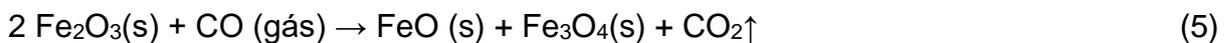
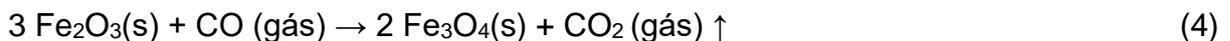
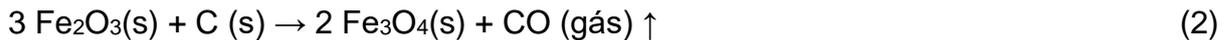
Durante o processo de aquecimento das placas cerâmicas ocorre uma série de decomposições como a desidratação, combustão da matéria orgânica, desidroxilação e decomposição de impureza com carbonatos. Estas decomposições liberam gases e estes, se liberados durante a fusão da camada de esmalte, podem causar o surgimento de defeitos superficiais como bolhas e furos. Esses gases, se não liberados, podem reagir com o material sólido e formar o que é conhecido como coração negro (LIVRAMENTO; NAZÁRIO; DOMINGOS, 2017).

Segundo Skoronski et al. (2015), a origem do coração negro está associada à presença de compostos orgânicos e óxidos de ferro nas argilas. Resumidamente pode-se dizer que as principais reações responsáveis pelo desenvolvimento do coração negro são:

- A matéria orgânica sofre uma carbonização ou pirólise, catalisadas pelo silicato de alumínio também presente nos argilominerais e se transforma em coque (C), como pode-se observar na Reação (1) (SKORONSKI et al., 2015).



• As elevadas capacidades redutoras do C e monóxido de carbono (CO), produzidos pela Reação (1), provocam a redução do ferro também presentes nas argilas, pelas Reações (2), (3), (4) e (5) (SKORONSKI et al., 2015).



O ferro reduzido (óxido de ferro III (Fe_3O_4) e óxido de ferro II (FeO)) apresenta coloração mais escura e é mais fundente do que no seu estado oxidado (SKORONSKI et al., 2015).

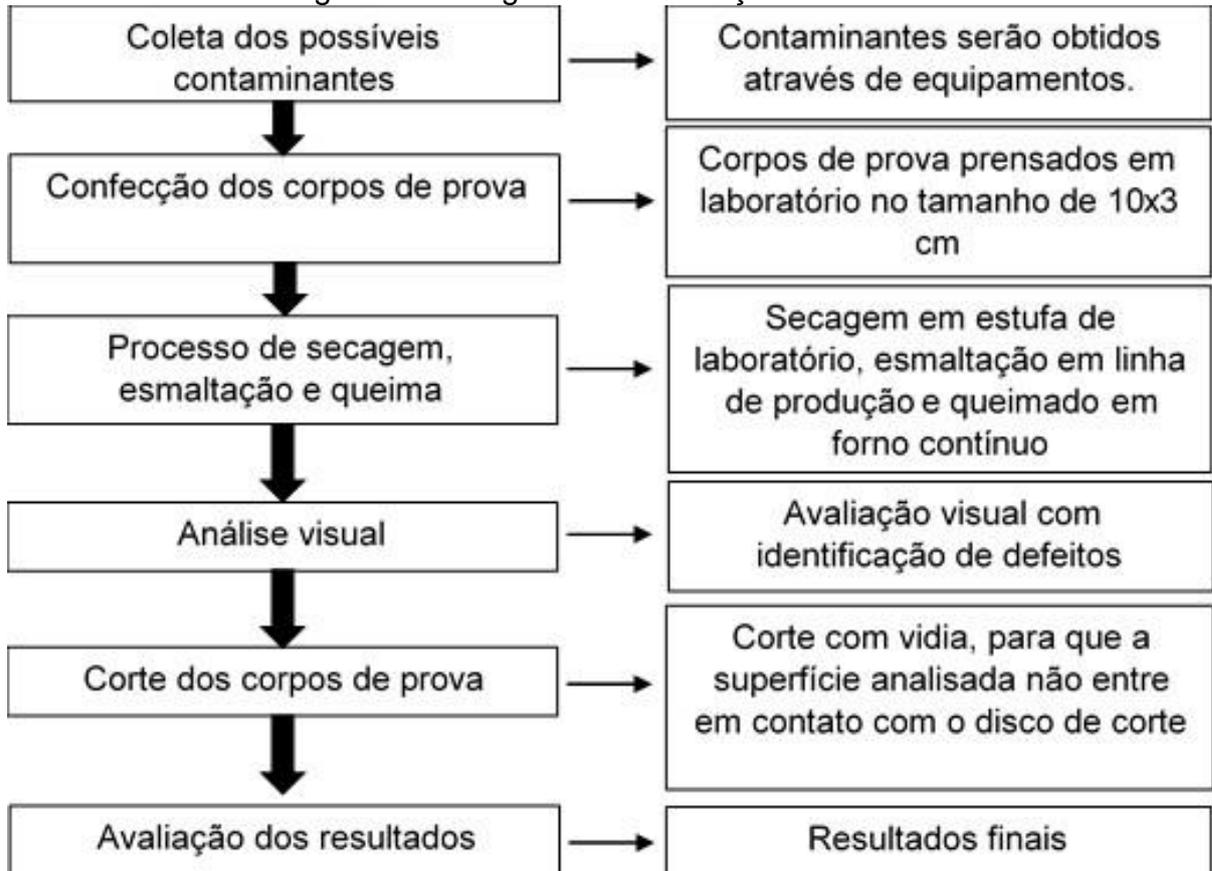
✓ Trincas

De acordo com Júnior (2018), a ocorrência de trincas em peças cerâmicas pode estar diretamente ligada à diferença de coeficientes de expansão térmica entre a matriz e as fases cristalinas. Em outras palavras, as trincas decorrem da variação de temperatura no processo de queima, pois as partículas se contraem mais que a matriz, fazendo que se resulte em trincas ao redor das partículas.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Com o intuito de descobrir a causa do defeito na superfície das peças cerâmicas foram realizados corpos de provas no laboratório da Empresa, acrescentando os possíveis materiais contaminantes, a fim de identificar defeitos que ocasionam a desclassificação do produto devido a uma protuberância que aparece na superfície da peça cerâmica. A Fig. 2 apresenta o fluxograma de todo o processo de execução do estudo.

Figura 2: Fluxograma de execução do estudo.



Fonte: Do autor (2021)

Todos os métodos utilizados nos processos citados na Fig. 2 seguem os procedimentos internos da empresa de revestimentos cerâmicos na qual foram realizados os testes e as análises.

A primeira etapa consistiu em obter os materiais contaminantes que foram graxa, borracha, óleo, grânulos, ferro e partículas com dimensões maiores que a malha adotada no processo de peneiramento. Estes materiais foram coletados em peças, utensílios, máquinas e equipamentos que sofrem desgastes ao longo do processo produtivo de revestimentos cerâmicos.

Para a identificação de materiais contaminantes no processo de produção, foi verificado durante 10 dias “*in loco*” no pátio de armazenamento das matérias-primas e nos setores de preparação de massa, moagem, silos e prensas. Com o levantamento dos possíveis contaminantes foi recolhido “*in loco*” pequenas quantidades dos mesmo para a contaminação dos corpos de prova e a verificação da causa após todo o processo de produção.

As Fig. 3, Fig. 4 e Fig. 5 representam alguns equipamentos e materiais contaminantes do processo de fabricação.

Figura 3: Grânulos de massa na correia das prensas.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 4: Pontos com acúmulo de graxa sobre as correias de massa.



Fonte: Do autor (2021)

Figura 5: Borracha do interior do moinho.



Fonte: Do autor (2021)

Foram confeccionados três corpos de prova, utilizando a massa de porcelanato que é composta basicamente por argilas, quartzo e feldspato e foi misturado pequenas partículas de cada material contaminante mencionado acima. Cada corpo de prova recebeu o mesmo material contaminante, porém de tamanhos diferentes para comparar o defeito com diferentes tamanhos de partículas.

Em seguida, para a formação dos corpos de prova foi adicionado a massa de porcelanato com os materiais contaminantes em prensa hidráulica semiautomática de laboratório em matriz de aço oxidável retangular de três cavidades, marca Gabrielly.

Os corpos de prova foram confeccionados em formato de barras retangulares de dimensões de aproximadamente 10 por 3 cm. A matriz de compactação foi alimentada com cerca de 50 g de massa cerâmica e a pressão de compactação de 359 kgf/cm².

A Fig. 6 mostra a massa atomizada nas cavidades antes e depois da prensagem.

Figura 6: Massa atomizada na prensa com os materiais contaminantes.

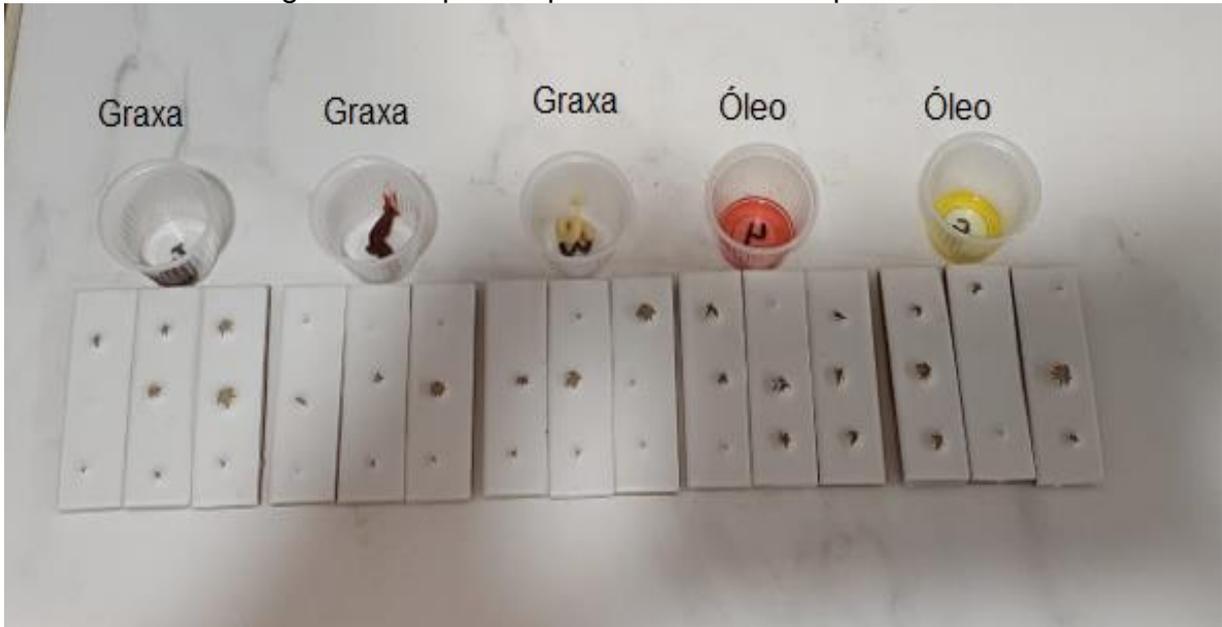


Fonte: Do autor (2021)

Após a conformação dos corpos de prova os mesmos foram secos em estufa de laboratório por aproximadamente 60 minutos a 150 °C para a aplicação da camada de engobe e esmalte. Em seguida os corpos de prova foram levados para a queima sobre placa refratária em forno industrial contínuo com aproximadamente 77 metros com ciclos de 30 a 40 minutos e temperaturas de 1200 a 1250 °C.

A etapa seguinte consistiu na avaliação visual dos corpos de prova com a identificação dos possíveis defeitos ocasionados em virtude dos materiais contaminantes adicionados no momento da confecção dos mesmos. Com os defeitos identificados, os corpos de prova foram para a etapa de corte, que é realizado com vidia para que a superfície a ser analisada não entre em contato com o disco de corte e altere as características do defeito. A Fig. 7 mostra os corpos de prova já esmaltados e queimados com diferentes tipos de graxa e óleo.

Figura 7: Corpos de prova esmaltado e queimado.



Fonte: Do autor (2021)

Por fim, os resultados das análises foram avaliados para catalogar imagens e características dos materiais contaminantes facilitando a identificação dos defeitos na linha de produção e podendo tomar medidas rápidas para resolução dos problemas durante a produção melhorando assim a qualidade dos produtos acabados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais defeitos identificados na produção de revestimentos cerâmicos e também as suas fontes geradoras e as principais formas de controle estão apresentados. Os Qd. 1, Qd. 2 e Qd. 3 apresentam um resumo das fontes de contaminantes da massa cêramica observadas em parte do processo produtivo.

Quadro 1: Fontes de contaminantes relacionadas as jazidas e pátio operacional.

Material contaminante	Fontes contaminantes	Fontes contaminantes
Ferro	Desgaste concha e dentes da pá carregadeira; parafusos; arruelas; ferramentas	Filtro de óleo
Borracha	Desgaste pneus da pá carregadeira e caminhões	
Graxa e Óleo	Lubrificação de máquinas	Vazamentos de óleo nas máquinas

Fonte: Do autor (2021)

Quadro 2: Fontes de contaminantes relacionadas ao setor de preparação de massa.

Material contaminante	Fontes contaminantes	Fontes contaminantes	Fontes contaminantes
Ferro	Desgaste concha e dentes da pá carregadeira; ferramentas	Peças que desprendem da máquina durante a operação	Desgaste de equipamentos de moagem
Borracha	Desgaste pneus da pá carregadeira e caminhões	Desgastes das correias transportadoras	Desgaste dos moinhos internamente
Graxa e Óleo	Lubrificação de máquinas	Vazamentos de óleo nas máquinas	Acumulo de graxa e óleo nos equipamentos
Grânulos de massa	Malha da peneira irregular	Moagem insuficiente	Vazamento na peneira

Fonte: Do autor (2021)

Quadro 3: Fontes de contaminantes relacionadas ao setor prensas.

Material contaminante	Fontes contaminantes	Fontes contaminantes
Ferro	Desgaste interno dos silos	Desgaste de válvulas.
Graxa e Óleo	Lubrificação das prensas	Vazamentos de óleo nas prensas
Grânulos de Massa	Peneira da Prensa furada	

Fonte: Do autor (2021)

4.1 PRINCIPAIS CONTAMINANTES

Os principais defeitos superficiais identificados nas peças de revestimentos cerâmicos estão citados e relacionados com imagens.

4.1.1 Defeitos com a presença de ferro

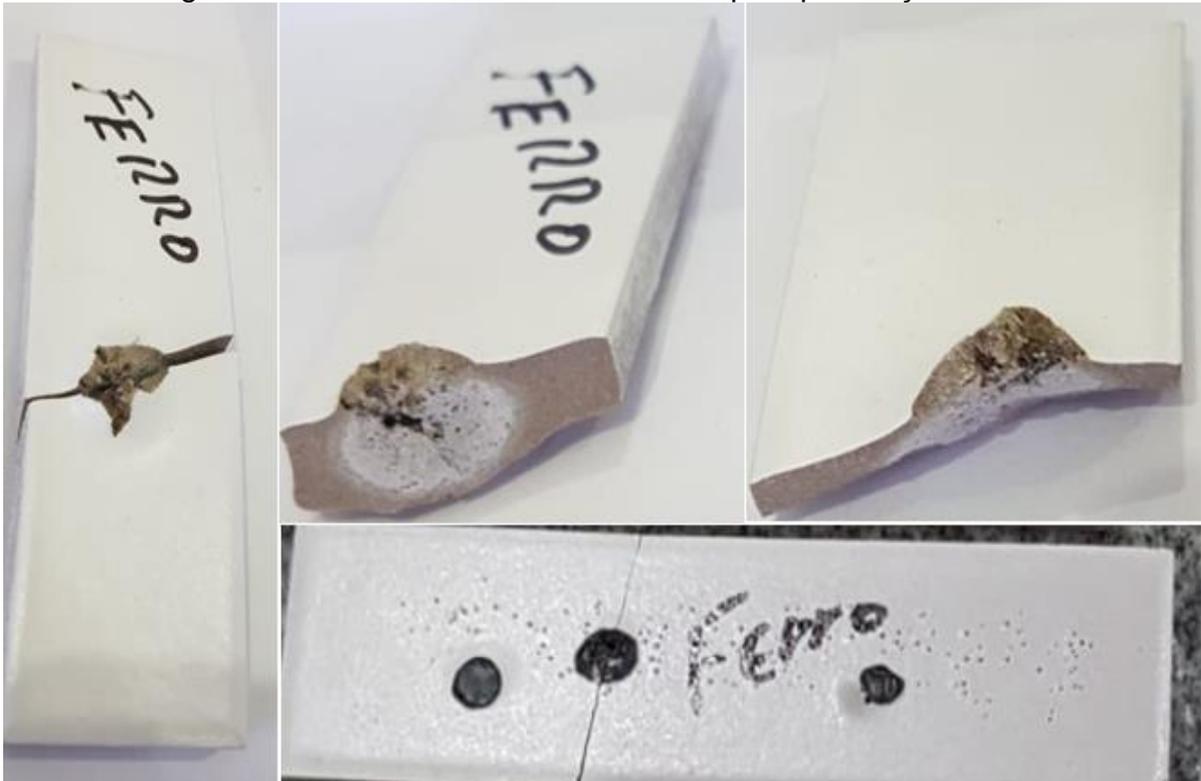
O defeito superficial relacionado a presença de ferro ocorre principalmente pela presença de ferro no processo, devido ao desgaste de peças e equipamentos, como por exemplo, os dentes e conchas das máquinas de extração e preparação de massa; desgastes das peças do moinho, rolos, rotor, revestimentos internos, desgaste das pás do granulador; desgaste interno dos silos, desgaste da correia alimentadora e elementos estranhos como peças metálicas vindas de outros locais e resíduos de solda geradas na recuperação de peças e equipamentos de processo (SKORONSKI et al., 2015).

O defeito resultante da presença de ferro apresenta como característica física uma saliência ou protuberância na superfície e quando cortada no ponto de contaminação, apresenta pontuações de coloração preta e forma achatada, conforme

apresentado na Fig. 8 que mostra a reprodução em laboratório deste defeito.

As características apresentadas neste tipo de defeito são resultantes da redução de ferro que apresenta colocação mais escura e é mais fundente do que no estado oxidado (SKORONSKI et al., 2015).

Figura 8: Defeito característico causado pela presença do ferro.



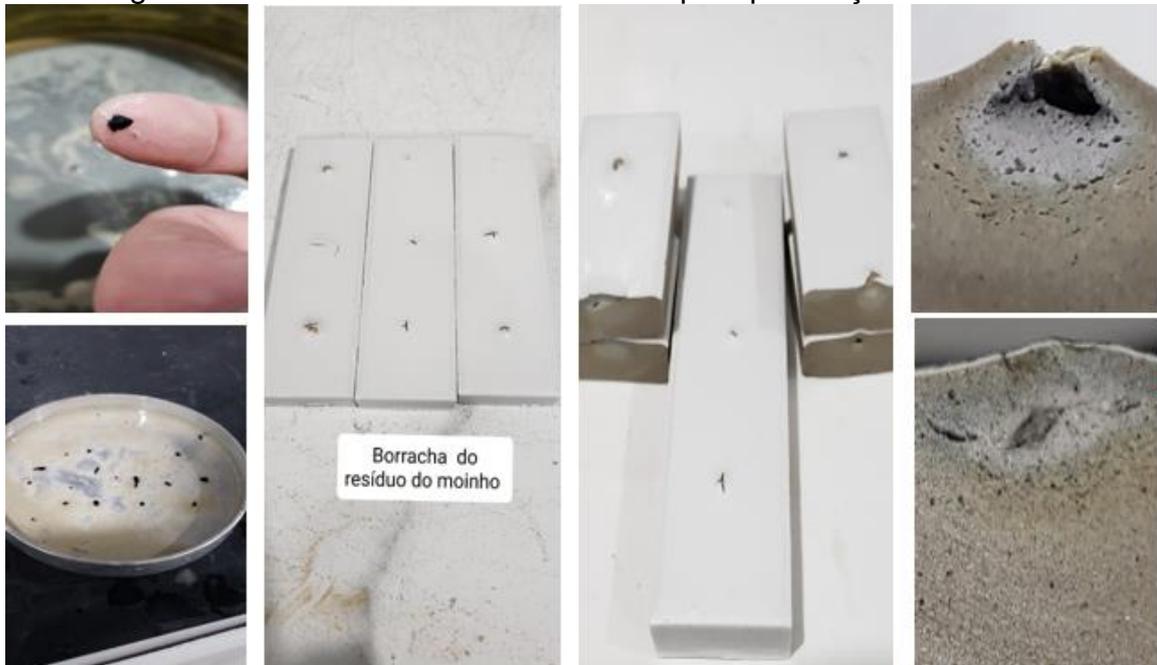
Fonte: Do autor (2021)

4.1.2 Defeitos com a presença de borracha

O defeito superficial ocasionado pela contaminação da massa cerâmica com borracha tem várias fontes, sendo as principais o desgaste dos pneus de pás carregadeiras, caminhos e das correias transportadoras no setor de preparação de massa (JÚNIOR, 2018).

O defeito resultante da presença de borracha apresenta como característica uma saliência na forma de verrugas na superfície. Quando cortada no ponto da contaminação, apresenta cavidades com a existência de uma região porosa de coloração preta no centro com contorno acinzentado e formato arredondado, conforme apresentado na Fig. 9 que mostra a reprodução em laboratório deste defeito.

Figura 9: Defeito característico causado pela presença de borracha.



Fonte: Do autor (2021)

As fontes de matéria orgânica são provenientes de pneus, luvas, correias transportadoras, etc., que com o aumento da temperatura liberam os gases monóxido de carbono e dióxido de carbono (CO e CO₂) que dão origem à região porosa (SKORONSKI et al., 2015).

4.1.3 Defeitos com a presença de graxas e óleos

A contaminação da massa com óleos e graxas, responsável por defeitos superficiais de revestimentos cerâmicos pode iniciar nas jazidas durante a produção de argilas com vazamento de óleo e falta de cuidados durante a lubrificação das máquinas, vazamento de óleo e falta de cuidados durante a lubrificação da pá carregadeira no setor de preparação de massa e o vazamento de óleo e graxas dos equipamentos que fazem parte do setor de preparação de massa, silos e prensas (HILGEMBERG, 2015).

O defeito resultante da presença de óleo e graxas apresenta como características saliências arredondadas na superfície do produto na forma de verrugas e quando cortada no ponto de contaminação, apresenta uma superfície porosa de coloração cinza e formato arredondado, conforme as Fig. 10, Fig. 11 e Fig. 12.

Figura 10: Defeito característico causado pela presença de óleo.



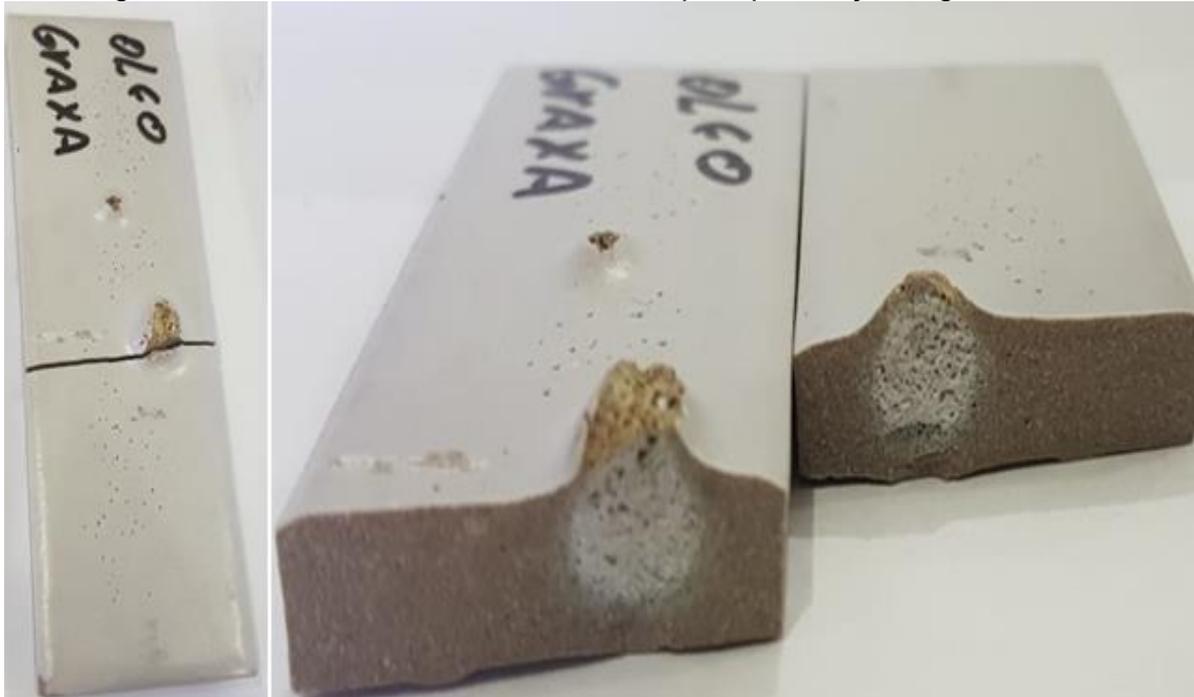
Fonte: Do autor (2021)

Figura 11: Defeito característico causado pela presença de graxa.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 12: Defeito característico causado pela presença de graxa e óleo.



Fonte: Do autor (2021)

De acordo com os resultados, foi possível determinar que, dependendo da quantidade de óleo na massa cerâmica, o defeito pode disseminar por todo o corpo de prova, conforme Fig. 11.

Pequenas quantidades de graxas em meio a massa são suficientes para causar o desenvolvimento de “verrugas”, conforme Fig.10.

4.1.4 Defeitos com a presença de grânulos grosseiros

Os grânulos grosseiros apresentam-se como um corpo estranho no meio da massa finamente moída causando defeitos na superfície da peça de revestimento cerâmicos. A principal fonte está relacionada a perfuração das malhas de seleção dos tamanhos de partículas instaladas junto aos moinhos que possibilitam a passagem além da abertura das mesmas de grânulos maiores que os padronizados (HILGEMBERG, 2015).

O defeito que tem como responsável a presença de partículas grosseiras na massa cerâmica apresenta como características pequenos pontos escuros de coloração preta e formato irregular, conforme apresentado na Fig. 13 com a reprodução deste defeito em laboratório.

Figura 13: Defeito característico causado pela presença de grânulos grosseiros.



Fonte: Do autor (2021)

A partícula grosseira apresenta-se como um elemento estranho em relação às partículas finas presentes no restante do corpo, resultando numa pequena saliência na superfície da peça, descaracterizando o produto.

4.2 SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DOS DEFEITOS

Visto que os materiais usados para a simulação dos defeitos em laboratório são os responsáveis pelo surgimento dos defeitos encontrados durante as produções, a etapa posterior foi sugerir um procedimento para eliminar ou reduzir os mesmos.

A presença de borracha (proveniente de pneus, luvas) em meio à massa só pode causar o aparecimento do defeito “verrugas” quando se encontra com dimensões elevadas. Deste modo, a inspeção das peneiras que controlam a granulometria do pó atomizado deve ser realizada pelo menos uma vez por turno de trabalho, ou seja, três vezes ao dia, pois os pedaços de borrachas podem ser facilmente retidos nas mesmas.

No entanto, óleos e graxas oriundos dos equipamentos que processam a massa antes da prensagem podem ocasionar o defeito quando introduzido na massa, mesmo em pequenas quantidades. O controle deve ser feito sobre os equipamentos

da fábrica, monitorando todas as fontes possíveis de graxa ou óleo. Porém, em muitos casos, torna-se difícil prevenir o problema, visto que alguns vazamentos acabam ocorrendo invariavelmente. Nestes casos o ideal é determinar em que temperatura ocorre a formação do defeito no forno, a fim de se alterar a curva de queima para que haja maior tempo para saída dos gases antes da redução da permeabilidade da peça. Para essa alteração deve ser realizado um estudo, a fim de verificar a possibilidade de alterar, pois nem sempre será possível esta modificação.

O Qd. 4 apresenta de forma sucinta os procedimentos adotados para evitar ou minimizar os defeitos relacionados aos contaminantes envolvidos no processo de fabricação de pisos cerâmicos.

Quadro 4: Procedimentos adotados para evitar ou minimizar os defeitos.

Material contaminante	Sugestão de melhorias	Sugestão de melhorias	Sugestão de melhorias	Sugestão de melhorias
Ferro	Utilizar imãs	Redução da partícula ferrosa através da moagem	Utilizar componentes mais resistentes a atrito	Manter equipamentos e setor limpo
Borracha	Utilizar correntes nos pneus da pá carregadeira	Manter sempre as correias bem centralizadas	Manter equipamentos e setor limpo	
Graxa e óleo	Revisão nas máquinas e equipamentos de extração e processo em locais adequados	Revisão em todos os redutores com possibilidades de contato com a massa	Manter equipamentos e setor limpo	
Partículas, grânulos grosseiros	Revisão constante nas peneiras da moagem e prensa	Procurar trabalhar com malhas de peneiras de moagem adequadas	Implantar controle da massa após o peneiramento	Manter equipamentos e setor limpo

Fonte: Do autor (2021)

De acordo com alguns testes já realizados em produção, estima-se que para um ciclo de queima rápido, um patamar em uma temperatura em 800 e 900 °C é suficiente para provocar a eliminação dos gases responsáveis pelo aparecimento da “verruga”, sem que a massa impeça a saída.

O forno contínuo é subdividido em três zonas: a zona de pré aquecimento em que acontece a perda de água que permeia na peça; a zona de queima, onde é atingida a máxima temperatura, que é a etapa que acontece as transformações químicas, como por exemplo, a transformação do α -quartzo em β -quartzo, as

transformações físicas e acontece a liberação dos gases existentes na peça cerâmica; e a zona de resfriamento, onde as peças são resfriadas lentamente pelo ar que entra no forno.

5 CONCLUSÕES

As exigências quanto à qualidade dos produtos cerâmicos fabricados pelo processo “via úmida” através da busca incessante pela redução de defeitos superficiais causado por contaminações de ferro, borracha, óleo, graxas, grânulos e partículas grosseiras foram as constatações que evidenciaram a importância da realização deste estudo.

O estudo foi realizado em uma empresa de revestimentos cerâmicos, a partir da simulação de defeitos com a contaminação de corpos de prova em laboratório e a queima realizada em forno industrial.

Dentre os defeitos superficiais mais comuns identificados nos produtos cerâmicos produzidos podem destacar os derivados pela contaminação por matéria orgânica como borracha, óleo, graxa e ferro.

Com o desenvolvimento do trabalho, pode-se concluir que cuidados simples desde a seleção de matérias-primas nas jazidas, domínio e controles do processo produtivo, principalmente nos setores de preparação de massa, silos e prensas são possíveis de reduzir sensivelmente os defeitos superficiais dos produtos cerâmicos, aumentando o nível de qualidade e por consequência a margem de contribuição.

A pesquisa teve por objetivo conhecer os materiais contaminantes que causam os defeitos durante as produções, sendo possível catalogar e deixar armazenado os corpos de prova visíveis na linha de produção para que os operadores identifiquem os defeitos com mais facilidade, podendo solucionar com rapidez as falhas encontradas.

Para trabalhos futuros sobre contaminação no processo “via úmida” fica como sugestão associar a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para identificação e caracterização dos defeitos.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13817:1997 – Placas Cerâmicas para Revestimento – Classificação**. Baseada na ISO 13006:1995. Válida a partir de 30/05/1997.

Associação Brasileira de Cerâmica. Disponível em: < <https://abceram.org.br>> Acesso em: 25 mar. 2021.

Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica – ANFACER. Disponível em <<https://www.anfacer.org.br/história-da-ceramica>>. Acesso em: 30 mar. De 2021.

GRASEL, Alessandra Laís. **Análise da expansão por umidade em placas Cerâmicas de Revestimento**. Monografia – UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/2045/1/Alessandra%20Lais%20Grasel.pdf>> Acesso em: 29 mar. 2021.

HILGEMBERG, Daniel. **REDUÇÃO DE VARIAÇÃO DE TONALIDADES E DEFEITOS SUPERFICIAIS EM PLACAS CERÂMICAS UTILIZANDO O MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS (MASP)**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/160662/337902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 mar. 2021.

JÚNIOR, Rogério de Souza. **APLICABILIDADE DO TETRABORATO DE SÓDIO E DO DIÓXIDO DE SILÍCIO COMO AGENTES INIBIDORES DE CONTAMINAÇÃO POR “PINTA VERDE” EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS**. 2018. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2018. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5044/TCC%20-%20Rog%20c3%a9rio%20Jr.pdf?sequence=7&isAllowed=y>. Acesso em: 21 abr. 2021.

LIVRAMENTO, Amanda do; NAZÁRIO, Maurício Moliner; DOMINGOS, Rick Alison. **Reformulação de Massas para Pavimentos Cerâmicos Fabricados pelo Processo de Monoqueima**. 2017. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Cerâmica, Colégio Maximiliano Gaidzinski, Cocal do Sul, 2017. Disponível em: <https://ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2017.027/pdf/ci-22-5-6-33.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

MARQUES, Maria Helena Vieira Pereira. **ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS E DE PORCELANATO USANDO A FERRAMENTA CEP**. 2017. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia de Produção Coordenação de Engenharia de Produção, Joao Pessoa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13440/1/MHVPM01122017.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

NAPOLI, Laís. **Cerâmica: a mais antiga das indústrias**. Revista da Anicer, edição 96 – outubro de 2015. Disponível em: < <https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-96/historia>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

OLIVEIRA, Antônio Pedro Novaes de. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2015. 26 p. Atlas, 2010. 297 p. ISBN 9788532807106. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187929?show=full>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

ROXO, Roberto Sulkovski. **Relatório de Estágio Supervisionado Desenvolvido na Indústria Portobello: Organização e Desenvolvimento de um Banco de Dados para Esmaltes Cerâmicos**. Projeto de estágio supervisionado – UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/220004>>. Acesso em: 07 mar. 2021.

SKORONSKI, Everton; SOUZA, Diego Hoefling; SANTOS, Samara dos; CESINO, Júlio Cesar; GHISLANDI, Marcos Gomes. **Avaliação das propriedades físicas de revestimentos cerâmicos produzidos com resíduo da indústria cerâmica (cinza pesada de carvão mineral)**. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/QHTvJMrFH6PDtZ7h8b65Xwg/?format=html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SILVA, Ederson da. Curso de processo de fabricação cerâmica. Urussanga – SC, 2013. 63 p.

SILVA, Lays Capingote Serafim da; MAIA, Francinaldo Oliveira. **PROCESSOS DE FABRICAÇÃO: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA EM UMA EMPRESA DA CIDADE DE CATALÃO/GO**. 2016. 162 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, São Cristovão, 2016. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7629/2/ProcessosFabricacaoCeramica.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.