

Avaliação dos efeitos do sistema construtivo e da temperatura de requeima sobre a resistência ao gretamento de placas cerâmicas de revestimento

Natã Ferraz dos Santos^a, Vinícius Takeshi Nakazawa^{a,b}, Gabriel Silva Dalbem Pereira^{a,b}, Suelen Nastri^a, Lisandra Rafaela dos Santos^a, Fábio G. Melchhiades^a, Anselmo O. Boschi^{b*}

^aCentro de Revestimentos Cerâmicos, CRC, Parque Ecotecnológico Damha I, Via de Acesso 1, Unidade 34, 13565-254, São Carlos, SP

^bDepartamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luiz km 235, 13574-970, São Carlos, SP

*e-mail: tecnico@creram.com.br; anselmo.ufscar@gmail.com

Resumo:

Este trabalho tem por objetivo avançar no entendimento da influência causada pelo sistema construtivo sobre a resistência ao gretamento de placas cerâmicas previamente instaladas, considerando que em algumas situações ensaios de resistência ao gretamento estão sendo conduzidos com placas cerâmicas que foram assentadas e depois removidas. Estas mesmas placas também são requeimadas a 500 °C na fase preliminar do ensaio de resistência ao gretamento e, como será discutido a seguir, a definição dessa temperatura de requeima pode exercer influência no estado de tensões a que os esmaltes se encontram submetidos. A ideia de queda de desempenho técnico de um produto usado em relação àqueles recém-fabricados é algo intuitivo e organicamente aceito para grande parte dos objetos e bens de consumo. Apesar da naturalidade desta afirmação, é interessante do ponto de vista técnico que o processo de deterioração de um produto em pleno uso seja estudado e comprovado. No caso das placas cerâmicas de revestimento, especificamente, o respaldo literário científico aponta a retração das argamassas e as demais solicitações geradas pelo sistema construtivo como potenciais agentes causadores de danos, que podem entre outras coisas, alterar as tensões estabelecidas na peça e com isso diminuir sua resistência ao gretamento. A fim de contribuir de maneira objetiva e robusta com o entendimento deste tema, buscou-se caracterizar a resistência ao gretamento uma amostragem diversa de placas cerâmicas da classe B11b antes e após assentamento de aproximadamente 2,5 meses (75 dias), e a partir dos resultados, entender se a instalação/remoção das peças foi capaz de diminuir a resistência ao gretamento caracterizada em laboratório. Os resultados obtidos indicam uma clara influência do sistema construtivo na resistência ao gretamento dos corpos de prova ensaiados, tornando-os mais suscetíveis a gretar. Dessa forma, conclui-se que a caracterização da resistência ao gretamento das placas cerâmicas de revestimento deve ser sempre conduzida com corpos de prova que não tenham sido assentados/removidos por demolição, especialmente quando se pretende atestar a conformidade ou existência de vícios de origem em produtos anteriormente comercializados. Neste contexto, também é apresentada uma discussão com respeito ao papel desempenhado pela requeima a 500 °C prevista no ensaio de resistência ao gretamento, a qual deveria ser realizada com a finalidade de reconduzir as placas cerâmicas ao seu estado original de tensões.

Palavras-chave: Resistência ao gretamento; temperatura de requeima; argamassas colantes; sistema construtivo; tensões.

1. INTRODUÇÃO:

O fenômeno do gretamento, caracterizado pela norma ABNT NBR ISO 10.545 [1] como trincas, semelhantes a fios de cabelo e limitadas à superfície esmaltada dos produtos cerâmicos, depende diretamente do estado de tensões [2] a que a camada de esmalte se encontra submetida (Fig.1).

Em um cenário ideal, onde o produto não sofre gretamento imediato (ao final do processo de fabricação), conclui-se que a camada de esmalte está sob tensão de compressão, que a favorece para evitar o desenvolvimento de gretas devido a sua natureza frágil [3, 4, 5].

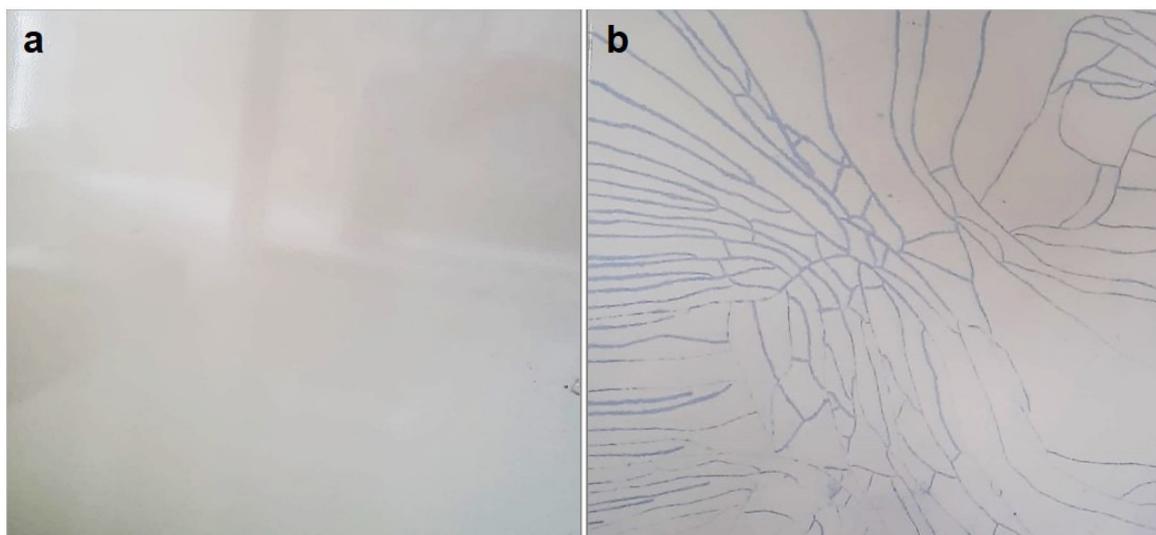


Figura 1. Revestimento cerâmico esmaltado antes (a) e após (b) ensaio de resistência ao gretamento.

Tais tensões podem ser modificadas a depender da exposição do produto a diferentes agentes externos. O próprio ensaio normalizado de resistência ao gretamento, descrito na norma previamente citada [1], faz uso de um ambiente de elevada umidade, pressão e temperatura para alterar as dimensões do suporte via expansão por umidade (EPU) [2]. Durante este processo, a expansão promovida de maneira forçada ao suporte não é acompanhada pelos esmaltes do produto, implicando na modificação do estado de tensões estabelecido nas camadas do produto cerâmico, atuando como um método de envelhecimento acelerado. A expansão por umidade é um processo intrínseco de materiais cerâmicos, que ocorre naturalmente ao longo dos anos, alterando de maneira sutil as dimensões do suporte e, conseqüentemente, o estado de tensões dos diferentes componentes do produto [2, 6]. Dessa forma, a hidratação sob pressão e temperatura prescrita no ensaio de laboratório busca acelerar este processo para qualificar a tendência do produto a apresentar gretamentos futuros.

A expansão por umidade, de certo, não é a única variável que pode levar ao gretamento diferido. Mesmo produtos que atendem a norma, após serem submetidos a diferentes estímulos (sendo a EPU apenas um deles), podem perder parte de sua resistência ao gretamento em função das solicitações impostas sobre a camada de esmalte. A instalação de uma placa cerâmica esmaltada em sistemas aderidos, por exemplo, consiste na utilização de uma argamassa colante que garante a adesão do piso com o sistema construtivo. Neste cenário, a ideia de perturbação das tensões iniciais durante a fixação das placas cerâmicas é quase intuitiva e envolve a retração do pano de argamassa aderida ao piso durante sua secagem, assim como as inúmeras solicitações mecânicas que o piso sofre em função das possíveis movimentações do sistema construtivo durante sua vida útil [7, 8, 9, 10].

Assim, se considerar-se um produto que atende os pré-requisitos da normalização técnica vigente quando recém-fabricado ou comercializado, é incorreto assumir que tal produto atenderia aos mesmos pré-requisitos após ser instalado/removido do sistema construtivo [11], já que ao longo de sua vida útil, o produto deixa de apresentar as mesmas características que continha logo após sua produção. Mais do que um exercício de suposições mentais, a queda no desempenho dos produtos ao longo de sua vida útil é citada de maneira direta na norma de desempenho para edificações habitacionais ABNT NBR 15575-1:2013, quando discute em sua Parte 1 [12], a perda de desempenho dos sistemas construtivos ou de suas partes ao longo do tempo (Fig.2).

Esta mesma discussão, específica sobre a resistência ao gretamento dos produtos cerâmicos durante a sua vida útil, já foi realizada e pode ser contemplada em artigo recente publicado pelos mesmos autores [13], quando foi discutida a influência da retração de secagem das argamassas colantes sobre a resistência ao gretamento das placas cerâmicas assentadas.

Porém, outro ponto sensível que merece ser discutido no ensaio de resistência ao gretamento é a etapa de requeima dos corpos de prova, que está prevista no ensaio normativo [1]. A requeima é prescrita nos ensaios da NBR ISO 10.545 (como resistência ao gretamento e expansão por umidade) com a finalidade de eliminar a expansão sofrida pelo contato com a umidade após a fabricação, fazendo com que o suporte retorne às suas dimensões originais como se estivesse na saída do forno. Em teoria, as camadas de esmalte e engobe não devem retrair em função da requeima que é realizada a 500 °C, de forma que apenas o suporte deveria se movimentar (retrair) durante este tratamento térmico [14]. Entretanto, especialmente quando se trata de produtos fabricados por via seca com argilas vermelhas, cujos ciclos de queima se encontram em torno de 20 minutos e temperaturas máximas ao redor de 1100 °C, é coerente pensar que a temperatura de requeima de 500 °C pode ser alta o suficiente para gerar movimentações nessas camadas.

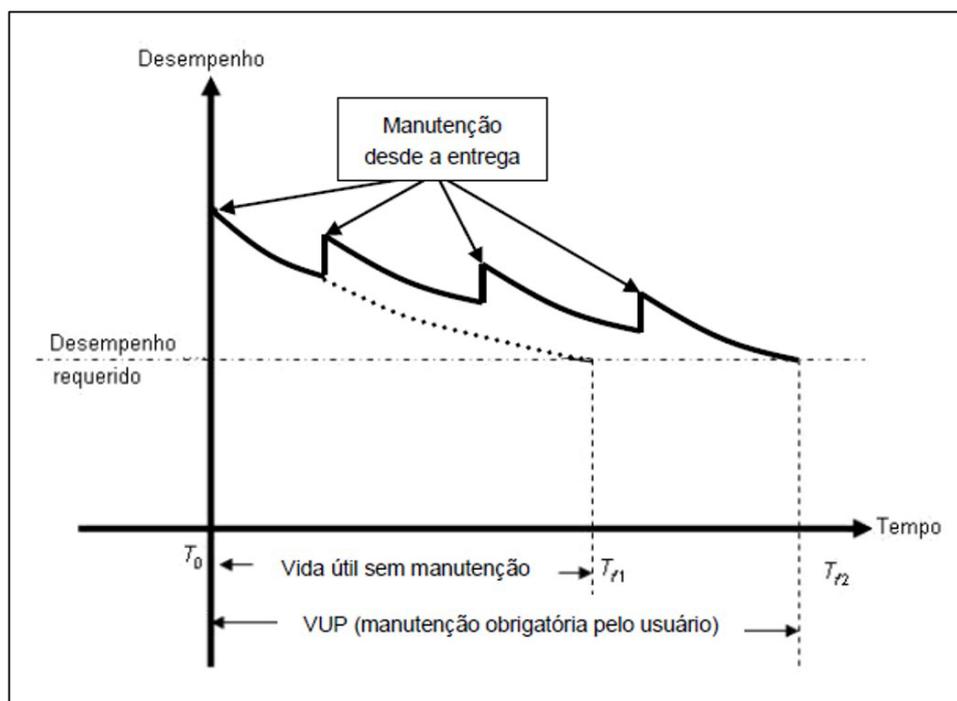


Figura 2. Desempenho de um edifício ou de suas partes construtivas ao longo do tempo [12].

Neste sentido, é conveniente também discutir se a requeima que se realiza com a finalidade de recuperar as condições originais das placas cerâmicas fabricadas, de fato está cumprindo sua função ou promovendo novas tensões que podem afetar os resultados do ensaio.

Dessa forma, este trabalho busca, em sua primeira etapa, avaliar os efeitos do sistema construtivo sobre a resistência ao gretamento de placas cerâmicas de revestimento, fazendo uso de uma grande diversidade de placas cerâmicas assentadas com diferentes argamassas colantes. A segunda etapa visa compreender as possíveis transformações sofridas pelas placas cerâmicas durante a etapa de requeima prevista no ensaio de resistência ao gretamento e suas consequências para os resultados destas análises.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Avaliação da resistência ao gretamento de placas cerâmicas de revestimento antes e após instalação:

O trabalho foi realizado com um total de doze amostras comerciais de placas cerâmicas de revestimento, resultando em uma ampla gama de formatos, espessuras, tipologias de massas e esmaltes. Do total, dez dos produtos que fazem parte da amostragem são fabricados no interior do Estado de São Paulo, por quatro fabricantes distintos; e dois na região Nordeste do Brasil, por dois fabricantes diferentes. Todos os espécimes são pertencentes à classe B1Ib (absorção de água compreendida entre 6,0% e 10,0%).

Inicialmente, caracterizou-se as dimensões de fabricação, contemplando medidas de comprimento, largura e espessura, assim como a absorção de água dos produtos comerciais, fazendo uso dos procedimentos descritos pela norma NBR ISO 10.545.

A resistência ao gretamento destes produtos foi previamente verificada com base nos procedimentos da norma NBR ISO 10.545 Parte 11. Desta forma, todos os produtos foram requeimados e submetidos à hidratação acelerada em autoclave onde permaneceram duas horas em pressão controlada de 5 atm a 160 °C. A seguir, diferentemente do que prescreve o ensaio normativo, os produtos foram submetidos a até cinco ciclos de hidratação em autoclave para que a tendência ao gretamento de cada produto fosse avaliada de maneira quantitativa. Ou seja, mesmo os produtos resistentes ao gretamento de acordo com o procedimento da NBR ISO 10.545 seguiram passando por ciclos sucessivos de hidratação em autoclave, visando identificar o número de ciclos que cada produto resistia antes que apresentassem gretamento. Dessa forma, os produtos receberam notas de classificação da resistência ao gretamento em função do número de ciclos de autoclavagem necessários para que ocorresse o gretamento e da quantidade de peças gretadas em cada ciclo.

Para aferir a possível influência do sistema construtivo no balanço de tensões e conseqüentemente na resistência ao gretamento dos produtos, os doze produtos foram assentados com três argamassas com diferentes perfis de retração de secagem, sendo duas delas argamassas comerciais (ACI e ACII) e uma delas formulada (ACII Dosada) com elevada fração de cimento no traço, com o intuito de gerar elevada retração de secagem durante o processo de cura.

As argamassas foram dosadas respeitando as proporções recomendadas de água e, em seguida, suas retrações de secagem monitoradas por meio da conformação de corpos de prova em moldes metálicos de dimensões de 26 × 26 × 150 mm³. O processo de cura em temperatura ambiente foi acompanhado por 25 dias. Um paquímetro de precisão de 0,01mm foi utilizado para aferir a retração linear de secagem após 1, 2, 3, 4, 11, 18 e 25 dias de cura. A retração linear de secagem foi determinada a partir da média de cinco corpos de prova.

O assentamento foi realizado sobre contrapiso de concreto com 225 m² de área (Fig.3). No total, para cada tipo de argamassa (ACI, ACII e Dosada) oito placas de cada cerâmica foram instaladas. O assentamento foi realizado por simples colagem, visto que a simples colagem simula as condições tipicamente encontradas em obra, uma vez que o procedimento normativo de dupla colagem tem sido negligenciado, de forma temerária, com muita frequência em obras populares no país. Além disso, a simples colagem facilita a posterior remoção das peças, minimizando dessa forma a interferência nas propriedades das placas por conta dos esforços mecânicos aplicados. A simples colagem ocorreu via abertura dos cordões de argamassa diretamente no contrapiso e assentamento das peças sob o pano de argamassa logo em seguida. Foi utilizada desempenadeira dentada de 8 mm para essa finalidade. As peças permaneceram assentadas por 75 dias, até que foram cuidadosamente removidas (Fig.4) e novamente testadas quanto à resistência ao gretamento de acordo com o procedimento descrito anteriormente: requeima a 500 °C e submissão dos produtos a até cinco ciclos de hidratação em autoclave de acordo com os parâmetros de temperatura, pressão e tempo estabelecidos pela NBR ISO 10.545 Parte 11.



Figura 3. Imagens do local de assentamento. (a) Contrapiso, (b) Assentamento pela técnica de simples colagem; (c) painéis formados após assentamento das placas



Figura 4. Remoção das peças após 75 dias decorridos do assentamento

2.2. Avaliação das modificações geradas pelo processo de requeima previsto no ensaio de resistência ao gretamento:

Esta etapa do trabalho foi conduzida com cinco referências comerciais de produtos da classe BIIb, fabricadas com diferentes tipologias de engobes e esmaltes. Ademais das amostras das placas cerâmicas, foram coletadas amostras das suspensões de engobes e esmaltes utilizadas nestes produtos. Com estas amostras foram realizados estudos envolvendo a resistência ao gretamento das placas cerâmicas recém-fabricadas sem requeimar antes da hidratação em autoclave; e após requeima a 500 e a 300 °C. A temperatura de requeima de 300 °C foi estabelecida com alternativa à temperatura normativa de 500 °C, por meio de procedimento que será descrito na sequência.

Além das medidas de resistência ao gretamento, as curvaturas das placas foram avaliadas antes e após os procedimentos de requeima utilizando um sistema de medição a laser. As movimentações (retrações) sofridas pela massa (suporte), engobe e esmaltes dos produtos durante as requeimas também foram monitorados. Os procedimentos detalhados para cada análise são apresentados a seguir:

2.2.1. Avaliação dos efeitos da temperatura de requeima sobre a resistência ao gretamento e as curvaturas das placas cerâmicas:

As referências selecionadas na etapa anterior foram avaliadas quanto à resistência ao gretamento sem requeima, com requeima a 500 °C conforme estabelece a norma NBR ISO 10.545.11 e com requeima a 300 °C (chamada de temperatura de requeima ideal) determinada a partir das curvas dilatométricas obtidas na Etapa 2.2.2;

Para cada configuração de requeima, foi avaliado em que ciclo de autoclavagem ocorre o gretamento, ou seja, foram empregados até cinco ciclos de 2 horas em autoclave a 5 atm avaliando-se a formação de gretas com azul de metileno ao final de cada ciclo. Além disso, as curvaturas das placas cerâmicas selecionadas foram analisadas em um sistema de medição a laser (braço tridimensional) antes e após as requeimas nas duas temperaturas estabelecidas. Por fim, alguns dos esmaltes avaliados anteriormente na etapa 2.2.1 foram reavaliados quanto à retração de requeima considerando agora a temperatura de requeima ideal.

2.2.2. Avaliação da retração de requeima de esmaltes, engobes e massas:

Esta etapa foi conduzida com as amostras de engobes e esmaltes dos produtos envolvidos nesta fase do trabalho. Objetivou-se verificar a relação entre as retrações de requeima desses insumos com a resistência ao gretamento de uma peça por eles constituídas. Foram confeccionados corpos de prova utilizando os padrões de pressão, temperatura e ciclo de queima industriais de cada insumo. Os corpos de prova foram submetidos à requeima realizada segundo os mesmos parâmetros utilizados para determinação da resistência ao gretamento da norma NBR ISO 10.545.11. Por fim, a variação dimensional ao longo do comprimento em função da requeima, que foi chamada de retração linear de requeima, foi determinada em mm/m com o uso de micrômetro de precisão de $\pm 0,0005$ mm sobre mesa de apoio, a fim de garantir que as medidas fossem realizadas sempre nas mesmas posições dos corpos de prova.

2.2.3. Determinação da temperatura de requeima ideal de peças cerâmicas:

Nesta etapa foram utilizadas as cinco referências de placas cerâmicas comerciais com os engobes e esmaltes analisados conforme descrição anterior. Foram extraídos corpos de prova do centro das placas de cada referência por meio de corte a úmido em serra com disco diamantado. Os corpos de prova foram obtidos de modo a apresentarem tamanho adequado para inserção no termodilatômetro, com dimensões aproximadas são de $50 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$. A seguir, foram efetuadas hidratações dos corpos de prova em duas condições severas: 2 horas em autoclave a 5 atm; e 5 horas em autoclave a 5 atm.

Após a hidratação, entende-se que os corpos de prova estão expandidos e que a peça retorna ao tamanho original após a requeima. A requeima foi efetuada em termodilatômetro até $550 \text{ }^\circ\text{C}$ com velocidade de aquecimento de $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. Com os parâmetros obtidos no termodilatômetro, foram plotados gráficos das derivadas das expansões/contrações sofridas em função da temperatura, permitindo a determinação da temperatura de saída da água adsorvida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Avaliação da resistência ao gretamento de placas cerâmicas de revestimento antes e após instalação:

Os resultados da caracterização inicial das placas cerâmicas envolvidas nesta etapa do trabalho são apresentados na Tab.1. Além de demonstrar a grande variedade de tamanhos, proporção de lados e espessuras, estes dados também confirmam que todas as peças avaliadas cumprem com o requisito normativo da classe BIIb (absorção de água entre 6,0 e 10,0%). Cabe destacar que apesar de estarem na mesma categoria, existe um gradiente relativamente largo no que diz respeito à absorção de água dos produtos, que varia entre 7,1 a 9,2%. Há também uma ampla variação de área total das peças, assim como de espessuras.

Não figura como objetivo de estudo deste trabalho a correlação entre os parâmetros expostos na Tab.1 e a resistência ao gretamento das referências envolvidas no trabalho, todavia, cabe ressaltar que utilizar referências plurais em suas características auxilia na robustez dos resultados obtidos, já que a amostragem utilizada tende a ser representativa, fugindo de vícios estatísticos. Para além disso, a escolha da categoria de produtos BIIb se justifica pela ampla comercialização deste tipo de produto no mercado interno brasileiro, visto que representam a maior parcela das placas de revestimento cerâmico fabricadas no país.

Tabela 1. Dados da caracterização inicial dos produtos utilizados. Dimensão, espessura e absorção de água

Referências	Região de fabricação	Dimensão (mm^2)	Espessura (mm)	Absorção de água (%)
A	Sudeste	5504 × 50404	6,8	8,3 ± 0,2
B	Sudeste	504 × 504	7,0	8,1 ± 0,1
C	Sudeste	596 × 200	8,5	8,2 ± 0,2
D	Sudeste	445 × 445	7,1	7,9 ± 0,8
E	Sudeste	455 × 455	7,3	9,2 ± 0,4
F	Sudeste	571 × 571	7,3	7,9 ± 0,1
G	Sudeste	621 × 621	7,0	7,1 ± 0,3
H	Nordeste	458 × 458	6,6	7,4 ± 0,2
I	Sudeste	536 × 536	7,0	7,2 ± 0,5
J	Sudeste	535 × 535	7,2	7,2 ± 0,4
K	Nordeste	595 × 595	9,1	9,1 ± 0,1
L	Sudeste	468 × 307	6,0	8,6 ± 0,4

Após caracterização inicial, as amostras foram requeimadas a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ e hidratadas em diferentes ciclos de autoclavagem consecutivos até que fossem verificadas gretas ou até o limite de cinco ciclos. Naturalmente, nem todas as peças de cada referência apresentaram gretas no mesmo ciclo, por conta disso e visando uma avaliação mais sensível dos resultados, a qualificação empregada não teve natureza unitária. Para definir a nota de qualificação, duas variáveis foram utilizadas, são elas o número de ciclos a que as peças resistem sem gretamentos visíveis; e a quantidade de corpos de prova que gretaram em cada ciclo.

Cada produto teve cinco espécimes avaliadas, desta forma a qualificação da resistência ao gretamento do produto é dada a partir da soma linear das notas individuais de cada espécime. O valor associado a cada ciclo está descrito na Tab.2.

Tabela 2. Qualificação individual referente a cada ciclo de gretamento

Produto	Gretou no 1º ciclo	Gretou no 2º ciclo	Gretou no 3º ciclo	Gretou no 4º ciclo	Gretou no 5º ciclo	Não gretou
Qualificação	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Com base no critério estabelecido indicado na Tab.2, um produto em que os cinco corpos de prova gretam no 2º ciclo de autoclavagem terá como qualificação o valor (0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 1,0). Em resumo, este atributo indica que este produto resiste a um ciclo de autoclavagem, já que os cinco corpos de prova só gretaram após o 2º ciclo. Dado o exemplo, a Tab.3 apresenta os produtos avaliados e suas respectivas qualificações com respeito à resistência ao gretamento. Os produtos de maior resistência ao gretamento correspondem aos que apresentam valores maiores na coluna "Qualificação", visto que possuem um número maior de corpos de prova que suportam mais ciclos de autoclavagem sem gretar.

Tabela 3. Qualificação geral dos produtos novos (antes do assentamento)

Produto	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo	Qualificação
A	-	4	1	-	-	1,2
B	-	5	-	-	-	1,0
C	-	-	-	5	-	3,0
D	-	-	1	4	-	2,8
E	-	-	5	-	-	2,0
F	-	-	Não gretou	-	-	5,0
G	2	3	-	-	-	0,6
H	-	-	Não gretou	-	-	5,0
I	-	-	Não gretou	-	-	5,0
J	-	-	Não gretou	-	-	5,0
K	-	-	Não gretou	-	-	5,0
L	-	5	-	-	-	1,0

Com exceção do produto G (Tab.3), que teve nota de qualificação menor que 1,0, todos os outros produtos avaliados seguem as especificações normativas de resistência ao gretamento, ou seja, os cinco corpos de prova utilizados no ensaio resistiram a pelo menos um ciclo de autoclavagem. Existe uma ampla gama de resistência ao gretamento dentro da amostragem utilizada. Em contraposição à referência G, de pior desempenho, outros produtos como F, H, I, J e K não sofrem gretamentos em nenhum dos corpos de prova mesmo após os cinco ciclos de autoclavagem. Os produtos de resultados intermediários, como C, D e E, de resistência à gretamento intermediária, permitirão boa discussão acerca dos efeitos do sistema construtivo sobre a resistência ao gretamento dos produtos assentados.

A retração de secagem inerente ao processo de cura das argamassas colantes está entre os parâmetros mais destacados do sistema construtivo com capacidade de alterar o estado de tensões das placas de revestimentos cerâmicos após a instalação. Por esta razão, o trabalho foi conduzido com a instalação das doze referências de placas cerâmicas acima apresentadas, com três argamassas colantes distintas, sendo duas comerciais e uma dosada em laboratório. A Tab.4 indica as proporções de água utilizadas, juntamente com a indicação do traço da argamassa dosada.

Tabela 4. Formulações das argamassas e quantidade de água aplicada na mistura

Matérias-primas (%)	ACI	ACII	Dosada
Argamassa comercial ACI	100,0	-	-
Argamassa comercial ACII	-	100,0	-
Areia fina	-	-	68,0%
Cimento CII-E	-	-	32,0%
Aditivo de celulose	-	-	1,0%
Água	20,0%	20,0%	22,0%

A Fig.5 mostra os resultados de retração linear de secagem das diferentes argamassas ao longo dos dias. Nota-se, de maneira muito clara e como esperado, que as argamassas sofrem retrações significativamente distintas ao longo de seus processos de cura. Além disso, a argamassa dosada atingiu seu objetivo de preparo, já que apresentou alta retração de secagem quando comparada com as argamassas comerciais selecionadas.

Após caracterização inicial, os produtos foram assentados em contrapiso de concreto com simples colagem, conforme descrito anteriormente. Após o assentamento, as placas cerâmicas foram expostas a diversos estímulos. Inicialmente, ocorre a retração da argamassa que está diretamente aderida à peça, além disso as diversas solicitações mecânicas sofridas pela estrutura construtiva também são compartilhadas com as placas cerâmicas, uma vez que o conjunto piso, contrapiso, argamassa e placa cerâmica passa a integrar o sistema construtivo. Decorridos 75 dias do assentamento, as placas cerâmicas foram removidas por demolição mecânica, fazendo uso de martelo e talhadeira para produzir os esforços necessários para o descolamento.

A resistência ao gretamento dos produtos voltou a ser qualificada utilizando os mesmos procedimentos utilizados para a caracterização das placas cerâmicas antes da instalação. Primeiramente todas as peças foram requeimadas a 500 °C, conforme prescreve a norma NBR ISO 10.545. A seguir todas as amostras foram hidratadas em ciclos consecutivos em autoclave a 5 atm por 2 horas, com registro do número de ciclos que os corpos de prova suportavam até gretar, da mesma maneira como fora realizado com as placas recém-fabricadas. Considerando que o trabalho foi realizado com doze referências distintas de placas cerâmicas; que estas foram assentadas com três argamassas diferentes; e que cada teste de gretamento se realiza com cinco corpos de prova (cada placa constitui um corpo de prova), foram analisados nesta etapa do trabalho cerca de 180 corpos de prova, que passaram por até cinco ciclos de autoclavagem para identificar possíveis diferenças nos resultados de resistência ao gretamento em comparação com os mesmos produtos sem assentar.

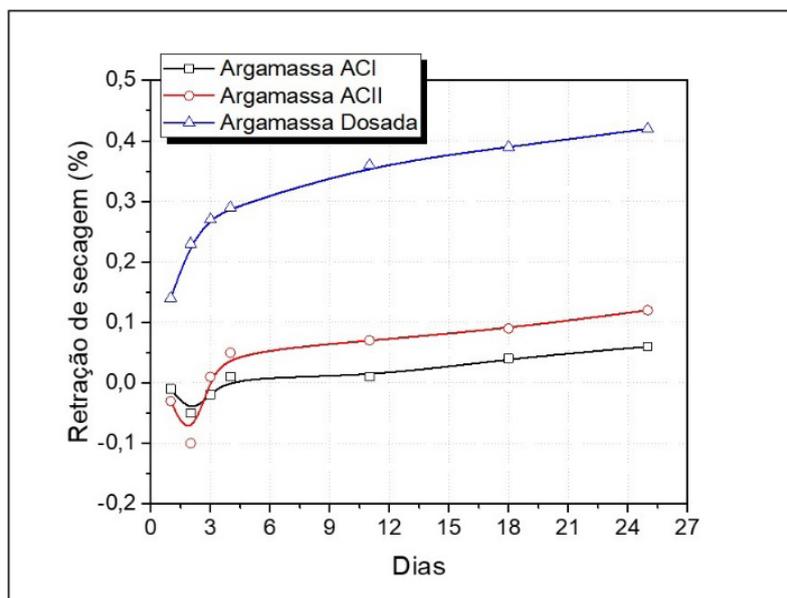


Figura 5. Retração de secagem das argamassas em função do tempo de cura

Os resultados da qualificação da resistência ao gretamento das diferentes referências assentadas com cada argamassa são exibidos na Tab.5. Os critérios de qualificação são os mesmos daqueles utilizados na primeira etapa do trabalho, de maneira que a resistência ao gretamento dos diferentes produtos pode ser comparada antes e após o assentamento. A última coluna da tabela resume o conjunto de resultados, indicando os produtos em que a resistência ao gretamento se mantém inalterada após o assentamento (quando a qualificação da resistência ao gretamento é a mesma antes e após o assentamento com as três argamassas) e aqueles em que a resistência ao gretamento é prejudicada pelo sistema construtivo (quando há perda de resistência ao gretamento das peças após o assentamento).

Convém destacar ainda que os resultados apresentados na Tab.5 estão influenciados pela forma como o trabalho foi conduzido, onde as peças permaneceram assentadas por pouco tempo (pouco mais de dois meses), em ambiente controlado, sem tráfego de pessoas e com ausência de cargas móveis (móveis, eletrodomésticos, etc.) depositadas sobre os pisos. A remoção das placas também foi realizada da forma mais cuidadosa possível. Esta situação, evidentemente, não corresponde às condições típicas de uso de produtos cerâmicos, que normalmente são submetidos a situações mais extremas e são removidos em condições menos criteriosas.

Tabela 5. Nota de qualidade dos produtos após assentamento com diferentes argamassas

Produto	Antes de assentar	Após assentar com ACI	Após assentar com ACII	Após assentar com 'Dosada'	Resistência ao gretamento após assentamento
A	1,2	1,0	1,0	0,2	Afetada
B	1,0	1,0	1,0	1,0	Não afetada
C	3,0	2,0	1,8	2,0	Afetada
D	2,8	3,0	2,6	2,4	Afetada
E	2,0	1,0	1,8	1,0	Afetada
F	5,0	5,0	5,0	5,0	Inconclusivo
G	0,6	0,0	0,2	0,0	Afetada
H	5,0	4,8	5,0	5,0	Afetada
I	5,0	5,0	5,0	5,0	Inconclusivo
J	5,0	4,6	4,6	5,0	Afetada
K	5,0	5,0	5,0	5,0	Inconclusivo
L	1,0	1,0	1,0	0,8	Afetada
Média	3,1	2,8	2,8	2,7	--

Ainda assim, os resultados expostos na Tab.5 não deixam dúvidas. Claramente, o sistema construtivo exerce influência sobre a resistência ao gretamento das placas cerâmicas de revestimento, mesmo com pouco tempo de assentamento e remoção efetuada em condições simuladas e mais brandas do que ocorre em situações reais. A perda de desempenho das cerâmicas, observada por meio da redução da resistência ao gretamento, ocorre após o assentamento com as três argamassas utilizadas e mais importante, atinge produtos de todas as características envolvidas no trabalho. Tais resultados podem ser explicados pelo conceito da perda de desempenho ao longo da vida útil [12] dos produtos, conforme a norma de desempenho NBR ISO 15575.1 descreve com bastante propriedade (Fig.2).

A não conclusão de alguns resultados tem origem no número máximo de cinco ciclos de autoclavagem estabelecido como limite na metodologia deste trabalho. Não é válido assumir que um produto que resistiu a cinco ciclos antes e após assentamento não tenha sofrido nenhum tipo de dano na resistência ao gretamento pelo sistema construtivo. Não há como saber, por exemplo, se um destes produtos resistiria quando novo a sete ciclos e após assentamento a apenas seis, já que o número de ciclos de hidratação em autoclave foi limitado em cinco por questões logísticas. Por este motivo, não se pode concluir nada a respeito dos produtos F, I e K, já que qualquer argumentação em cima dos resultados destes produtos seriam suposições. De toda maneira, os produtos de caráter inconclusivo constituem expressiva minoria dentro do total de resultados obtidos.

Os dados exibidos na Tab.5 devem ser interpretados de maneira mais profunda, pois vão além da simples conclusão de que o assentamento prejudica a resistência ao gretamento das placas cerâmicas em função dos esforços aplicados. O cerne destes resultados está ligado com a alteração do estado de tensões que se manifesta nas placas cerâmicas como consequência da sua incorporação ao sistema construtivo. Neste sentido, os resultados deixam claro que um produto instalado deixa de apresentar o mesmo desempenho que apresentava quando novo antes da instalação e, portanto, não deve ser tratado como tal.

A média aritmética das qualificações da resistência ao gretamento dos produtos analisados antes e após o assentamento, apresentada na última linha da Tab.5, indica uma tendência lógica, em que a argamassa dosada (de maior retração) é também aquela que mais prejudica a resistência ao gretamento. Apesar da tendência acompanhar de maneira diretamente proporcional a retração das argamassas, o escopo geral indica que a instalação com todas as argamassas testadas, em maior ou menor medida, resultou em danos aos produtos assentados, incluindo as argamassas comerciais ACI e ACII utilizadas no trabalho.

Dentre as inúmeras variáveis impostas pelo sistema construtivo, a retração das argamassas figura como a mais palpável de ser analisada. Esta característica está diretamente ligada à placa cerâmica via ancoragem mecânica e, desta forma, toda e qualquer modificação dimensional sofrida pela argamassa produzirá implicações diretas no suporte da placa cerâmica.

O processo de cura implica na retração da argamassa, que por sua vez coloca o suporte sob compressão. O aquecimento da placa cerâmica devido à compressão do suporte tem capacidade de alterar as tensões estabelecidas sobre o esmalte e colocá-lo sobre tração, interferindo significativamente na resistência ao gretamento das peças. A literatura científica [2,3,7,8] apresenta abundante informação sobre o assunto, ainda que não apresente resultados numéricos obtidos a partir de ampla amostragem como ocorre neste estudo.

A queda na resistência ao gretamento foi significativa mesmo com apenas 75 dias de assentamento com simples colagem em ambiente controlado. Estes dados levam a crer que em ambientes menos controlados e com as placas cerâmicas expostas as tensões promovidas pelo sistema construtivo por períodos maiores, a queda da resistência ao gretamento pode ser ainda maior.

3.2. Avaliação das modificações geradas pelo processo de requeima previsto no ensaio de resistência ao gretamento:

De acordo com a NBR ISO 10545.11, uma vez que os corpos de prova chegam ao laboratório para o ensaio de resistência ao gretamento, eles devem ser requeimados a 500 °C com a finalidade de eliminar as expansões decorrentes da hidratação natural que as placas cerâmicas podem apresentar em consequência do contato com a atmosfera úmida após a fabricação. Esse procedimento tem por finalidade reconduzir os corpos de prova ao seu estado original, tornando-os semelhantes aos produtos recém-fabricados. Se a única reação que deveria ocorrer durante esse tratamento térmico é a eliminação da umidade adsorvida após a fabricação, com a consequente redução das dimensões do suporte das placas cerâmicas em decorrência da eliminação da expansão por umidade ocorrida, do ponto de vista macroscópico o que poderia ser observado seria uma ligeira tendência ao aumento da convexidade das peças requeimadas. Entretanto, as avaliações visuais realizadas nos procedimentos de rotina dos laboratórios têm evidenciado efeito contrário, especialmente nos produtos BIIb, passando a sensação de que as placas cerâmicas se tornam mais côncavas após o procedimento de requeima. Para checar a veracidade destas observações, as curvaturas das placas de cinco referências comerciais de produtos BIIb foram medidas antes e após a requeima a 500 °C, fazendo uso de um sistema de medição a laser (braço tridimensional), que indica a posição relativa de cada região das placas cerâmicas na forma de um mapa topográfico. Os resultados obtidos são apresentados nas Fig.6 a 10. As cores mais quentes (amarelo, laranja, vermelho) registradas nos mapas topográficos representam os pontos mais altos das placas cerâmicas e as cores frias (verde, azul) representam os pontos mais baixos. Sendo assim, o que se conclui é que quanto mais quentes são as cores no centro das placas e mais frias nas extremidades próximas às bordas, maior é a convexidade das peças. De maneira oposta, as placas de maior concavidade são aquelas que possuem cores mais frias ao centro e cores quentes nas extremidades.

As Fig.6 a 10 indicam, portanto, as curvaturas de cinco corpos de prova (cada placa inteira constitui um corpo de prova) de cinco referências antes e após a requeima normativa a 500 e a 300 °C. A requeima a 300 °C foi realizada por questões que serão discutidas na sequência deste trabalho. Ao se concentrar, por hora, nas curvaturas das placas cerâmicas antes e após a requeima a 500 °C, o que se observa é que há uma evidente tendência de aumento de concavidade ou redução de convexidade no caso das placas mais convexas. Alguns corpos de prova apresentaram rupturas durante a requeima que impediram as medições das curvaturas finais, mas esta casualidade não invalida o conjunto de resultados, que atesta a alteração de curvaturas das placas cerâmicas provocada pela requeima prevista na norma NBR ISO 10.545.11. Tais resultados confirmam as observações visuais realizadas nos laboratórios de análise, indicando que, ao contrário do esperado, o procedimento de requeima indicado na norma está gerando placas cerâmicas mais côncavas. Esta constatação evidencia que a requeima está alterando o estado de tensões das placas cerâmicas, incrementando a magnitude das forças de tração que estão aplicadas na camada de esmalte. Se o gretamento ocorre em decorrência do tracionamento dos esmaltes acima de seu limite de ruptura, os resultados aqui apresentados comprovam que a requeima prevista na norma está reduzindo a resistência ao gretamento das placas cerâmicas, por aportar forças de tração nos esmaltes que não se manifestam durante a vida útil das placas cerâmicas, visto que não se espera que as mesmas sejam aquecidas a 500 °C durante o uso.

Se na sequência do ensaio de resistência ao gretamento, as placas requeimadas serão hidratadas em autoclave para promover novos esforços de tração nas camadas de esmaltes, evidentemente o ensaio estará sendo conduzido em situação mais severa, com placas mais tensionadas do que quando são fabricadas/comercializadas.

Estes resultados indicam que o procedimento de requeima previsto na norma NBR ISO 10.545.11 não está cumprindo, para os produtos testados, a função para a qual foi incluído no texto da norma, visto que sua função deveria ser exclusivamente eliminar a expansão por umidade ocorrida após a fabricação, assegurando dessa forma que a hidratação em autoclave fosse conduzida com corpos de prova que representassem o estado de tensões das placas recém-fabricadas.

Considerando que as placas cerâmicas são constituídas por sobreposição de materiais de naturezas e espessuras distintas (multicamadas), uma possível explicação para compreender o aumento da concavidade das placas cerâmicas durante a requeima a 500 °C está na possibilidade de que estas camadas apresentem movimentações diferenciais. O esperado em um tratamento térmico a 500 °C seria que ocorresse apenas a eliminação de hidroxilas associadas à EPU do suporte, que causariam retração (redução das dimensões) deste elemento do produto durante a requeima. Entretanto, para justificar o aumento de concavidade observado nas placas requeimadas, seria necessário que as camadas de engobe e esmalte apresentassem retrações superiores à retração do suporte neste tratamento térmico. Para averiguar essa hipótese, medidas de retração de requeima foram conduzidas com corpos de prova individuais da massa, engobe e esmaltes utilizados nesses mesmos produtos.

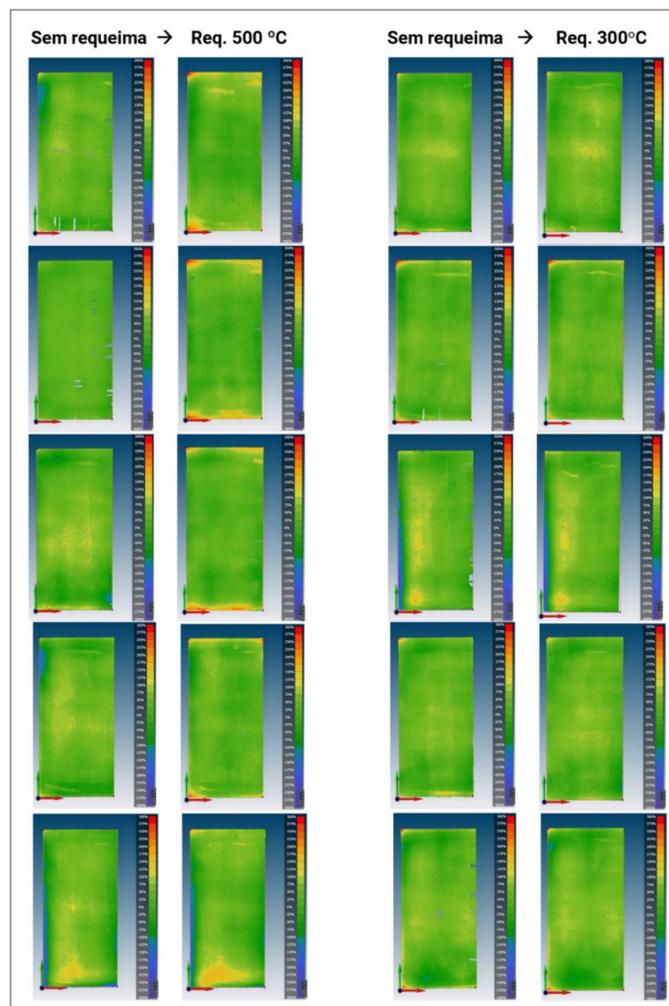


Figura 6. Efeito da requeima na curvatura das peças. As colunas à esquerda (sem requeima e após requeima a 500 °C) mostram o aparecimento ou incremento de cores quentes nas bordas das peças, indicando que as mesmas se tornaram mais côncavas após requeima. Já nas colunas à direita (sem requeima e após requeima a 300 °C), pouca ou nenhuma alteração no padrão de cores é visualizada. Referência 1

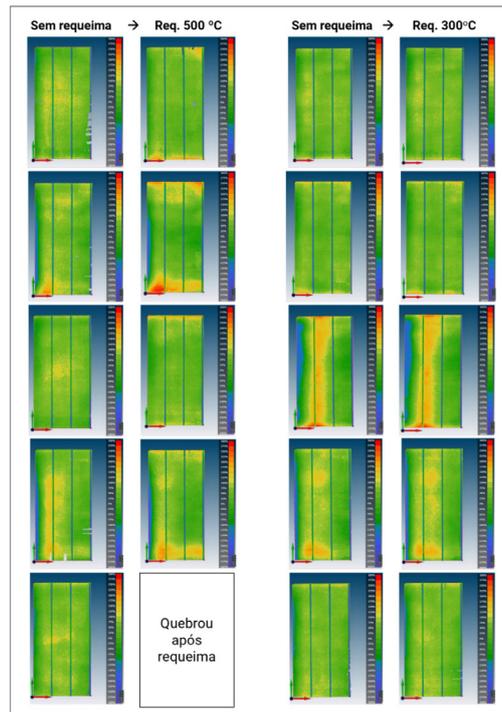


Figura 7. Efeito da queima na curvatura das peças. As colunas à esquerda (sem queima e após queima a 500 °C) mostram o aparecimento ou incremento de cores quentes nas bordas e a diminuição ou eliminação de tons quentes no centro das peças, sinal de incremento de concavidade. Já nas colunas à direita (sem queima e após queima a 300 °C), pouca ou nenhuma alteração no padrão de cores é visualizada. Referência 2

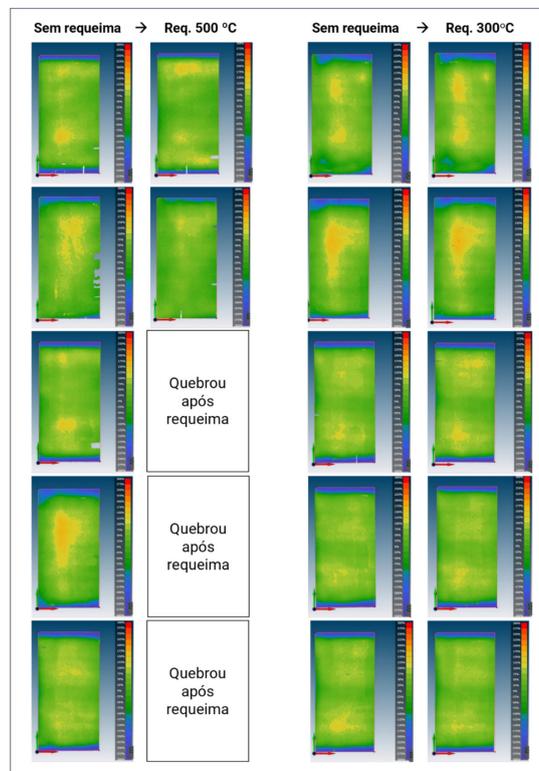


Figura 8. Efeito da queima na curvatura das peças. As colunas à esquerda (sem queima e após queima a 500 °C) mostram peças convexas ou levemente convexas perdendo sua curvatura inicial após queima. Três peças quebraram no processo de queima. Já nas colunas à direita (sem queima e após queima a 300 °C), pouca ou nenhuma alteração no padrão de cores é visualizada. Nenhuma peça quebrou. Referência 3

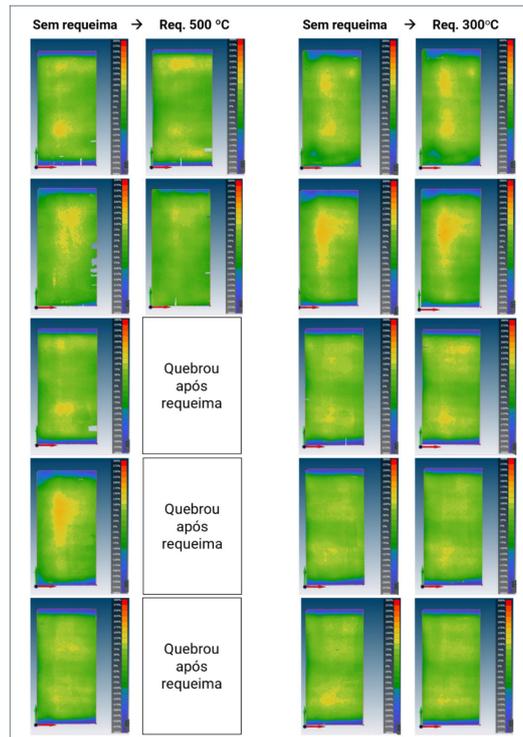


Figura 9. Efeito da queima na curvatura das peças. As colunas à esquerda (sem queima e após queima a 500 °C) mostram peças convexas ou levemente convexas perdendo sua curvatura original após queima. Três peças quebraram no processo de queima. Já nas colunas à direita (sem queima e após queima a 300 °C), pouca ou nenhuma alteração no padrão de cores é visualizada. Nenhuma peça quebrou. Referência 4

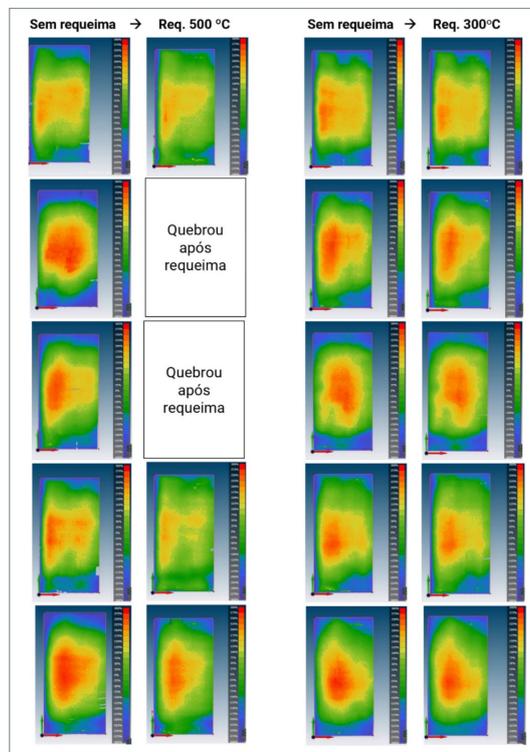


Figura 10. Efeito da queima na curvatura das peças. As colunas à esquerda (sem queima e após queima a 500 °C) mostram significativa alteração no caráter convexo que as peças apresentavam antes da queima. Já nas colunas à direita (sem queima e após queima a 300 °C), pouca ou nenhuma alteração no padrão de cores é visualizada. Referência 5

A Tab.6 apresenta os resultados de retração de requeima dos diferentes elementos do produto testados nesta etapa. Para a maioria dos casos, as retrações de requeima dos engobes podem ser consideradas altas, com valores médios de 0,19 mm/m, enquanto os esmaltes apresentaram retrações de requeima com valores de médio a alto (entre 0,08 e 0,17 mm/m). A massa utilizada nestes produtos não apresentou contração na mesma intensidade que os esmaltes e engobes. Essa configuração, contração em maior grau do esmalte e do engobe enquanto a massa varia pouco, embasa a hipótese de aumento de concavidade das placas cerâmicas durante a requeima com conseqüente perda de resistência ao gretamento dos produtos requeimados.

Tabela 6. Resultados de retração de requeima dos insumos testados.

Insumo	Retração linear de requeima (mm/m)	Delta de contração
Engobe A	0,19 ± 0,02	Muito alto
Engobe B	0,19 ± 0,01	Muito alto
Engobe C	0,19 ± 0,01	Muito alto
Engobe D	0,11 ± 0,01	Médio-baixo
Engobe E	0,20 ± 0,02	Muito alto
Esmalte A	0,10 ± 0,01	Médio-baixo
Esmalte B	0,11 ± 0,01	Médio-baixo
Esmalte C	0,08 ± 0,01	Médio-baixo
Esmalte D	0,15 ± 0,01	Alto
Esmalte E	0,17 ± 0,01	Alto
Esmalte F	0,17 ± 0,01	Alto
Esmalte G	0,10 ± 0,01	Médio-baixo
Massa via seca	-0,01 ± 0,01	Baixo

As razões pelas quais esmaltes e especialmente engobes apresentam movimentações maiores que o suporte de um produto B1Ib em tratamento térmico a 500 °C foge dos objetivos deste trabalho. Entretanto, se considera razoável supor que esta temperatura de requeima pode ser alta o suficiente para promover o amolecimento de fases vítreas que se desenvolvem nos esmaltes e engobes destes produtos e, em consequência desta transformação, ligeiras retrações ocorrem nestas camadas. Essa hipótese se sustenta de maneira mais evidente nos produtos B1Ib que geralmente são fabricados com argilas vermelhas de alta fusibilidade que favorecem o uso de ciclos de queima rápidos e uso de baixas temperaturas de queima. Dessa forma, os engobes e esmaltes utilizados nestes produtos precisam também apresentar alta fusibilidade para que desenvolvam seus atributos nos ciclos e temperaturas requeridos por estas massas. Dessa forma, é bastante provável que a 500 °C estas fases vítreas ricas em elementos modificadores de rede enérgicos sintam os efeitos da temperatura e grem movimentações no produto.

Tais resultados permitem refletir que a temperatura de requeima prescrita na norma NBR ISO 10.545.11 pode ser demasiadamente elevada para estes produtos cerâmicos, visto que transformações não previstas podem estar ocorrendo nos esmaltes e engobes e, conseqüentemente, promovendo alterações no estado de tensões dos produtos antes da hidratação em autoclave. Neste sentido, é necessário discutir a necessidade do uso de temperaturas tão elevadas, se o objetivo da requeima é unicamente conduzir as placas cerâmicas ao seu estado original de tensões após a fabricação.

Para isso, as cinco referências envolvidas nesta etapa do trabalho foram previamente hidratadas em autoclave por 2 e 5 horas, visando simular envelhecimentos acelerados severos destes produtos. A seguir, corpos de prova extraídos destas referências foram aquecidos até 550 °C em termodilatômetro. Por esse procedimento é possível identificar a temperatura de eliminação da umidade adsorvida dos corpos de prova, considerando as derivadas das curvas dilatométricas obtidas. Este procedimento é descrito na literatura [14]. Os resultados obtidos são indicados na Tab.7 e na Fig.11, sendo que os dados apresentados na Tab.7 foram identificados graficamente conforme se permite inferir a partir da Fig.11.

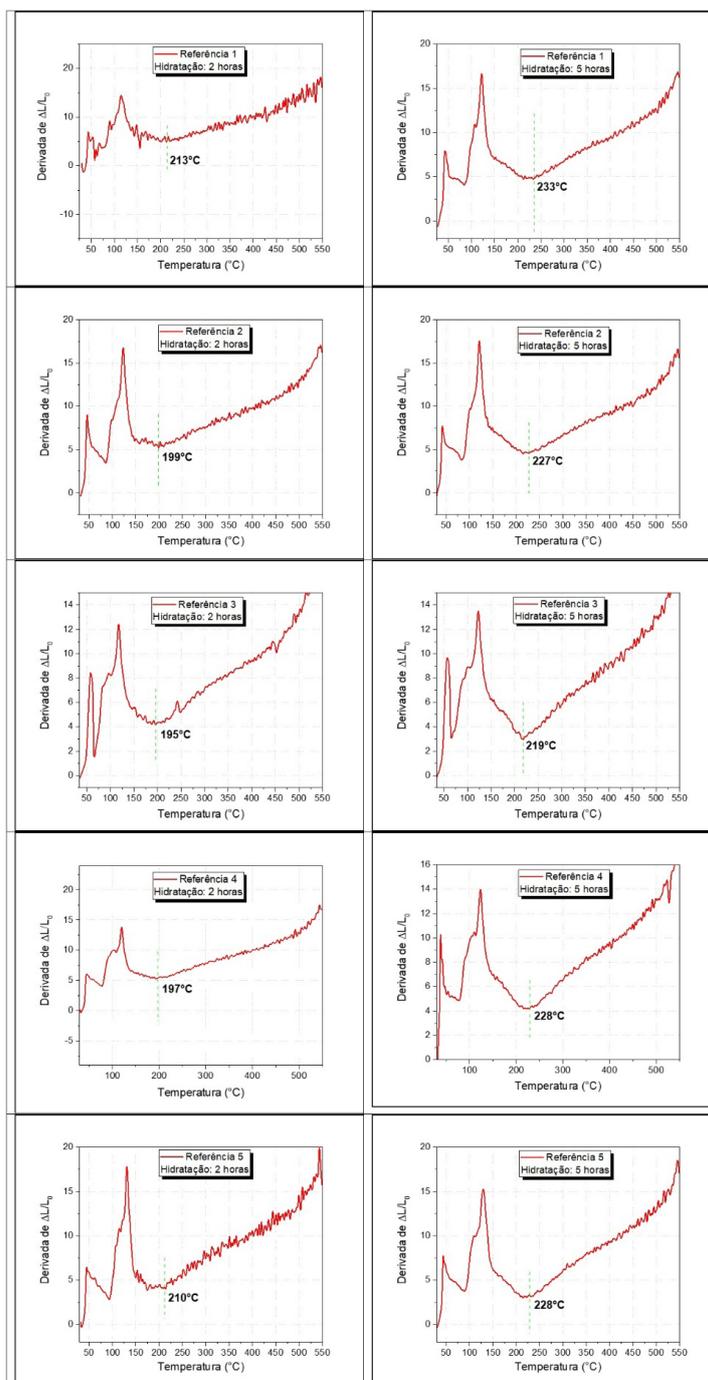


Figura 11. Temperatura de eliminação da água adsorvida das referências 1 a 5 obtida a partir das derivadas dilatométricas

Tabela 7. Determinação da temperatura de saída de água adsorvida das referências 1 a 5 após duas condições de hidratação severas

Referência	Temperatura de saída da água adsorvida (°C)	
	Hidratação 2 horas	Hidratação 5 horas
1	213	233
2	199	227
3	195	219
4	197	228
5	210	228

As curvas obtidas a partir das derivadas dilatométricas apresentam as mesmas características, independente da referência analisada. Estas são constituídas por dois picos situados entre 50 e 150 °C, logo após se observa uma região de vale, seguida por uma linha crescente. Os dois primeiros picos correspondem respectivamente à saída de água absorvida (não ligada quimicamente) e à saída de água adsorvida (ligada quimicamente). É seguro dizer, portanto, que o vale representa a saída total de água internalizada na peça. Independentemente do tempo de hidratação em autoclave (2 horas ou 5 horas) o resumo apresentado na Tab.7 indica claramente que em aproximadamente 215 °C toda umidade já foi eliminada das cinco referências. A partir deste resultado sugere-se que a temperatura ideal para requeima (com certa margem de segurança) seria 300 °C, com exposição das placas por 2 horas nesta temperatura.

Para entender os efeitos da temperatura de requeima sobre a resistência ao gretamento das placas cerâmicas, as referências selecionadas nesta etapa do trabalho foram avaliadas quanto à resistência ao gretamento sem requeima, com requeima a 500 °C (NBR ISO 10.545 Parte 11) e com requeima a 300 °C (temperatura ideal recomendada). Os resultados estão apresentados nas Tab.8 a 12, registrando-se os ciclos de autoclavagem necessários em cada condição para que ocorra o gretamento dos esmaltes.

Tabela 8. Resistência ao gretamento da Referência 1 após requeima a 500°C e a 300 °C

Referência 1	Ciclo em que ocorreu o gretamento		
	Sem requeima	Com requeima a 500 °C (NBR)	Com requeima a 300 °C
Corpo de prova 1	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 2	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 3	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 4	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 5	4º Ciclo	2º Ciclo	4º Ciclo

Tabela 9. Resistência ao gretamento da Referência 2 após requeima a 500 °C e a 300 °C

Referência 2	Ciclo em que ocorreu o gretamento		
	Sem requeima	Com requeima a 500 °C (NBR)	Com requeima a 300 °C
Corpo de prova 1	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 2	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 3	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 4	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 5	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo

Tabela 10. Resistência ao gretamento da Referência 3 após requeima a 500 °C e a 300 °C

Referência 3	Ciclo em que ocorreu o gretamento		
	Sem requeima	Com requeima a 500 °C (NBR)	Com requeima a 300 °C
Corpo de prova 1	Não gretou até 5º ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 2	Não gretou até 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 3	Não gretou até 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 4	Não gretou até 5º ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 5	Não gretou até 5º ciclo	4º Ciclo	5º Ciclo

Tabela 11. Resistência ao gretamento da Referência 4 após requeima a 500 °C e a 300 °C

Referência 4	Ciclo em que ocorreu o gretamento		
	Sem requeima	Com requeima a 500 °C (NBR)	Com requeima a 300 °C
Corpo de prova 1	Não gretou até 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 2	Não gretou até 5º ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 3	Não gretou até 5º ciclo	4º Ciclo	Não gretou até 5º ciclo
Corpo de prova 4	Não gretou até 5º ciclo	4º Ciclo	Não gretou até 5º ciclo
Corpo de prova 5	Não gretou até 5º ciclo	4º Ciclo	Não gretou até 5º ciclo

Tabela 12. Resistência ao gretamento da Referência 5 após requeima a 500 °C e a 300 °C

Referência 5	Ciclo em que ocorreu o gretamento		
	Sem requeima	Com requeima a 500 °C (NBR)	Com requeima a 300 °C
Corpo de prova 1	4º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 2	4º Ciclo	3º Ciclo	4º Ciclo
Corpo de prova 3	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 4	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo
Corpo de prova 5	4º Ciclo	3º Ciclo	5º Ciclo

A partir das Tab.8 a 12 é possível ver que o número de ciclos de hidratação em autoclave capaz de promover gretamento em peças requeimadas a 500 °C é sempre inferior quando comparado com peças não requeimadas e requeimadas em temperatura mais baixa (300 °C). Tais resultados comprovam, portanto, que as peças requeimadas conforme norma NBR ISO 10545.11 se tornam menos resistentes ao gretamento. Como a função da requeima é eliminar a água adsorvida e, conseqüentemente, eliminar a expansão sofrida após a fabricação, a temperatura de requeima normativa pode ser considerada alta, pois a eliminação da água adsorvida ocorre em temperaturas mais baixas conforme demonstrado na Tab.7 e Fig.11. É alarmante observar que, para algumas referências, os corpos de prova requeimados a 500 °C passam a gretar com até dois ciclos a menos de hidratação em autoclave, indicando uma perda expressiva da resistência ao gretamento promovida pela requeima normativa.

Os resultados até então exibidos, especialmente os dados contidos na Tab.6, dão a ideia de geração e/ou alteração das tensões de uma peça em função da requeima. Neste sentido, fica claro que as camadas superiores retraem de maneira significativa quando comparadas com o suporte, de forma a aumentar a concavidade das peças, reduzindo a resistência ao gretamento dos corpos requeimados.

Os resultados das análises de resistência ao gretamento realizados com os corpos de prova requeimados a 300 °C exibem, por sua vez, dados muito mais semelhantes aos obtidos com as placas recém-fabricadas e não requeimadas. Em alguns casos, nota-se inclusive que as placas requeimadas a 300 °C suportam mais ciclos de autoclavagem sem gretar, comprovando que a requeima nesta temperatura estaria muito mais próxima de cumprir com a finalidade para qual foi inserida no texto normativo, ou seja, eliminar a umidade adsorvida sem interferir nas demais características técnicas do produto para conduzi-lo ao seu estado original de tensões.

Esta constatação experimental também se sustenta quando são avaliadas as retrações de requeima dos esmaltes e as curvaturas das placas após a requeima sugerida em 300 °C em lugar de 500 °C (Tabela 13). No caso das retrações de requeima a 300 °C, esta etapa do trabalho foi conduzida apenas com os esmaltes dos produtos por um tema de indisponibilidade das amostras de engobes que se esgotaram na etapa anterior do trabalho. De toda forma, ainda que também sejam detectadas retrações de requeima nos esmaltes requeimados a 300 °C, estas movimentações são, em média, inferiores em comparação com as retrações mensuradas na requeima normativa a 500 °C.

Por fim, também se destaca pelas imagens anteriormente mostradas nas Fig.6 a 10 que a requeima a 300 °C não provoca alterações nas curvaturas das placas cerâmicas ou, quando isso ocorre, a magnitude das movimentações é expressivamente mais baixa em comparação com a requeima normativa. Como consequência lógica da menor alteração do estado de tensões dos esmaltes dos produtos, a requeima a 300 °C não interfere ou pouco interfere na resistência ao gretamento das placas cerâmicas, resultando em medidas de resistência ao gretamento mais condizentes com aquelas obtidas nas análises das peças recém-fabricadas.

Tabela 13: Resultados de retração de requeima de esmaltes requeimados em diferentes temperaturas

Insumo	Retração linear de requeima (mm/m)	
	Requeima a 500 °C (NBR)	Requeima a 300 °C
Esmalte A	0,10 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Esmalte B	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Esmalte C	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Esmalte D	0,15 ± 0,01	0,07 ± 0,01
Esmalte E	0,17 ± 0,01	0,05 ± 0,01
Esmalte F	0,17 ± 0,01	0,05 ± 0,01

4. CONCLUSÕES:

Os resultados do trabalho indicam que o sistema construtivo exerce influência na resistência ao gretamento das placas cerâmicas, visto que estas, uma vez instaladas, passam a fazer parte do sistema construtivo e possuem seu estado original de tensões alterado pelas retrações das argamassas colantes e demais esforços mecânicos induzidos em um sistema multicamadas, como é o caso do sistema de revestimento cerâmico.

O trabalho realizado apresenta dados numéricos que atestam as conclusões estabelecidas para uma amostragem ampla e diversificada de produtos B11b, de diferentes fabricantes e regiões do país, instalados com argamassas colantes de características bastante distintas. Tais resultados, apresentados de forma numérica inédita na literatura, apenas reforçam as informações que já constam na literatura científica de forma mais conceitual, acerca dos efeitos do sistema construtivo e, em especial da retração das argamassas colantes, sobre a resistência ao gretamento das placas cerâmicas de revestimento.

Em vista destes resultados, é inequívoco afirmar que os ensaios de resistência ao gretamento conduzidos com placas previamente assentadas e removidas não podem ser utilizados para interpretar a conformidade da resistência ao gretamento das placas cerâmicas comercializadas, mesmo em peças mal aderidas e removidas com zelo para evitar solicitações mecânicas severas. Como verificado, o estado de tensões das placas cerâmicas é afetado pelo sistema construtivo, de modo que apenas a realização de análises em placas que não tenham sido previamente assentadas pode atestar com precisão a existência de vícios ocultos exclusivos de fabricação, no que diz respeito à resistência ao gretamento. A perda de desempenho ao longo do uso, se observa de maneira clara para este caso, assim como descreve a norma de desempenho NBR ISO 15575.1 ao tratar da vida útil do sistema construtivo.

Os resultados da segunda parte deste trabalho também são conclusivos para indicar que a requeima a 500 °C prescrita pela norma NBR ISO 10.545.11 nas fases preliminares do ensaio de resistência ao gretamento não cumpre com sua função de recuperar o estado original de tensões das placas cerâmicas após a fabricação. Ao contrário do que se espera, se observa que a requeima a 500 °C promove movimentações não esperadas nas camadas dos engobes e esmaltes dos produtos B11b comerciais avaliados neste trabalho, gerando curvaturas côncavas e tensões de tração na superfície destes produtos, que reduzem a resistência ao gretamento das placas cerâmicas.

A eliminação da água absorvida e adsorvida após a fabricação das placas cerâmicas pode ser totalmente completada mediante tratamento térmico a 300 °C. A requeima nesta temperatura (inferior aos 500 °C prescritos no ensaio normativo) é mais eficiente para recuperar o estado original das placas cerâmicas, visto que não promove as mesmas alterações do estado de tensões dos esmaltes que ocorre com a requeima a 500 °C. Em vista destes resultados, se considera altamente recomendável que a temperatura de requeima de 300 °C seja considerada em futuras revisões das normalizações existentes para o ensaio de resistência ao gretamento de produtos cerâmicos esmaltados, em substituição aos atuais 500 °C.

REFERÊNCIAS:

- [1] NBR ISO 10545-11, 2017. Placas cerâmica. Parte 11: Determinação da resistência ao gretamento de placas esmaltadas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [2] Enrique J, Beltrán V, Negre P, Feliú C, 1990. Acuerdo esmalte-soporte (VI). Determinación de la resistencia al cuarteo de piezas cerámicas. *Tecnica Cerámica* 183, 282-297.
- [3] Amorós J L, Beltrán V, Blaco A F J, Navarro J E, Escardino A B, Negre P, Outros, 1991. Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos. Castellón: AICE, Instituto de Tecnología Cerámica.
- [4] Amorós J L, Negre P, Belda A, Sánchez E, 1996. Acordo esmalte-soporte (I): A falta de acordo como causa do empenamento. *Cerâmica Industrial* 1, 4/5, 06-13.
- [5] Callister W D, Rethwisch D G, 2000. *Ciência e Engenharia de Materiais. Uma Introdução*. Editora LTC.
- [6] Nastri S, Conserva L S, Melchiades F G, Boschi A O, 2015. A expansão por umidade (EPU) revisitada 20 anos depois: Convivendo com a inevitabilidade da EPU. *Cerâmica Industrial* 20, 1, 24-29
- [7] Fiorito A J S I, 1994. *Manual de argamassa e revestimento*. Editora PINI.
- [8] Bowman R, 1988. A work concept approach to determining crazing resistance. *Materials Science Forum* 34-36, 1009-1017.
- [9] Uher E, 1988. Strain development in wall tiles fixed to calcium silicate walls. *Materials Science Forum* 34-36, 1023-1028.
- [10] Wan W C, 2004. Tiling failures. A chronic problem re-visited. Castellón: VIII World Congress on Ceramic Tile Quality P.GII, 49-56.

- [11] Melchiades F G, Boschi A O, 2021. O gretamento de placas cerâmicas esmaltadas revisitado. *Cerâmica industrial* 26, 1, 1-9.
- [12] NBR ISO 15575-1, 2013. Edificações habitacionais. Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] Santos N F, Melchiades F G, Boschi A O, 2022. A retração das argamassas colantes e o gretamento dos esmaltes de placas cerâmicas assentadas. *Cerâmica Industrial* 27, 1, 1-9.
- [14] Nasti S, Conserva L S, Contarresi F, Franco D, Lot A V, Melchiades F G, Boschi A O, 2016. Influência da temperatura de requeima e tempo de hidratação sobre a expansão por umidade de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica industrial* 21, 1, 7-14.