

Curvaturas em Porcelanatos Assentados: Possíveis Causas

M. B. Almeida^a, A. V. Lot^b, L. J. J. Nieves^b, S. Nastri^b, Lisandra R. Santos^c, F. G. Melchíades^c, A. O. Boschi^{a,b*}, A. P. M. Menegazzo^d

^a Laboratório de Revestimentos Cerâmicos – LaRC, Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil

^b Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais – PPGCEM, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

^c Centro de Revestimentos Cerâmicos – CRC, São Carlos, SP, Brasil

^d Centro Cerâmico do Brasil – CCB, Santa Gertrudes, SP, Brasil

*e-mail: anselmo.ufscar@gmail.com

Resumo

A indústria de revestimentos cerâmicos tem se preocupado com relatos recentes sobre o desenvolvimento de curvaturas retardadas em porcelanatos assentados e o conseqüente destacamento desses produtos, enquanto peças não assentadas do mesmo lote se mantêm planas. Para evitar o desenvolvimento de tais curvaturas e os prejuízos decorrentes, as origens do problema devem ser conhecidas. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi investigar as causas do desenvolvimento de curvaturas em porcelanatos técnicos após o assentamento. Três causas hipotéticas foram investigadas. Inicialmente verificou-se a presença de heterogeneidades através da caracterização das faces inferiores e superiores de amostras do produto que apresentou empeno, de peças novas do mesmo lote deste produto e de um produto padrão. Foram constatadas diferenças nas porcentagens de fases, absorção de água e porosidade entre as faces do produto estudado que sugerem estágios mais avançados de sinterização na sua face superior. Devido às heterogeneidades encontradas, a umidade da argamassa e do ambiente em contato com a face inferior do porcelanato promove sua expansão diferencial, gerando tensões que levam ao desenvolvimento das curvaturas após o assentamento. Investigou-se, também, a contribuição do mecanismo de fluência no desenvolvimento das curvaturas através de curvas tensão versus deformação sob carga progressiva e deformação versus tempo sob carga constante. A maior porosidade e presença de microtrincas do produto com heterogeneidades pareceu ter facilitado o mecanismo de fluência nessa amostra, que apresentou deformações maiores que o produto padrão. A hipótese do desenvolvimento de curvaturas devido ao relaxamento de eventuais tensões residuais presentes na peça também foi investigada, mas não foi confirmada.

Palavras-chave: porcelanato, curvatura retardada, expansão por umidade, empeno, defeito.

1. Introdução

A demanda por porcelanatos tem aumentado nas últimas décadas, assim como a demanda por produtos de grandes dimensões, superiores a 60 x 60 cm². No que se refere à produção dos porcelanatos de grandes dimensões, o controle de curvatura das peças é um grande desafio. Em considerável parte desses produtos ocorre uma mudança de curvatura em um período de semanas ou meses após sua queima, fenômeno este que é conhecido como “curvatura retardada”¹. Relatos recentes mencionam o descolamento de peças de porcelanato devido a curvaturas desenvolvidas por esses produtos após seu assentamento. Entretanto, produtos do mesmo lote de fabricação que não foram assentados e permaneceram embalados mantiveram-se planos.

A ocorrência de defeitos relacionados a curvaturas e o conseqüente destacamento de peças assentadas, além de responsáveis por perdas econômicas, causam danos à imagem das empresas fabricantes do revestimento. Porém, apesar do grande interesse em evitar o desenvolvimento

de curvaturas em peças assentadas, muitas vezes, os fabricantes não sabem como atuar efetivamente sobre o problema devido ao desconhecimento de suas origens. Tendo em vista o exposto acima, o objetivo deste trabalho foi investigar as causas do desenvolvimento de curvaturas retardadas em porcelanatos técnicos após o assentamento.

Uma possível explicação para o desenvolvimento dessa patologia seria a expansão diferencial entre as faces inferior e superior do porcelanato. Esses produtos, quando instalados, encontram-se expostos a condições específicas do meio, tais como a umidade da argamassa e do ambiente, que podem favorecer a ocorrência da expansão por umidade. Se as faces inferior e superior do suporte apresentam diferenças microestruturais, estas podem expandir de formas distintas, com a geração de tensões que provocam a curvatura das peças².

Outra possibilidade para o surgimento de curvaturas tardias é a relaxação de tensões residuais - tensões existentes no corpo sem que forças externas estejam agindo sobre

o mesmo³. Tais tensões podem ser originadas durante a etapa de resfriamento da peça em decorrência de desajustes no acoplamento entre o suporte e o esmalte e contrações diferenciais que surgem devido à diferença de velocidade de resfriamento entre as extremidades e o centro da peça. Para que as tensões residuais se manifestem e provoquem o empeno da peça é necessário um mecanismo que permita sua liberação progressiva, chamado de fluência⁴.

A fluência, outra possível explicação para o desenvolvimento da patologia em questão, pode ser definida como uma deformação lenta e permanente de materiais sujeitos a cargas ou tensões constantes. A fluência é causada, muito provavelmente, pelo crescimento de microfissuras existentes na peça quando esta se encontra submetida a esforços de tração, causados pela diferença da variação dimensional das partículas de quartzo residual e da matriz vítrea⁵ ou entre zonas de união dos grânulos de pó atomizado não deformados em sua totalidade durante a prensagem⁶.

Em vista do objetivo proposto, as três hipóteses mencionadas acima foram investigadas no presente trabalho.

2. Metodologia

Para o estudo, foram selecionadas amostras de porcelanatos técnicos com as seguintes identificações:

- PT-STD: produto de referência – **padrão** – que não sofre empeno após a instalação.
- PT-N: placas **novas** não assentadas do mesmo lote do produto que sofreu curvatura retardada.
- PT-E: placas que sofreram **empeno** após a instalação.

A Tabela 1 apresenta as medidas das curvaturas das amostras, em mm e porcentagem, determinadas a partir de ensaios realizados de acordo com os procedimentos da NBR 13.818. Como é possível observar, a curvatura do produto PT-E tem maior módulo em comparação com o porcelanato padrão e é negativa, o que ocasionou seu descolamento após certo tempo assentado.

2.1. Avaliação da presença de heterogeneidades ao longo da espessura das placas

Com o objetivo de identificar possíveis heterogeneidades ao longo das espessuras das peças foi realizada uma avaliação comparativa entre suas faces inferiores e superiores. Para isso, amostras foram extraídas das placas PT-STD, PT-N e PT-E e separadas em suas meias-espessuras por meio de corte em disco diamantado e lixamento, como ilustra a Figura 1.

As seguintes análises foram realizadas, para a análise comparativa das faces:

- Análise da composição quantitativa de fases para verificação das diferenças microestruturais entre as faces pelo método RIR-Rietveld, por combinação das técnicas de fluorescência e difração de raios X;

Tabela 1. Curvatura das amostras de porcelanato PT-STD, PT-N e PT-E.

Curvaturas	PT-STD	PT-N	PT-E
Curvatura central média (mm)	0,94	0,18	-1,91
Curvatura central média (%)	0,11	0,02	-0,22

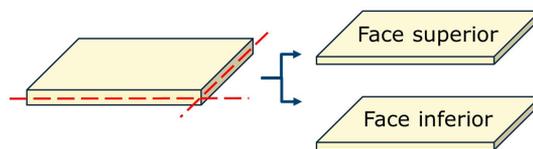


Figura 1. Separação das faces inferiores e superiores das amostras.

- Determinação da absorção de água e porosidade – aberta, fechada e total – das faces pelo método de Arquimedes. A impregnação dos poros com água foi realizada através de dois procedimentos distintos: imersão em água fervente durante 2 horas (norma NBR 13.818) e imersão em água à temperatura ambiente durante 15 minutos após 30 minutos de vácuo a 10 KPa (método TCNA);
- Avaliação da expansão por umidade em condições severas de hidratação. Corpos de prova de 50 x 5 mm² foram extraídos das placas recebidas e hidratados sob pressão de 5 atm durante 10 horas. As expansões por umidade dos corpos de prova foram determinadas mediante aquecimento dos corpos de prova em termodilatômetro sob velocidade de aquecimento de 5°C/min até 550°C, com monitoramento das variações dimensionais sofridas pelos corpos de prova durante o aquecimento e o resfriamento;
- Avaliação do comportamento dilatométrico (expansão térmica linear) das amostras. Os corpos de prova, com as mesmas dimensões especificadas no item anterior, foram ensaiados da temperatura ambiente até 1000°C, com velocidade de aquecimento de 5°C/min. Posteriormente, os coeficientes de expansão térmica das amostras foram calculados entre 25°C e 325°C e entre 500°C e 600°C;
- Análise microestrutural das seções transversais das amostras. As seções foram observadas em distintas ampliações no microscópio eletrônico de varredura, visando à identificação da presença de microtrincas e fissuras, bem como a observação do tamanho dos poros fechados das amostras.

2.2. Avaliação da presença de tensões residuais nas placas

Um procedimento simples foi realizado para estimar os graus de tensionamento dos produtos. As placas foram submetidas a ensaios de flexão em 3 pontos (de acordo

com os procedimentos da norma NBR 13.818), com a face superior voltada para cima e, em seguida, para baixo. As diferenças entre os resultados obtidos nas duas condições de avaliação foram utilizadas como indicadores das tensões residuais nas peças

2.3. Avaliação da fluência das placas sob aplicação de tensões

Corpos de prova de 60 x 20 mm² foram extraídos das placas e analisados em ensaio de flexão em uma máquina universal de ensaios Instron, com monitoramento das deformações sofridas em função da tensão aplicada. Foi aplicada tensão de 30 MPa e posteriormente esta tensão foi mantida constante durante 48 horas para avaliação das deformações produzidas.

3. Resultados

3.1. Avaliação da presença de heterogeneidades ao longo da espessura das placas

A Figura 2 apresenta as composições quantitativas de fase para as faces dos porcelanatos, estimadas a partir da combinação entre os resultados da análise química e da difração de raios X.

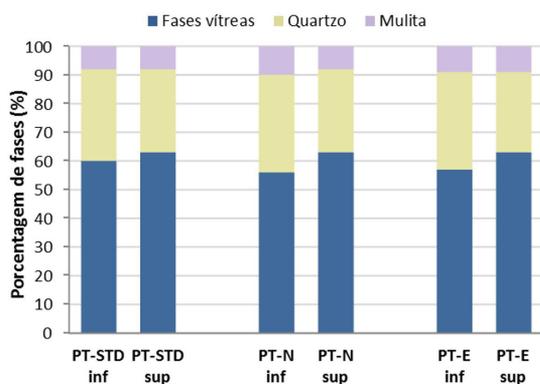
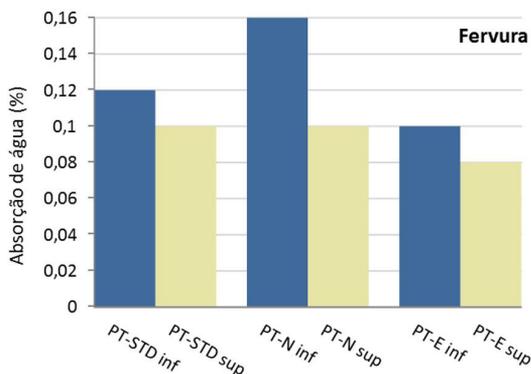


Figura 2. Estimativa da composição quantitativa de fases das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E.



Em comparação com o produto padrão (PT-STD), o porcelanato que apresentou curvatura retardada (PT-E) e a amostra do mesmo produto não assentada (PT-N) apresentam diferenças mais significativas entre as composições de fases das faces inferiores e superiores analisadas. Nota-se ainda um padrão para essa variação. Há menor teor de quartzo e maior teor de fases vítreas nas faces superiores das peças, o que pode indicar que as faces superiores das amostras se encontram submetidas a um tratamento térmico mais efetivo.

As Figuras 3-6 apresentam, respectivamente, os valores da absorção de água, porosidade aberta, porosidade fechada e porosidade total das amostras analisadas.

Os resultados das análises de absorção de água e porosidade confirmam as heterogeneidades anteriormente apontadas pelos ensaios de quantificação de fases. Nota-se, para todas as amostras avaliadas, que há maior absorção de água e porosidade aberta nas faces inferiores das placas, enquanto que nas faces superiores há incremento substancial da porosidade fechada. Estes resultados reforçam a hipótese de que as faces superiores de todas as placas se encontram em estágios de sinterização mais avançados do que as faces inferiores. Esse efeito parece ser mais acentuado no caso das amostras PT-N e PT-E, para as quais as diferenças de porosidade e absorção de água entre as faces são mais marcantes. Segundo a literatura especializada [1,2] duas características que afetam significativamente a expansão por umidade são: 1) a natureza das fases e 2) a porosidade aberta. Nesse sentido, os resultados apresentados são compatíveis com a hipótese de que as deformações sofridas pelas peças sejam ocasionadas por expansões diferenciais ao longo da secção transversal das peças devido a heterogeneidades microestruturais entre as mesmas.

Os resultados das análises de expansão por umidade após ciclo de hidratação de dez horas a 5 atm são apresentados na Figura 7, onde é possível acompanhar graficamente as variações dimensionais sofridas pelas amostras durante o aquecimento e o resfriamento no dilatômetro. Como observado nas legendas dos gráficos, para o porcelanato padrão – PT-STD – e o porcelanato que apresentou deformação após assentamento – PT-E, a

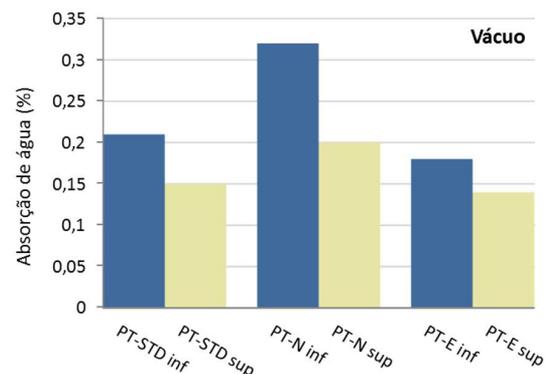


Figura 3. Absorção de água das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E, após hidratação por fervura (esquerda) e a vácuo (direita).

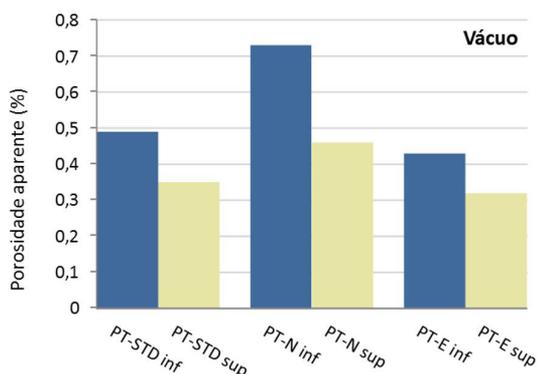
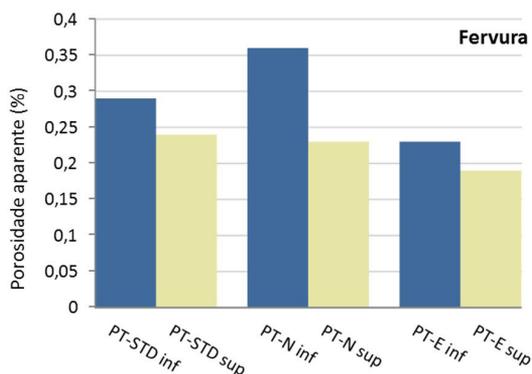


Figura 4. Porosidade aberta das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E, após hidratação por fervura (esquerda) e a vácuo (direita).

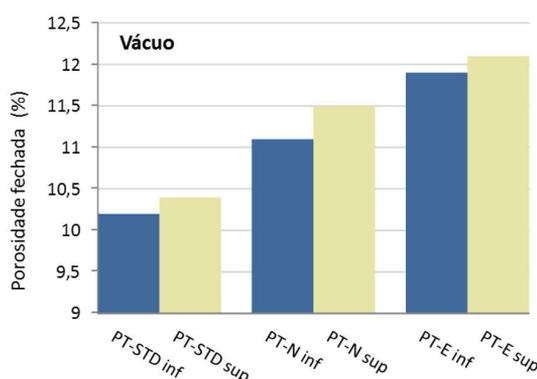
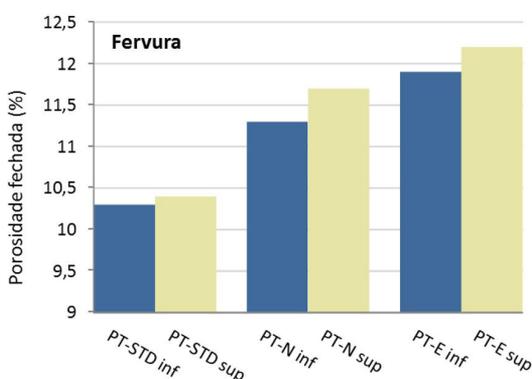


Figura 5. Porosidade fechada das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E, após hidratação por fervura (esquerda) e a vácuo (direita).

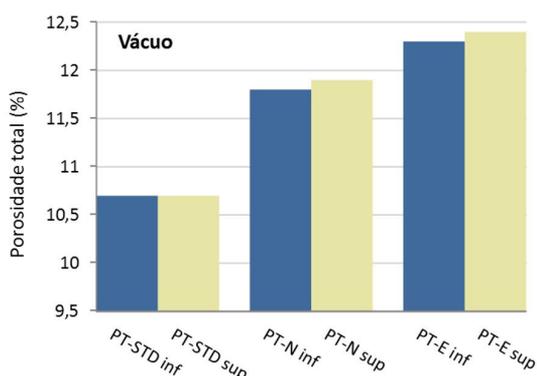
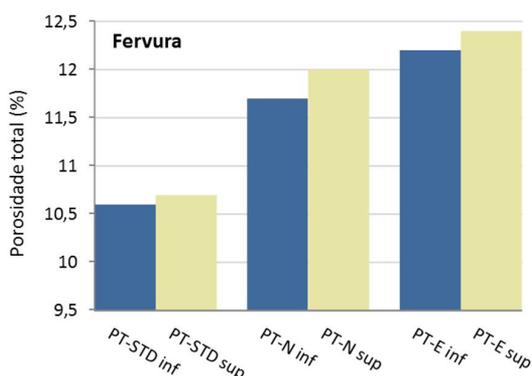


Figura 6. Porosidade total das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E, após hidratação por fervura (esquerda) e a vácuo (direita).

expansão por umidade foi quantificada como nula. Já no que se refere ao porcelanato novo do mesmo lote de fabricação do produto com defeito – PT-N – a expansão por umidade não pôde ser quantificada. Observa-se pelas descontinuidades nas curvas que os corpos de prova das duas faces apresentaram rupturas no aquecimento, com a interrupção da medida. Tais resultados revelam que,

ainda que essas peças apresentem expansões por umidade muito baixas, o período de hidratação em autoclave foi efetivo para a geração de tensões nos corpos de prova que resultaram em rupturas durante o posterior aquecimento no dilatômetro.

Na Figura 8 encontram-se os resultados das análises dilatométricas, enquanto na Tabela 2 são apresentados os

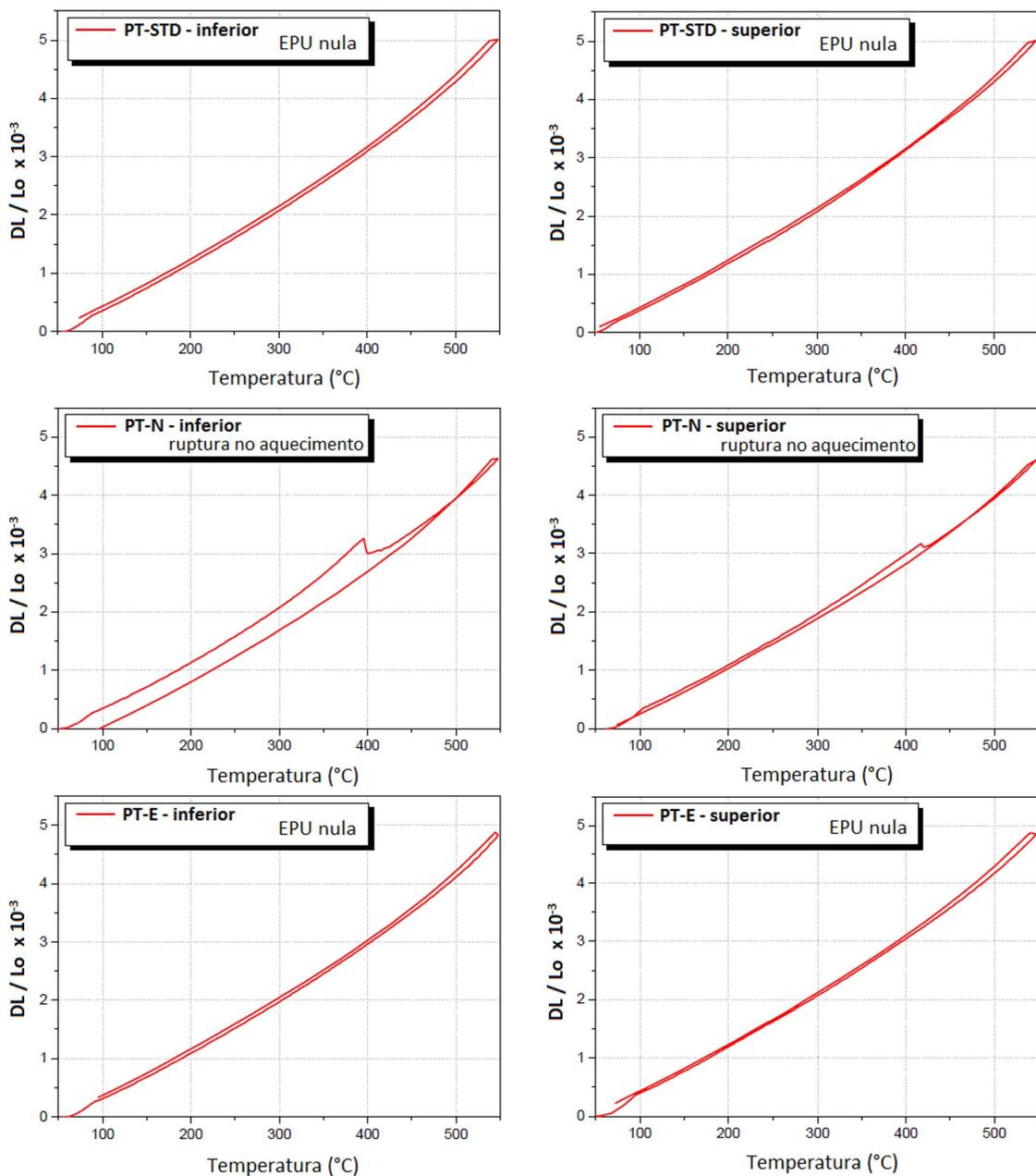


Figura 7. Expansão por umidade das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E.

valores dos coeficientes de dilatação térmica das amostras, calculados para o intervalo de temperaturas entre 25°C a 325°C e entre 500°C e 600°C.

De modo geral, o produto padrão apresenta coeficiente de dilatação térmica mais elevado que os demais, nos dois intervalos em que o mesmo foi determinado. Entretanto, neste caso, as heterogeneidades microestruturais observadas anteriormente não se traduzem em diferenças nos coeficientes de expansão entre as faces superiores e inferiores das amostras.

As imagens das microestruturas das amostras obtidas no microscópio eletrônico de varredura são apresentadas nas Figuras 9 e 10. As imagens foram obtidas em duas ampliações distintas para cada amostra, uma mais baixa e uma ampliação mais alta.

As diferenças encontradas anteriormente entre as faces superiores e inferiores das amostras não são facilmente observáveis nas imagens de microscopia. Entretanto, as imagens tornam evidente que as amostras PT-N e PT-E apresentam maior volume de poros fechados e de maiores

dimensões que a amostra PT-STD, assim como uma maior incidência de microtrincas em sua microestrutura, associada à presença de grãos grosseiros de quartzo.

Os resultados apresentados permitiram a detecção de heterogeneidades no perfil de espessura das amostras dos porcelanatos PT-N e PT-E. Testes relativamente simples tais como as medidas da porosidade e absorção de água já permitiram a identificação de diferenças importantes entre

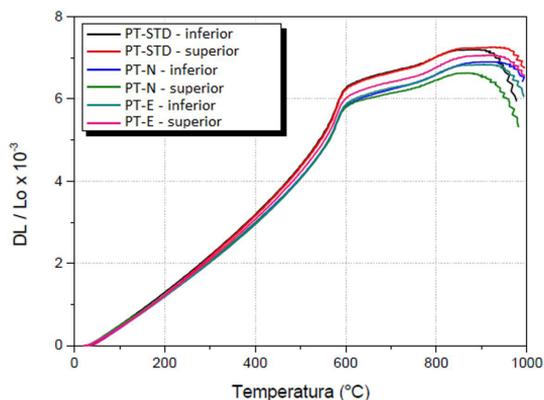


Figura 8. Dilatometria das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E.

as faces superiores e inferiores dos produtos. Para verificar a incidência das heterogeneidades observadas para esses porcelanatos em produtos comerciais, seis porcelanatos comerciais de fabricantes distintos – dois técnicos (PT1 e PT2) e quatro esmaltados (PE1, PE2, PE3 e PE4) – foram selecionados. As placas foram separadas em sua meia-espessura como as amostras preparadas para os testes anteriores e repetiram-se as medidas de absorção de água e porosidade aparente para as faces inferiores e superiores de cada amostra. Esses resultados, para os diferentes porcelanatos comerciais, estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

A princípio, em relação aos resultados obtidos, cabe um destaque para os porcelanatos técnicos PT1 e PT2 e porcelanatos esmaltados PE1 e PE3, que não cumprem com os requisitos da norma⁷ para suas tipologias, apresentando absorção de água superior a 0,1% e 0,5% respectivamente. Apesar disso, em relação às heterogeneidades, verifica-se que os porcelanatos técnicos PT1 e PT2, assim como o porcelanato esmaltado PE4, não apresentaram diferenças de absorção de água ou porosidade aparente entre as faces superior e inferior das peças avaliadas.

No caso do porcelanato esmaltado PE2, é possível notar diferenças entre os resultados das duas faces, porém, apenas para as amostras hidratadas no vácuo. Nesse caso, ao contrário do observado para o porcelanato

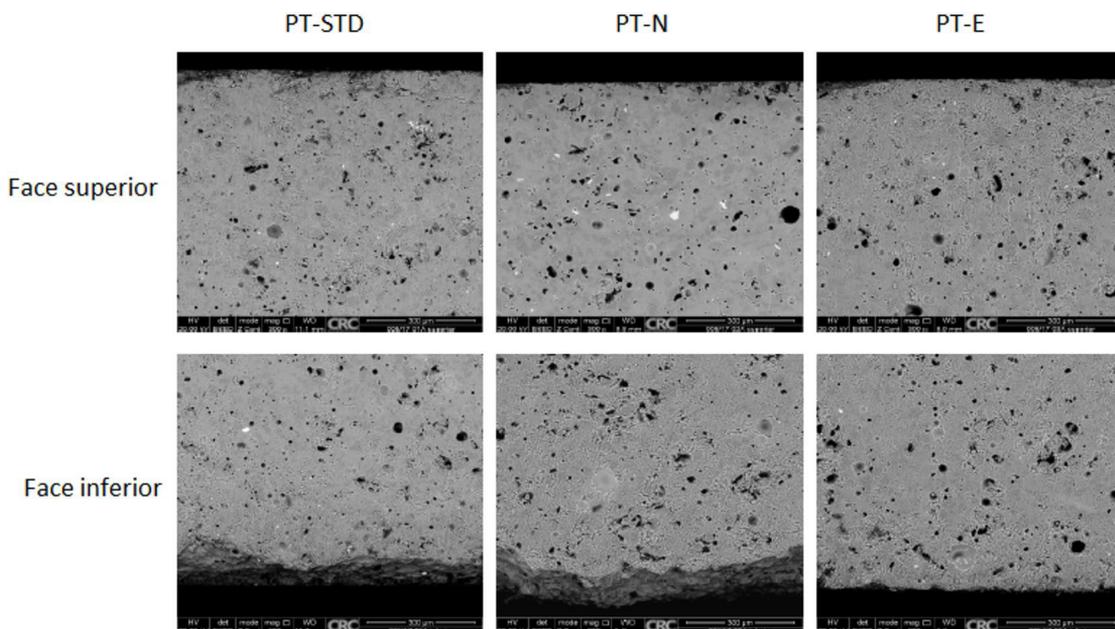


Figura 9. Micrografia obtida com o microscópio eletrônico de varredura das faces dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E. BAIXA AMPLIAÇÃO.

Tabela 2. Coeficientes de expansão térmica das faces inferiores e superiores dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E.

Coef. expansão térmica	PT-STD		PT-N		PT-E	
	Face inferior	Face superior	Face inferior	Face superior	Face inferior	Face superior
α_{25-325} ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$79,8 \times 10^{-7}$	$79,4 \times 10^{-7}$	$75,8 \times 10^{-7}$	$76,0 \times 10^{-7}$	$74,3 \times 10^{-7}$	$76,7 \times 10^{-7}$
$\alpha_{500-600}$ ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$187,8 \times 10^{-7}$	$188,9 \times 10^{-7}$	$170,0 \times 10^{-7}$	$170,6 \times 10^{-7}$	$179,9 \times 10^{-7}$	$180,2 \times 10^{-7}$

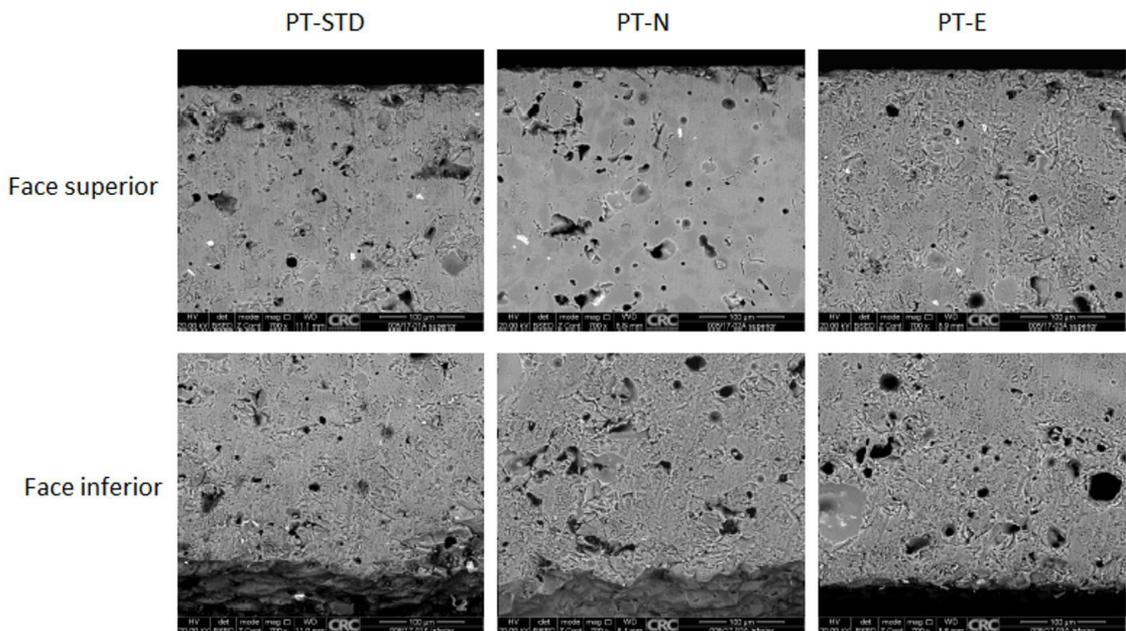


Figura 10. Micrografia obtida com o microscópio eletrônico de varredura das faces dos porcelanatos PT-STD, PT-N e PT-E. ALTA AMPLIAÇÃO.

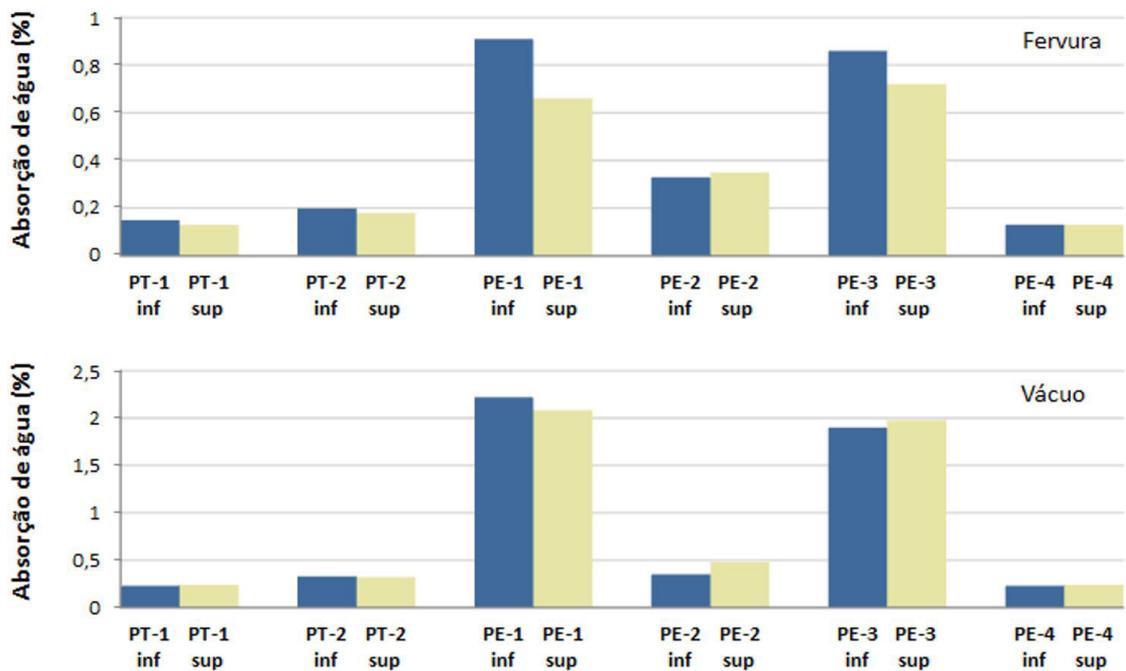


Figura 11. Absorção de água para as amostras de porcelanato comerciais, hidratadas por fervura e a vácuo.

que desenvolveu curvaturas após assentado, a face com absorção de água mais elevada é a superior. Isso pode estar atribuído a maior temperatura aplicada intencionalmente na face inferior da peça durante a queima para um ajuste de curvatura ou favorecimento da liberação de gases do suporte antes do amolecimento do esmalte.

Para PE1 e PE3 também é possível notar diferenças significativas de absorção de água e porosidade entre as faces das placas. Entretanto, de forma geral, mesmo para os porcelanatos PE1, PE2 e PE3, as diferenças encontradas não atingem a dimensão percentual das diferenças observadas para as peças não assentadas do

mesmo lote do porcelanato que sofreu descolamento. Assim, nenhum dos seis produtos comerciais analisados apresentou heterogeneidades tão expressivas para serem apontadas como responsáveis pela expansão por umidade diferencial e pelo consequente desenvolvimento de curvatura nas peças. Assim sendo, conclui-se que casos como o do porcelanato que sofreu descolamento abordado nesse trabalho são casos isolados. Esse resultado está de acordo com o esperado, visto que diferenças na microestrutura ao longo da secção transversal das peças são defeitos que podem desencadear patologias que trazem prejuízos aos consumidores e fabricantes, não devendo, portanto, ocorrer frequentemente. Além do problema do descolamento das peças que sofrem empeno, a presença de heterogeneidades poderia contribuir com a tendência ao manchamento nas regiões da placa onde a absorção de água é mais elevada e até comprometer a resistência mecânica da peça, em casos mais extremos.

3.2. Avaliação da presença de tensões residuais nas placas

Os resultados da avaliação da presença de tensões residuais, estimadas pelas diferenças observadas nos módulos de ruptura à flexão das amostras após análises

com a face superior voltada para cima e para baixo, são apresentados na Tabela 3.

Os resultados do módulo de ruptura à flexão do porcelanato padrão – PT STD – são mais elevados que os das outras duas amostras nas duas posições, provavelmente em decorrência da menor porosidade total. Voltando à Tabela 1, onde se encontram os resultados das análises de curvatura central das peças, nota-se que as diferenças de curvatura entre as amostras são muito marcantes. No entanto, as diferenças de resistência mecânica nas medidas realizadas com o tardez para cima e para baixo são da mesma magnitude para todos os porcelanatos. Ainda que seja uma forma bastante simplificada para quantificar as tensões residuais, estes resultados parecem indicar que o produto que apresentou a patologia não apresenta tensões residuais mais elevadas, em comparação com o produto padrão, que possam justificar as deformações manifestadas após o seu assentamento.

3.3. Avaliação da fluência das placas sob aplicação de tensões

As Figuras 13 e 14 expressam, respectivamente, as curvas de tensão x deformação durante a aplicação inicial de carga nas amostras e a fluência apresentada por cada produto avaliado durante 48 horas sob carga constante de 30 MPa.

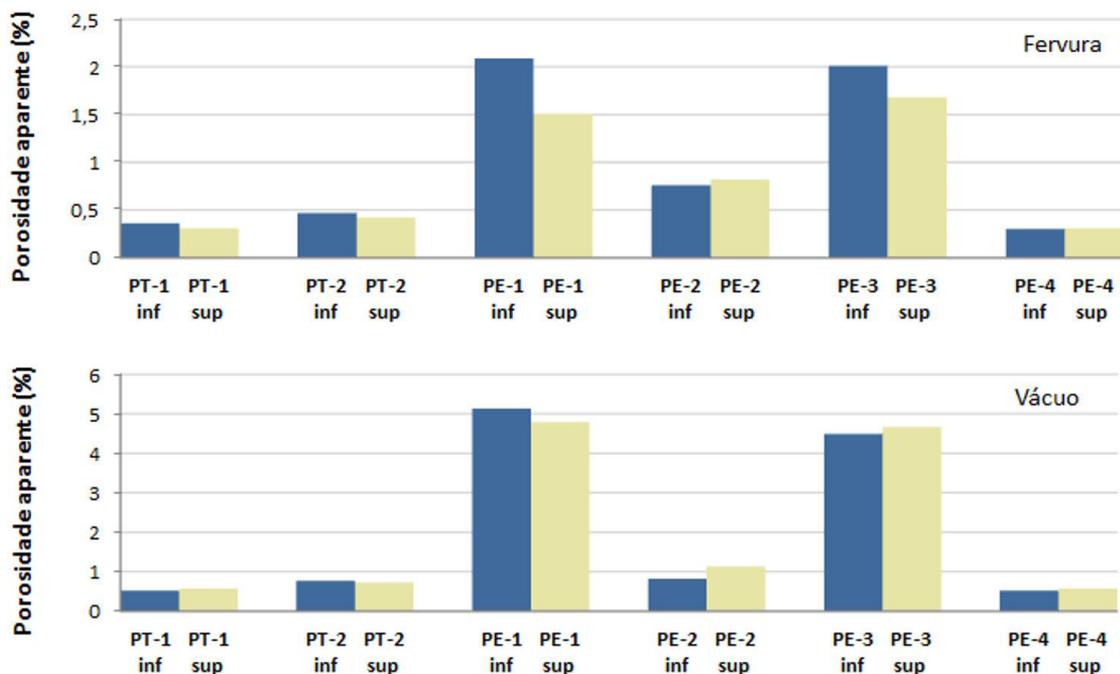


Figura 12. Porosidade aparente para as amostras de porcelanato comerciais, hidratadas por fervura e a vácuo.

Tabela 3. Módulos de ruptura à flexão das amostras de porcelanato comerciais.

Característica	PT-STD	PT-N	PT-E
Módulo de ruptura flexão. Tardez p baixo (MPa)	47,8	38,7	44,8
Módulo de ruptura flexão. Tardez p cima (MPa)	66,9	53,8	61,4
Diferença de módulo de ruptura à flexão (MPa)	19,1	15,1	16,6

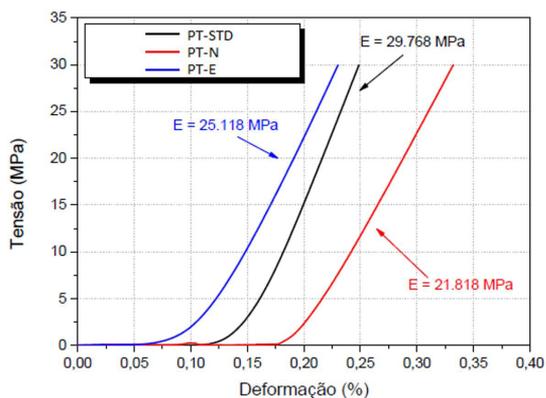


Figura 13. Curvas tensão x deformação das amostras durante aplicação de carga até 30 MPa.

Na Figura 13, nota-se que os módulos elásticos dos produtos PT-N e PT-E são inferiores em relação ao produto padrão, provavelmente devido a menor porosidade total desse último. Por sua vez, na Figura 14, fica evidente que a deformação sofrida ao longo do tempo pelo PT-N é expressivamente mais alta que nos outros dois produtos. Isso pode estar associado ao mecanismo de fluência facilitado pela maior porosidade e presença de microtrincas na microestrutura desse produto, que culmina no desenvolvimento de curvaturas maiores nas peças como mecanismo de alívio das tensões aplicadas. No caso do produto PT-E, este mecanismo já não se desenvolve da mesma forma, tendo em vista que as tensões responsáveis pelo empeno das placas já produziram as deformações durante o uso do produto.

3.4. Comprovação prática dos resultados

Os resultados sugerem que as heterogeneidades identificadas no perfil de espessura do porcelanato estudado sejam a principal causa das deformações manifestadas pelo mesmo. A umidade proveniente da argamassa (e eventualmente do ambiente) em contato com a face inferior do produto assentado promove expansão diferencial na peça, gerando tensões que resultam no seu empeno após um período de tempo. Um teste prático, ilustrado na Figura 15, foi realizado para a comprovação da expansão diferencial e do consequente desenvolvimento das curvaturas pelo porcelanato estudado na presença de umidade. Foi cortada uma peça do porcelanato padrão, PT-STD, e do porcelanato PT-N, produto novo do mesmo lote do porcelanato que sofreu empeno e que, assim como este, apresenta heterogeneidades microestruturais ao longo do seu perfil de espessura. As mesmas foram colocadas e mantidas por 30 dias sobre uma toalha constantemente umedecida em um recipiente plástico, de forma que sua superfície inferior se mantivesse em contato com água enquanto a superfície superior se mantivesse seca. Ao final de 30 dias, as curvaturas das amostras foram determinadas. O resultado é apresentado na Tabela 4.

É importante mencionar que as curvaturas apresentadas nessa tabela não devem ser comparadas com os valores

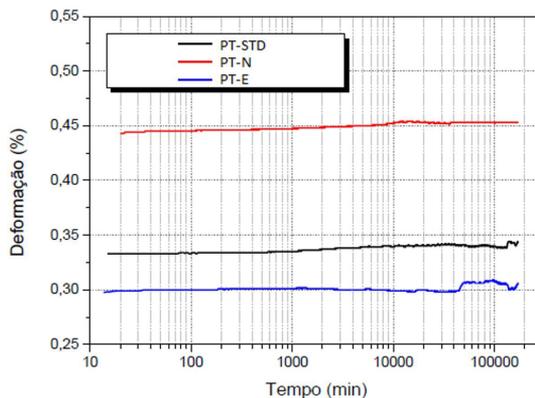


Figura 14. Curvas deformação x tempo das amostras sob aplicação constante de carga de 30 MPa.



Figura 15. Teste prático para verificação do desenvolvimento de curvaturas nos porcelanatos na presença de umidade (efeito da expansão por umidade diferencial).

Tabela 4. Curvatura das amostras após exposição da face inferior à umidade por 30 dias.

Curvaturas após teste	PT-STD	PT-N
Curvatura central média (mm)	0,17	-0,26
Curvatura central média (%)	0,03	-0,05

apresentados na Tabela 1, visto que as amostras utilizadas neste teste prático são de dimensões diferentes em comparação com as placas inteiras consideradas anteriormente. Em relação ao porcelanato padrão, PT-STD, o porcelanato PT-N apresenta uma curvatura negativa. Esse é o resultado da expansão da sua face inferior devido ao contato com a água durante o período de teste, o que era esperado devido à presença de heterogeneidades detectadas nessa amostra e explica o descolamento do porcelanato PT-E após sua aplicação.

4. Conclusão Final

As curvaturas manifestadas nas amostras do porcelanato que sofreu descolamento estão associadas às heterogeneidades presentes ao longo da secção transversal das peças.

Estas foram constatadas pelas análises quantitativas de fases e pelas análises de absorção de água e porosidade realizadas nas faces superior e inferior do produto, que indicam que as primeiras se encontram em estágios mais avançados de sinterização. Assim, a umidade proveniente da argamassa ou do ambiente, em contato com a face inferior do produto promove sua expansão diferencial, gerando tensões que produzem curvaturas após certo tempo desde seu assentamento e culminam no descolamento da placa. Um teste prático foi realizado e comprovou o desenvolvimento de uma curvatura negativa no produto que apresenta heterogeneidades no perfil de espessura após um período em que sua superfície inferior é mantida em contato água.

Outros porcelanatos comerciais foram avaliados quanto à presença de diferenças entre as faces e os resultados indicam que a ocorrência de heterogeneidades ao longo da secção transversal de peças de porcelanato não é frequente.

A hipótese do desenvolvimento de curvaturas devido à presença de tensões residuais não foi confirmada.

Em relação ao mecanismo de fluência, esse pareceu facilitado pela maior porosidade e pela presença de microtrincas no porcelanato novo do mesmo lote do produto que sofreu descolamento, o que contribuiu para a maior

magnitude das deformações observadas nesse produto, em comparação com o porcelanato padrão.

Referências

- 1 - CANTAVELLA, et al. Análise e Medida de Fatores que Afetam as Curvaturas Retardadas em Porcelanato. **Rev. Cerâmica Industrial**, vol.13 jan/abr: São Paulo, 2008.
- 2 - CHIARI, et al. Expansão por umidade. Parte I: O Fenômeno. **Rev. Cerâmica Industrial** vol. 01: Março/abril, 1996.
- 3 - LU, J., **Handbook of Measurements of Residual Stress**, v. 2, Ed. SEM, 2ed., p. 417, 2005.
- 4 - CANTAVELLA V. S., et al. Análise e medida de fatores que afetam as curvaturas retardadas em porcelanato. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 21-28, jan./abr. 2008.
- 5 - NONI Jr. A., et al. Influencia del enfriamiento de la etapa de cocción sobre las propiedades mecánicas del gres porcelánico. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, v. 46, n. 4, p. 163-170, 2007.
- 6 - GARCÍA-TEN, J., et al. Influence of operating variables on spray-dried granule and resulting tile characteristics. **Key Eng. Mater.**, 264-268, p. 1499-1502, 2004.
- 7 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15463: Placas cerâmicas para Revestimento - Porcelanato. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 11p.