

Resolução Real na Impressão Jato de Tinta de Placas Cerâmicas: Avaliação Preliminar do Tamanho de Impressão sob Diferentes Condições de Operação

Paolo Zannini^a, Giorgia Ferrari^a, Laura Ganzerli^a, Davide Gardini^b, Michele Dondi^{b*}

^a Departamento de Ciências Químicas e Geológicas, Universidade de Modena e Reggio Emilia, Modena, Itália

^b CNR-ISTEC, Istituto de Ciência e Tecnologia de Materiais Cerâmicos, Faenza, Itália

*e-mail: michele.dondi@istec.cnr.it

Resumo

O comportamento das tintas cerâmicas durante o jateamento por gota-sob-demanda em dispositivos piezoelétricos é bem conhecido, sendo investigado em detalhes pela observação do comportamento da gota no ajuste de cada impressora jato de tinta. Em contrapartida, o comportamento após a gota ter tocado o substrato é ainda desconhecido. Não há dados disponíveis sobre o efeito do impacto, espalhamento e penetração da gota no substrato poroso sobre a resolução de impressão. Tais eventos são afetados não somente pela densidade, viscosidade e tensão superficial da tinta e ajustes das cabeças de impressão, mas também pela velocidade das placas na linha e pela molhabilidade, rugosidade, porosidade e permeabilidade dos substratos. Para preencher esta lacuna, este trabalho examina o comportamento de tintas cerâmicas após jateamento pela observação da impressão das gotas após impacto, espalhamento e penetração nas superfícies cruas, bem como após secagem e queima dos produtos acabados. A impressão jato de tinta foi realizada com uma impressora industrial equipada com um cabeçote de impressão com 400 dpi trabalhando em escala de cinzas e sob diferentes condições: volume de gota (30, 50 e 80 pL) e cobertura superficial teórica (5 ou 10%). Foram usados dois conjuntos de tintas cerâmicas industriais (à base de óleo e à base de água) bem como dois tipos diferentes de substratos industriais (placas cruas esmaltadas e não esmaltadas). As impressões foram caracterizadas pela estimativa de seu tamanho e forma por análise de imagem de micrografias obtidas por microscopia óptica. A partir destes dados foi possível calcular o índice de espalhamento (a razão entre a área impressa da gota e sua seção transversal equatorial) após a aplicação da gota e o tratamento térmico em um secador e forno industriais. Os resultados mostram que a impressão das tintas cerâmicas é muito diferente da forma circular ideal, tendo um contorno irregular e sofrendo uma retração considerável durante a queima. O índice de espalhamento varia significativamente entre as tintas baseadas em óleo e em água e entre as placas esmaltadas e não esmaltadas, antes e após a queima.

Palavras-chave: impressão jato de tinta, placas cerâmicas, resolução real.

1. Introdução

Na última década, a impressão jato de tinta (IJT) espalhou-se por todo o mundo, tornando-se a tecnologia líder na decoração de placas cerâmicas [1-4]. Atualmente, a conversão das linhas de decoração convencionais para digitais varia de 20 a 90%, dependendo do país.

A rápida difusão da IJT foi possível devido a um esforço duplo: primeiro, a identificação de soluções tecnológicas para superar os vários problemas específicos que ocorrem na produção cerâmica. Esta tarefa foi executada pelos fabricantes de impressoras e pelos fabricantes de placas [3,4]. Segundo, o desenvolvimento de tintas, simultaneamente atendendo aos requisitos tecnológicos dos dispositivos IJT e às demandas dos usuários finais em termos de comportamento cerâmico, estabilidade ao longo do tempo, segurança e custo. Esta tarefa foi executada pelos fabricantes de tintas e fornecedores de aditivos [4-7].

Entre as razões para o sucesso da IJT estão a qualidade superior de impressão, assegurada pelos cabeçotes com alta resolução nativa, geralmente 360 a 400 dpi (chamada

‘resolução transversal’). Mesmo assim, a resolução real sobre uma placa cerâmica depende, além da frequência de disparo, da velocidade da linha de decoração: o quanto mais rápido as placas são transportadas sob a impressora, menor é o número de pontos impressos por polegada na direção longitudinal (chamada ‘resolução longitudinal’). Uma impressora equipada com cabeçotes de 360 dpi tem um pixel (a superfície alvo para jatear a gota de tinta) de aproximadamente 70 µm na direção transversal. Tal pixel é quadrado (70 µm × 70 µm), com uma frequência de disparo de 6 kHz quando a velocidade da linha de decoração é de 25 m/min, mas torna-se cada vez mais retangular para uma maior velocidade (70 µm × 140 µm a 50 m/min).

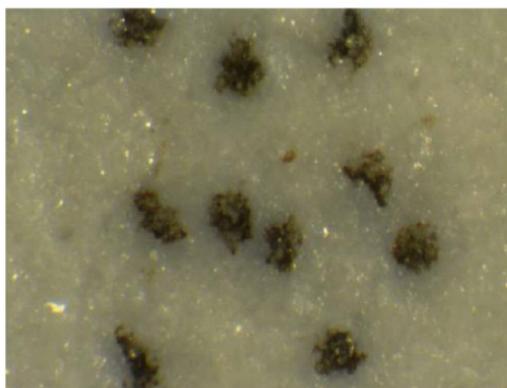
A qualidade de impressão depende da capacidade real da impressora em depositar precisamente sobre o mesmo pixel as gotas de tintas de cores diferentes, quatro para o caso da quadricromia [5-8]. Em princípio, para cobrir um pixel de 70 µm × 70 µm com quatro gotas, para cumprir com a capacidade total de endereçamento são necessárias

impressões circulares de 35 µm de diâmetro. Qualquer impressão mais larga se espalhará sobre os pixels adjacentes, reduzindo a qualidade da imagem. Esta restrição também é válida para um pixel retangular, pois a largura de 70 µm é a resolução nativa dos cabeçotes.

Embora haja um controle rigoroso em muitas variáveis do processo IJT (tamanho e forma da gota, trajetória do jato, alinhamento dos cabeçotes, propriedades físicas das tintas), pouco é conhecido sobre a qualidade de impressão real na decoração digital de placas cerâmicas, pois o resultado da IJT depende de modo complexo das características do substrato. A forma como a gota de tinta se espalha sobre uma superfície cerâmica é afetada por vários fatores: energia de impacto (massa e velocidade da gota), molhabilidade do substrato (ângulo de contato), microestrutura (rugosidade, porosidade), penetração (viscosidade da tinta e permeabilidade do substrato), entre outras [9-12].

Na decoração de placas cerâmicas, a qualidade da imagem é verificada por observação qualitativa ('Altona Test Suite') e por medidas colorimétricas quantitativas (usando cartas de teste). Entretanto, estes testes não são úteis para discriminar o efeito sobre a qualidade de imagem devido à secagem e queima daquele devido a fenômenos que ocorrem antes do tratamento térmico. Apesar da crescente preocupação da indústria de placas cerâmicas sobre a qualidade de impressão, não há dados disponíveis sobre o tamanho efetivo das impressões em placas decoradas por jato de tinta, além das estimativas preliminares apresentadas por Bourgy et al. [13] e Sanz et al. [14].

Para preencher esta lacuna, este trabalho examina o comportamento das tintas cerâmicas após jateamento, em particular o que ocorre nas gotas de tinta após impacto, espalhamento e penetração, pela observação de impressões sobre superfícies cerâmicas cruas esmaltadas e não esmaltadas, bem como após a secagem e queima, pela observação de impressões nos produtos finais.



2. Experimental

Porcelanatos industriais foram decorados por jato de tinta usando-se uma impressora industrial equipada com um cabeçote Dimatix Starfire 1024 (com 400 dpi de resolução nativa) sob diferentes condições de operação:

- Superfícies cerâmicas esmaltadas ('vidrado') e não esmaltadas ('corpo');
- Escala de cinzas, com volumes nominais de gota de 30, 50 ou 80 pL;
- Impressão com tinta à base de óleo (OB, o solvente sendo uma mistura de ésteres de ácidos graxos) e tinta à base de água (WB, uma mistura de água e etileno glicóis);
- Cobertura teórica de tinta sobre a superfície alvo igual a 5 ou 10%.

As placas impressas foram observadas sob um microscópio óptico (Meiji Techno RZ) obtendo-se micrografias (câmara Nikon D5200 com ampliação de 75×) que foram convertidas para imagens preto-e-branco (Figura 1). Foi feita análise de imagens (ImageJ) para se obter a área, perímetro e circularidade médios de 10-25 impressões de cada amostra.

O espalhamento das gotas de tinta sobre o substrato foi quantificado pelo índice de espalhamento, S , definido como a razão entre a área de impressão (A_{imp}) e a seção transversal equatorial da gota, assumida como esférica (A_{esd}): $S = A_{imp} / A_{esd}$. Um valor de $S=1$ implica que não há espalhamento. Valores de $S>1$ indicam grau de espalhamento sobre as superfícies dos vidrados ou corpos.

3. Resultados e Discussão

Impressões de tinta sobre substratos cerâmicos geralmente têm um contorno irregular, embora o formato esférico e a trajetória das gotas tenham sido precisamente verificados em operação por observações da gota por câmera. A maioria das impressões são anisotrópicas, com grande

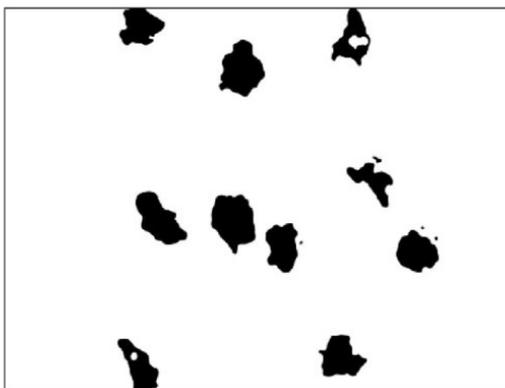


Figura 1. Exemplo de conversão da micrografia colorida para uma imagem em preto-e-branco. IJT sobre vidro queimado, volume de gota de 80 pL, 5% de cobertura, tinta à base de óleo.

desvio da forma circular (circularidade entre 0,6 e 0,8). Frequentemente o contorno das impressões é chanfrado (Figura 2), sendo severamente afetado pelas características físicas e microestruturais da superfície alvo: molhabilidade, rugosidade, porosidade e permeabilidade [13, 15, 16]. Este comportamento é mais acentuado nas tintas à base de água, cujas impressões parecem ser preenchidas não uniformemente (Figura 3), talvez como consequência de um efeito do tipo mancha de café [17]. Devido à forma e contorno irregular das impressões, os valores médios de área, perímetro e circularidade são afetados por um desvio padrão tão elevado quanto 10-15% para placas não queimadas ou 15-25% para placas queimadas.

O espalhamento da tinta sobre a superfície alvo varia de acordo com o tipo de tinta (OB ou WB), tipo de substrato (vidrado ou corpo) e volume de gota. Por outro lado, o grau de cobertura de tinta (5 ou 10%) parece não afetar substancialmente o índice de espalhamento.

O tamanho de impressão é proporcional ao volume das gotas de tinta que impactam sobre a superfície cerâmica, ocorrendo então um claro desvio do tamanho nominal (Figura 4). Esta tendência mostra que a relação entre a penetração da tinta no substrato e seu espalhamento sobre a superfície é aproximadamente constante para tamanhos de gota entre 39 μm (30 pL) e 54 μm (80 pL). O relevante para o endereçamento do jato de tinta sobre

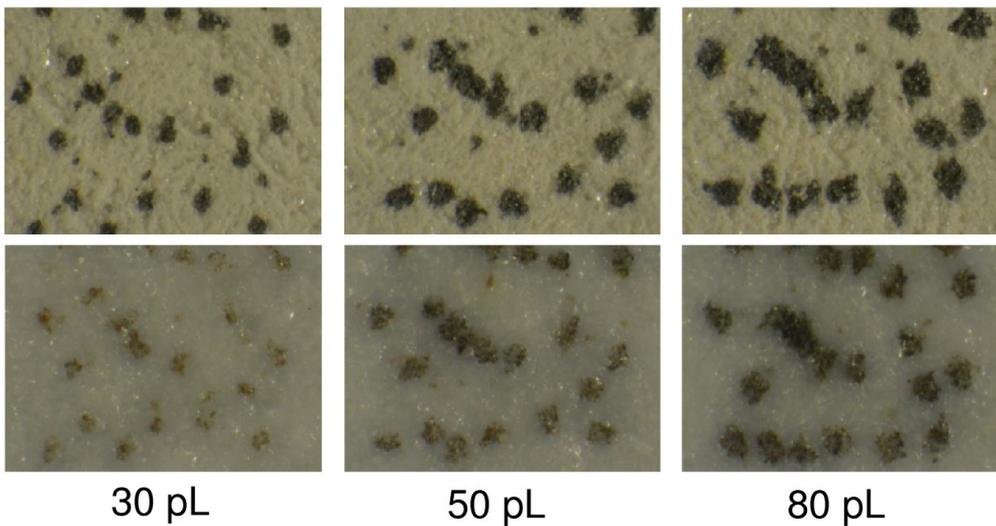


Figura 2. Micrografias de placas de porcelanato impressas por jato de tinta com tinta à base de óleo: volumes de gota distintos sobre superfícies de vidro não queimadas (acima) e queimadas (abaixo).

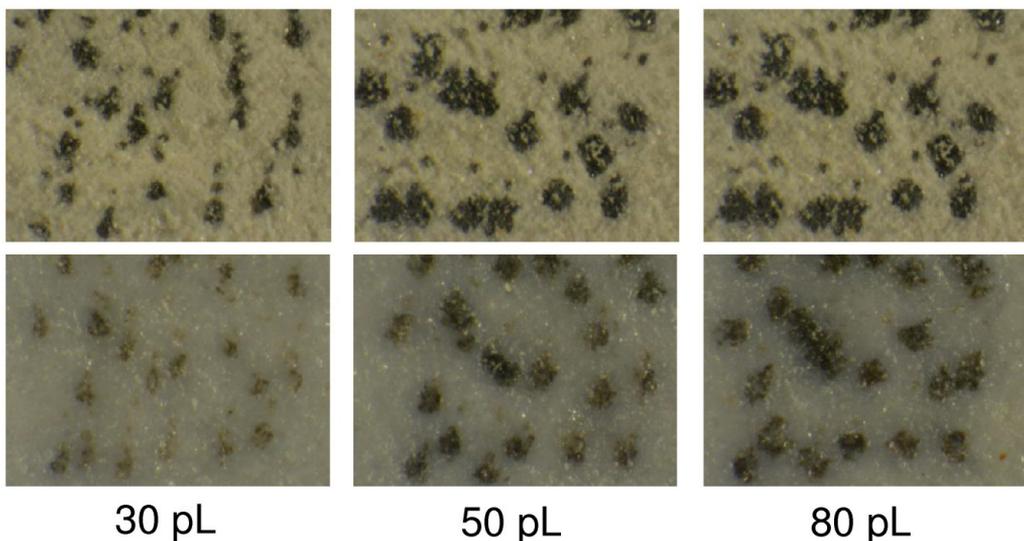


Figura 3. Micrografias de placas de porcelanato impressas por jato de tinta com tinta à base de água: volumes de gota distintos sobre superfícies de vidro não queimadas (acima) e queimadas (abaixo).

as placas cerâmicas é que o índice de espalhamento flutua entre 2,4 e 4,3 sobre vidrados crus e entre 2,8 e 4,5 sobre corpos crus.

O tamanho de impressão é muito afetado pelo disparo/ejeção de tintas à base de óleo e à base de água (Figura 5). A impressão encolhe durante a queima, assim, o índice de espalhamento sobre placas acabadas é menor que aquele sobre superfícies cruas por um fator de 0,6-0,7. Por exemplo, uma gota de WB com 50 pL (diâmetro de 46 μm) espalha-se sobre um vidrado não queimado até 90 μm ($S=3$), então encolhe sobre o vidrado queimado para 75 μm ($S=2,2$). Esta retração de queima, em média 24% para tintas à base de óleo e 19% para tintas à base de água, é muito maior que aquela para placas de porcelanato (5 a 9%).

Não há distinção significativa no índice de espalhamento entre tintas à base de óleo e à base de água sobre superfícies cerâmicas cruas (Figura 6). Esta observação confirma os dados obtidos por Sanz e colegas ^[14]. Em contrapartida, há uma diferença sistemática na comparação entre placas queimadas esmaltadas e não esmaltadas. Devido a sua grande retração de queima, as impressões com tinta à base de óleo sobre placas acabadas espalham-se segundo $1 < S < 2,2$, enquanto as tintas à base de água são caracterizadas por $1,5 < S < 3,3$ (Figura 7).

O comportamento distinto das tintas OB e WB repercute muito sobre o endereçamento do jato de tinta, como é mostrado na reconstrução baseada no tamanho de impressão medido sobre vidrados queimados e não queimados (Figura 8). As tintas à base de óleo e principalmente aquelas à base de água formam impressões muito mais largas que o esperado – resultado do volume da gota, assumindo-se gotas esféricas – que parecem extensivamente superpostas umas sobre as outras no mesmo pixel. A maior retração de queima das tintas OB faz com que suas impressões se ajustem ao contorno de pixel de 70 $\mu\text{m} \times 70 \mu\text{m}$ sem sobreposição. A baixa retração das tintas WB durante a queima resulta em impressões mais largas, o que cobre totalmente o pixel.

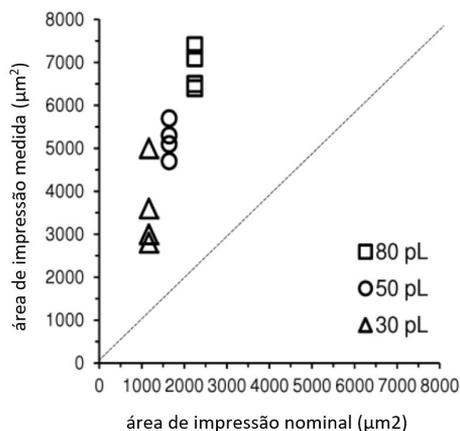


Figura 4. Áreas de impressão de tinta medidas sobre placas não queimadas para diferentes volumes de tinta versus áreas de impressão nominais de gotas esféricas.

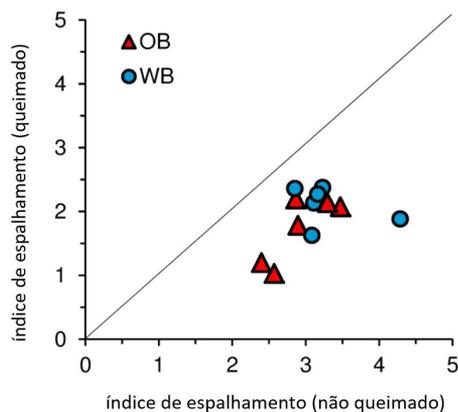


Figura 5. Comparação entre os índices de espalhamento: Placas esmaltadas não queimadas versus queimadas (OB: tintas à base de óleo; WB: tintas à base de água).

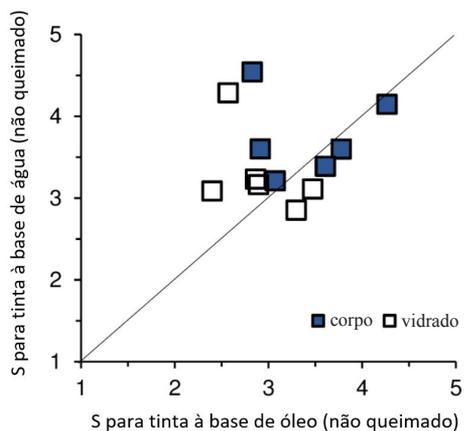


Figura 6. Comparação entre os índices de espalhamento sobre placas não queimadas (esmaltadas e não esmaltadas) para tintas à base de água versus tintas à base de óleo.

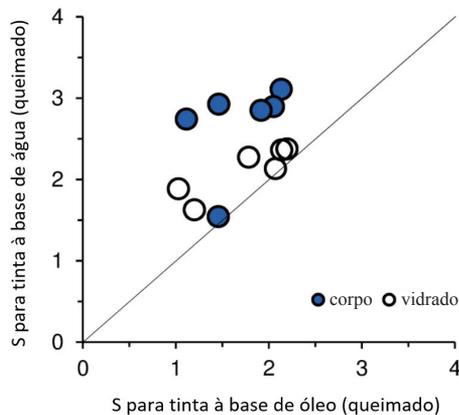


Figura 7. Comparação entre os índices de espalhamento sobre placas queimadas (esmaltadas e não esmaltadas) para tintas à base de água versus tintas à base de óleo.

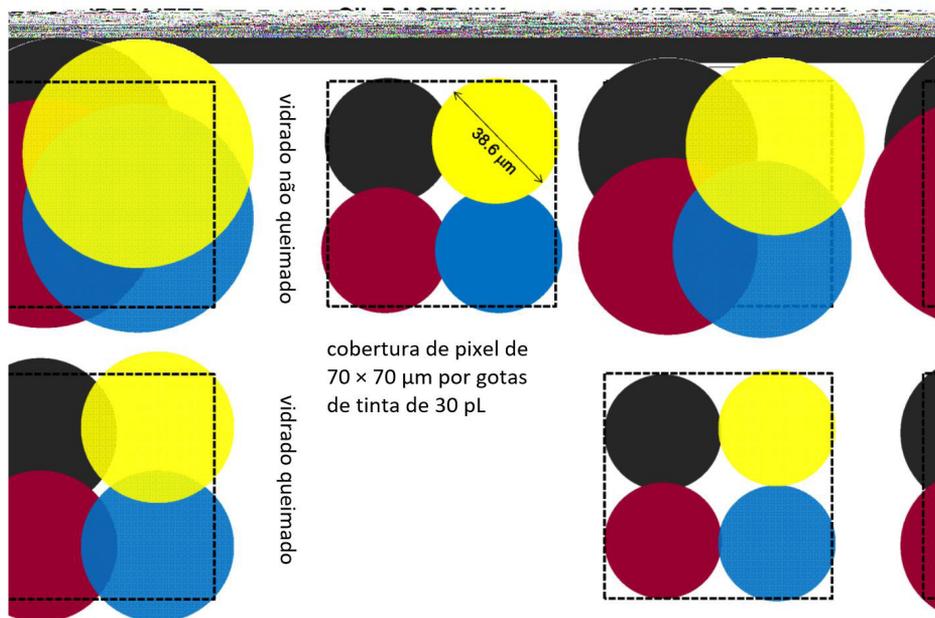


Figura 8. Endereçamento das tintas à base de óleo e à base de água sobre substratos esmaltados queimados e não queimados em comparação com um pixel idealizado para um volume de gota de 30 pL.

4. Conclusões

Dados preliminares sobre o tamanho e a forma da impressão de tintas cerâmicas reais representam uma primeira tentativa de definir a resolução real da impressão jato de tinta sobre placas cerâmicas. Esta aproximação quantitativa utilizada para determinar um índice de espalhamento mostrou a influência básica:

- Das condições de jateamento (volume da gota);
- Das propriedades da tinta (tinta à base de óleo versus tinta à base de água);
- Da superfície alvo (vidrado ou corpo);
- Do estágio de queima

Entretanto, mais dados são necessários (diferentes tintas sobre diferentes alvos) para confirmar os comportamentos observados. Para compreender o comportamento da tinta sobre as placas cerâmicas é necessário determinar a relação entre o espalhamento e a penetração em substrato poroso não queimado. Simulações experimentais do espalhamento e penetração da tinta em superfícies cerâmicas reais estão sendo feitas para buscar o modelo preditivo adequado.

Referências

1. HUTCHINGS, I. Ink-jet printing for the decoration of ceramic tiles: technology and opportunities. Proceedings of the 11th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2010, Castellón (Spain), 1-16.
2. MORENO, A. et al. Innovations and new trends in ceramic tile decoration. *Advances in Science and Technology*, v. 68, 165-175, 2011.
3. SANZ, V. et al. Technical Evolution of Ceramic Tile Printing. *The Journal of Imaging Science and Technology*, v. 56, 50402-1, 2012.
4. CABEDO, J., ZARAGOZA, J., CORMA CANÓS, P. How inkjet printing became possible - a view of the R&D&I chain. Proceedings of the 13th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2014, Castellón (Spain), 16 pp.
5. GARDINI, D. et al. Nano-sized ceramic inks for drop-on-demand ink-jet printing in quadrichromy. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, v. 8, n. 4, 1979-1988, 2008.
6. DONDI, M. et al. Ceramic pigments for digital decoration inks: an overview. cfi/DKG. *Ceramic Forum International*, v. 89, n. 8-9, E59-E64, 2012.
7. DONDI, M. et al. Ink technology for digital decoration of ceramic tiles: an overview. Proceedings of the 13th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2014, Castellón (Spain), 14 pp.
8. KIM, J. H. et al. Recent Advances in the Ink-jet Printing Ceramic Tile Using Colorant Ceramic-ink. *Journal of the Korean Ceramic Society*, v. 50, 498-503, 2013.
9. DAVIS, S. H. Hocking, Spreading and imbibition of viscous liquid on a porous base. *Physics of Fluids*, v. 11, n. 1, 48-57, 1999.
10. DAVIS, S. H. Hocking, Spreading and imbibition of viscous liquid on a porous base. II. *Physics of Fluids*, v. 12, n. 7, 1646-1655, 2000.
11. STAROV, V. M. et al. Spreading of liquid drops over dry porous layers: complete wetting case. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 252, 397-408, 2002.

12. ALLEBORN, N., RASZILLIER, H. Spreading and sorption of a droplet on a porous substrate. **Chemical Engineering Science**, v. 59, 2071-2088, 2004.
13. BOURGY, L., BARREAU, A., POILLY, C. Influence of the kaolin in the substrate on the quality of inkjet printing. Proceedings of the 13th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2014, Castellón (Spain), 11 pp.
14. SANZ, V. et al. Influence of printing conditions on image quality. Proceedings of the 13th World Congress on Ceramic Tile Quality, QUALICER 2014, Castellón (Spain), 11 pp.
15. GARDINI, D. et al. Ceramic Ink-Jet Printing for Digital Decoration: Physical Constraints for Ink Design. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 15, 3552-3561, 2015.
16. ALAM, P. et al. Impact spreading and absorption of Newtonian droplets on topographically irregular porous materials. **Chemical Engineering Science**, v. 62, 3142-3158, 2007.
17. FRIEDERICH, A., BINDER, J. R., BAUER, W. Rheological control of the coffee stain effect for inkjet printing of ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 96, 2093-2099, 2013.