

Impressão Jato de Tinta para Decoração de Revestimentos Cerâmicos: Tecnologia e Oportunidades

Ian Hutchings

Centro de Pesquisa em Jato de Tinta, Instituto para Manufatura, Universidade de Cambridge, Cambridge, Reino Unido

Resumo: A impressão por jato de tinta é amplamente utilizada para impressão gráfica e de texto em pequena escala (para residências e pequenos escritórios). Agora também é cada vez mais utilizada para impressão comercial, e certas características tornam-na especialmente atraente para impressão em um ambiente de fabricação. Ao longo dos últimos dez anos as possibilidades de impressão a jato de tinta para a decoração de pisos e revestimentos foram exploradas, e avanços significativos foram obtidos nas tecnologias de projeto da cabeça de impressão e formulação de tintas. Vários sistemas de impressão comercial estão agora no mercado, tanto para uso em linha quanto fora da linha de produção. Este artigo revisa os princípios básicos da impressão a jato de tinta, e discute as características do processo que o tornam adequado para a decoração de revestimentos cerâmicos em um contexto industrial. Considera-se o atual nível de desenvolvimento de impressão a jato de tinta para esta aplicação e brevemente as possíveis oportunidades futuras.

Palavras-chave: *impressão jato de tinta, revestimentos cerâmicos, decoração digital.*

1. Introdução

Nos últimos anos viu-se uma explosão no número de empresas oferecendo novas impressoras com base em tecnologia de impressão jato de tinta para a decoração de revestimentos cerâmicos. No ano de 2008 cinco empresas lançaram novas impressoras em linha, enquanto outras três lançaram máquinas fora de linha. De fato, 2008 foi denominado “o ano da revolução digital para o setor cerâmico” (CeramicWorldWeb, Janeiro de 2009). A expansão muito rápida da tecnologia que tem ocorrido ao longo da última década é claramente demonstrada na Figura 1, que mostra o número de empresas que oferecem impressoras jato de tinta em linha para revestimentos cerâmicos.

Parece altamente provável que, apesar das dificuldades econômicas atuais a nível mundial e seus efeitos sobre a indústria cerâmica e arquitetônica, esta nova tecnologia está aqui para ficar, e uma vez que a produção cerâmica comece a se recuperar haverá renovação no interesse para investimento neste método de decoração de revestimentos cerâmicos. O objetivo deste trabalho é explicar o que a impressão a jato de tinta pode fazer, e mostrar porque ela tem características que podem agregar valor e flexibilidade para os fabricantes e usuários de revestimentos cerâmicos. Serão revistos os princípios básicos da impressão a jato de tinta, e discutidas as características do processo que o tornam adequado para a impressão sobre cerâmica. Será considerado o grau atual de desenvolvimento da impressão jato de tinta para aplicações em revestimentos cerâmicos e consideradas brevemente algumas possíveis oportunidades futuras mais especulativas para a aplicação desta tecnologia.

Os princípios básicos da impressão convencional permaneceram os mesmos por centenas de anos: os vários diferentes processos considerados como consolidados envolvem a reprodução repetida de uma mesma imagem ou texto muitas vezes. Normalmente isso é obtido pela transferência de um padrão de tinta líquida ou semi-líquida a partir de algum modelo padrão através do contato direto com o papel ou outro substrato. Alterações no padrão impresso só podem ser obtidas alterando-se o modelo padrão, o que envolve alterações físicas e mecânicas dentro da máquina de impressão.

Os processos de impressão convencional utilizados para a impressão de revestimentos cerâmicos são essencialmente os mesmos

processos que foram desenvolvidos para a impressão de papel, cartão e produtos têxteis: impressão de tela plana na década de 1960, serigrafia rotativa em 1970, e flexografia e impressão em relevo na década de 1990⁶. Em contraste com estes métodos, a impressão a jato de tinta fornece um processo fundamentalmente diferente. A criação e a deposição de cada pequena gota de tinta são realizadas sob controle digital, de modo que cada padrão impresso em uma sequência pode facilmente ser diferente dos outros, assim como pode ser o mesmo. Este método é amplamente utilizado para impressão gráfica e de texto em pequena escala (impressão residencial e em pequenos escritórios). Ela agora está sendo cada vez mais aplicada para impressão comercial em papel e cartão, e o processo também oferece uma vasta gama de possibilidades para a deposição de materiais nos diversos processos de fabricação. Vários fatores tornam-na especialmente atraente para estas aplicações⁹.

Primeiro, é um processo digital. A localização de cada gota de material pode ser determinada em uma grade xy e, se necessário, em princípio, pode ser alterada em tempo real, por exemplo, para ajustar a distorção ou desvio do substrato. Como é um processo digital, cada produto em uma sequência pode ser facilmente feito de modo diferente de todos os outros, em pequenos ou até mesmo em grandes formatos; produtos feitos sob medida podem ser gerados facilmente como se fossem várias réplicas de um mesmo modelo. Uma vez que o padrão a ser impresso é mantido como dados digitais, pode haver significativa economia de custos sobre os processos que envolvem o uso de uma máscara física ou um modelo.

Em segundo lugar, é um método de não-contato; as únicas forças que são aplicadas ao substrato resultam do impacto de pequenas gotas de líquido. Assim, substratos frágeis podem ser processados, o que seria difícil ou mesmo impossível para os métodos de impressão convencionais. Substratos não planos podem ser impressos, pois o processo pode ser operado a uma distância de parada de pelo menos 1 mm, e em alguns casos, muito mais.

Em terceiro lugar, uma ampla gama de materiais pode ser depositada; a única limitação é que no momento da impressão, o material esteja em forma líquida, com suas propriedades físicas

(principalmente a viscosidade e a tensão superficial) dentro de uma escala adequada. Pigmentos, corantes, fritas cerâmicas e partículas metálicas podem ser facilmente impressos a partir de suspensões, assim como uma vasta gama de outros materiais que podem ser usados para executar funções óticas e eletrônicas.

As vantagens da impressão a jato de tinta para decorar revestimentos cerâmicos residem em todos os três fatores. Especificamente, os seguintes benefícios foram considerados em comparação com os métodos convencionais de impressão^{5,8}:

- A definição da imagem digital e a flexibilidade do processo resultam em que cada peça pode ser diferente se for necessário, permitindo a representação mais realista de materiais naturais, como pedras, e também a possibilidade de impressão de produtos únicos, tais como pinturas de murais ou pisos originais;
- Diferentes padrões de revestimentos podem ser processados em sequência ou mesmo em conjunto;
- Podem ser obtidas imagens de alta definição;
- Os tempos globais de produção de protótipos e novos produtos são reduzidos;
- A personalização, através de pequenas mudanças em um projeto básico, é simples;
- O armazenamento de projetos na forma de dados digitais é simples e de custo muito baixo;
- A impressão de lado a lado permite padrões ininterruptos através de todo o comprimento da peça;
- Revestimentos exclusivos podem ser decorados automaticamente, evitando a movimentação manual, que é cara;
- Os tempos de ajuste são significativamente inferiores aos métodos convencionais de impressão;
- Alterações no tamanho da imagem podem ser feitas facilmente para acomodar diferentes tamanhos de revestimento;
- A capacidade de processamento de cor é realizada com uma pequena gama de tintas, normalmente o padrão de quatro cores (CMYK) usado na impressão convencional: ciano, magenta, amarelo e preto;
- Há um uso mais eficiente de tintas, e assim menos desperdício;
- As marcas de impressão são menores em comparação aos processos convencionais.

O objetivo desta revisão é explorar os princípios de impressão a jato de tinta, e ver como ela está sendo usada para decoração de revestimentos cerâmicos. Serão revistas as tecnologias de impressão em uso, e serão comentados os possíveis desenvolvimentos futuros para aplicações inovadoras.

2. Princípios de Impressão a Jato de Tinta

Dois métodos diferentes são usados para gerar gotas para impressão por jato de tinta, denominados de jato de tinta contínuo (“continuous ink-jet”, CIJ) e gota por demanda (“drop-on-demand”, DOD)¹², que são ilustrados na Figura 2. No processo CIJ (Figura 2) um jato contínuo de tinta é emitido a partir de um bocal e divide-se em uma corrente de gotas esféricas de tinta. A divisão é causada por forças da tensão superficial que tornam o jato cilíndrico instável (instabilidade Plateau-Rayleigh), mas também é controlada pela aplicação de uma vibração bem definida sobre o fluxo. Cada uma das gotas é então individualmente carregada eletricamente por indução de um eletrodo próximo, e as gotas são direcionadas (desviadas) por forças eletrostáticas para escrever pontos sobre o substrato. Pela variação do nível da carga induzida a deflexão sofrida pela gota e, conseqüentemente, a sua posição final sobre o substrato, pode ser controlada. Gotas que não são carregadas desta forma são desviadas para um recipiente e recicladas. Sistemas simples tipo CIJ usam bicos individuais, mas também existem alguns sistemas com múltiplos

orifícios. A impressão CIJ é um processo bem estabelecido, que é amplamente utilizado na indústria, por exemplo, para impressão de data e códigos de lote, e pode ser encontrada na indústria cerâmica para a rotulagem das embalagens e, em alguns casos, para imprimir códigos de identificação nas bordas dos revestimentos. Não é, porém, usada para a decoração de revestimentos.

No método DOD um bico individual, geralmente dentro de um conjunto contendo um grande número de bicos, é endereçado individualmente para ejetar uma única gota de tinta sob demanda pela indução de um pulso de pressão transiente em uma câmara de tinta por trás do bico. A gota, em seguida, viaja em linha reta do bico para formar um depósito sobre o substrato. Todas as impressoras atuais que utilizam a tecnologia de jato de tinta para decorar revestimentos cerâmicos (exceto uma, que será discutido mais tarde) utilizam o princípio DOD, e este método será descrito a seguir.

Na impressão DOD o líquido é ejetado de uma cavidade na cabeça de impressão em resposta a um sinal de disparo, como mostrado esquematicamente na Figura 3, pela geração de um pulso de pressão por um atuador. Existem dois tipos comuns de atuador. O método DOD térmico (ou jato-bolha) é amplamente utilizado em impressoras domésticas e em pequenos negócios; neste um rápido aquecimento transiente da tinta, causado por um pequeno elemento de aquecimento elétrico situado na cavidade da tinta e próximo ao bico cria uma bolha de vapor de curta duração que dirige um jato de tinta para fora do bocal. A bolha então colapsa, removendo a tinta do reservatório

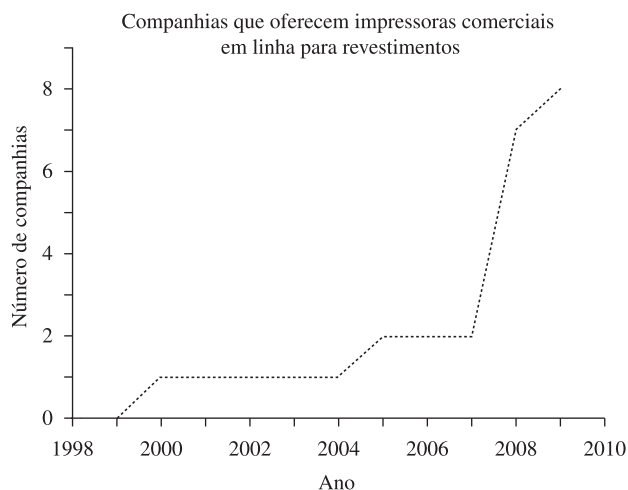


Figura 1. Número de companhias oferecendo impressoras em linha comerciais para revestimentos cerâmicos baseadas na tecnologia jato de tinta (dados da Tabela 1).

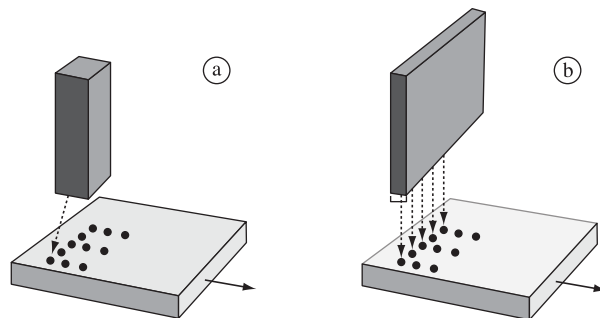


Figura 2. Ilustração dos princípios de funcionamento da a) impressão por jato de tinta contínuo (CIJ), e b) impressão de jato de tinta por gota sob demanda (DOD). Em cada caso gotas de tinta são emitidas a partir de uma cabeça de impressão: no CIJ são individualmente dirigidas para o substrato a partir de um único orifício, enquanto no DOD são emitidas a partir de uma matriz de orifícios em resposta a sinais digitais.

para encher a cavidade, e o processo pode ser repetido. A maioria dos sistemas industriais de jato de tinta, no entanto, usa um método diferente, no qual um elemento piezoelétrico altera o volume interno da cavidade sob a aplicação de um campo elétrico, gerando ondas de pressão que por sua vez ejetam tinta pelo bico e, em seguida, enchem a cavidade. Como o método DOD térmico envolve a vaporização de um pequeno volume de tinta há restrições significativas sobre os materiais que podem ser jorados por este método; devem ser relativamente voláteis, ou pelo menos ter um componente volátil. Não há restrições para o método DOD piezoelétrico.

Cabeçotes para ambos os métodos de impressão DOD geralmente contêm centenas de bicos separados, alimentados por reservatórios individuais de tinta, mas cada um individualmente endereçável. A Figura 4 mostra um típico cabeçote DOD piezoelétrico industrial moderno, com 1.000 bocais espalhados sobre uma largura de 70 mm, cada um dos quais é individualmente endereçável.

A separação dos bicos no cabeçote (neste caso de 70 mm) define a resolução “nativa” que será realizada em uma passagem única de impressão, embora esta possa ser aumentada de várias maneiras, por exemplo, imprimindo com o cabeçote em ângulo em relação à direção de impressão, ou utilizando mais de um cabeçote montado em paralelo. A impressão em múltiplos passos, que é discutida abaixo, também pode ser usada para aumentar a resolução. A resolução do processo de impressão é referida em “pontos por polegada” (onde 1 dpi = uma gota impressa por 25,4 mm).

A cabeça de impressão ejeta um pequeno volume de líquido que emerge como um jato curto. Uma vez que o jato sai do bico, as forças de tensão superficial formam uma gota principal seguida de um ligamento fluido que pode, então, colapsar em uma ou mais gotas satélite menores. Estes satélites podem, então, combinar com a gota principal, ou permanecem separados, como mostrados no exemplo da Figura 5. Em um sistema ideal a tinta forma uma única gota no ponto em que atinge o substrato, normalmente a uma distância fixa de cerca de 1 mm, mas nem sempre isto é obtido. Geralmente, uma distância maior de parada vai proporcionar mais tempo para uma gota esférica se formar, mas à custa de uma gota com menor velocidade e menor precisão na posição exata em que ela atinge a superfície.

O diâmetro da gota, que em última análise limita a resolução do processo de impressão, é semelhante ao diâmetro do bico. Normalmente isto equivale a cerca de 50 μm , correspondendo a um volume de gota de cerca de 60 pL (picolitros), apesar de que estão disponíveis cabeçotes de impressão industriais que produzem gotas tão pequenas quanto 1 pL ($\sim 10 \mu\text{m}$ de diâmetro). Usando um pequeno bocal e uma unidade complexa de formação de onda alguns sistemas de segunda geração (cabeçotes de “escala de cinza”) podem produzir um fluxo de sub-gotas que, em seguida, fundem-se numa única gota de tamanho controlável antes que atinja o substrato. A Figura 6 mostra a diferença entre o chamado cabeçote “binário” (a), em que um único tamanho de gota é emitido em resposta ao sinal da unidade, e um cabeçote de “escala de cinza”, em que uma ou mais sub-gotas pequenas são geradas pela aplicação de um sinal apropriado da unidade: estas, em seguida, fundem-se para resultar em uma única gota final de tamanho controlável (b-d). Neste tipo de cabeçote o tamanho de cada gota de cada bico pode ser controlado individualmente durante a impressão, que, em comparação com um cabeçote binário permite uma maior qualidade de imagem a ser obtida para uma mesma altura nativa do bocal¹¹.

A velocidade das gotas na impressão tipo DOD está normalmente entre 5 e 10 m/s. O processo de ejeção do jato e formação da gota envolve passos discretos e sequenciais de ejeção e reposição de fluido na cavidade, e a frequência máxima de funcionamento é regida pela escala de tempo destes eventos. Em um sistema DOD típico isso resulta em um mínimo espaçamento de gotas ao longo do jato ejetado de um único orifício, que é cerca de 10 a 20 vezes o diâmetro da gota.

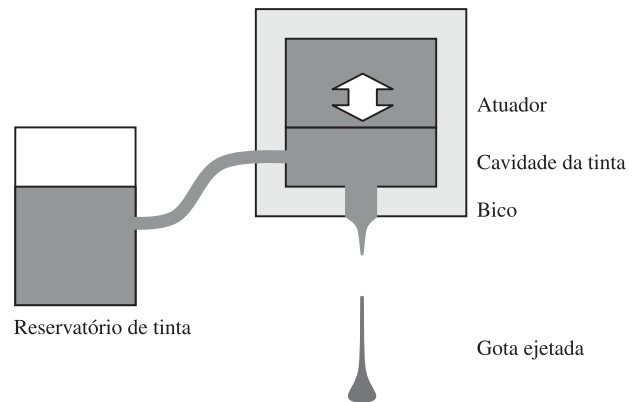


Figura 3. Ilustração esquemática do princípio de funcionamento da cabeça de impressão de um sistema gota sob demanda (DOD).



Figura 4. Exemplo de um cabeçote de impressão DOD industrial moderno piezoelétrico, com 1.000 bocais e uma largura de impressão de 70 mm (Xaar plc, UK).

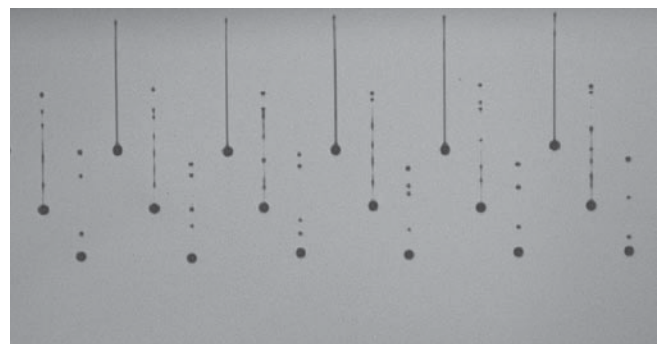


Figura 5. Instantâneo de uma imagem em alta velocidade mostrando jatos formados a partir de uma fileira de orifícios (além da parte superior da imagem) em três diferentes intervalos de tempo após a expulsão. As gotas na fileira superior têm longos ligamentos que formam “caudas” por trás das gotas esféricas principais. A segunda e terceira fileiras mostram gotas em fases posteriores da evolução; neste caso o ligamento rompe-se em gotas satélite muito pequenas.

3. Impressão em Linha de Revestimentos Cerâmicos

Em princípio, o processo pelo qual a impressão a jato de tinta pode ser usada para decorar revestimentos cerâmicos é simples. A fim de integrar a impressão a jato de tinta com eficiência em uma linha de produção de revestimentos é necessário um processo de uma única etapa, no qual os revestimentos passam continuamente sob a máquina de impressão. Nessa passagem única, a impressora deve depositar de forma precisa e confiável a intensidade correta de cor em toda a superfície a ser decorada. A Figura 7 mostra esquematicamente os componentes de um sistema típico para quatro cores com impressão de passagem única.

Para cada cor são montados cabeçotes em uma matriz (conhecida como barra de impressão), que apresenta uma fileira contínua de bicos em toda a largura do revestimento: para larguras típicas de revestimentos e de cabeçotes isso pode envolver dez ou mais cabeçotes de impressão. As cabeças de impressão são geralmente escalonadas conforme mostrado na Figura 8.

As barras de impressão são montadas sobre o sistema de transporte das placas, e a imagem a ser impressa definida digitalmente é gerada pela condução dos cabeçotes de impressão, alimentados com tinta, com os sinais adequados, que são sincronizados com o movimento contínuo das placas sob a barra de impressão. Deste modo, os elementos-chave da impressora são constituídos pelos cabeçotes de impressão, pelo sistema de transporte de placas, pelo sistema de abastecimento de tinta, pelos sistemas de controle de alimentação de dados e sistemas associados. No entanto, o projeto e otimização desses componentes, e sua integração em uma máquina robusta, precisa e confiável, capaz de operar continuamente com o mínimo de manutenção em um ambiente de produção cerâmica, envolve importantes desafios de engenharia. Existem provavelmente muitas razões comerciais e econômicas para o recente e rápido crescimento da disponibilidade de impressoras jato de tinta em linha para revestimentos cerâmicos, mas também há razões técnicas.

Os requisitos computacionais para impressão em linha são substanciais. Sinais de dados precisam ser enviados a cada bico, em tempo real, de modo que, por exemplo, para imprimir com uma resolução de 360 dpi em uma placa de 70 cm de largura com uma

velocidade de produção de 35 m/min, mais de 80 milhões de sinais devem ser transmitidos por segundo para cada barra de impressão: um processo a quatro cores exigiria quatro vezes este valor. Estes sinais devem ser rigorosamente sincronizados uns com os outros e com o sistema de transporte de placa, o que é necessário para mover as peças de forma harmoniosa e com uma velocidade constante sob a barra de impressão, pois as irregularidades no movimento da placa levam a defeitos na cor e no registro do padrão.

As exigências sobre os cabeçotes são grandes. Sua fabricação envolve precisão de micro-fabricação, por exemplo, para produzir bicos muito pequenos e precisos, com precisão e reprodutibilidade, mas eles devem ser capazes de operar em um ambiente industrial pesado com o mínimo de manutenção e por longos períodos. Tintas para decoração cerâmica devem ser especialmente desenvolvidas, com propriedades particulares, como será discutido a seguir. Todos estes componentes do sistema devem ser compatíveis, a fim de proporcionar um processo robusto de fabricação, e só recentemente os avanços no poder de computação, design e desenvolvimento de tintas para os cabeçotes de impressão foram obtidos e integrados para essa finalidade. É significativo que os desafios da impressão em linha não se limitam à indústria cerâmica. Uma explosão semelhante na recente disponibilidade comercial de sistemas de impressão de passagem única, como resultado da evolução técnica, também ocorreu em outros mercados de impressão^{1,3}, embora se possa argumentar que, em comparação com a impressão contínua em papel ou filmes poliméricos, a impressão em revestimentos cerâmicos impõe desafios adicionais em termos do ambiente industrial, das formulações de tintas e do manuseio dos substratos.

4. Tintas para Decoração Cerâmica

As tintas utilizadas para decoração de revestimentos cerâmicos devem satisfazer pelo menos dois critérios importantes. Primeiro, elas devem ter as propriedades reológicas (e outras) corretas para serem utilizadas neste processo, ou seja, devem poder ser impressas; em segundo lugar, elas devem apresentar as cores finais desejadas após a sua aplicação sobre o revestimento e seu processamento sequencial.

O entendimento atual ainda está em desenvolvimento sobre as complexas influências das propriedades reológicas de um líquido em sua capacidade de formar gotículas bem definidas durante a impressão a jato de tinta, com poucas ou nenhuma gota satélite. Para um líquido simples, com uma viscosidade que é independente da taxa de cisalhamento ou do histórico de cisalhamento (um líquido newtoniano), as propriedades mais importantes são a sua viscosidade e sua tensão superficial. Cabeçotes de impressão a jato de tinta tipo gota sob demanda normalmente requerem uma tinta com uma viscosidade, à temperatura de impressão, no intervalo de 8-25 mPa.s, apesar de algumas cabeças de impressão poderem usar tintas com viscosidade tão elevada como 100 mPa.s. Para efeito de comparação, a viscosidade da água à temperatura ambiente é de cerca de 1 mPa.s (= 1 centipoise). As temperaturas da cabeça de impressão e da tinta são geralmente controladas na impressora para manter os valores de viscosidade estáveis e precisos.

Os efeitos combinados da viscosidade e da tensão superficial na capacidade de impressão da tinta podem ser expressos pelo valor do número de Ohnesorge (Oh), onde $Oh = \eta / (\rho \sigma D)^{1/2}$. Aqui η , σ e ρ são a viscosidade, a tensão superficial e a densidade do líquido, respectivamente, e D é o diâmetro do bico (ou da gota). O número de Ohnesorge descreve a importância relativa das forças viscosas e superficiais sobre o fluido. A impressão DOD de um fluido é prática somente se o valor de Oh estiver dentro de um intervalo entre 0,1 e 1. Para $Oh > 1$ a dissipação viscosa no fluido evita a formação do jato, enquanto que para $Oh < 0,1$ formam-se múltiplas

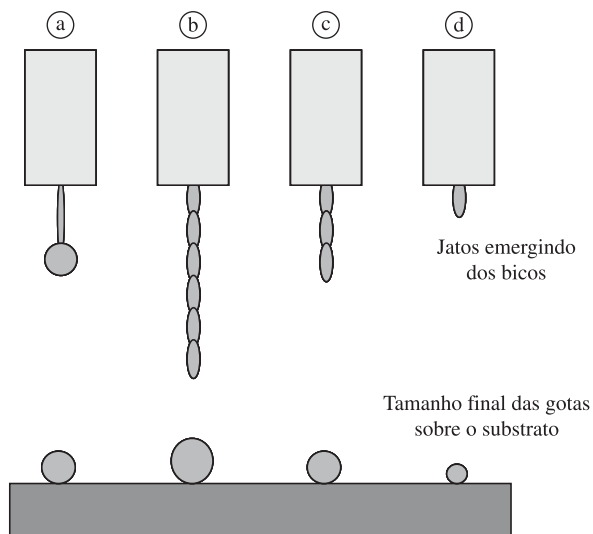


Figura 6. Princípios de funcionamento de a) um cabeçote de impressão binário, que emite um único tamanho de gota, e b-d), um cabeçote de impressão em escala de cinza em que, pela combinação de uma série de sub-gotas, o tamanho da gota pode ser alterado.

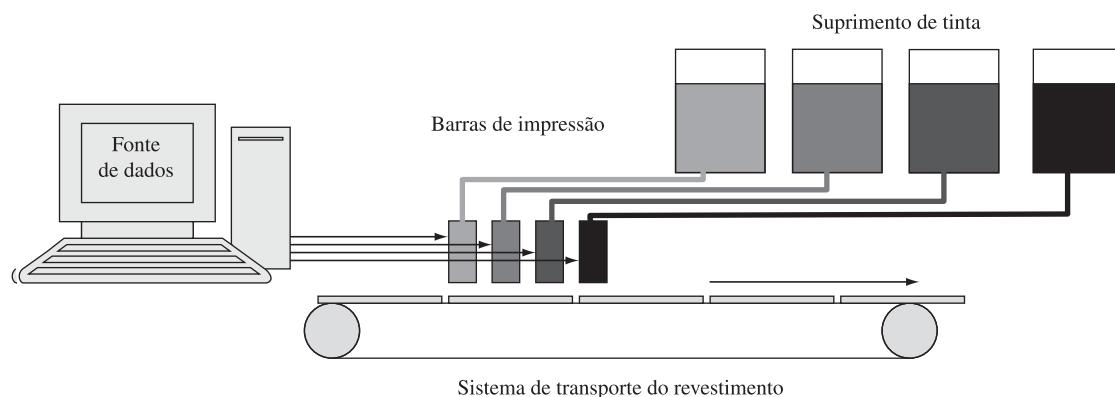


Figura 7. Esquema de uma impressora a jato de tinta de passagem única em linha para revestimentos com quatro cores.

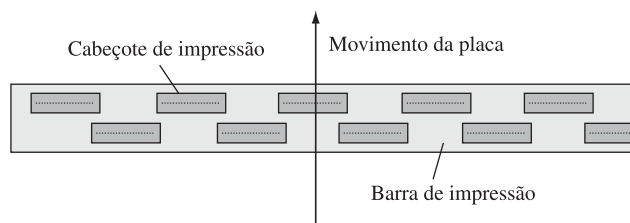


Figura 8. O diagrama mostra como dez cabeças de impressão separadas podem ser montadas para formar uma única e longa barra de impressão. Para impressão em linha uma barra de impressão é usada para cada cor.

gotas, em vez de uma única gota bem definida. Os critérios para a possibilidade de impressão de um fluido newtoniano, assim, envolvem a sua viscosidade, e também sua densidade e tensão superficial, pela sua influência sobre o número de Ohnesorge. Aplicam-se condições adicionais às tintas que são não-newtonianas: a presença de polímeros, ou mesmo partículas sólidas, por exemplo, pode fazer a tinta comportar-se de modo viscoelástico, o que pode afetar a facilidade com que a tinta é ejetada do bocal, e também a maneira em que o jato, em seguida, entra em colapso para formar uma ou mais gotas.

As cores geradas a partir de uma tinta após a impressão em um revestimento cerâmico dependem criticamente da natureza dos pigmentos presentes na tinta, e em suas interações com o corpo do revestimento ou do vidro, que por sua vez dependem do processo utilizado (por exemplo, se primeira, segunda ou terceira queima). A maioria das tintas contém ou pigmentos inorgânicos finamente moídos (que devem ser altamente refratários para sobreviver à temperatura de queima) ou compostos metálicos solúveis que reagem com o vidro para gerar a cor desejada^{5,7}. A formulação de tintas para esta aplicação é, portanto, especialmente desafiadora, uma vez que não só a cor final deve ser obtida (tonalidade e intensidade), mas também as propriedades físicas (tais como viscosidade, tensão superficial, densidade e qualquer comportamento viscoelástico) devem ser otimizadas para impressão por jato de tinta. Como a viscosidade de uma dispersão de partículas sólidas aumenta com o teor de sólidos, há limites para a quantidade de adição de pigmento que pode ser obtida. Há também restrições sobre o tamanho máximo das partículas do pigmento, que deve ter tamanho nanométrico para evitar o entupimento do bico, e há também a necessidade de estabilidade em longo prazo para evitar sua sedimentação². O tamanho das partículas do pigmento também pode ter efeitos importantes sobre a cor. Melhorias e desenvolvimentos em formulações de tinta têm sido objeto de intensa pesquisa, e é importante considerar que as tintas para decoração cerâmica são um elemento essencial do sistema

de produção, uma vez que para se obter os melhores resultados elas devem ser adequadas não só para os cabeçotes, mas também para os componentes do revestimento e do processo global de queima.

5. Impressoras Jato de Tinta Comerciais para Revestimentos Cerâmicos

Viu-se que tem havido um recente e rápido aumento no número de empresas que oferecem tecnologia de jato de tinta para a decoração cerâmica, e estas estão listadas na Tabela 1. Espanha e Itália têm desempenhado um papel importante na consolidação dessa tecnologia crescente, com várias impressoras emergindo a partir desses dois países desde o ano 2000.

5.1. Impressoras em linha de uma única passagem

Os primeiros métodos comerciais à base de jato de tinta para decoração cerâmica tiveram suas origens em Castellón, Espanha, em 1998, quando a empresa Ferro começou a explorar o uso de impressoras de computador padrão para produzir imagens monocromáticas (preto e branco) em revestimentos, e então demonstrou a possibilidade de impressão em quatro cores. Este trabalho levou à primeira impressora Kerajet prática, que foi mostrada na Feira Cevisama em 2000⁶. Desde então, a linha de produtos da Ferro evoluiu para a gama atual de máquinas Kerajet, hoje amplamente utilizadas na produção de revestimentos, que usam cabeçotes binários SII Printek para quatro cores (CMYK) de impressão, com tintas cerâmicas proprietárias.

A Durst, uma empresa envolvida no processamento de imagem desde 1936 e com instalações baseadas na Itália (Tirol do Sul) e na Áustria, ofereceu em 2005 um sistema digital comercial para decoração de revestimentos cerâmicos usando tintas pigmentadas, e hoje conta com mais de 75 impressoras em operação no mundo. Os modelos mais recentes (Gamma 60/61 e 70/71) possuem três ou quatro cores (CMYK) para impressão em tamanhos de placa de até 60 × 120 cm, e usa cabeçotes Fujifilm Dimatix binários. O sistema imprime sobre os mesmos vidrados utilizados em sistemas de decoração mais convencionais.

Nada menos do que cinco empresas lançaram sistemas em 2008. A System SpA (Itália) introduziu a Rotodigit, uma estação de impressão a jato de tinta que usa cabeçotes Fujifilm Dimatix binários, os quais podem ser facilmente integrados nas linhas de impressão rotativa por entalhe mais convencionais produzidas pela mesma empresa. Em vez de imprimir toda a decoração no revestimento por métodos a jato de tinta, isto permite a impressão de detalhes em uma ou mais cores, por exemplo, para complementar os padrões produzidos pelo processo convencional que se baseia na transferência de tinta a partir de cilindros de borracha de silicone padronizados.

Tabela 1. Empresas que oferecem impressoras comerciais a jato de tinta para decoração de revestimentos cerâmicos no final de 2009 (fonte: web-sites das empresas).

Ano de lançamento	Companhia	País	Cabeçote de impressão	Tintas	Nome da impressora	Largura da placa; dpi; velocidade
Impressoras em linha (in-line)						
2000	Ferro	Espanha, Itália	SII binário	Ferro KeramINK	KERAjet 350, 560	56 cm; 180-610 dpi; 10-50 m/min
2005	Durst Phototechnik	Áustria, Itália	Fujifilm Dimatix binário		Gamma 60/70; 61/71; lançada em 2008	60 cm; 200-924 dpi; 1-64 m/min
2008	Cretaprint	Espanha	Xaar em escala de cinza	Itaca	Cretaprinter (Xennia OEM)	28-112 cm; 260-575 dpi; 15-35 m/min
2008	Jettable	Israel	Fujifilm Dimatix binário	Jettable	Glider 3000	70 cm; 360-720 dpi; até 60 m/min
2008	Newtech	Itália	Xaar em escala de cinza		Keramagic 350, 700	70 cm; 360 dpi; até 25 m/min
2008	SACMI	Itália	Flatjet		DWD065	65 cm; 50 dpi; até 30 m/min
2008	System Ceramics	Itália	Fujifilm Dimatix binário		Rotodigit	100-600 dpi; 30-55 m/min
2009	Hope Ceramics	China	Xaar em escala de cinza	Chimigraf	Hope Jet 600	70 cm; até 25 m/min
Impressoras fora da linha (off-line)						
2008	Sertam	Itália	Fujifilm Dimatix binário	Sicer	Pink	80 × 120 cm máx.; até 720 dpi; múltiplos passes
2008	TSC	Itália	Binário	Sicer	Jet Digital Printer JDP08	180-545 dpi; múltiplos passes
2008	Jettable	Israel	Fujifilm Dimatix binário	Jettable	731/732	80 × 120 cm máx.; até 545 dpi; múltiplos passes

Há uma atividade significativa no desenvolvimento da tecnologia jato de tinta em Israel, sendo que uma nova empresa, a Jettable, lançou uma impressora em linha para revestimentos (Glider 3000) utilizando cabeçotes Fujifilm Dimatix binários e uma vasta gama de tintas especialmente desenvolvidas, adequadas para aplicações baixo-esmalte (primeira e segunda queimas) e também sobre-esmalte (terceira queima).

Em 2008 duas empresas lançaram máquinas com base no cabeçote Xaar 1001 tipo gota sob demanda em tons de cinza: a Cretaprint da Espanha e a Newtech da Itália. A Cretaprinter (mostrada como exemplo na Figura 9) utiliza um mecanismo de impressão desenvolvido por uma empresa britânica, a Xennia, e tem uma barra de impressão muito ampla, com capacidade de impressão de passagem única com uma largura total de placa de 112 cm. A Newtech Keramagic oferece impressoras com larguras de até 700 mm, correspondendo a uma barra de impressão contendo dez cabeçotes por cor. Os mesmos tipos de cabeçotes de impressão em tons de cinza são utilizados pela Hope Cerâmica, com base na China, que em 2009 lançou uma máquina (Hope Jet 600), novamente com uma largura de impressão de 700 mm.

Em contraste, a tecnologia Flatjet empregada pela SACMI na impressora DWD065, originalmente desenvolvida na Hungria, é fundamentalmente diferente da impressão normal a jato de tinta usando gota sob demanda (ver Figura 10). Ela usa tubos alimentadores de tinta muito maiores (500 µm de diâmetro interno) que são individualmente vibrados por motores piezoelétricos montados em placas ressonantes de metal. A tinta aparece como um spray de gotículas que formam uma mancha difusa de cor sobre o revestimento; a intensidade da cor é controlada pela duração do sinal de vibração enviado para o tubo

alimentador. O espaçamento entre os tubos vizinhos é normalmente de 1/10 de polegada (2,54 mm), e uma resolução eficaz de imagem de 50 dpi é obtida utilizando-se cinco conjuntos de tubos. Alega-se que a tecnologia produz imagens que são comparáveis, em distâncias normais de visualização, com aquelas de impressão a jato de tinta convencional em resoluções mais altas, pois apesar dos pixels maiores as pequenas gotas de tinta são espalhadas mais uniformemente sobre o substrato, resultando em mudanças mais graduais na tonalidade. O método permite que uma ampla variedade de fluidos de impressão seja utilizada, por exemplo, que contenham sólidos com tamanhos de partículas muito maiores do que aqueles usados em um cabeçote de impressão tipo gota sob demanda.

5.2. Impressoras fora da linha de múltiplas passagens

Embora as impressoras em linha sejam ideais para a produção rápida de peças de tamanho normal, também existem aplicações onde uma impressora isolada e mais flexível pode ser muito valiosa. Exemplos incluem a produção de pequenas séries de peças planas e encomendas especializadas de alto valor, tais como obras de arte e murais, bem como a decoração de formas complexas e frisos de contorno (“trims”) e peças de acabamento (rebordo), o que pode envolver grandes variações na altura da superfície da peça ao longo da mesma. Para esses casos, onde produção rápida não é um problema, uma impressão com múltiplos passes no contexto de um processo de terceira queima pode ser mais adequada do que o método de uma única passagem usado em máquinas de impressão em linha para revestimentos crus. A impressão por múltiplos passes utiliza menos cabeçotes (normalmente apenas um de cada cor), que se movem em relação ao substrato para cobrir toda a área a ser impressa várias



Figura 9. Exemplo de uma impressora comercial em linha de passagem única (Cretaprinter: imagem da Xaar plc).

vezes, criando a intensidade das cores e a resolução em etapas. Esta é a abordagem usada em impressoras de mesa a jato de tinta, e também pode ser rentável para aplicações de impressão especializada em cerâmica. O menor número de cabeças de impressão pode tornar mais fácil a configuração e o funcionamento da máquina do que gerir uma complexa estação de impressão em linha. Embora a operação a quatro cores seja normal, algumas máquinas podem operar com mais cabeças para permitir uma maior gama de cores seja obtida. Como no caso da impressão em linha, também houve um rápido desenvolvimento comercial neste setor no ano de 2008, com três empresas lançando impressoras a jato de tinta fora da linha: Sertam (Pink), CST (Jet Digital Printer) e Jetttable (731 e 732).

6. Potencial para Futuros Desenvolvimentos

É evidente a partir da Tabela 1 que, com exceção da tecnologia Flatjet, há poucas diferenças importantes na especificação (em termos de resolução e velocidade de impressão) entre as impressoras a jato de tinta disponíveis no momento. Quer sejam em linha de passagem única, ou fora da linha de múltiplos passes, todas usam cabeças de impressão industriais vindas de um pequeno número de fornecedores, e o desempenho básico das máquinas é determinado pelo desempenho dos cabeçotes de impressão. Existem diferenças nas formas em que os outros componentes importantes da impressora são projetados e integrados, conforme descrito na seção 3, bem como na formulação das tintas, e nos softwares e hardwares usados para controlar a impressora e para converter o padrão desejado de impressão no fluxo de dados que é enviado para os cabeçotes. Esses fatores, juntamente com a qualidade geral de construção, sem dúvida causam impacto sobre a confiabilidade da impressora, sobre sua facilidade de utilização, a qualidade da produção e sobre o custo da operação, que em última análise influenciam no valor da máquina para o usuário. Como acontece com qualquer nova tecnologia é improvável que o mercado seja capaz de sustentar um grande número de fornecedores de máquinas diferentes, algumas das quais, inevitavelmente, atingirão apenas uma pequena fatia do mercado, sendo provável alguma racionalização no futuro.

Futuros desenvolvimentos técnicos serão provavelmente resultado de melhorias nas tecnologias do cabeçote e da tinta. Pode-se prever avanços na química do pigmento e da tinta, possivelmente envolvendo cada vez mais nanopartículas⁷ para se obter cores mais intensas, com maior precisão e estabilidade e uma maior gama de cores, entregues em tintas mais estáveis que poderão ser impressas sobre uma ampla gama de condições. Há uma tendência atual na

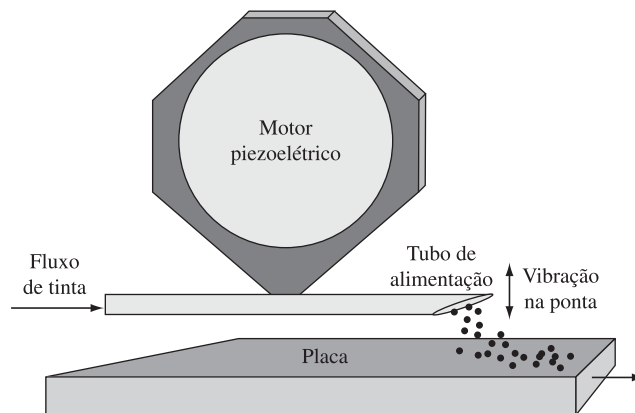


Figura 10. Princípio de operação da impressora Flatjet, na qual gotas de tinta são geradas a partir da ponta de um tubo que vibra.

indústria de impressão comercial (para substratos de papel, cartão ou filme polimérico) para uma maior resolução e maior velocidade nos processos de impressão de passagem única, de modo que estes podem tornar-se mais diretamente competitivos com os processos convencionais, tais como offset e flexografia. As velocidades de impressão em linha oferecidas pela atual geração de impressoras para revestimentos (~0,5 a 1 m/s) são consistentes com os limites da atual impressão a jato de tinta para outras aplicações comerciais, e parece provável que, com o desenvolvimento de novos cabeçotes de impressão para estas aplicações, estes também sejam rapidamente adotados para a decoração cerâmica. No entanto, os desafios técnicos envolvidos não devem ser subestimados: o aumento da velocidade de impressão envolve não somente um maior processamento de dados e taxas de transferência mais elevadas, mas também um aumento na frequência de geração de gota e na velocidade da gota, que por sua vez impõe exigências adicionais sobre a reologia da tinta. Avanços na velocidade de impressão pela melhoria do desempenho do cabeçote de impressão somente serão alcançados quando puderem ser combinados com a evolução na formulação da tinta.

7. Conclusão

Até o momento foi abordado o uso de impressão a jato de tinta para decoração de revestimentos cerâmicos pela deposição de tintas coloridas, mas o processo também pode ser utilizado para depositar uma gama muito maior de materiais: cerâmica, metais e polímeros para muitas aplicações diferentes⁹. Há um grande interesse em adicionar funcionalidade aos revestimentos cerâmicos com a incorporação de novos recursos, muitas vezes eletrônicos⁴. Por exemplo, revestimentos podem ser fabricados de modo a incorporar sensores de toque, pressão, ou de proximidade, de modo que eles podem ser usados como interruptores ou detectores de presença para controlar as luzes, abrir portas, contagem tráfego humano, etc. Transdutores acústicos podem ser introduzidos de forma que os revestimentos emitam sons em resposta a sinais elétricos. Camadas refletoras ou emissoras de luz eletronicamente controláveis podem permitir que revestimentos individuais, ou áreas dentro de um revestimento, atuem como pixels coloridos comutáveis, permitindo a criação de displays do tamanho de uma parede integrados na área revestida com cerâmica. Foram demonstradas células fotovoltaicas integradas em revestimentos cerâmicos para geração de energia elétrica¹⁰. A impressão jato de tinta tem o potencial de desempenhar um papel importante em todos esses e outros aperfeiçoamentos funcionais dos revestimentos

cerâmicos: ela já provou sua capacidade como um processo para a deposição de trilhas condutoras metálicas, para a fabricação de monitores de grande área com base em polímeros emissores de luz (LEDs orgânicos), e para a impressão de transistores baseados em polímeros. Constitui uma das principais tecnologias para a crescente indústria de componentes eletrônicos impressos. A integração de componentes eletrônicos e elétricos impressos em revestimentos cerâmicos pode fornecer oportunidades significativas no futuro.

Referências

1. ALEXANDER, M. **The xaar guide to single pass printing**. Xaarplc: Technical White Paper, 2008.
2. ALLEN, H. Pigmentation of inks for emerging inkjet applications on glass, ceramics and metals In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL PRINTING TECHNOLOGIES, 24., 2008, Pittsburgh. **Anais...** Pittsburgh: NIP, 2008. p. 853-855.
3. BAKER, R.; CHRUSCIEL, E. Single-pass digital production printing and deposition. **SGIA Journal**, p. 31-34, 2008.
4. BERTO, A. M. Ceramic tiles: above and beyond traditional applications. **Journal European Ceramic Society**, v. 27, p. 1607-1613, 2007.
5. BURZACCHINI, B. and ZANNINI, P. Digital **ceramic decoration**: development of non-impact inkjet decoration systems, in digital decoration of ceramic tiles. [S. l.]: ACIMAC, 2009.
6. DE CARLO, A. The digital revolution in tile decoration. **Ceramic World Review**, v. 51, p. 78-84, 2003.
7. GARDINI, D. et al. Chemical-physical properties of nano-sized ceramic inks for ink-jet printing. **Actas Qualicer**, p. 397-408, 2003.
8. HARVEY, R. A.; SAINZ J. G. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL PRINTING TECHNOLOGIES, 16., 2000, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: Society for Imaging Science and Technology, 2000. p. 516-518.
9. HUTCHINGS, I. M. Ink-jet printing in micro-manufacturing: opportunities and Limitations. In: INTERNATIONAL CONFERENCES ON MULTI-MATERIAL MICRO MANUFACTURE; INTERNATIONAL CONFERENCES ON MICRO MANUFACTURING, 2009, Karlsruhe. **Anais...** Karlsruhe: 4M, 2009.
10. IENCINELLA, D.; CENTURIONI, E.; BUSANA, M. G. Thin-film solar cells on commercial ceramic tiles. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 93, p. 206-210, 2009.
11. KNIGHT, E. **Xaar**: innovative inkjet technology for the ceramic tile industry, in digital decoration of ceramic tiles. [S. l.]: ACIMAC, 2009.
12. MARTIN, G. D.; HOATH, S. D.; HUTCHINGS I. M. Inkjet printing: the physics of manipulating liquid jets and drops. **Journal of Physics, Conference Series**, v. 105, n. 1, 2008.