

# Tecnologia de impressão direta: uma ferramenta simples para produção de microchips para eletroforese

\*Ellen Flávia Moreira GABRIEL, †Wendell Karlos Tomazelli COLTRO, Gerson Francisco DUARTE JUNIOR e Paulo de Tarso GARCIA

*Instituto de Química – Universidade Federal de Goiás  
Campus Samambaia, Caixa Postal 131, 74001-970, Goiânia/GO  
E-mail: ellenflavia.moreira@gmail.com.br*

**Palavras-Chave:** eletroforese, fluxo eletrosmótico, microchips, toner.

## 1. Introdução

Uma das mais novas tendências da instrumentação analítica moderna é a utilização de sistemas miniaturizados de análises (ARORA, A et. Al, 2010, p. 4830). A miniaturização confere ao sistema características como: baixo consumo de amostras e reagentes, portabilidade, alta eficiência de separação, menor tempo de análise e capacidade de detectar quantidades extremamente reduzidas de concentrações.

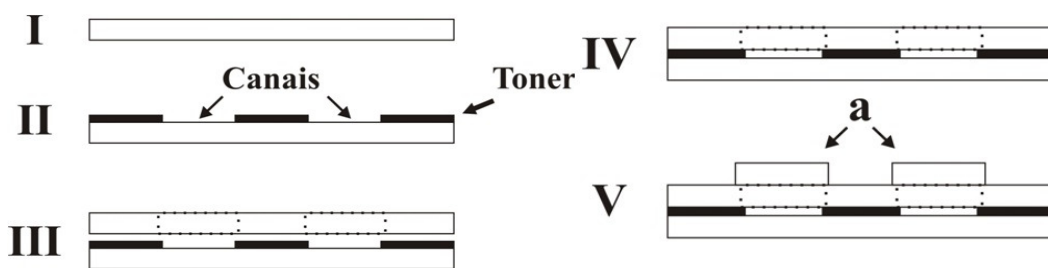
Os primeiros sistemas de eletroforese baseados em *chips* foram propostos na década de 90 (COLTRO, 2010, p. 2487). Nas últimas décadas uma gama de materiais e tecnologia vem sendo exploradas para produção dos mesmos. Os microdispositivos podem ser fabricados em materiais convencionais, como o vidro, silício e quartzo bem como em materiais alternativos, como o poli(dimetilsiloxano) (PDMS) e o poliéster-toner (PT).

Dentre os modos de fabricação de microdispositivos, destaca-se o método da impressão direta, este método é mais simples, mais rápido e mais barato. O processo se baseia na impressão dos dispositivos na folha de transparência (filme de poliéster) utilizando uma impressora a laser.

Os chips são desenhados em software gráfico e com auxílio de uma impressora a laser se faz a deposição de toner diretamente sobre o filme de poliéster. A camada de toner é o que define a profundidade dos microcanais. Antes da laminação, orifícios são confeccionados com o auxílio de um perfurador de papel. Em seguida, colam-se reservatórios cilíndricos sobre os orifícios a fim de manter um volume fixo de amostra/tampão (Figura 1). Existe uma série de parâmetros que necessitam ser avaliados, para que os microdispositivos possam ser utilizados em eletroforese, além disso, é de fundamental importância conhecer como a solução move-se através do canal sob influência de um campo elétrico gerando o fluxo eletrosmótico (EOF).

---

\* Pós-Graduada  
† Orientador



**Figura 1.** Processo de fabricação dos dispositivos de poliéster-toner (PT). I, filme de poliéster; II, microcanais impressos; III, alinhamento com uma “tampa” perfurada; IV, microcanal selado após laminação térmica, e; V, dispositivo resultante com reservatórios (a) para soluções.

A geração do EOF nos dispositivos de poliéster-toner é dependente da composição dos materiais que definem a estrutura microfluídica (COLTRO, 2004, p. 3832), além de ser afetado por parâmetros geométricos como espessura e largura da camada de toner a ser depositado na superfície do filme de transparência.

Um método utilizado para obtenção da magnitude do EOF e sua relação entre os parâmetros geométricos é o método do monitoramento de corrente; este consiste em monitorar a diferença de corrente eletroforética gerada pela utilização de soluções tampões em diferentes concentrações.

Os microchips de PT quando comparados com outros materiais (vidro e PDMS) exibem EOF 10 vezes menor, além de ser irreproduzível e apresentar baixa estabilidade ao longo do tempo. Tal fato tem influência direta sobre a eficiência de separação e resolução de pico em uma separação eletroforética (COLTRO, 2004, p. 3834).

Diante disso, o trabalho tem como objetivo mostrar uma investigação sistemática sobre a geração e efeitos do EOF em microdispositivos de poliéster-toner além de propor novas alternativas, como o uso de dispositivos coloridos, para melhorar a eficiência de separação e resolução da técnica de eletroforese.

## 2. Metodologia

Os microdispositivos utilizados foram fabricados, a partir do processo de impressão direta. Para avaliação do efeito da composição foram utilizados dois tipos de filmes de transparência (3M e FP). Para entender os efeitos geométricos sobre o magnitude do EOF, os dispositivos foram produzidos na configuração de um canal único com comprimento de 2 cm de simples e dupla camada de toner (CST e CDT). As dimensões de largura e profundidade variaram de 100 a 300 $\mu$ m e 6 a 12 $\mu$ m respectivamente. Utilizou-se o método de monitoramento de corrente para obtenção da magnitude do fluxo

eletrosmótico, com solução tampão (15 e 20 mmol L<sup>-1</sup>) de fosfato de sódio mono e dibásico em diferentes pHs.

Os dispositivos fabricados para eletroforese são de dupla camada de toner em configuração T, com canais de 200µm de largura e 12µm de profundidade, os canais de injeção e separação foi de 8 e 40µm de comprimento. O método de detecção condutimétrico capacitivamente acoplado (C<sup>4</sup>D) foi empregado para a separação eletroforética (COLTRO, 2008, p. 4928).

### 3. Resultados e Discussão

Com sucessivas injeções obtiveram-se os registro para os microchips fabricados em duas transparências. A partir deste resultado notou-se que utilizando transparência 3M não é possível determinar a magnitude do EOF, pois, as medidas de corrente foram instáveis, no entanto os dispositivos fabricados com a transparência FP apresentou medidas de correntes reprodutíveis e estáveis.

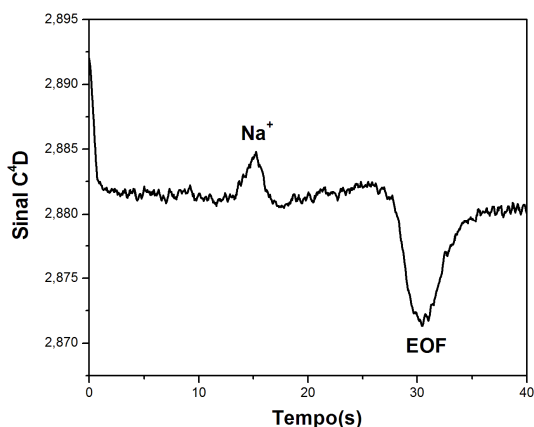
Essa melhor estabilidade do fluxo eletrosmótico em transparência FP se deve a maior quantidade de grupos silanóis na composição química. Estudos espectroscópicos anteriormente realizados mostram que ambas as transparência possuem grupos Si-OH, no entanto a intensidade das bandas são cerca de 10 vezes maior para o filme FP. Isto ajuda a entender que o EOF é gerado principalmente pelo grupo silanol presente nos filmes de poliéster.

Os valores de EOF variaram de  $3,1 \times 10^{-4}$  a  $4,0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  em função da largura do canal. O aumento da magnitude é atribuído à diferença na relação toner-poliéster. Para os canais de 100 a 300µm a percentagem de toner é cerca de 6 e 2%, respectivamente. Assim quanto menor a quantidade de toner maior o EOF. Comparando as estruturas fluídicas definido pelo CST para CDT, os valores de EOF foram  $3,3 \times 10^{-4}$  e  $1,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Neste caso a percentagem de toner para CST e CDT foi de 3 e 6%. Estes resultados mostram que o EOF é governado principalmente pela composição do filme de transparência. Quando menor a percentagem de toner maior o EOF. Um parâmetro também avaliado foi a dependência do fluxo em função do pH, neste observou que o EOF varia de  $3,3 \times 10^{-4}$  a  $3,8 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  para os canais de CST e os valores de EOF para CDT variou de  $1,5 \times 10^{-4}$  a  $2,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , para os valores de pH 4 e 9 respectivamente.

Diante dos resultados obtidos com microdispositos de impressora monocromática (IM) avaliou-se o fluxo eletrosmótico em dispositivos fabricados utilizando impressora policromática (IP) com resolução 3600dpi. Os valores de EOF obtidos em chips da IP

apresentaram valores 20% superior aos chips de toner convencional (IM). A diferença nos valores de EOF se deve a composição química do toner das duas impressoras. O toner da impressora monocromática é composto basicamente de uma mistura polimérica com óxido de ferro e o toner de impressora colorida apresenta a mistura polimérica com sílica. A presença da sílica na composição contribui para os valores elevados de EOF, uma vez que o mesmo é governado pela ionização dos grupos silanóis.

A fim de entender o desempenho analítico dos dispositivos de PT em uma detecção eletroforética utilizou-se uma solução de 0,2 mM de cloreto de sódio dissolvido em água (figura 2). De acordo com relatado anteriormente, o EOF em chips PT é muito baixo ( $\sim 10^{-5} \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) e o marcador neutro pode não ser detectado. No entanto, foi observada a detecção de um pico negativo, que está relacionada com a presença da água. Usando o tempo de migração deste pico, a magnitude EOF é cerca de 10 vezes maior do que os relatados anteriores e estão de acordo com os dados obtidos pelo método de monitoramento de corrente.



**Figura 2.** Eletroferograma mostra a separação e detecção de 0,2mM  $\text{Na}^+$  e pico da água. Tampão utilizado MES/His 20mmol, pH 6,1.

#### 4. Conclusões

Com base nos resultados, pode-se notar que a magnitude do EOF em dispositivos PT é fortemente influenciada por parâmetros geométricos (largura e profundidade). Os grupos silanóis presentes no filme de poliéster é responsável pela geração do fluxo eletrosmótico. Os valores de EOF obtidos em dispositivos de impressora colorida foram maior devido sua diferença de composição entre o toner de impressora convencional, e acredita-se que este aumento de EOF afeta a eletroforese melhorando, por exemplo, a

resolução de pico. Os resultados apresentados são inéditos e certamente auxiliarão na inserção destes microchips em análises de rotina. A separação eletroforética, acoplada com detecção condutométrica, em chips de PT exibiu pela primeira vez a presença do marcador neutro, o que corrobora com todas as análises espectroscópicas realizadas, com o objetivo de compreender a geração do EOF. Adicionalmente, pretende-se analisar a influência do uso do toner pigmentado na impressão desses microssistemas.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Bioanalítica (INCTBio) pelo auxílio pesquisa e bolsas concedidas.

## 6. Referências Bibliográficas

ARORA, A.; GIUSEPPIANA, S. G.; SALIEV-BEUGELAAR, G. B.; KIM, J. T.; MANZ, A. **Latest developments in micro total analysis systems.** *Analytical Chemistry*, 2010, *82*, 4830.

COLTRO, W. K. T.; DE JESUS, D. P.; DA SILVA, J. A. F.; DO LAGO, C. L.; CARRILHO, E. **Toner and paper-based fabrication techniques for microfluidic applications.** *Electrophoresis*, 2010, *31*, 2487-2498.

COLTRO, W. K. T., DA SILVA, J. A. F., SILVA, H. D. T., RICHTER, E. M., FURLAN, R., ANGNES, L., DO LAGO, C. L., MAZO, L. H., CARRILHO, E. **Microchip fabricated by a direct-printing process with end-channel amperometric detection.** *Electrophoresis* 2004, *25*, 3832.

COLTRO, W. K. T. **Fabricação e avaliação de microdispositivos para eletroforese com detecção eletroquímica.** São Paulo, 2004, 125p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COLTRO, W.K.T.; LUNTE, S. M.; CARRILHO, E. **Comparison of the analytical performance of electrophoresis microchannels fabricated in PDMS, glass, and polyester-toner.** *Electrophoresis*, 2008, *29*, 4928-4937.