

## 6 CONCLUSÕES

Devido ao seu conceito simples, o misturador passivo foi um dos primeiros dispositivos microfluídicos relatados. Devido ao domínio do escoamento laminar na microescala, a mistura em micromisturadores passivos conta principalmente com a convecção caótica. Uma das maneiras de diminuir a distância de difusão e com isso aumentando a difusão molecular é através do aumento da superfície de contato entre os dois fluidos que se deseja misturar.

A convecção caótica no interior de microcanais promove o aumento da superfície de contato, uma vez que a trajetória percorrida pelos fluidos, dita caótica, faz com que o padrão de escoamento resultante encurte a distância de difusão e, portanto acelera o processo de mistura.

Verificou-se que a dinâmica dos fluidos computacional ao ser aplicada em um estudo preliminar realizado requereu que alguns pontos delicados fossem tratados com cuidado. Entre eles um estudo relacionado à dependência da solução com o grau de refinamento da malha e o passo de tempo para a solução em regime transiente. Devido à malha muito refinada que seria necessária, identificou-se que não seria possível aplicar a técnica de estímulo e respostas para o levantamento da distribuição de tempo de residência devido à falta de maiores recursos computacionais.

Foi identificado que duas dentre as técnicas descritas na literatura podem ser aplicadas para verificar a qualidade da mistura, são elas a visualização da fração mássica dos componentes e o cálculo da qualidade da mistura em diferentes seções transversais ao longo do interior dos micromisturadores.

A partir das conclusões iniciais utilizou-se a dinâmica dos fluidos computacional para o estudo de três propostas de micromisturadores baseados nas geometrias propostas inicialmente por Liu et al. (2002), os quais foram fabricados e testados experimentalmente nos trabalhos de Costa (2003) e Cunha (2007).

Levantaram-se os perfis de pressão e velocidade resolvendo-se as equações de balanço de quantidade de movimento, mais conhecidas como as

equações de Navier-Stokes, para três diferentes graus de refinamento das malhas para se identificar a influência da mesma sobre a solução obtida. Verificou-se que para um grau de refinamento menor é possível se obter resultados qualitativos com um desvio da ordem de pelo menos 14% ou maiores com relação ao maior grau de refinamento simulado, em alguns casos estes resultados são suficientes para uma análise qualitativa inicial.

Com isso torna-se possível testar diferentes condições de operação para identificar a que poderia proporcionar o menor custo de operação, permitindo a otimização das condições de interesse previamente aos testes em laboratório. Contudo, com o grau de refinamento aplicado neste estudo não foi possível obter uma solução exata independente da malha para os três micromisturadores.

O levantamento do fator de atrito foi uma tentativa de utilizá-lo como parâmetro de validação das simulações, uma vez que as informações levantadas experimentalmente diziam respeito à distribuição de tamanhos de partículas formadas durante um processo de emulsificação.

Houve boa concordância dos valores encontrados para o fator de atrito em relação aos esperados teoricamente, como pode ser visto pelos desvios de no máximo 3% encontrados para a malha mais refinada com cinco camadas de elementos prismáticos.

Além disso, comprovou-se que é válido aplicar a teoria clássica de Poiseuille, uma vez que se garanta que o escoamento encontra-se em regime laminar completamente desenvolvido ao longo de todo o micromisturador.

O levantamento dos perfis de pressão e velocidade foi realizado com o intuito de caracterizar o escoamento, e com isso entender os mecanismos que levam a mistura com um mesmo equipamento e diferentes condições operacionais.

Com a validação do fator de atrito pode-se aceitar o perfil de pressão e velocidade e partir para a resolução de um perfil de distribuição de fração mássica e com isso quantificar a qualidade da mistura ao longo do micromisturador.

Embora o escoamento no interior dos microcanais se dê em regime laminar, os escoamentos secundários e descolamento da camada limite podem surgir em regiões de descontinuidade do conduto, tais como em curvas acentuadas, ou em junções em uma rede de escoamento. Quando o líquido escoava pelas curvas

acentuadas, a mudança de direção no escoamento gera um escoamento secundário perpendicular ao do escoamento do líquido. Este campo de escoamento lateral pode ser utilizado para melhorar o desempenho da mistura em um micromisturador, no qual a geração de turbulência não é viável. A separação da camada limite, por sua vez, pode dar origem à geração de vórtices que também favorece no aumento do desempenho de mistura. Os vórtices tendem a quebrar a corrente em camadas, e cada uma tende a torcer de uma maneira diferente. Esta ação de quebra e torção reduz a distância de difusão a ser percorrido entre as moléculas dos dois fluidos envolvidos no processo de mistura. A quantidade de vórtices gerados e a sua prevalência são muito dependentes do número de Reynolds do escoamento assim como da geometria do canal. Como o escoamento continua no regime laminar, os vórtices tendem a desaparecer assim que eles deixam as descontinuidades (curvas acentuadas, por exemplo) e o escoamento volta às suas características originais de escoamento laminar, com as linhas de corrente percorrendo paralelas umas às outras.

A partir das simulações realizadas neste estudo chegou-se a conclusão que o melhor desempenho de mistura foi conseguido com os micromisturadores M2 e M3 para as condições operacionais testadas, com os quais era conseguida a mistura homogênea antes do fluido percorrer todo o comprimento efetivo dos respectivos micromisturadores. Entretanto, a menor perda de carga foi conseguida, para todas as vazões, para o micromisturador M1.

O software ANSYS CFX<sup>®</sup> possui dentre as suas funcionalidades a capacidade de resolver os problemas de CFD através do uso de diversos processadores, pelo que é conhecido como uma solução em paralelo. Atualmente, “clusters” estão presentes com maior frequência nos meios acadêmicos, com a combinação das duas tecnologias poder-se-ia chegar a um grau de refinamento da malha, para a qual a solução fosse independente, e também seria possível a análise de modelos mais complexos, tais como os escoamentos bifásicos.

Sugere-se também para trabalhos futuros, a análise de diferentes proporções de alimentação, pois em sua grande maioria os trabalhos relatados na literatura resumem-se ao caso de mesma vazão de alimentação dos dois componentes. Deve-se também avaliar fluidos com propriedades físicas diferentes das da água.