

## 2 Revisão bibliográfica

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura referente a trabalhos voltados para o estudo de escoamentos bifásicos utilizando técnicas ópticas e processamento digital de imagens. Como poderá ser observado, não há muitos trabalhos empregando essas técnicas ópticas.

Campos e Guedes de Carvalho (1988) fizeram um estudo fotográfico da esteira de golfadas fluindo ascendentemente em líquido estagnado, para tubos de diferentes diâmetros. Os autores identificaram três diferentes padrões de escoamento na esteira da bolha (laminar, transição e turbulento) e sugeriram correlações empíricas para caracterizar o escoamento.

Bugg e Saad (2002) estudaram o escoamento ao redor de uma bolha de Taylor fluindo em um líquido viscoso estagnado (óleo de oliva), com índice de refração muito parecido com o do vidro, e descreveram o escoamento no nariz e esteira da bolha em regime laminar. O campo de velocidades foi determinado utilizando-se a técnica de *PIV* com partículas de carbureto de silício de diâmetro médio de 2  $\mu\text{m}$ . Como a interface líquido-gás foi desenhada à mão, diretamente da imagem de *PIV*, não foi possível definir com precisão o campo de velocidades perto da interface e o formato da bolha.

Lindken e Merzkich (2002) apresentaram um procedimento experimental para medir simultaneamente a velocidade tanto na fase líquida como na fase gasosa de escoamentos bifásicos. O estudo foi realizado no escoamento de bolhas. A técnica descrita pelos autores consiste na combinação simultânea de outras três técnicas: *PIV* com partículas fluorescentes, sombreamento de imagens (*shadowgraphy*) e técnica de separação de fases com máscara digital. Duas formas de iluminação foram utilizadas, um laser e um painel com LED's, emitindo, respectivamente, luz com comprimento de onda de 532 nm e 675 nm. As partículas reemitem luz com comprimento de onda de 566 nm. Um filtro ótico passa-alta bloqueia a reflexão intensa da interface líquido-gás e uma câmera CCD adquire a imagem com as informações de ambas as fases. As bolhas aparecem como sombras na imagem e possuem baixos níveis de cinza, enquanto a fase contínua líquida possui níveis de cinza intermediário. As partículas aparecem como pontos com alto nível de cinza. A interface líquido-gás

é delimitada definindo-se um nível de cinza de corte (*threshold*) que melhor separa a região da fase líquida da gasosa.

Nogueira et al. (2003) utilizaram simultaneamente as técnicas de *PIV*, com partículas fluorescentes, e *PST*, com uma câmera CCD, para caracterizar o escoamento bifásico de golfadas, determinando a forma das bolhas e o campo de velocidades do líquido na sua vizinhança. Diferente do método usado por Lindken e Merzkich (2002), que determinaram a interface líquido-gás ajustado um *threshold* na escala de cinza, Nogueira et al. (2003) extraíram a sombra da bolha subtraindo a imagem com a golfada de outra com apenas a iluminação de fundo e em seguida binarizaram o resultado da subtração.

Fujiwara et al. (2004) estudaram o movimento translacional de bolhas, de aproximadamente 2 a 6 mm de diâmetro, fluindo ascendentemente em tubulação vertical. Foram utilizadas técnicas de velocimetria por imagem de partículas (*PIV*), fluorescência induzida por laser (*LIF*) e uma técnica de dupla projeção, para analisar o comportamento do escoamento na vizinhança da bolha, em um plano, e a sua deformação, em dois planos. Para determinar o campo de velocidades na fase líquida ao redor da bolha foi utilizada a técnica de *PIV* com partículas fluorescentes e uma câmera CCD de alta resolução. Outras duas câmeras CCD, dispostas perpendicularmente, foram usadas para capturar a forma da bolha iluminando-se o escoamento com painéis de LED's. Uma visão tridimensional da bolha foi criada a partir das imagens dos dois planos perpendiculares possibilitando o estudo do escoamento na esteira da bolha.