

CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO BIFÁSICO LÍQUIDO-GÁS HORIZONTAL ATRAVÉS DE FILMAGEM ULTRA-RÁPIDA E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE IMAGENS

Leonardo Calil Barriatto - RA 091913
Orientador - Prof. Dr. Antonio Carlos Bannwart
UNICAMP - FEM - DEP
13083-970 - Campinas, SP - Brasil
E-mail: leocalil@gmail.com

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC - CNPq)



Palavras-Chave: escoamento bifásico gás-líquido, filmagem ultra-rápida, tratamento computacional de imagens.

Introdução

Geralmente localizado em profundas reservas subterrâneas, o petróleo é uma fonte de energia essencial no mundo moderno. Sendo porém de difícil acesso, sua extração requer uma correta avaliação das perdas de pressão e temperatura que ocorrem desde o reservatório em que se encontra no subsolo até as instalações de superfície. Um tópico bastante relevante a extração do petróleo é o transporte de misturas de óleo, gás e eventualmente água, através de dutos, constituindo um escoamento multifásico.

A maneira como as fases estão distribuídas na seção transversal e ao longo da tubulação é definida como “padrão de escoamento”, que por sua vez, influi consideravelmente na queda de pressão e no dimensionamento de linhas e equipamentos. Diferentes padrões se alternam na caracterização do escoamento multifásico, tanto durante a extração petrolífera, quanto nas mais diversas formas de escoamentos confinados horizontais e verticais. Desta maneira, torna-se importante o estudo de escoamentos multifásicos, e a elaboração e o desenvolvimento de novos e mais eficientes métodos não intrusivos de medição e controle destes escoamentos.

Metodologia

Inicialmente foi realizada a montagem e a calibração da linha principal de escoamento e de todos aparelhos medidores acoplados à ela. Conforme indica a *Figura 1*, a linha pode ser basicamente dividida em três sistemas:

- 1) Sistema de injeção de líquido composto por dois tanques de água de 4000L, motobomba, motor elétrico para acionamento da bomba, sistema de inversão de frequência do motor, e medidor de vazão de líquido tipo Coreolis;
- 2) Sistema de injeção de ar comprimido composto por compressor rotativo, elementos laminadores de escoamento, termopares e medidores de pressão;
- 3) Sistema de visualização composto por tubo de acrílico transparente, sistema de iluminação com LEDs brancos, câmera filmadora digital ultra-rápida (até 10000 fps) e medidores de pressão do escoamento bifásico já desenvolvido.

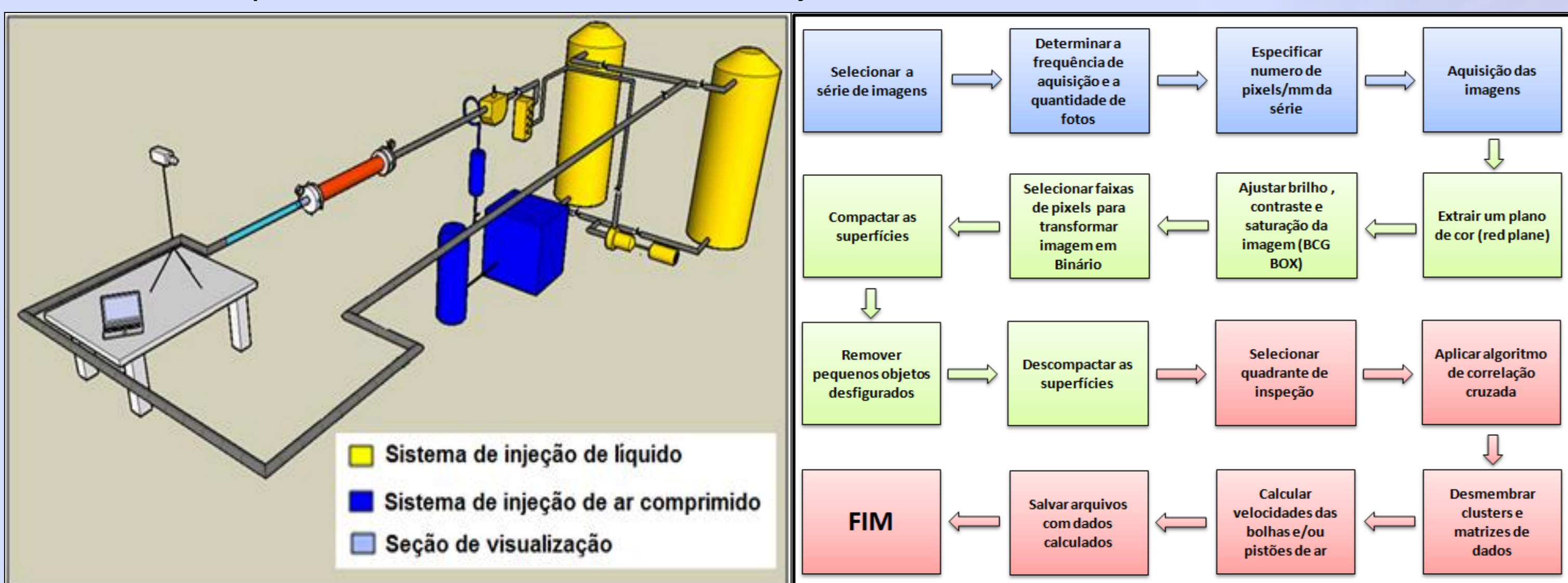


Fig.1: Aparato Experimental

Fig. 2: Algoritmo para análise das imagens

Após o término da instalação e calibração dos instrumentos, iniciou-se o desenvolvimento do algoritmo para a plataforma de software *LabView 2010*, para fazer aquisição de todas variáveis em tempo real (programa de supervisão). Nesta mesma plataforma, um outro algoritmo também foi criado para interpretar as imagens da câmera ultrarrápida. O funcionamento deste algoritmo é descrito na *Figura 2*. A análise computacional das imagens só foi possível devido à técnica de correlação cruzada de dados empregada, onde o software compara fotos consecutivas e busca nelas traços e formas semelhantes, determinado o deslocamento horizontal destas formas.

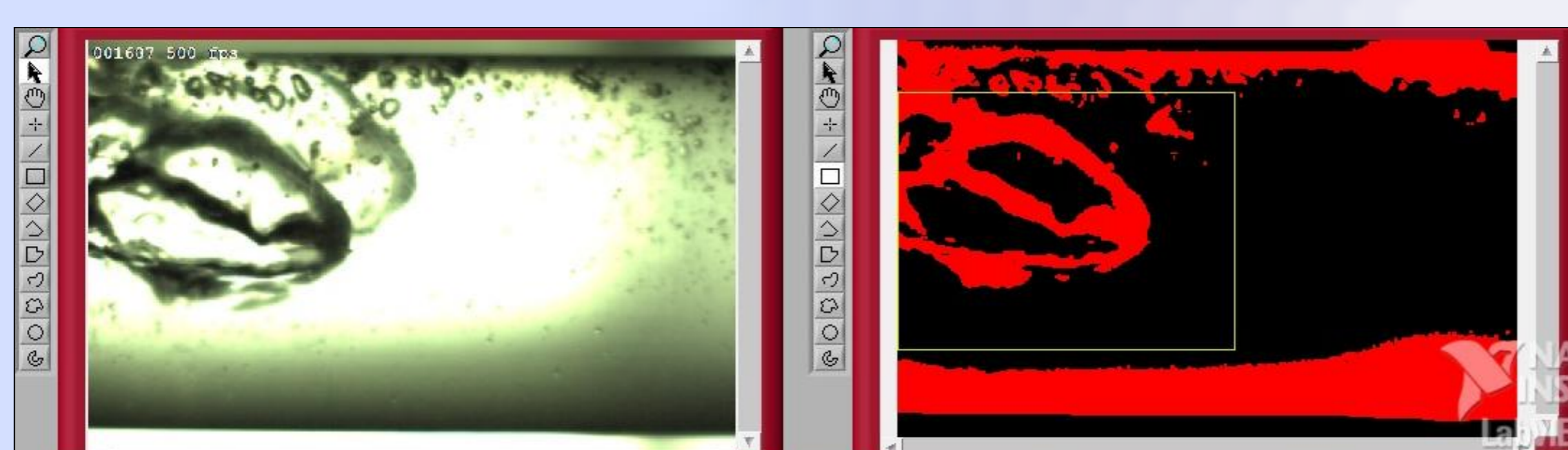


Fig.3: Transformações aplicadas às imagens e quadrante de análise

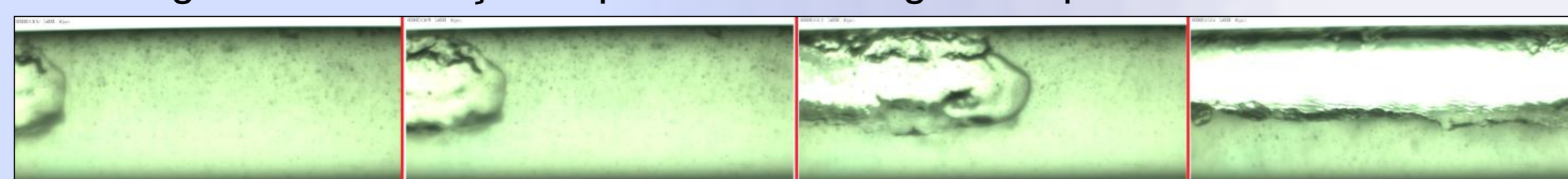


Fig.4: Exemplo de imagens adquiridas em série (AQ1004 dia 13/04) – Golfadas

Resultados

Através das imagens, buscou-se obter as velocidades e as frações de vazio da fase gasosa que escoam na forma de bolhas dispersas, bolhas alongadas e/ou pistões. Foram realizadas várias séries de aquisições de dados e imagens simultaneamente e os valores obtidos comparados com os valores analíticos obtidos pelos medidores da linha e pelas teorias de escoamento disponíveis na Literatura.

Data	Série	ANÁLISE COMPUTACIONAL DAS IMAGENS			CÁLCULO ANALÍTICO			Nº de Fotos	Padrão de Escoamento Observável
		Correlação média	Vel. gás	Fração Vazio	Vel. gás	Fração Vazio 2	Fração Vazio 1		
			[m/s]	[%]	[m/s]	[%]	[%]		
12/04/2012	AQ1_001	0,84	2,29	36,49	3,18	37,29	26,49	7000	Golfadas
12/04/2012	AQ2	0,95	1,18	47,86	1,07	47,74	44,54	7000	Bolhas alongadas
12/04/2012	AQ5	0,92	1,59	42,32	1,57	43,87	38,64	7000	Golfadas
12/04/2012	AQ9	0,87	2,39	24,20	2,33	34,50	24,22	7000	Golfadas rápidas
12/04/2012	AQ13	0,85	2,80	21,78	3,17	31,83	19,62	7000	Golfadas rápidas
12/04/2012	AQ17	0,83	2,32	28,25	3,06	32,86	20,82	7000	Golfadas rápidas
12/04/2012	AQ18	0,90	2,69	10,63	2,97	21,85	9,90	7000	Bolhas alongadas
12/04/2012	AQ22	0,89	3,29	1,64	3,32	7,25	1,41	7000	Bolhas dispersas
12/04/2012	AQ26	0,85	3,48	10,43	4,14	22,06	9,10	7000	Golfadas rápidas
12/04/2012	AQ30	0,84	3,63	15,46	4,24	27,36	13,75	7000	Golfadas rápidas
12/04/2012	AQ34	0,91	2,32	22,53	3,02	29,92	17,64	7000	Bolhas alongadas
13/04/2012	AQ1001	0,97	0,81	10,78	1,14	13,83	7,20	2500	Bolhas alongadas
13/04/2012	AQ1002	0,97	1,28	4,86	1,68	9,74	3,44	2500	Bolhas alongadas
13/04/2012	AQ1003	0,93	1,81	14,10	2,08	22,34	11,26	2500	Bolhas alongadas
13/04/2012	AQ1004	0,87	2,71	17,05	2,96	27,09	14,27	2500	Golfadas rápidas
13/04/2012	AQ1005	0,85	3,54	2,82	3,49	10,73	2,60	2500	Bolhas dispersas

Tab. 1: Valores médios obtidos para as velocidades das bolhas e pistões

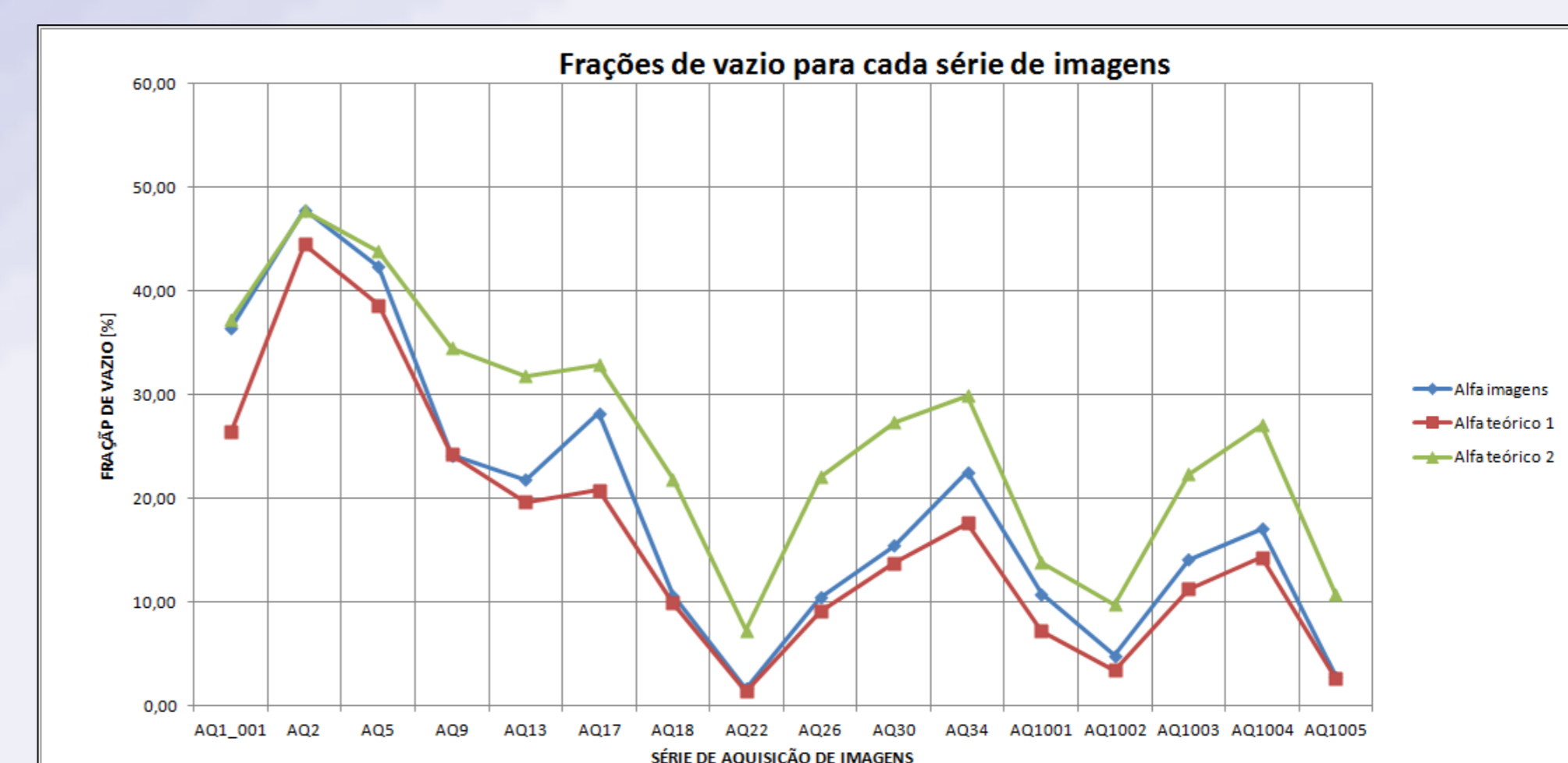
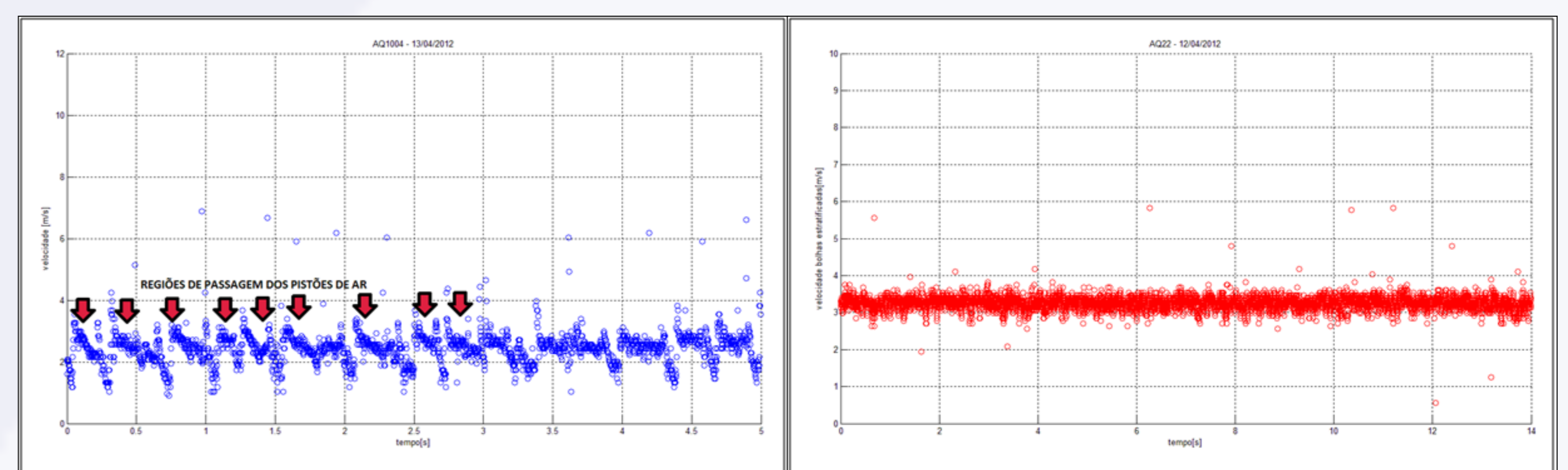


Fig. 5: Comparativo entre as frações de vazio teóricas e as obtidas pela análise das imagens



(Golfadas - AQ1004 dia 13/04)

(Bolhas dispersas - AQ22 dia 12/04)

Figura 6: Dispersão das velocidades calculadas para escoamento com golfadas

Conclusões

A proximidade entre os valores calculados através das imagens e os valores obtidos na literatura, conforme indica a *Figura 5*, mostra que o programa é eficiente e preciso no cálculo das velocidades e das frações de vazio em escoamentos pistonados e com bolhas dispersas, contudo, conforme indica a *Figura 6*, as velocidades dos pistões não são sempre homogêneas, sendo necessário realizar médias entre os todos os pontos coletados. O programa e os métodos supracitados não podem ser aplicados a escoamentos estratificados com sucesso pois as imagens consecutivas bidimensionais não apresentam variações de forma na interface líquido-gás, de forma que o programa mede apenas velocidades nulas para todos os pontos.

O método proposto aqui é não intrusivo e de custo de manutenção relativamente baixo quando comparado a outros métodos que por serem intrusivos requerem o fechamento das válvulas de escoamento para seu reparo durante eventuais problemas. Um poço que permanece algumas horas ou dias sem produzir petróleo significa milhões de dólares de prejuízo para as gigantescas empresas do setor. Por essas e outras razões o campo das medidas através de imagens vem crescendo e ganhando força em vários setores da engenharia.