

POSICIONADOR 3D UTILIZANDO ARDUINO PARA MAPEAMENTO DE ESCOAMENTO MULTIFÁSICO

L. L. Pompeu, leitepompeu@gmail.com¹

M. O. Silva, mos@ufpa.br²

W. S. Fonseca, fonseca@ufpa.br³

¹Parque de ciência e Tecnologia do Guamá – Av. Perimetral, 2651-Guama, Belém – PA,

²Parque de ciência e Tecnologia do Guamá – Av. Perimetral, 2651-Guama, Belém – PA,

³Universidade Federal do Pará – R. Augusto Corrêa – Guamá, Belém – PA,

Resumo: *Escoamentos multifásicos são considerados de alta complexidade, uma vez que o fenômeno de bolhas é fundamental na indústria petrolífera, dado o risco que representa o escape de gases em alta pressão para a exploração de petróleo em águas profundas. A presente pesquisa consiste no desenvolvimento de um sistema de posicionamento 3D, de um sensor para aquisição de sinais do fenômeno da pluma de bolhas, como escoamento bifásico, na finalidade de caracterizá-la a partir do protótipo construído. Deste modo o posicionamento preciso do sensor de detecção, baseado na tecnologia CNC, empregou o uso de uma metodologia de baixo custo, utilizando Arduino e Softwares livres, viabilizando a construção de um sistema manufaturado, qual é amplamente encontrado em modernas máquinas automatizadas, contribuindo diretamente para a análise dos sinais provenientes de ensaios aplicados em laboratório. Com o mapeamento geométrico da área de incidência, foi possível posicionar o sensor nas coordenadas X, Y, Z, e assim realizar a varredura do local determinado previamente, desse modo, o sistema pode ser adaptado a qualquer padrão de ensaio a ele submetido, originando uma série de valores medidos, armazenados por uma placa de aquisição, resultando em gráficos e espectros, que contribuem para soluções e problemas encontrados na indústria envolvendo o efeito da pluma de bolhas. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios, uma vez que o protótipo funcionou de acordo com as características desejadas de minimização de custos e facilidade de operação.*

Palavras-chave: Posicionador 3D, Escoamentos Complexos, Arduino, CNC, Automação.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado industrial, existem diversos sistemas de controle e posicionamento por coordenadas cartesianas, sejam em impressoras 3D, máquinas ferramenta, montagens automatizadas, etc., diversos fabricantes empregam suas tecnologias e processos de fabricação visando aumento de produtividade e qualidade de suas máquinas, o que restringe seu uso apenas às empresas e setores com elevado poder aquisitivo, pois os valores são elevados, tornando inviável a sua compra para aplicações científicas em laboratório.

Historicamente as máquinas CNC surgiram da necessidade de fabricação de contornos complexos da geometria de hélices, conforme Machado (2006). Os comandos numéricos computadorizados utilizados em suas programações, foram normatizados pela ISO 6983. Os comandos são formados por palavras-chave, que compõem uma série de comandos responsável por dar instruções para o sistema de controle. Tusset (2006) define que estas instruções podem referir-se a uma movimentação específica dos eixos da máquina, a uma indicação de sentido de giro do eixo-árvore ou mesmo a um pedido de troca de ferramenta.

A fabricação e usinagem de peças com geometrias complexas contribuiu para o início de uma etapa importante dos processos de fabricação, que se caracteriza pela utilização de computadores para auxílio à manufatura. A utilização de equipamentos auxiliados por comandos CNC, como fresadoras e tornos, permitiu uma produção em maior escala, melhoria na qualidade dos produtos, aumento dos índices de produtividade, e de um modo geral, proporcionou uma melhoria significativa nos processos produtivos na indústria.

Conforme Capelli (2006), o CNC é um computador utilizado no sistema de controle de movimentos de uma máquina operatriz. O movimento de cada eixo é convertido em grandezas numéricas através de dispositivos especiais e então processados pelo CNC. A utilização de réguas e esquadros, bem como de relógios comparadores e palpadores, tem grande empregabilidade nas medições e ajustes e são largamente utilizados na avaliação e calibração de máquinas, porém restrições como fixação, acesso a componentes, manuseio, leitura dos instrumentos, resolução e exatidão das medições, limitam a confiabilidade e a intervenção por melhorias (SOUSA, 2000).

Diante destas dificuldades e instrumentos restritos, uma alternativa é utilizar-se de máquinas e ferramentas de medição mais sofisticadas, como a medição por coordenadas e o escaneamento a laser. O difícil acesso e custos a disponibilidade destes equipamentos, para o público em geral, inviabiliza estudos mais aprofundados para a difusão do conhecimento sobre as condições geométricas de posicionadores usados em aplicações envolvendo escoamentos multifásicos. A avaliação geométrica de máquinas permite atuar no desempenho dos movimentos e possibilita o alcance de maior exatidão e superação das limitações mecânicas (ECKHARDT et al. 2007).

O resultado deste trabalho foi a adaptação de um sensor no eixo arvore de uma estrutura CNC, baseado em uma tecnologia de baixo custo e fácil implementação, envolvendo eletrônica em embarcada em microcontrolador Arduino no sistema de controle, e interface de comunicação com o computador por meio de softwares livres, o que foi de fundamental importância, pois garantiu a aplicabilidade da medição no fenômeno, gerando resultados satisfatórios para a análise proposta.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O posicionador foi utilizado para mapeamento 3D do fenômeno chamado de pluma de bolhas, onde segundo Junior (2016), elas são encontradas em diversos equipamentos e aplicações de engenharia, desde separadores e misturadores a quebra-mares pneumáticos e vazamentos submarinos. Em condições normais da gravidade, o gás liberado a partir de uma fonte puntiforme ou linear submersa em um fluido na fase líquida sobe à superfície sob a forma de bolhas discretas cujos formatos, tamanhos e velocidades dependem de parâmetros como vazão de gás e propriedades físicas do fluido na fase líquida e do gás.

O comportamento do campo de velocidades do líquido, da velocidade na linha de centro e do raio da pluma em função da concentração e da vazão de ar pode ser explicado por meio de imagens obtidas das filmagens a alta velocidade. As imagens revelam uma forte influência da concentração sobre o tamanho e formato das bolhas, bem como fenômenos de quebra e coalescência das bolhas ao longo do processo.

Para entendermos como funciona o experimento, devemos entender o problema de pluma de bolhas. Na qual o desenho esquemático é mostrado na figura abaixo:

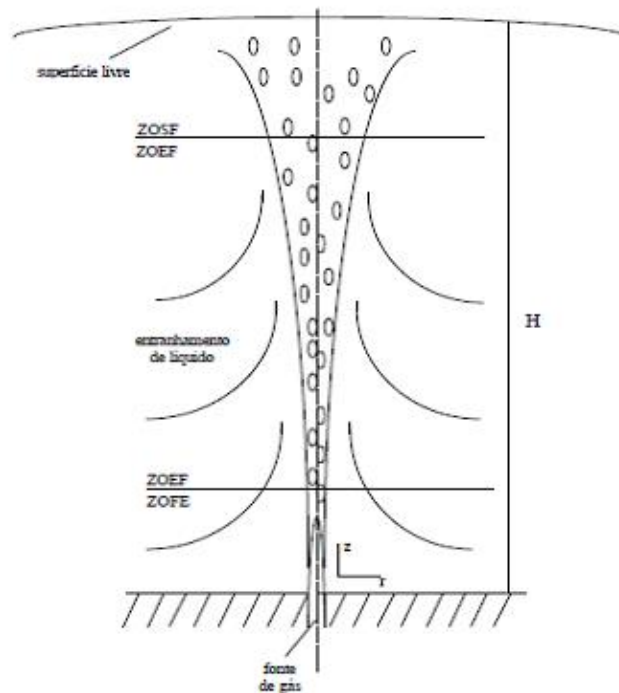


Figura 1 – Ilustração de uma pluma de bolhas (Barbosa 2017).

O fluxo de gás ao deixar o orifício do injetor se divide formando bolhas discretas. A região bifásica é semelhante a um cone com base na superfície livre, vértice no orifício e altura H . O gás ao subir carrega consigo uma parte considerável de líquido. Por continuidade, uma grande zona de recirculação é formada na região monofásica.

O escoamento, para fontes de gás puntiformes, pode ser dividido em três regiões distintas: a Região de Escoamento em Desenvolvimento (Zone of Low Establishment – ZOFE), a Região de Escoamento Desenvolvido (Zone of Established Flow – ZOEf) e a Região de Superfície Livre (Zone of Surface Flow – ZOSF). Estas regiões podem ser determinadas pela própria característica da pluma, decorrente da natureza das forças dominantes em cada uma delas, segundo Barbosa (1997).

Na Região de Escoamento em Desenvolvimento (ZOFE) o escoamento é turbulento, resultando em altas velocidades das bolhas e estas tendem a chocar-se umas as outras, podendo ocorrer o fenômeno de coalescência, onde bolhas ao entrarem em choque, unem-se formando uma bolha de maior tamanho e velocidade, dependendo das

características do fluido. Porém na Região de Escoamento Desenvolvido (ZOE) o escoamento sofre influência das zonas de recirculação do fluido, diminuindo a turbulência em comparação com a região anterior. As bolhas podem se dispersar, diminuindo a velocidade e a concentração destas no centro do cone formado pela injeção do ar na água. Enquanto que na Região de Superfície livre as bolhas sofrem a ação da pressão do fluido onde estão imersas, estourando ou juntando-se a atmosfera. As velocidades e quantidades de bolhas são menores em comparação com as outras regiões.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse capítulo serão descritas as etapas e procedimentos utilizados para a criação do protótipo, os métodos de programação utilizados para a criação do firmware no Arduino e seleção da interface de operação CNC (Comando Numérico Computadorizado) responsável pelo deslocamento do sensor até as coordenadas de medição. Além disso, serão apresentadas as técnicas de mapeamento a ser usada de acordo, para qual aplicação se deseja analisar. Na fig. 2 pode-se ver o diagrama de componentes do sistema:

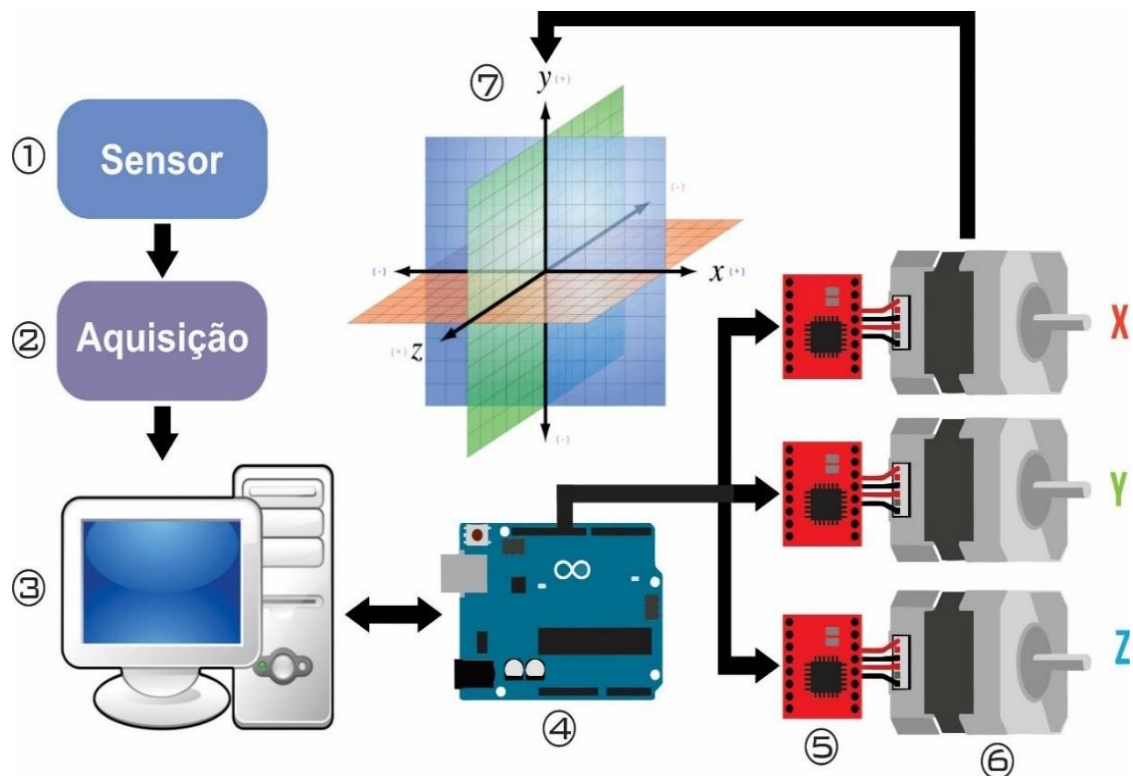


Figura 2 – Diagrama de funcionamento do sistema.

- 1 – Sensor de Caracterização de Bolhas.
- 2 – Placa de Aquisição de Sinais.
- 3 – Computador de Controle e Processamento.
- 4 – Arduino.
- 5 - Drive de Controle de Motor de Passo.
- 6 – Motor de Passo.
- 7 – Posição do Sensor nas coordenadas X, Y, Z em um tanque de água.

O Circuito eletrônico é composto por um Arduino responsável, pelo processamento de dados, para acionamento dos atuadores e posicionamento do sensor em sua coordenada, drive's para amplificação de corrente e tensão dos sinais gerados no microcontrolador, são utilizados para alimentar os três motores de passo, com corrente de trabalho de 3A. Chaves de fim de curso instaladas em cada extremidade dos 3 eixos de coordenada tornam o sistema em malha fechada o que favorece a calibração e varredura de área tridimensional de deslocamento. Na fig. 3 é possível visualizar o esquema eletrônico para acionamento de motor de passo.

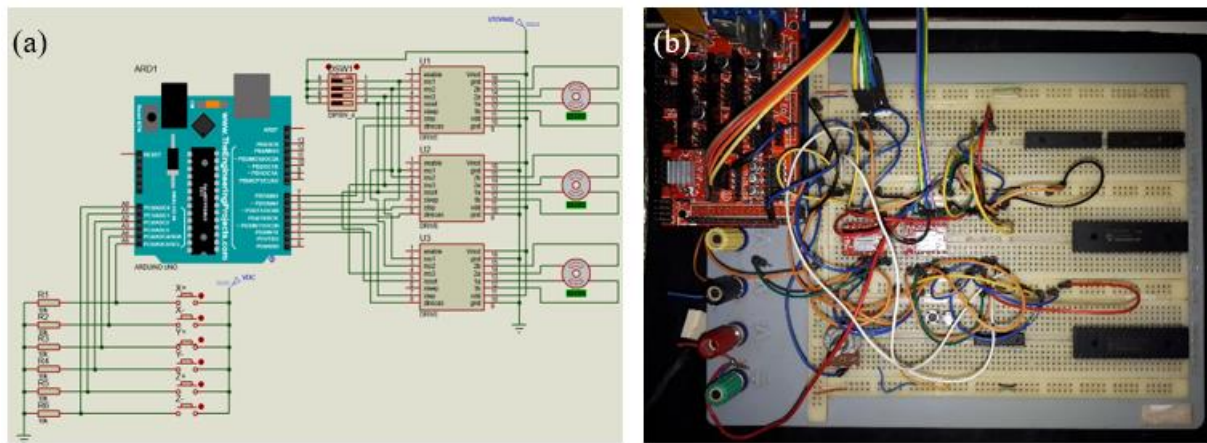


Figura 3 – Circuito eletrônico no Software Proteus (a); Montagem em Protoboad (b).

Os atuadores correspondem aos motores de passo que preenchem um nicho único no mundo dos dispositivos motrizes controlados, pois giram com uma dada velocidade independente da carga, desde que a mesma não exceda o torque do motor. Esses motores movem-se com passos ou incrementos que podem ser quantificados em instruções digitais de controle. Desde que o motor funcione com o torque especificado, a posição do eixo é conhecida a todo tempo sem que haja a necessidade de um sistema de realimentação, possuem excelente resposta a partida, parada e a reversão de movimento. A fig. 4 apresenta as características básicas desses motores:

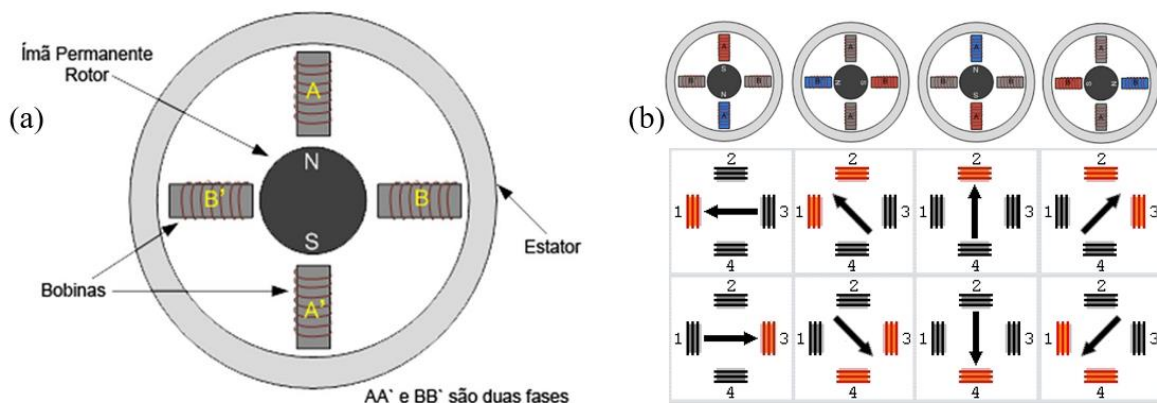


Figura 4 – Constituição de um motor de passo (a); método de acionamento das bobinas (b). (fonte internet)

Na plataforma Arduino foi desenvolvido o código Firmware de controle do sistema posicionador, que gera os sinais de comando nos motores, de maneira ordenada, afim de garantir a posição final do sensor, através de funções de rotinas programadas em linguagem C, instruções como: velocidade, sentido de giro e gira/para dos motores, quais foram fundamentais para o sucesso e precisão do protótipo. A fig. 5 demonstra o fluxograma da aplicação do algoritmo de controle principal que orienta o sensor em coordenadas geométricas definidas em código CNC para a realização do mapeamento 3D do escoamento multifásico, de modo garanta uniformidade, qualidade e eficiência nos resultados das medições entregues ao final do processo:

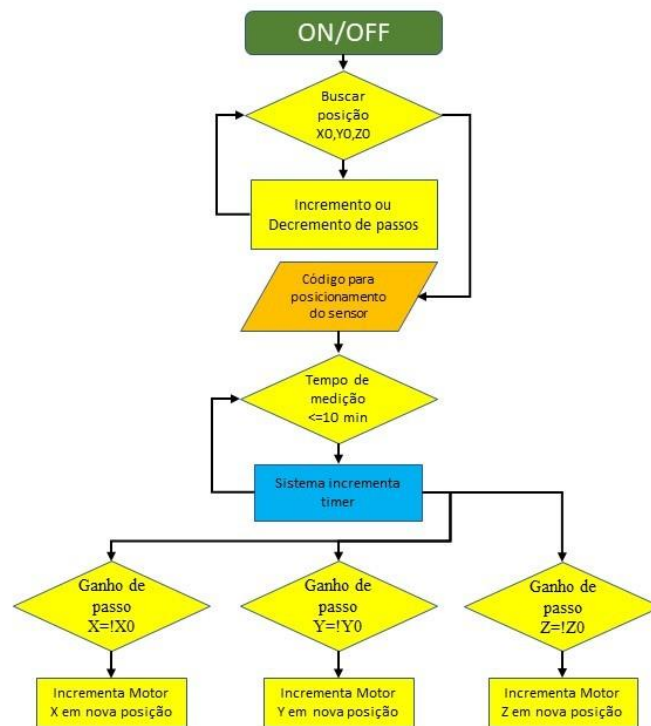


Figura 5 – Fluxograma de funções e rotinas. (próprio autor)

Por fim a interface de operação, via Software livre em um PC (CNC Control V2.4) e utilizada, para inserção do código que realiza a varredura no recipiente de estudo, possibilitando escolher a estratégia geométrica para uma medição melhor caracterizada da pesquisa, possibilitando assim se obter resultados mais satisfatórios e confiáveis, devido a perfeita condição de repetitividade precisa de ensaios.

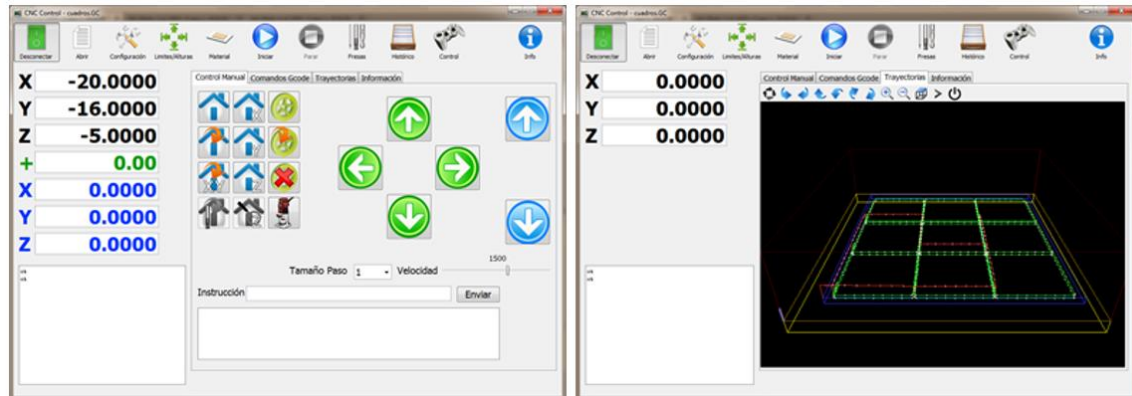


Figura 6 – Software de programação para coordenadas

O aparato experimental empregado no estudo de plumas de bolhas e feito coanda é ilustrado na figura 7. Este compreende um tanque de água, um sistema de bombeamento e injeção de ar, um posicionador cartesiano com três graus de liberdade e um sistema de monitoramento, medição e análise de dados.

Um tanque de água é feito de vidro e possui dimensões $500 \times 500 \times 600$ mm. A água utilizada nos experimentos é filtrada e constantemente renovada, com base nesta instrumentação, o ar é injetado através de um compressor de ar, passa por mangueiras de 2,07 m e diâmetro interno de quatro (4 mm) e posteriormente em equipamentos como válvula, regulador de pressão e medidor de vazão (rotâmetro), com a intenção de manter a vazão constante na saída do injetor de ar, onde este possui diâmetro de um (1mm), que se encontra posicionado na base de um aquário. Na qual este contém um volume de líquido de aproximadamente 107,5 litros, sendo que este líquido é uma mistura de água destilada com 2 g/L de acetato de sódio, que faz com que o líquido se comporte como um condutor de corrente elétrica.



Figura 7 – Aparato experimental

4. RESULTADOS

Distribuições radiais de fração de gás são apresentadas na figura 4, para as suas respectivas alturas e está exposto o comportamento dos perfis de fração de gás, na qual todos os gráficos se apresentam em 3 graus de liberdade. Quando agrupadas segundo variáveis análogas às definidas nos problemas de jatos e plumas térmicas, os gráficos gerados têm forma semelhante ao modelo do fenômeno de pluma de bolhas, mostrado na figura. Essas distribuições foram geradas a partir de duas alturas específicas do trabalho, de 10 cm e 15 cm, na qual a primeira está localizada na Zona em Desenvolvimento, onde sofre uma grande influência do injetor, por isso percebe-se um aumento da fração de gás, já que o fluxo de ar nessa região é mais intenso, já a outra se encontra na Região de Escoamento Desenvolvido, na qual sofre uma influência da injeção de ar um pouco menor do que na anterior, mas porém possui uma distribuição nos seus valores médios mais bem definidos.

É possível perceber uma grande diferença na fração de vazio em ambos os casos. Isto pode ser visualizado no gráfico referente a 10 cm acima do injetor, onde a fração de gás (ou de vazio) é mais incidente, em especial na região vermelha do gráfico. Porém, quando o sensor é posicionado somente 5 cm acima da posição anterior, ocorre uma queda drástica na fração de gás, em especial no centro do gráfico. Isto pode ser explicado pelo fato das zonas de recirculação estar influenciando no escoamento das bolhas, acarretando uma diminuição da velocidade, e também na dispersão das mesmas, diminuindo a sua concentração em uma única zona. A seguir a fig. 8 mostrando os resultados anteriormente discutidos.

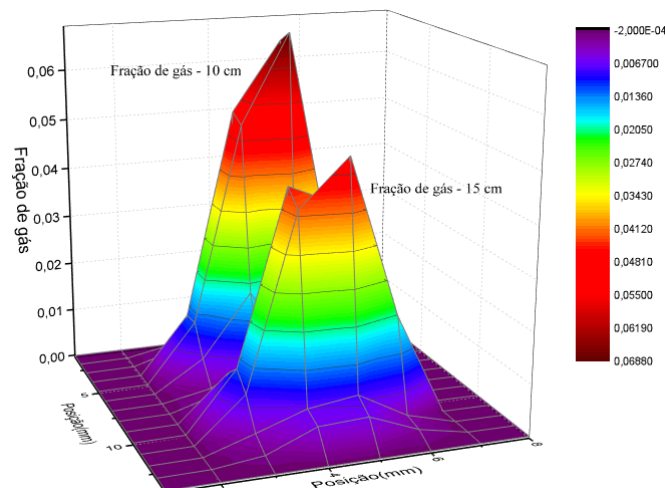


Figura 8 – Perfil de distribuição (coelho 2016)

Na figura a seguir são mostrados os perfis radiais de velocidade de subida das bolhas, cada uma de acordo com a sua respectiva altura, 10 cm e 15 cm, todas geradas acima do injetor, estando exposto o comportamento dos 2 perfis de velocidade, na qual todos os gráficos se apresentam em 3 graus de liberdade (Figura 9). Conclusões semelhantes às proferidas sobre a influência das condições de injeção na fração de gás na Região de Escoamento em desenvolvimento e desenvolvido são válidas para o caso de velocidades de subida.

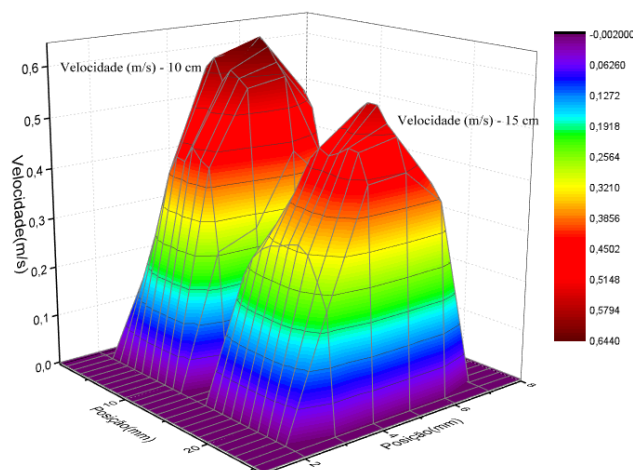


Figura 9 – Distribuição de velocidade 3d

Em comparação com os resultados obtidos na fração de vazio, o gráfico gerado através de mapeamento de uma área a 10 cm do injetor se comportou de maneira semelhante, apresentando valores elevados no centro da área mapeada, onde o sensor estava posicionado logo acima do injetor. Tais resultados podem ser explicados pelo fato do sensor estar na Região de Escoamento em Desenvolvimento, onde a turbulência é superior e as bolhas sofrem significativas alterações na velocidade ao se chocarem umas as outras. Entretanto, a queda brusca de velocidade não foi tão grande quanto a fração de vazio, quando a área mapeada passou para 15 cm acima do injetor. Isto se deve ao fato de que algumas bolhas, ainda que estando na região de escoamento desenvolvido, podem sofrer choques de outras bolhas e a influência das zonas de recirculação, evitando uma queda significativa de sua velocidade, se comparado com o caso da fração de vazio.

5. CONCLUSÃO

Os processos de fabricação utilizados na confecção do posicionador 3D nos proporcionou uma visão prática de operação de equipamentos como o torno mecânico, furadeiras de bancada e soldagem por brasagem e eletrodo revestido. Ao longo do processo, nos deparamos com situações comuns, a saber, falta de ferramentas de corte, problemas nos equipamentos, etc. e como sanar tais dificuldades. As intempéries enfrentadas nos locais de trabalho também devem ser citadas, como o calor excessivo na oficina, a pequena sala onde o posicionador se encontra, falta de ferramentas, etc.

A possibilidade de lidar com uma plataforma como o Arduino é outro ponto que merece destaque. Em um mercado cada vez mais competitivo, e com as máquinas e equipamentos sofrendo modificações e modernizações, dificilmente não iremos nos deparar com processos estudados no curso de Engenharia Mecânica sem estar interligados com outras áreas, a exemplo das Engenharias Elétrica e Automação. Logo, é necessário que o aluno procure estudar sobre os equipamentos mais modernos, visando aumentar o seu conhecimento, e tornar-se um profissional qualificado para lidar com tais questões, ainda que em sua forma básica.

Apesar de todos os problemas listados, o trabalho foi de suma importância e aprendizado, pois proporcionou a equipe desenvolver um produto, aplicando vários conhecimentos estudados no curso de Engenharia Mecânica. Lidar com diversos problemas ao longo do processo nos mostrou a dura realidade não só dos laboratórios, como também nos amadureceu para que em futuros trabalhos desenvolvidos quer seja na universidade, quer seja no mercado possamos pensar em alternativas e soluções para os desafios do cotidiano.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, João Carlos Dias Abrunhosa, **Sistema de Aquisição e Monitorização de Dados para Indústria Alimentar e Laboratorial**. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. Viseu, Portugal, 2012.

ARDUINO, Disponível em < <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>>. Acessado em 11/05/2016.

ARNOLDI, H. **The recent history of the machine tool industry and the effects of technological change**. University of Munich. Munich, Germany, 2001.

ARQUIVO DIGITAL, **EIXOS E CORDENADAS**, Disponível em http://www.mecanica.scire.coppe.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/annacarla/Cap_01.pdf> Acessado em 20/05/2016.

AUTOMAÇÃO CNC, Disponível em

<http://ctd.ifsp.edu.br/~cristiano.ferrari/images/Arquivos/automacao_cnc.pdf>. Acesso em 18/11/2017.

BARBOSA, J. R., **O Método dos Sensores Eletro-Resistivos Aplicado Pluma de Bolhas**. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.

BARROS, Wagner Rocha, **Sistema de Automação Veicular com Arduino e Android**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Adventista de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2012.

BETIOL, W. E. G., Tese: “**CONTROLE DE ACIONAMENTO POR MOTORES DE PASSO APLICADOS A IMPRESSORAS MATRICIAIS**”. Curitiba, 1989.

SOUSA R. A., BONIN C., SANTANA L. Avaliação Geométrica de Impressora 3D Utilizando Medição por Coordenadas e Escaneamento de Peça Padrão. Em: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2016, Ceará. Anais. Fortaleza: UFC, 2016.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Responsabilizo-me pela redação do trabalho de projeto de pesquisa, sob título, Posicionador 3d utilizando Arduino para mapeamento de escoamentos multifásico, atestando que todos os trechos que tenham sido transcritos de outros documentos (publicados ou não) e que não sejam de minha exclusiva autoria estão citados e identificados em fonte e ano conforme normas e padrões ABNT vigentes.

3D POSITIONER USING ARDUINO FOR MULTI-PHASE FLOW MAPPING

L. L. Pompeu, leitepompeu@gmail.com¹

M. O. Silva, mos@ufpa.br²

W. S. Fonseca, fonseca@ufpa.br³

¹Parque de ciência e Tecnologia do Guamá – Av. Perimetral, 2651-Guama, Belém – PA,

²Parque de ciência e Tecnologia do Guamá – Av. Perimetral, 2651-Guama, Belém – PA,

³Universidade Federal do Pará – R. Augusto Corrêa – Guamá, Belém – PA,

Abstract. *Multiphase flows are highly complex, once the phenomenon of bubbles is fundamental in the oil industry, given the risk posed by the escape of gases at high pressure for the exploration of oil in deep waters. The present research consists in the development of a 3D positioning system, of a sensor to acquire signals of the phenomenon of bubble feather, as two-phase flow in the purpose of characterizing it from the built prototype. In this way the precise positioning of the detection sensor, based on CNC technology, employed the use of a low-cost methodology using Arduino and free software, enabling the construction of a manufactured system, which is widely found in modern automated machines, contributing directly to the analysis of the signals coming from tests applied in laboratory. With the geometric mapping of the incidence area it was possible to position the sensor in the coordinates X, Y, Z, and thus perform scanning of the previously determined site, thus, the system can be adapted to any test pattern submitted to it, resulting in a series and measured values, stored by an acquisition card, resulting in graphics and spectra, contributing to solutions and problems encountered in the industry involving the effect of bubble feather. The results obtained were satisfactory once the prototype worked according to the desired characteristics of cost minimization and ease of operation.*

Keywords: 3D Positioner, Complex Flows, Arduino, CNC, Automation.