

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Montagem experimental de um separador submarino - VASPS

AUTORES:

Felipe Chagas Storti, Adriane B. S. Serapião, José Ricardo Pelaquim Mendes

INSTITUIÇÃO:

Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

MONTAGEM EXPERIMENTAL DE UM SEPARADOR SUBMARINO - VASPS

Abstract

The vertical annular separation and pumping system (VASPS) represents an innovative concept for subsea gas/oil separation and pumping. The VASPS is a gas/liquid-separation system associated with an ESP. After the gas/liquid mixture is separated by passing through a helical channel, the liquid phase is pumped by the ESP, and the gas is vented to the platform. This subsea phase separation reduces the bottomhole pressure required for a given production rate, thus increasing production from an individual well. This work has as objective the application of liquid level controller's pool VASPS showing its results during its operation with the software Supervisory (Elipse SCADA) systems used to manage and acquire the experimental results. It will also be described in this paper the scheme of experimental setup of the prototype VASPS, materials and equipment used for measurements, and control requirements.

Introdução

As descobertas mais recentes de reservatórios de óleo têm ocorrido mais frequentemente em alto mar e em lâminas d'água cada vez mais profundas, especialmente no Brasil, onde o volume da reserva sofreu incrementos expressivos nos anos recentes. Com estas novas descobertas são impostos novos desafios, uma vez que as condições operacionais ficam mais complexas e necessitem de novas tecnologias para a exploração dos novos campos.

Entre essas novas tecnologias, a separação submarina tem sido considerada uma das alternativas mais promissoras. O sistema de separação submarina vertical VASPS (*Vertical Annular Separation and Pumping System*) é um conceito inovador de separação submarina de duas fases e sistema de bombeamento, o que permite uma elevada capacidade de separação entre as fases líquida e gasosa, ainda no leito marinho, integrado a sistemas de bombeamento.

A tecnologia VASPS foi desenvolvida com uma parceria entre companhias internacionais de petróleo (BP, Conoco, Agip, Mobil e Baker Jardine) através de projeto multicliente e teve início depois de alguns estudos iniciais em 1990, que constituiu principalmente em testes de laboratório em uma unidade de escala para definir o modelo matemático dos campos de fluxo dentro da unidade. Entre os anos de 1993 e 1995 foi testado um protótipo de separador VASPS no campo de testes da AGIP em Trecate, na Itália, para verificar o desempenho do separador com hidrocarbonetos. Nesta fase, a instalação de uma bomba elétrica submersa foi omitida para não aumentar as dificuldades de interpretação dos resultados obtidos. Com resultados positivos desses anos, foi realizado em 1996 um estudo para verificar o comportamento do VASPS como sistema de bombeamento e da disponibilidade de tecnologias paralelas necessárias para as fases futuras, tais como o sensor de nível e controle do sistema (BENNETI *et al.*, 1997) e, em 1997, foi desenvolvida a fase pré-submarina no campo de testes da PETROBRAS, localizado em Atalaia, no Brasil. Por fim, entre os anos de 1998 e 2002, foi dada início à fase de demonstração submarina, onde o VASPS foi instalado na Bacia de Campos, no Brasil (VALE *et al.*, 2002).

Apesar desse separador ter sido introduzido com sucesso no Brasil, com aumentos significativos de produção, a tecnologia de elevação artificial presente nesse sistema (uma bomba BCS) apresentou dificuldades operacionais em seu sistema de controle devido ao acionamento imposto na bomba, que encurtou sua vida útil (MELO, 2008).

Na tentativa de contornar esse problema, Pinheiro (2009) desenvolveu um controlador que tem o objetivo de manter o nível de líquido na piscina do VASPS dentro de uma faixa de excursão permitida, que é controlado por meio da variação na frequência da bomba. Deste modo, a bomba modifica o fluxo de saída para equilibrar grandes variações do fluxo de entrada, porém evitando atuações desnecessárias. Essa preocupação é importante para prolongar a vida útil da bomba, uma vez que para a troca da bomba é uma operação muito cara. Além da compra de uma bomba nova, o preço do aluguel das sondas capazes de efetuar este trabalho é muito alto e a produção dos poços ligados ao VASPS fica parada enquanto a manutenção não é realizada.

Portanto, este trabalho focaliza o controle de nível de líquido da piscina do VASPS, mostrando seus resultados durante o seu funcionamento junto com o software Supervisório (Elipse SCADA), utilizado para gerenciar e adquirir resultados do processo experimental. Também são descritos neste trabalho o esquema da montagem experimental do protótipo VASPS, os materiais e os equipamentos de medições utilizados, e os requisitos de controle.

Montagem Experimental

O VASPS é constituído de uma estrutura de aproximadamente 8 m de altura, composto pela câmara de expansão, helicóide de separação e a piscina, conforme mostrado na Figura 1. Na câmara de expansão ocorre a separação primária, onde a maior parte do gás é separado. A separação secundária ocorre no helicóide de separação, onde todo o gás restante sofre separação centrífuga e penetra na tubulação central por meio de pequenos orifícios na parede interna. Por fim, a piscina é responsável pela separação terciária, onde uma pequena quantidade de gás ainda se separa por gravidade e emana na tubulação central.

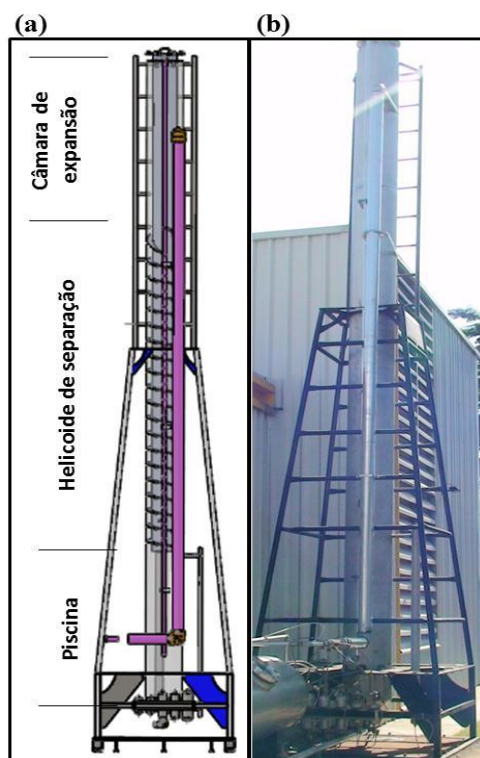


Figura 1 – (a) Esquema do VASPS, (b) Foto do VASPS.

As condições de operação do separador submarino VASPS foram realizadas no Laboratório Kelsen Valente Serra (LABPETRO) do Departamento de Engenharia de Petróleo da UNICAMP, com o principal objetivo de testar o controlador de nível da piscina do VASP.

Um circuito foi montado com uma bomba injetora com potência de 7,5 hp e três estágios. Outra bomba de saída de 5 hp de potência com dois estágios foi utilizada para esvaziar a piscina do VASPS para um tanque com capacidade de armazenamento de 2000 litros, como mostrado na Figura 2. Em cada uma das bombas foi instalado um inversor de frequência para que fosse possível variar a velocidade de ambas as bombas, sendo que na bomba de saída foi acoplado um amperímetro.

Também foram instalados dois medidores de vazão de líquido com sensor do tipo turbina, sendo um na entrada e outro na saída do VASPS, como mostra a Figura 2. A injeção de bolhas de ar no sistema foi feita com o uso de um gerador de golfadas, composto por cinco reservatórios de ar, totalizando 9 litros de capacidade, conforme a Figura 2. Os reservatórios de ar são controlados por válvulas solenóide e alimentados por um compressor com uma tubulação para injeção de ar de, no máximo, 9 bar de pressão. O ar separado pelo VASPS foi quantificado por um medidor de vazão de ar, instalado na tubulação de saída de ar do separador. Cinco medidores de pressão foram instalados nos locais indicados no esquema da Figura 2. Por fim, o nível da piscina foi controlado por um medidor de nível do tipo haste.

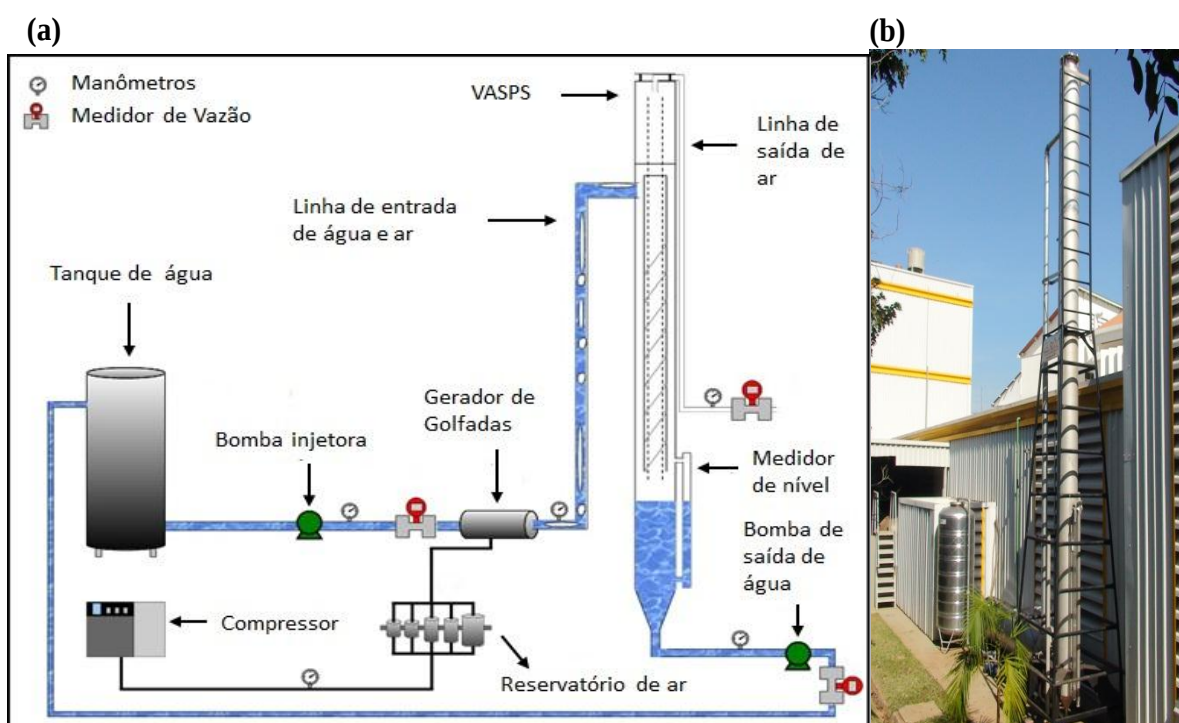


Figura 2 – (a) Esquema geral do aparato experimental instalado; (b) Visão geral (foto) da montagem experimental.

Sistema e Aquisição de Dados

Todos os processos envolvidos no funcionamento do protótipo são realizados através de um controlador lógico programável (CLP) conectado a um computador. Para o controle e o gerenciamento de todo o processo foi instalado o software Supervisório Elipse SCADA (*Supervisory, Control, and Data Acquisition System*), onde a partida (*start*) e a parada (*stop*) do equipamento são realizadas diretamente no software, bem como a configuração dos parâmetros para realizar os experimentos.

Com o programa Supervisório é possível alterar: as frequências das bombas de entrada e de saída, o volume de ar que será injetado (0 a 9 litros) para gerar golfadas a cada passo de tempo (que pode ser definido pelo usuário); e, por fim, pode-se ligar ou desligar o controlador de nível de líquido na piscina.

A aquisição dos dados gerados no equipamento em funcionamento é realizada através do próprio Supervisório. A Figura 3 ilustra a interface com o usuário do programa Supervisório. Para acionar o controlador de nível de água da piscina do separador VASPS deve-se selecionar o botão “Controle-Manual”, onde este mudará para “Controle-Auto”, após enchimento do reservatório, fazendo com que o controlador atue na frequência da bomba 2 de saída para manter automaticamente o nível da piscina dentro dos limiares adequados. Para desligar é o mesmo procedimento, porém ao contrário. Este procedimento pode ser efetuado a qualquer momento durante o funcionamento do sistema.

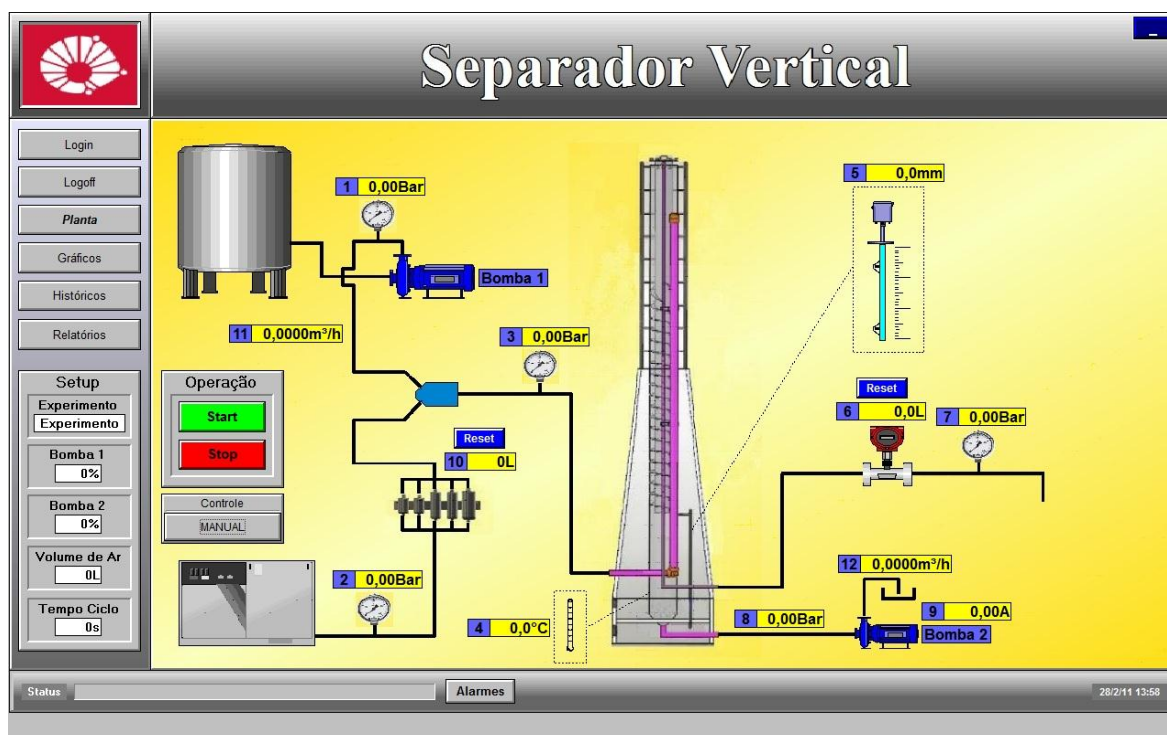


Figura 3 – Tela da planta de processo do Supervisório.

Requisitos do Sistema de Controle

No sistema de separação e bombeio (VASPS) em estudo, o sistema de controle do separador vertical deve gerar sinal para a bomba de saída para controlar o nível de líquido, evitando que ele atinja valores muito baixos que poderiam danificar a bomba ou valores muito altos que reduziriam a eficiência da separação líquido/gás. O sinal de controle visa primordialmente solicitar a bomba o mínimo possível de esforço para evitar o seu desgaste e falhas prematuras, o que ocasionaria em um cenário real a necessidade de intervenção no poço para a troca da bomba. Esta situação deve ser evitada ao máximo, pois o custo de alocação de sondas marítimas para operação submarina é extremamente alto e a ocorrência frequente deste evento tornaria economicamente inviável a manutenção da atividade produtiva do poço.

Assim, para atingir tais objetivos de controle, o controlador proposto em Pinheiro (2009) foi implementado junto ao Supervisório para atuar sobre o protótipo do vaso separador. Neste controle, a variável controlada (frequência da bomba de saída) deve manter-se dentro de uma faixa de estabilidade definida entre um limite inferior (mínimo) e um limite superior (máximo), cujo nível máximo admitido na piscina representa o limiar para o abaixamento da eficiência de separação de bolhas no helicóide, o que alimentaria a bomba com uma fração de gás muito alta no fluido, e cujo nível mínimo na piscina é determinado pela altura física da admissão da bomba, que não deve receber gás já separado.

A Figura 4 ilustra um comportamento hipotético de como o controlador deve atuar para atender aos requisitos de controle, permitindo a flutuação do nível dentro de uma faixa de trabalho definida entre dois limites.

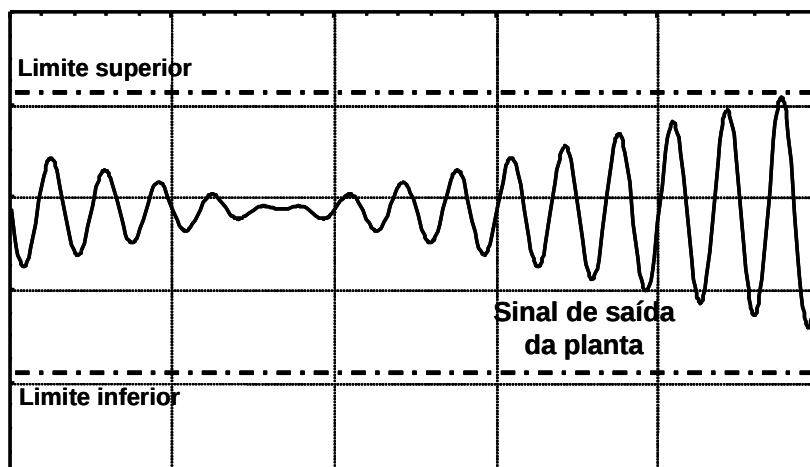


Figura 4 – Exemplo de comportamento da variável controlada (nível) com a abordagem de controle proposta.

Testes Preliminares

Os testes iniciaram-se com o enchimento da piscina do VASPS até a altura de 1,7 m. Após atingir esta marca, acionou-se o sistema de controle automático, com a bomba partindo em 28 Hz. O sinal de entrada do VASPS (mistura água/ar) usado no experimento simulou a produção de um poço com golfada severa. O sinal foi gerado com uma vazão de água de 10,1 m³/h e um volume de ar injetado de 9 litros, a cada tempo de 5 segundos em um tempo de 18 min de controle do sistema.

O controlador de nível atua no sistema de separação por meio do balanço de vazão de líquido, que é igual à vazão de entrada menos a vazão de saída do VASPS, com a finalidade de manter o nível de água na piscina entre os valores de 1,7 m a 2,0 m de altura. O controle foi acionado pelo Supervisório em um tempo de amostragem de 1 s. A Figura 5 mostra um gráfico de linha do nível de líquido e do balanço de vazão em função do tempo, onde se pode observar que à medida que o balanço de vazão é positivo, o nível de água aumenta e vice-versa. Esse não alinhamento entre os picos ocorre devido ao tempo de residência do VASPS, que é o tempo que o líquido demora a percorrer o espaço entre o medidor de vazão da entrada até a piscina do separador.

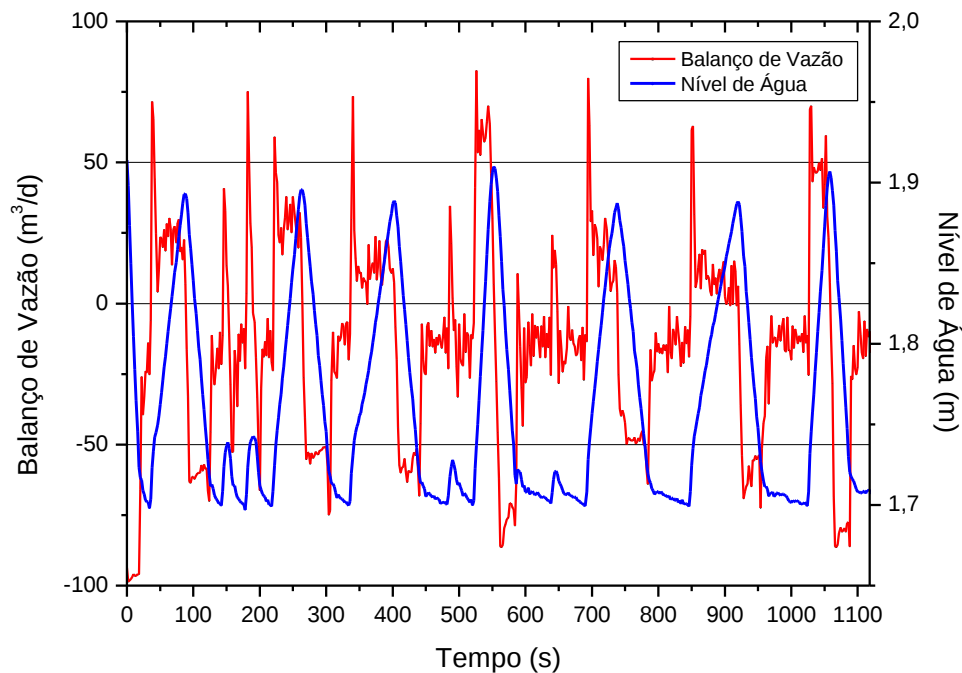


Figura 5 – Gráfico de linha do nível de água e balanço de vazão em função do tempo (com golfadas).

Para analisar a frequência da bomba de saída, foi feito um gráfico da frequência da bomba e do nível de água em função do tempo, mostrado na Figura 6. Pode-se observar nesse gráfico que quando o nível de água aproxima-se do valor de 2 m de altura o controlador automaticamente faz com que a frequência da bomba de saída aumente para que a piscina do VASPS comece a esvaziar até o valor de 1,7 m, que foi previamente definido como o limiar mínimo. Foi observado também que o controlador acionou a bomba de saída várias vezes, a fim de manter o nível da piscina dentro da faixa de operação. Devido ao fato do protótipo ser um sistema fabricado em escala muito menor, comparado com as dimensões do modelo utilizado em campo, e como o medidor de nível da piscina mede de 1,6 m a 2,2 m, a área de condições seguras é muito pequena, pois o intervalo do nível de água selecionado foi de 1,7 m a 2 m para que fosse possível visualizar quando os níveis máximo e mínimo da piscina fossem ultrapassados. Assim, em virtude das pequenas dimensões do protótipo, o número alto de acionamentos da bomba é aceitável. Por outro lado, o comportamento da planta ocorreu dentro dos requisitos esperados, validando o sistema de controle de nível proposto.

Vale salientar que diversos outros testes foram realizados com esta montagem experimental, incluindo alterações nos parâmetros de geração do sinal de entrada e de parâmetros de atuação do controlador. Entretanto, apenas um único teste é apresentado neste trabalho, pois os comportamentos anotados nos demais testes corroboram com os resultados aqui apresentados.

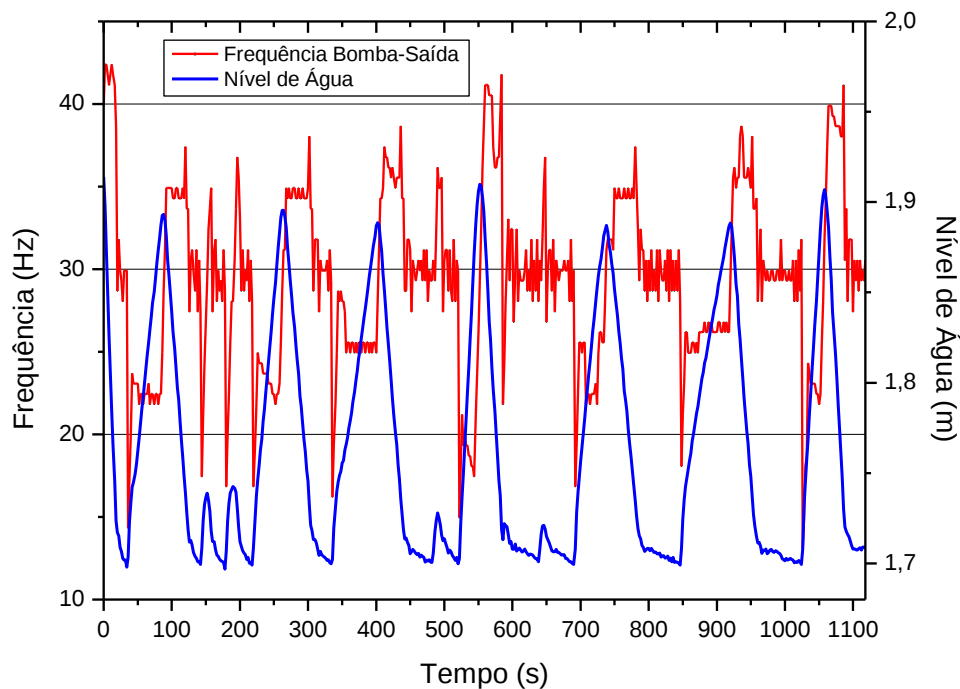


Figura 6 – Gráfico da frequência da bomba de saída e do nível de água em função do tempo (com golfadas).

Conclusões

Este trabalho mostrou que o controlador de nível atuou de forma adequada, mantendo o nível de água da piscina do separador VASPS, ou seja, o controlador manteve o nível dentro de uma faixa de excursão permitida variando a frequência da bomba de saída.

Foi observado na Figura 6 que o controlador acionou a bomba de saída várias vezes para manter o nível da piscina, o que não é o objetivo principal do controlador, que é de manter o nível com o menor número possível de acionamento da bomba. Como comentado anteriormente, apenas enfatizando, tal fato ocorreu por ser um sistema fabricado em escala muito menor comparada com as dimensões do modelo utilizado em campo. Além disso, como o medidor de nível da piscina mede de 1,6 m a 2,2 m, a área de condições seguras é muito pequena, pois o intervalo do nível de água podia variar apenas numa área de trabalho de 0,3 m (limite inferior = 1,7 m e limite superior = 2,0 m) para que fosse possível visualizar quando os níveis mínimo e máximo da piscina fossem ultrapassados. Áreas de trabalho mais amplas certamente propiciam um controle mais suave, menos oscilante e com menor quantidade de acionamentos da bomba.

Outro ponto a se considerar é que o experimento aqui apresentado considerou uma situação bastante crítica do sistema de produção, onde as golfadas apresentaram-se em alta intensidade. Em cenários mais bem comportados do sinal de entrada, o controle também é menos exigido, diminuindo os acionamentos da bomba.

O próximo passo de estudo será a medição da eficiência do separador VASPS, realizando algumas modificações na montagem e a compra de novos medidores.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a PETROBRAS, CAPES, CEPETRO, LABPETRO, o Departamento de Engenharia de Petróleo e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo FAPESP N° 10/14748-9) pelo suporte para a realização desse trabalho.

Referências Bibliográficas

BENETTI, M. and VILLA, M.: “*Field tests on VASPS separation and pumping system,*” paper OTC 8449 presented at the 1997 Offshore Technology Conference (OTC), Houston, May 1997.

MELO, André Veras. “*Desenvolvimento de Controladores Inteligentes para o Sistema VASPS*”. 2008. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Departamento de Engenharia de Petróleo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PINHEIRO, Nathalie Carvalho. “*Controle Impulsional para Limitação da Variação de Nível com Minimização das Atuações*”. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VALE, O. R., GARCIA, J. E., VILLA, M.: “*VASPS Installation and Operation at Campos Basin*” paper OTC 14003 presented at the 2002 Offshore Technology Conference (OTC), Houston, May 2002.