



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

PROPOSTAS DE MELHORIA NO PROGRAMA COMPUTACIONAL EM MATLAB DO MODELO DINÂMICO PARA UMA TUBULAÇÃO-SEPARADOR SOB GOLFADAS¹

Alisson Vercelino Beerbaum², Airam Tereza Zago Romcy Sausen³.

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido junto ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUI

² Bolsista PIBIC, Estudante do Curso de Licenciatura em Física do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias; E-mail: alisson.beerbaum@yahoo.com.br.

³ Professora do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias e Participante do Grupo de Automação Industrial e Controle - GAIC; E-mail: airam@unijui.edu.br

Resumo

A golfada caracteriza-se por fluxo severo e irregular, periódico, formado por um bloco de líquido intercalado com um volume de gás, sendo considerada uma das instabilidades mais preocupantes na produção de petróleo. Na literatura são encontradas diferentes estratégias para evitar ou reduzir os efeitos da golfada, entre elas as mais promissoras são as estratégias de controle com realimentação. Uma alternativa à aplicação de estratégias de controle consiste em fazer uso de um modelo matemático do processo. Neste contexto, os principais objetivos deste trabalho são estudar o modelo dinâmico simplificado sob golfadas, formado por um sistema de 5 Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs), não-lineares, acopladas, 6 parâmetros empíricos, e mais de 40 equações internas, geométricas, e de transporte; e propor melhorias no programa computacional do modelo, implementado na ferramenta computacional MATLAB, a fim de otimizar o seu tempo de simulação, que atualmente é em torno de 40/50 minutos. A partir das modificações realizadas observou-se uma diminuição significativa no tempo de execução do novo programa, ou seja, o mesmo demorou em torno de 5 segundos para apresentar os resultados das simulações.

Palavras-chave: Golfada; Petróleo; Modelagem Matemática.

Introdução

Nos últimos anos, devido à descoberta de poços de petróleo em alto mar, as atividades de produção estão sendo expandidas para águas cada vez mais profundas, utilizando para isso tubulações que medem vários quilômetros de comprimento, que possuem diferentes diâmetros e estão sujeitas a taxas de fluxo na sua entrada bastante variadas. Em indústrias de produção de petróleo, as plataformas estão conectadas aos poços no fundo do oceano através destas tubulações com diferentes configurações, apresentando seções horizontais, com pontos de altos e baixos topográficos, e seções verticais, denominadas de tubulação ascendente ou *riser*, até a plataforma.

Neste trabalho será abordado sobre a implementação e simulação de um modelo matemático que descreve a golfada que ocorre na tubulação ascendente [1-6], cujo



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

comportamento cíclico é apresentado na Figura 1, sendo dividido em quatro fases: (1) **formação**, a golfada inicia-se com baixa pressão e velocidade dos fluidos na seção de alimentação da tubulação, então em um determinado momento o líquido bloqueia o fluxo de gás no ponto-baixo; (2) **produção**, enquanto a quantidade de líquido na tubulação ascendente aumenta mais rapidamente que a variação da pressão entre o topo e a seção de alimentação, a golfada continua crescendo; (3) **explosão**, ocorre quando a pressão do gás na seção de alimentação torna-se maior que o peso da coluna de líquido na tubulação ascendente, então, a quantidade de líquido presente na tubulação é enviada para fora do sistema; (4) **retorno**, após uma grande quantidade de líquido e de gás deixarem o sistema, a pressão na seção de alimentação diminui, então o líquido começa a acumular no ponto-baixo reiniciando o ciclo.

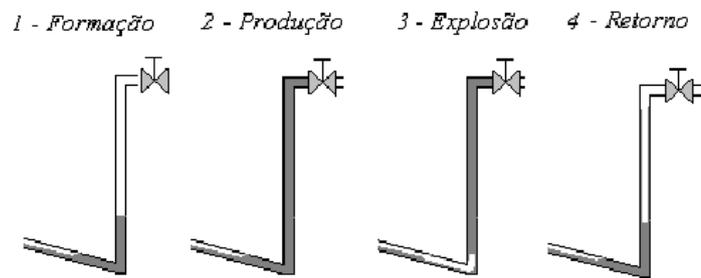


Figura 1: descrição do ciclo da golfada na tubulação ascendente.

Em *Sausen* [4,5] é apresentado um modelo dinâmico para um sistema tubulação-separador sobre regime de fluxo com golfadas formado por uma sistema de 5 Equações Diferenciais Ordinárias (EDO's), não lineares, acopladas, 6 parâmetros empíricos e mais de 40 equações internas, geométricas e de transporte, a partir daqui denominado modelo de *Sausen*. Através de resultados de simulações e análise da sensibilidade do modelo [4] é mostrado que o mesmo consiste em um ambiente adequado para testes de diferentes estratégias de controle com realimentação que podem ser aplicadas tanto nas válvulas do topo da tubulação ascendente, quanto nas válvulas do separador de produção, ou no sistema de forma integrada.

Este modelo dinâmico foi implementado na ferramenta computacional MATLAB. Por possuir um número grande de equações, mais de 40, e por seu sistema de EDO's ser acoplado a outras equações e resolvido através de um método numérico com muitas iterações, observa-se que seu desempenho computacional é lento, ou seja, o MATLAB demora em torno de 40/50 minutos para executar o programa. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor melhorias no desempenho computacional do programa do modelo, desenvolvido em MATLAB, a fim diminuir o tempo de execução do mesmo.

Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica do problema da golfada na produção de petróleo. Em seguida foi necessário o



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

entendimento do modelo de *Sausen*, composto pelas equações (1)-(3), que descrevem a dinâmica da tubulação, e pelas equações (4)-(5), que descrevem a dinâmica do separador

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

onde: $L(t)$ é a variação da massa de líquido da tubulação em relação ao tempo, (kg/s); $G_1(t)$ é a variação da massa de gás na seção de alimentação da tubulação em relação ao tempo, (kg/s); $G_2(t)$ é a variação da massa de gás no topo da tubulação em relação ao tempo, (kg/s); (t) é a variação do nível de líquido no separador, em relação ao tempo, (m/s); $G_1(t)$ é a variação da pressão do gás no separador, em relação ao tempo, (N/m²s); $M_L(t)$ é a massa de líquido no ponto-baixo da tubulação, (kg); $M_{G1}(t)$ é a massa de gás na seção de alimentação da tubulação, (kg); $M_{G2}(t)$ é a massa de gás no topo da tubulação ascendente, (kg); $N(t)$ é o nível de líquido dentro do separador, (m); $P_{G1}(t)$ é a pressão do gás dentro do separador e a pressão após a válvula Z, (N/m²); \dot{V}_L é o fluxo mássico de líquido que entra na tubulação, (kg/s); \dot{V}_G é o fluxo mássico de gás que entra na tubulação, (kg/s); \dot{V}_L é o fluxo mássico de líquido que sai da tubulação através da válvula Z e entra no separador, (kg/s); \dot{V}_G é o fluxo mássico de gás que sai da tubulação através da válvula Z e entra no separador, (kg/s); \dot{V}_G é o fluxo mássico de gás interno na tubulação que flui do volume V_{G1} para o volume $V_{G2}(t)$, (kg/s); \dot{V}_L é o fluxo mássico de líquido que sai através da válvula V do separador, (kg/s); \dot{V}_G é o fluxo mássico de gás que sai da válvula V do separador, (kg/s); r é o raio do separador, (m); H_4 é o comprimento do separador, (m); ρ é a densidade de líquido, (kg/m³); V_S é o volume do separador, (m³); $V_{LS}(t)$ o volume de líquido no separador, (m³); R é a constante universal dos gases ideais (8314; T é a temperatura no sistema, (K); MW_G é o peso molecular do gás, (kg/kmol). Os detalhes da modelagem matemática do modelo de *Sausen*, suas equações internas, de transporte e geométricas podem ser encontradas em [4].

Posteriormente, foi estudada a implementação do programa computacional em Matlab do modelo de *Sausen*, onde foi constatado que seu tempo de simulação está em torno de 40/50 minutos, dependendo do caso considerado: sem golfada, com golfada moderada, ou golfada severa. Então, a partir do trabalho de Portella [3], que utiliza um modelo matemático semelhante ao modelo de *Sausen* para a tubulação, foi observado que as variáveis \dot{V}_L , \dot{V}_G , $N(t)$, e $P_{G1}(t)$ são calculadas utilizando um sistema formado por 5 equações acopladas as equações diferenciais

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

ordinárias principais, este fato acarreta uma certa lentidão na obtenção das soluções do modelo.

Neste contexto, para solucionar este inconveniente é proposta a seguinte modificação nas equações do modelo, ou seja, é escrito como mais uma equação diferencial a partir da seguinte transformação de variáveis

$$\begin{aligned} & \text{(massa de líquido)} \\ & \text{(massa de gás na tubulação horizontal)} \\ & \text{(massa de gás no topo da tubulação ascendente)} \\ & \text{(altura de líquido no ponto-baixo da tubulação)}. \end{aligned}$$

Por fim, as modificações realizadas foram efetuadas no programa computacional em Matlab, gerando um novo código para simulação, cujos resultados são apresentados na próxima seção.

Resultados e Discussões

Segue abaixo o resultado de uma simulação, com abertura da válvula no topo da tubulação ascendente igual a $z = 25\%$, considerando as alterações propostas no programa computacional do modelo de *Sausen*.

Na Figura 3.1 são apresentados os fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação e entram no separador. Na Figura 3.2 são apresentadas as variações do nível de líquido dentro do separador. E por fim, na Figura 3.3 são apresentados os fluxos mássicos de líquido e gás que saem do separador. Conforme os resultados encontrados, em todos os casos simulados, observa-se um regime de fluxo oscilatório e periódico que caracteriza o regime de fluxo com golfadas no sistema, sendo que nestas simulações o Matlab apresentou os resultados em um tempo de execução em torno de 5 segundos, logo houve uma melhora significativa no tempo de execução do programa.

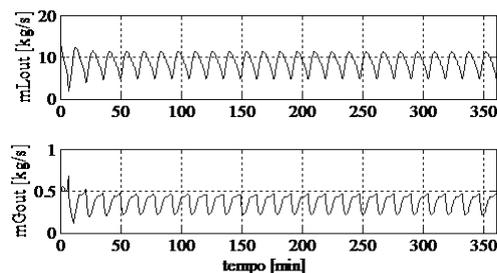
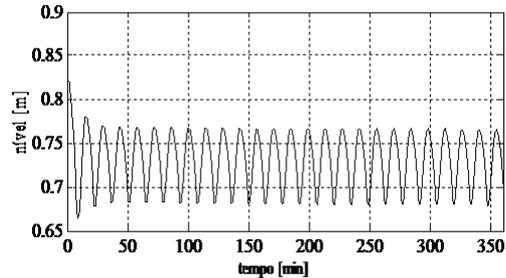


Figura 3.1: Variações dos fluxos mássicos de líquido e de gás que saem da tubulação e entram no separador.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica



Na Figura 3.2: Variação de nível de líquido $N(t)$ dentro do vaso separador.

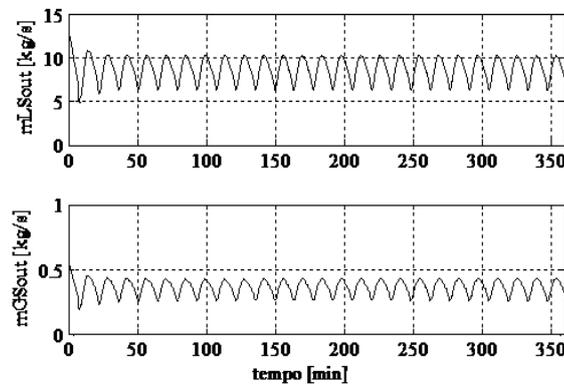


Figura 3.3: Variações dos fluxos mássicos de líquido e de gás que saem do separador

Conclusões

Neste trabalho foi abordado sobre o regime de fluxo com golfadas que ocorrem em indústrias de petróleo. Em um primeiro momento foi realizada uma revisão bibliográfica, onde a golfada na tubulação ascendente foi descrita e caracterizada, também foi estudado o modelo de *Sausen* para uma tubulação-separador sob regime de fluxo com golfadas, que descreve este tipo de fluxo no sistema. Foram realizados o entendimento de suas equações, bem como o estudo do programa em Matlab desenvolvido para simulação do modelo. Cabe destacar que a implementação do modelo original demora em torno de 40/50 minutos para apresentar os resultados das simulações.

Em um segundo momento, foram propostas simplificações nas equações diferenciais ordinárias do modelo original. A partir da implementação das modificações propostas no programa em MatLab observou-se uma diminuição significativa no tempo de execução do novo programa, ou seja, o mesmo demorou em torno de 5 segundos para apresentar os resultados das simulações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo oferecimento da Bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul por ceder sua estrutura laboratorial necessária a execução deste projeto.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Referências

- [1] Haandrikman, G., Seelen, R., Henkes, R., Vreenegoor, R., “Slug control in flowline/riser systems,” in Proceedings 2nd International Conference: Latest Advances in Offshore Processing, Aberdeen, UK, 1999, pp. 31-42.
- [2] Hollenberg, J., Wolf, S., Meiring, W., “A method to suppress severe slugging in flow line riser systems,” in Proceedings 7th Int. Conf. on Multiphase Technology Conference, 1995, pp. 88-103.
- [3] Portella, R., “Modelagem dinâmica de separador bifásico com alimentação por escoamento em regime de golfadas,” Dissertação de Mestrado, 2008, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] Sausen, A., “Modelagem matemática de um sistema tubulação – separador sob regime de fluxo com golfadas e controle de nível considerando um algoritmo de erro – quadrático,” Tese de Doutorado, 2009, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.
- [5] Sausen, A., Barros, P. R., “Modelo dinâmico simplificado para um sistema encanamento-riser-separador considerando um regime de fluxo com golfadas,” Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, 2008, PP. 341-350.
- [6] Storkaas, E., “Stabilizing control and controllability: control solutions to avoid slug flow in pipeline – riser systems,” PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, June 2005.