

VALIDAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA DE TÍTULO E EFICIÊNCIA EM GERADORES DE VAPOR PARA INJEÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO

MATHEMATICAL MODEL FOR VALIDATION OF TITLE ESTIMATE AND EFFICIENCY IN STEAM GENERATORS FOR INJECTION IN OIL WELLS

VALBÉRIO GONZAGA DE ARAÚJO

Professor no IFRN – MACAU. E-mail: valberio@ifrn.br

Envio em: Junho de 2015
Aceite em: Junho de 2015

RESUMO

A produção de petróleo em campos maduros e o aumento dos fatores de produtividade passam na maioria dos casos pelo uso de sistemas de recuperação secundários ou terciários. A prática da injeção de vapor é um dos usos mais comuns, visto seu efeito misto no aumento da pressão e diminuição da viscosidade dos fluidos constantes nos reservatórios. Entretanto, esse tipo de processo aumenta o custo operacional, sobretudo pelo descontrole das variáveis críticas do processo, a saber: eficiência e título do vapor. Assim sendo, Oliveira (2014) desenvolveu um balanço térmico que culminou com uma proposta de um modelo conjugado para estimativa dos parâmetros operacionais, a partir de medidas simples e diretas de pressão e temperatura nos equipamentos de geração de vapor. Neste trabalho, objetiva-se validar os resultados desse modelo, mediante o comparativo com uma série histórica de monitoração de quatro meses de um gerador de vapor convencional, de 25 milhões de BTU. Para isso, foram coletados dados relativos a pressão, temperatura, vazão, título e eficiência térmica desse equipamento, em operação numa unidade de processo de produção terrestre de petróleo, localizada no sudeste brasileiro. Para a validação dos dados serão aplicados modelos estocásticos, mediante aplicação da metodologia Monte Carlo, para obtenção do grau de significância estatística desses. Tendo-se ao nível de significância de 95% a aprovação deste. Espera-se, com essa validação, que esse modelo possa ser incorporado nas rotinas de cálculos dos controladores lógicos desses equipamentos, garantindo uma maior confiabilidade nos resultados advindos das medidas indiretas de outros instrumentos.

Palavras-chave: Vapor. Título. Eficiência.

ABSTRACT

Oil production in mature fields and increase productivity factors shall in most cases the use of secondary or tertiary recovery systems. The practice of steam injection is one of the most common uses, as its mixed effect on increasing the pressure and decreasing the viscosity of the fluid contained in the reservoirs. However, this type of process increases operating costs, mainly by the lack of critical process variables, namely: efficiency and title of steam. Therefore, Oliveira (2014) developed a heat balance that culminated with a proposal of a model for combined estimate of operating parameters, from simple and direct measurements of pressure and temperature in the steam generation equipment. In this work, we aim to validate the results of this model, by comparison with a historical series of four-month monitoring of a conventional steam generator, 25 million BTU. For this, data on pressure, temperature, flow, capacity and thermal efficiency of this equipment in operation on a unit of land oil production process, located in southeastern Brazil were collected. For data validation, stochastic models will be applied, by applying the Monte Carlo method, for the degree of statistical significance of these. It is hoped that this validation of this model can be embedded routines calculations logic controllers such equipment, ensuring greater reliability for the coming of the indirect results of other instruments.

Keywords: Steam. Title. Efficiency.

1- INTRODUÇÃO

O vapor de água tem sido usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde a era inicial do desenvolvimento industrial. Pelo fato da água ser o composto mais abundante da terra e ser de fácil obtenção com baixo custo, tem permitido o uso do vapor para geração de energia. Na forma de vapor tem alto conteúdo de energia por unidade de massa e volume. As relações temperatura e pressão de saturação permitem utilização como fonte de calor a temperaturas médias e de larga utilização industrial com pressões de trabalho perfeitamente toleráveis pela tecnologia disponível, já há muito tempo. Toda indústria de processo químico tem vapor como principal fonte de aquecimento: reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores, secadores e inúmeros processos e equipamentos térmicos. Mesmo outros setores industriais, como metalúrgico, metal-mecânico, eletrônica, etc., podem se utilizar de vapor como fonte de aquecimentos de diversos processos.

Segundo Nogueira (2005), "O uso de vapor de água como vetor de transporte de energia térmica traz grandes vantagens, que explicam sua grande disseminação, pois a água é uma substância facilmente disponível, pouco agressiva quimicamente e com grande capacidade de transportar energia".

Na indústria do petróleo, o vapor tem sido largamente utilizado não só como uma fonte geradora de energia, mas principalmente como um dos métodos especiais de extração de petróleo.

O Balanço Energético Nacional, com dados de 2002, estimou preliminarmente que 54% da demanda total de energia na indústria correspondendo a aproximadamente 20% da demanda total de energia do país, cerca de 35 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, estão associados ao vapor (NOGUEIRA, 2005).

No nosso planeta há reservas com cerca de 400 bilhões de barris de óleo pesado e areias betuminosas que não são extraídas por métodos convencionais de produção de petróleo (OLIVEIRA, 2014).

Do petróleo existente nos reservatórios, é possível recuperar na prática, só uma fração deste, ficando a maior parte do petróleo dentro da jazida. Isto devido ao mecanismo ainda pouco eficiente de recuperação de petróleo (BARILLAS, 2005). Por esse motivo, existe hoje uma crescente aplicação dos métodos de recuperação de petróleo.

Existem os métodos convencionais de recuperação de petróleo, que consistem em técnicas para se manter a produção de fluidos dos reservatórios mantida por meio de injeção para dentro do poço de água, hidrocarbonetos ou gás para sustentar a pressão dentro do reservatório

que permita o deslocamento dos fluidos para os poços produtores.

Existem os métodos especiais de recuperação, que consistem em técnicas que permitam aumentar a vida útil do reservatório e é utilizado quando os métodos convencionais já não são mais recomendados. Segundo Barillas (2005), estes processos envolvem um agente externo que pode ajudar a diminuir a viscosidade do petróleo, melhorar os canais porosos, a diminuir a tensão interfacial entre os fluidos ou aumentar a mobilidade do óleo que vai ser produzido, e pode abranger métodos térmicos (injeção de vapor ou combustão in situ), químicos, (injeção de polímeros), miscíveis (injeção de CO₂) ou microbiológicos.

Existem reservatórios com óleos pesados ou extrapesados que têm uma viscosidade muito alta. Para reservatórios contendo óleo com essa característica não se recomenda a utilização de métodos convencionais de recuperação. Essa recomendação deve-se pelo fato da alta viscosidade do óleo dificultar o movimento do óleo dentro do meio poroso deixando passar só o fluido injetado.

Um dos métodos especiais recomendados é os térmicos. Dentre eles, a injeção de vapor é o que mais se destaca nas suas mais variadas formas. Essa técnica para óleos pesados e viscosos facilita a exploração, sabendo que para a sua extração é necessário aumentar a temperatura para que a viscosidade diminua e a vazão aumente.

A técnica de injeção de vapor pode ser realizada de duas formas: cíclica ou contínua; sendo estas muitas vezes aplicadas de forma alternada no mesmo reservatório. A injeção cíclica é realizada com muita frequência pelo mesmo poço produtor, enquanto no geral, a injeção contínua é aplicada em forma de malhas, com poços injetores ao redor do poço produtor. As duas formas de injeção têm a mesma influência física no reservatório, quando o vapor entra em contato com o óleo, o calor transferido proporciona uma diminuição na viscosidade do óleo, aumentando sua fluidez e melhorando o escoamento do mesmo pelo reservatório até o poço produtor (OLIVEIRA, 2014).

O vapor utilizado nas técnicas de injeção é produzido por um equipamento chamado Gerador de Vapor (GV) que funciona com uma pressão superior à atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica de uma fonte qualquer.

O objetivo de um gerador de vapor consiste na transformação de água líquida em vapor, pela absorção de calor obtido a partir da queima de um combustível. Quando o calor é fornecido a uma certa massa de água à pressão constante, observa-se o aumento da temperatura da água líquida até que se inicie o processo de vaporização. A partir deste ponto não é observada mudança de temperatura até que a vaporização se complete, quando

então, qualquer transferência de calor adicional implicará no superaquecimento do vapor.

No gerador de vapor existem diversos instrumentos que são usados para controlar o mesmo, e para obter um maior rendimento térmico e com maior segurança. No entanto, não existe um dispositivo capaz de quantificar o rendimento desse gerador quando se altera as variáveis envolvidas durante seu funcionamento.

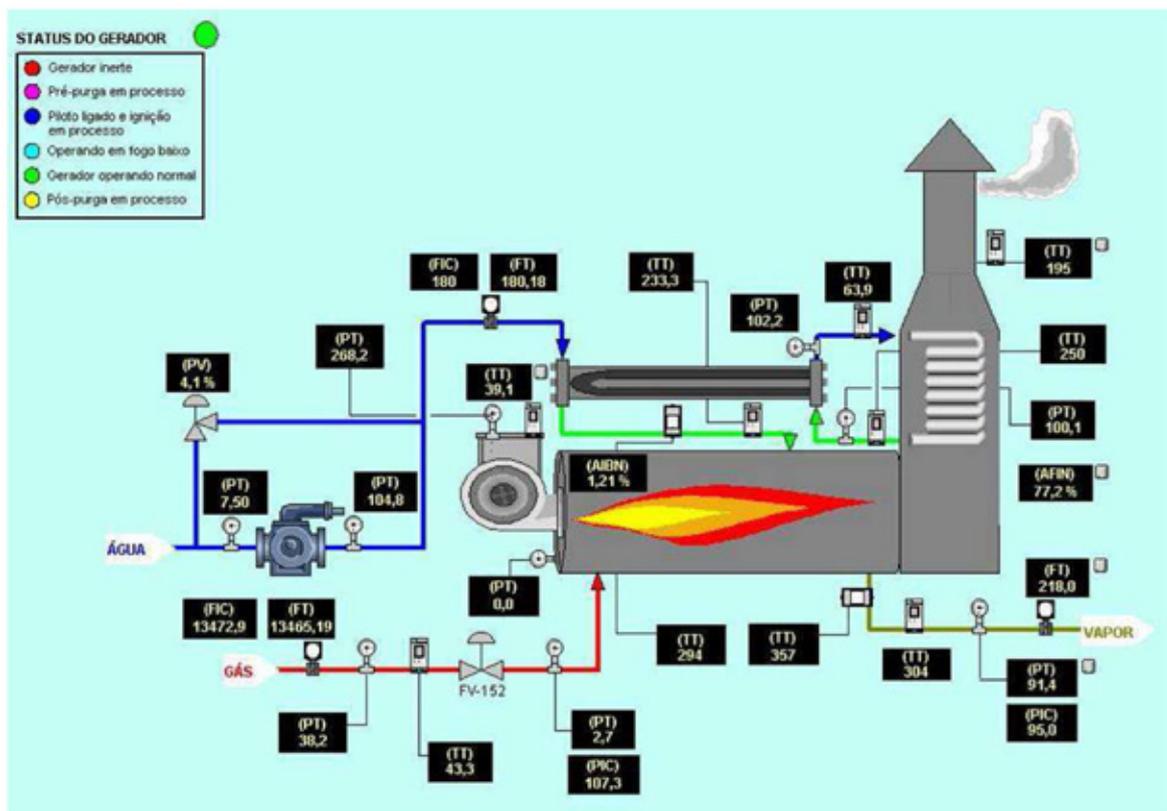
O trabalho atual tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta (simulador) que através de um modelo matemático seja capaz de quantificar os resultados de eficiência de um gerador de vapor. Para isso foi desenvolvida uma ferramenta (simulador) que através de um modelo matemático possa quantificar a eficiência e estimar o título do vapor gerado em equipamentos fixos de 50 MMBtu/h. Além de avaliar o modelo matemático desenvolvido por Oliveira (2014), para, a partir das variáveis convencionais de processo (Pressão, Temperatura e Vazão), estimar os patamares de qualidade do vapor (título) e a eficiência energética do Gerador de Vapor,

estimar as condições de erros impostos pelo algoritmo, e fazer o comparativo com uma campanha de geração de vapor, em campos de petróleo da região produtora do Espírito Santo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse trabalho é um estudo focado no desenvolvimento de um modelo matemático capaz de mensurar a eficiência de um GV. A figura abaixo é um esquemático de um gerador de vapor. Nela pode-se observar medidores de pressão, temperatura e vazão, que fazem parte do elenco de variáveis comumente manipuladas e utilizadas para o controle operacional desses equipamentos. No entanto, não há uma ferramenta que faça uso de um modelo matemático que quantifique diretamente o rendimento desse gerador quando as variáveis sofrem alteração, principalmente pela forte dependência com propriedades físico-químicas e termodinâmicas envolvidas nesses cenários.

Figura 1 - Esquemático de um Gerador de Vapor



Fonte: UNA Tecnologia Ltda.

A primeira etapa consistiu no aprimoramento de um modelo matemático para estudo dos diferentes resultados de eficiência quando se alteram algumas variáveis envolvidas no processo de geração do vapor, como por exemplo, PCI, vazão, pressão, e temperatura. Para isso foi desenvolvido um simulador que é baseado em ambientação com o desenvolvimento em Excel. Com o desenvolvimento deste modelo tem-se o objetivo de mensurar a eficiência energética de um gerador de vapor quando submetido a diferentes condições de operação, auxiliando assim no dimensionamento e aplicação do mesmo.

Na segunda etapa foram coletados dados relativos à pressão, temperatura, vazão, título, e eficiência térmica desse equipamento, em operação numa unidade de processo de produção terrestre de petróleo, localizada no sudeste brasileiro. Para validação dos dados, foram aplicados modelos estocásticos, mediante aplicação da metodologia Monte Carlo, para obtenção do grau de significância estatística desses. Espera-se com essa validação que esse modelo possa ser incorporado às rotinas de cálculos dos controladores lógicos desses equipamentos, garantindo uma maior confiabilidade nos resultados advindos das medidas indiretas de outros instrumentos.

Para esse estudo foi variado um título entre 0,6 e 0,9, onde para cada valor calculado uma entalpia a partir do *SteamTab* (Chemica Logic, 2003), além disso foi obtido um valor de entalpia da fase vapor de 2796,6 kJ/kg.

Para estabelecer a quantidade de Gás Natural que foi consumido, considerou-se o valor do PCI do Gás Natural, conforme Cartaxo (2006) onde define-se 38.690 kJ/kg.

O valor da densidade relativa do gás natural em condições estabelecidas de 20°C e 1atm, corresponde a 0,76 Kg/m³. De acordo com Felder e Rousseau (2005), o valor utilizado da entalpia da água e do vapor saturado foi encontrado na literatura. A entalpia da água líquida a 25°C é igual a 104,8 kJ.kg⁻¹ e para o vapor saturado a 17,9 MPa esse valor corresponde a 2517,78 kJ.kg⁻¹. Com isso, foi feito a sua variação, chegando a um valor de 2417,98 kJ/kg.

Para ser feito o estudo analítico do quanto de emissão foi gerado com toda a queima de todo o petróleo produzido, utilizou-se os parâmetros para o gás natural. Segun-

do Szklo (2007), a produção de óleo combustível numa refinaria de petróleo excede os 60% do volume potencial de combustíveis a serem produzidos, desta forma, para representar e estimar a geração de emissões considerou-se tal combustível como referência para essa estimativa. O modelo matemático adotado consistiu nas premissas e metodologia descritas em Oliveira (2014).

A partir dos fluxos oriundos dos instrumentos instalados no gerador de vapor, é então possível a estimativa das variáveis de título e eficiência térmica do sistema. Sendo então desenvolvido o modelo para estimativa do título e da eficiência a partir de variáveis diretas do controle de processo.

Essa rotina de cálculo foi submetida a testes, em três atividades:

- 1) Comparativo dos resultados calculados pelo modelo e os valores obtidos em 4 (quatro) meses de operação normal de um Gerador de Vapor;
- 2) Ajuste e calibração do modelo para melhorias das discrepâncias observadas durante os 4 (quatro) meses de observações;
- 3) Teste do modelo em 5 (cinco) dias de operação em um gerador de vapor com capacidade de 50 MMBtu/h, instalado no campo de Fazenda Alegre no Espírito Santo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ACOMPANHAMENTO OPERACIONAL

Durante os 4 (quatro) meses da operação de um gerador de vapor foram observadas as principais variáveis monitoradas no painel de controle deste. A interface para obtenção dos dados foi realizada pelo software PI (*Plant Information*) para intervalo regulares de tempo para 5 minutos de operação.

Em linhas gerais, os resultados da monitoração foram tratados estatisticamente para analisar os elementos para alimentação dos modelos matemáticos a serem considerados para as rotinas do cálculo nos geradores. Os resultados obtidos conforme a metodologia proposta por Calado (2005), utilizando-se o software Statística 8.0.

Tabela 1 - Resumo Estatístico dos Dados Obtidos

| | Vazão Água m ³ /h | Pressão Água kgf/cm ² | Vazão GN m ³ /d | Temperatura Vapor °C | Pressão Vapor kgf/cm ² | O2 % | Temperatura Gas °C | Vazão Vapor ton/dia | | | |
|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------|-----------------------|------------------------|------|------|------|
| Média | 4,21 | 90,33 | 4.816,14 | 295,55 | 85,78 | 2,65 | 29,09 | 200,11 | | | |
| Desvio Padrão | 0,85 | 10,49 | 1.431,97 | 23,45 | 12,25 | 1,49 | 6,49 | 28,51 | | | |
| Curtose | - | 0,85 | 9,00 | 1,28 | 82,73 | 5,23 | 4,48 | 0,07 | 0,34 | | |
| Assimetria | 0,33 | - | 2,53 | 0,27 | - | 8,29 | - | 2,11 | 2,14 | 0,78 | 0,17 |

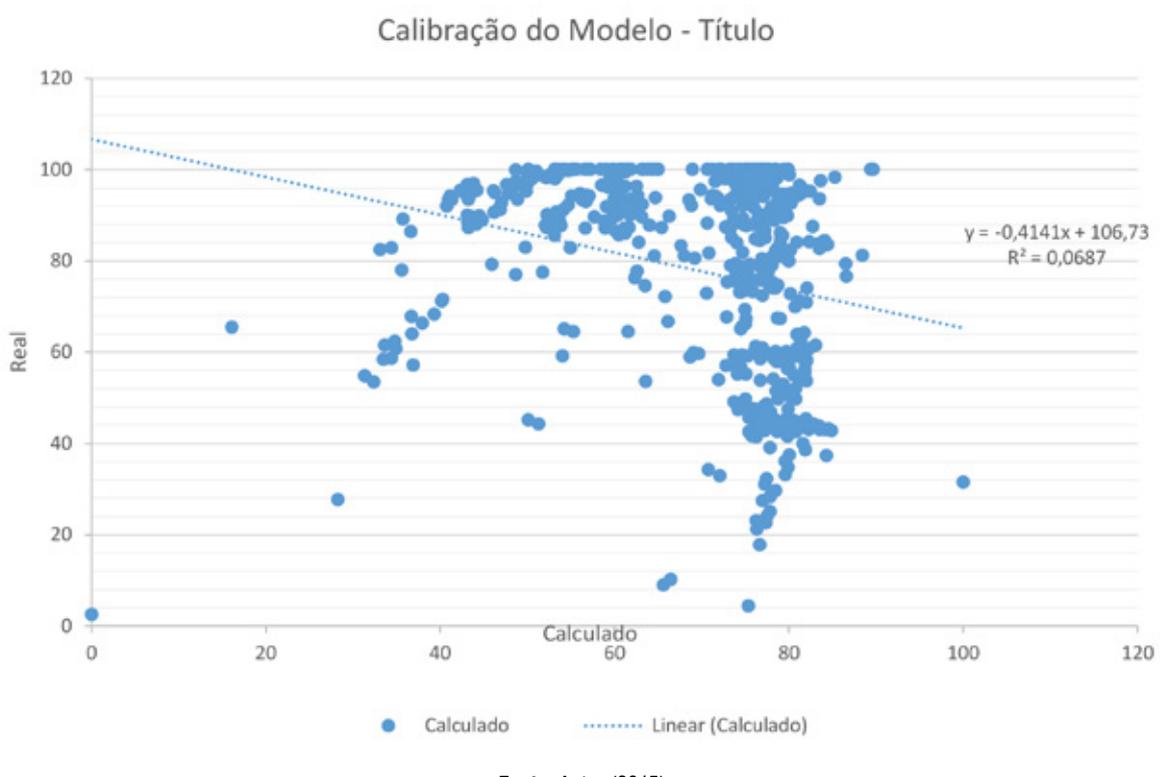
Fonte: Autor (2015)

Dos resultados obtidos pôde-se observar uma ocorrência de baixos desvios padrões e um cenário muito próximo a uma curva de distribuição normal, visto que a assimetria (0 a 2) e os índices de curtose (0 a 10) foram aceitáveis, com exceção para a temperatura do vapor, que é mais sensível às flutuações das condições de operação. Os valores médios e as faixas com dois desvios padrões foram consideradas as faixas mais adequadas para o uso do modelo, pois a sua calibração ocorreu nesse formato, seguindo orientações para controle estatístico de processos, conforme recomenda Bueno (2010).

3.2 VALIDAÇÃO DO MODELO

Seguindo essas premissas e o conjunto de equações de (1) a (17), foram calculados os valores do título e do rendimento. Esses valores foram então comparados aos valores reais observados nas rotinas de monitoração do próprio equipamento. Esses resultados foram comparados e utilizados para calibração do modelo. Na Figura 2 são apresentados os dados comparativos no gráfico, entre os valores reais e os valores calculados.

Figura 2 - Comparativo entre os valores calculados e reais para o título.

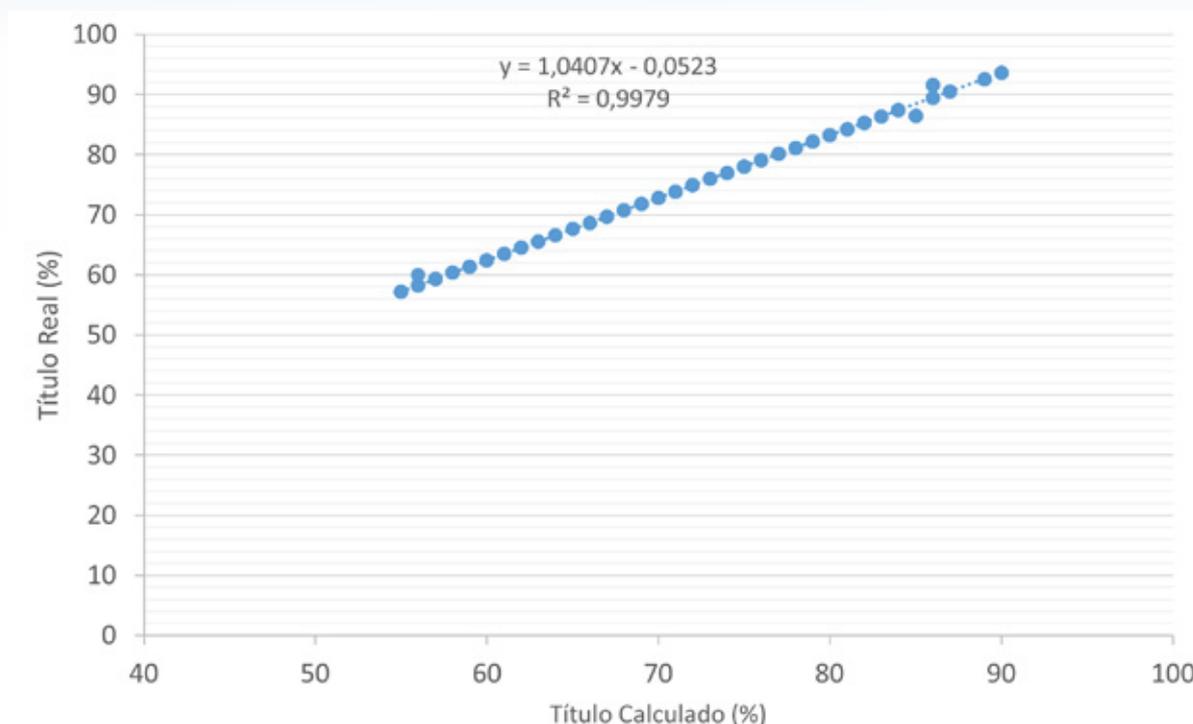


Fonte: Autor (2015)

Os desvios observados na nuvem de pontos remetem a uma correlação pífia de 6% de ajuste linear. As principais razões deram-se pela influência da intensa quantidade de água em pontos de baixo título, temperaturas de vapor com falhas de medição (em função da fase líquida) e a ocorrência de distúrbios nas medidas de pressão. Sendo assim, fez-se necessário uma calibração no modelo, com os expurgos e correções desses valores.

Para tal, foi implantado um modelo no software Excel, em que foi realizado um filtro em todas as variáveis num limite de dois desvios padrões em todas as variáveis utilizadas para o cálculo. O modelo calibrado foi novamente plotado e obteve-se a Figura 3, onde se tem um aumento do ajuste para 99%. Esse modelo final, com os ajustes dos fatores de forma e atualização dos dados, seguiu para os testes em campo no gerador de vapor. O erro estimado foi de 4,07%.

Figura 3 - Comparativo entre os valores calculados e reais para o título.



Fonte: Autor (2015)

O mesmo ajuste foi realizado para os valores de rendimento energético do equipamento.

O modelo calibrado foi implementado em um gerador de vapor instalado no campo de Fazenda Alegre

no Espírito Santo, sem a eliminação do modelo atual de monitoração implantado. Nesse formato foram coletados dados em cinco dias de operação contínua. Os resultados comparativos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo Estatístico dos Dados Obtidos

| | TÍTULO DO VAPOR Medido | TÍTULO DO VAPOR (Calculado) | Rendimento do GV (%) | Rendimento do GV (%) (Calculado) |
|---------------|------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Média | 78,08 | 77,59 | 45,01 | 44,21 |
| Desvio Padrão | 22,68 | 22,11 | 11,66 | 11,06 |
| Curtose | 0,60 | 0,74 | 3,64 | 3,56 |
| Assimetria | - 0,97 | - 1,08 | - 0,34 | - 0,30 |

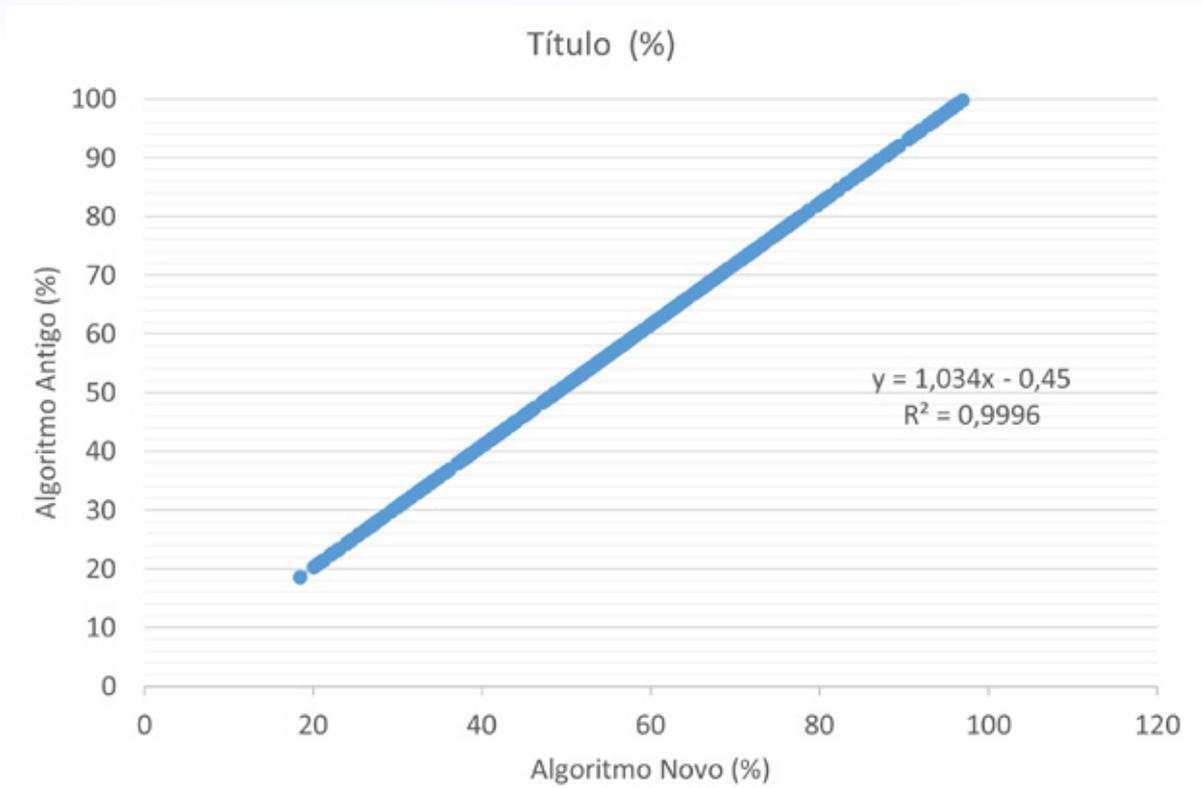
Fonte: Autor (2015)

Observa-se que as médias entre os modelos sugeridos e os existentes são praticamente iguais. Durante a fase de testes houve uma grande fluabilidade das variáveis, com desvios superiores a 30%, o que garante a robustez das faixas analisadas e range de aplicação do modelo. Sanchez (2008) recomenda para medições em sistemas de geração de vapor uma faixa de 20%, ou seja, a proposta do presente trabalho

agrega uma maior confiabilidade à técnica de medições.

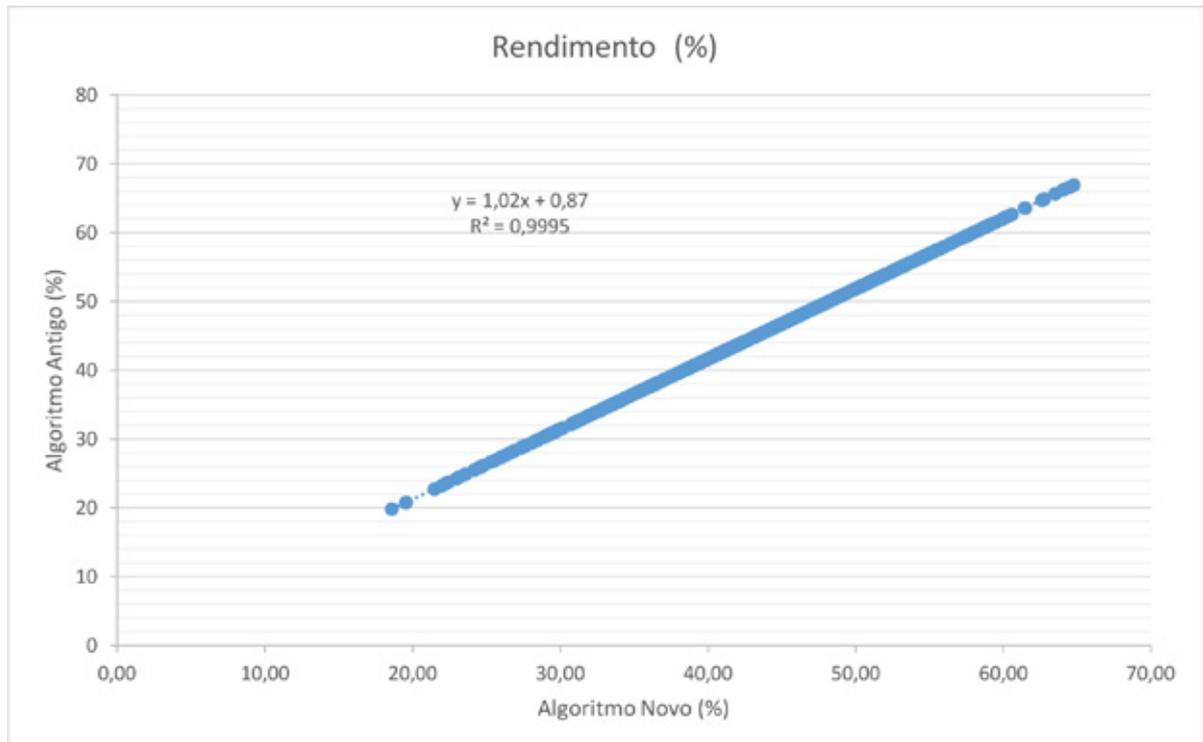
Os resultados comparativos do novo modelo ao implementado atualmente nos Geradores de Vapor podem ser observados nas Figuras 4 e 5, tendo-se regressões com coeficientes de determinação superiores a 99%, o que para Calado (2005) são plenamente satisfatórios e recomendados para algo dessa natureza.

Figura 4 - Comparativo entre os valores calculados e reais para o título.



Fonte: Autor (2015)

Figura 5 - Comparativo entre os valores calculados e reais para o rendimento.



Fonte: Autor (2015)

Pelas figuras 4 e 5, observam-se erros inferiores a 3,4%, o que valida o modelo sugerido como uma alternativa para a implantação nos Geradores de Vapor.

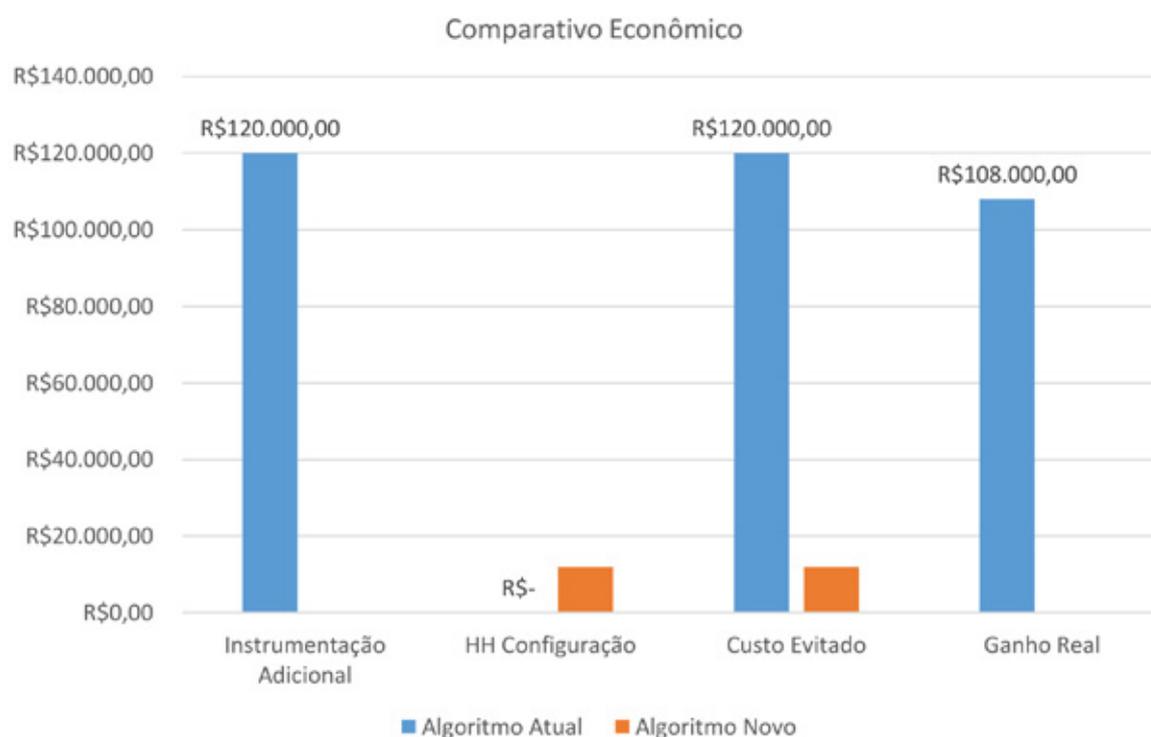
3.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A proposta de implantação do modelo de cálculo utilizando das variáveis de processos já existentes

permite uma economia no custo de investimento nos geradores de vapor, visto que há uma redução no número de placas de orifícios, estrutura da automação e elementos lógicos para a determinação dos valores físicos no formato atual.

Diante desse caso, foi analisado o impacto econômico entre os modelos existentes e os validados nesse trabalho. Na figura 6 é apresentado um esquema comparativo.

Figura 6 - Comparativo econômico entre os modelos analisados.



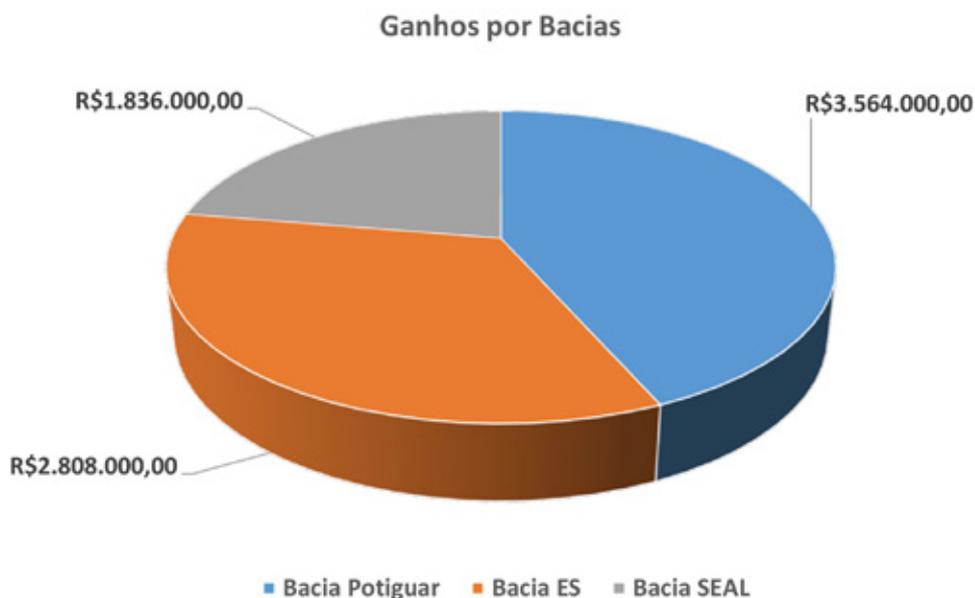
Fonte: Autor (2015)

Os resultados econômicos demonstram que, para cada gerador de vapor, quando implantado do mecanismo de utilização e cálculo pelo modelo de Oliveira (2014) reduzem R\$ 108.000,00 no investimento do equipamento. Considerando que o levantamento foi realizado a um valor de 1 dólar a proporção a 3 reais. Tem-se que uma economia de cerca de US\$ 36 mil por equipamento.

Fazendo uma extrapolação ao número de Geradores de Vapor autorizados ao funcionamento no Brasil, conforme levantamento realizado no sítio da Agência Nacio-

nal de Petróleo, Combustíveis e Biocombustíveis (ANP), ANP (2015), obteve-se o gráfico apresentado na figura 7. Ou seja, estima-se que se teria uma economia de R\$ 8 milhões caso esses equipamentos, ao invés do uso do modelo atual, tivesse adotado o modelo proposto por Oliveira (2014). Logicamente, com os equipamentos já instalados e em operação, não é recomendada a modificação, no entanto, a adoção em modelos futuros torna-se uma alternativa para a proposta desenvolvida nesse trabalho.

Figura 7 - Comparativo econômico entre os modelos analisados.



Fonte: Autor (2015)

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que:

Foi desenvolvida uma ferramenta que combinada ao painel de controle do gerador de vapor mostrou-se ser um dispositivo capaz de calcular os valores das eficiências com excelentes valores de precisão, podendo ser implementado para as telas de supervisórios ou telas de controle operacional para os equipamentos de geração de vapor.

Utilizando-se da ferramenta desenvolvida e provocando alterações nas variáveis envolvidas nos processos de geração de vapor foi possível desenvolver um mecanismo para o cálculo das eficiências e títulos do vapor produzidos por um gerador de vapor, podendo ser implementado em simuladores dinâmicos ou para cálculos para apresentação direta nos sistemas supervisórios desses equipamentos.

Foi possível desenvolver um algoritmo de cálculo para analisar os níveis do título produzidos e da eficiência

térmica da geração do vapor, por meio da modelagem com os dados dos instrumentos convencionais adotados esse equipamento, combinados as estimativas para as emissões atmosféricas produzidas. Sendo uma ferramenta de controle ambiental, sem a necessidade de investimentos robustos na aquisição de sensores ou analisadores online para determinação desses parâmetros de processos.

O algoritmo permite economias consideráveis em instrumentos para atendimento ao critério de cálculo do título e rendimento, quando comparado ao modelo atual.

Com o auxílio dessa ferramenta, o gerador de vapor pode ser otimizado para direcionamento para patamares de vapores de melhor qualidade, ou seja, de maior título, que utilizado nos processos de recuperação de petróleo provocam um crescimento na produção do mesmo.

Estima-se em R\$ 8 milhões a economia que poderia ter sido realizada, nos campos brasileiros caso houvesse a adoção do novo algoritmo. Desconsiderando a manutenção dos instrumentos, essa análise apenas no custo do investimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, **Anuário Estatístico da Indústria do Petróleo e do Gás Natural de 2014**, ANP, Rio de Janeiro, 2015.

AZIZ K., RAMESH A. B., WOO P. T., **Fourth SPE Comparative Solution Project: Comparison of Steam Injection Simulators**, SPE, 13510, 1987.

BARILLAS J. L. M. **Estudo do Processo de Drenagem Gravitacional de Óleo com Injeção Contínua de Vapor em Poços Horizontais. 2005.** 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BUENO, F. **Estatística para Processos Produtivos.** Visual Books. 2010.

CALADO, V. **Planejamento de experimentos usando o statistica.** E-papers. 2005.

JERÔNIMO, C. E. M.; SOUZA, T. T. C. de. Estudo da viabilidade econômica da injeção de vapor para recuperação de petróleo em campos de alta viscosidade. **Scientia Plena**, Alagoas, p.3-3, 2013.

_____; FERNANDES, Hermano Gomes; MENDES, Marcelo Fidelis Marques. Simulação do impacto na produção de gases de efeito estufa pela mudança da matriz energética em uma refinaria de petróleo. **Runpetro**, Natal, v. 1, n. 1, p.32-32, nov. 2012.

OLIVEIRA, E. V. **Modelo matemático da eficiência e geração de emissões de gases de efeito estufa de um gerador de vapor (GV).** Dissertação de Mestrado, UNP. 2014.

SANCHEZ, A. et al. Co-production of ethanol, hydrogen and biogas using agro-wastes. Conceptual plant design and NPV analysis for mid-size agricultural sectors. **Computer Aided Chemical Engineering**, Volume 29, 2011, Pages 1884-1888.

QUEIROZ, G. O. et al. Influência da cota de vapor no processo de injeção cíclica de vapor. **Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP**, 3, Salvador, 2004