

Revista Técnica da UNIVERSIDADE PETROBRAS

v. 1, n. 2, jan. 2016

ISSN: 2359-134X



EDITORIAL

No ano em que completa 62 anos de existência, a Petrobras encara alguns dos maiores desafios de sua história. Além das questões de ordem tecnológica e logística das suas diversas atividades, em que já se consolidou como uma referência mundial por sua excelência técnica, ela agora enfrenta a crise que assola a indústria mundial do petróleo somada à missão de reduzir sua alavancagem financeira e robustecer a conformidade de seus processos.

Diante deste cenário, temos certeza que o conhecimento é um dos principais combustíveis que impulsionarão os nossos empregados para superar os grandes desafios que estão postos, da mesma forma como ele desempenhou o papel de uma força-motriz que ao longo de mais de seis décadas permitiu que a companhia se reinventasse e superasse todas as crises que passou.

Em sua segunda edição, a Revista Técnica da Universidade Petrobras - RTUP traz artigos escritos e revisados por empregados de referência em diversas áreas, entregando relevante contribuição nos esforços de geração, disseminação e aplicação de conhecimentos essenciais para os negócios da companhia.

Em consonância com os esforços de otimização de processos da companhia, essa edição foi totalmente produzida com recursos internos e estará disponível exclusivamente em meio digital, com uma proposta gráfica aprimorada para facilitar a leitura em todos os tipos de dispositivos.

Aproveitamos a oportunidade para convidar todos os empregados da companhia que desenvolvem trabalhos técnicos e/ou científicos a submeter seus artigos para a RTUP, conforme processo detalhado no final da revista. Temos certeza que a disseminação dos conhecimentos gerados por nossos empregados é uma das ações fundamentais para a garantia da continuidade da excelência técnica que permeia toda a história da Petrobras.

Boa leitura!

Rodrigo Souza Granja
Gerente de Desenvolvimento de Recursos Humanos



Recursos Humanos

Gerente Executivo
Antonio Sergio de Oliveira Santana

Universidade Petrobras

Gerente Geral
José Alberto Bucheb

Desenvolvimento de Recursos Humanos

Gerente
Rodrigo Souza Granja

Processos Corporativos de DRH

Gerente Setorial
Claudio Jorge Barreiro

Programas Externos de DRH

Gerente Setorial
Thiago Araujo Vale da Silva

Coordenação Editorial

Anna Paula Tavares de Araujo
Paulo Henrique Giusti
Lúcia Emília de Azevedo

SUMÁRIO

05

Programa Cálculo de Tanques de Armazenamento.

Stenio Monteiro de Barros

17

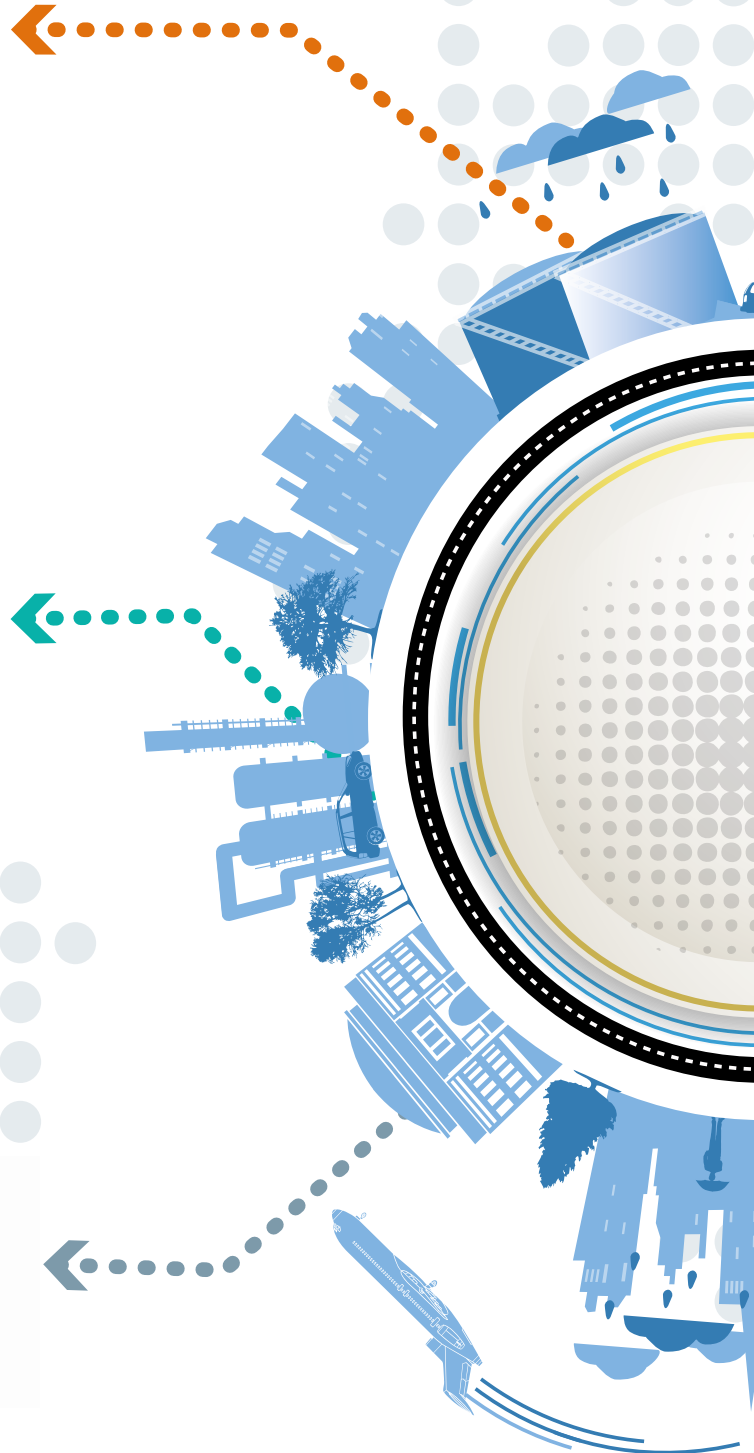
Modelagem Rigorosa de uma Unidade de Destilação Atmosférica e a Vácuo (UDAV) Complexa Incluindo a Integração Energética.

Alexandre Ramos Jungmann
André Cosentino Bellote

29

Gerenciamento de Projeto Aplicado à Transferência da Documentação Técnica.

Danielle Perrotta Machado





47

Selagem Inovadora De Motores Elétricos Industriais Para Atmosferas Explosivas:

mercado nacional e internacional implanta solução técnica desenvolvida e patenteada pela Petrobras

Paulo Roberto Leite Nóbrega
Roberval Bulgarelli

61

Modeling Oscillatory Behavior Of Esp Wells Under Two-Phase Flow Conditions.

Rinaldo Antonio de Melo Vieira
Mauricio Gargaglione Prado

78

Mudanças No Sistema de Refrigeração da Refinaria Duque de Caxias:

minimização do uso de água e redução da carga orgânica lançada na Baía de Guanabara.

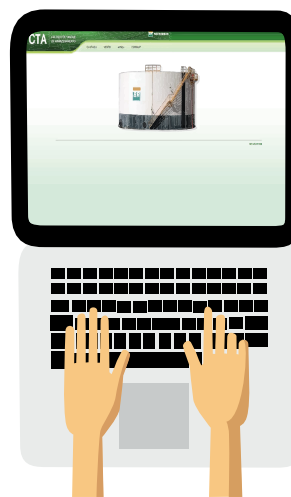
Fernando Ribeiro Camaz



Tanques da Fábrica de Lubrificantes da Petrobras Distribuidora.
Fonte: Luiz Padro.

PROGRAMA CÁLCULO DE TANQUE DE ARMAZENAMENTO

Stenio Monteiro de Barros



RESUMO

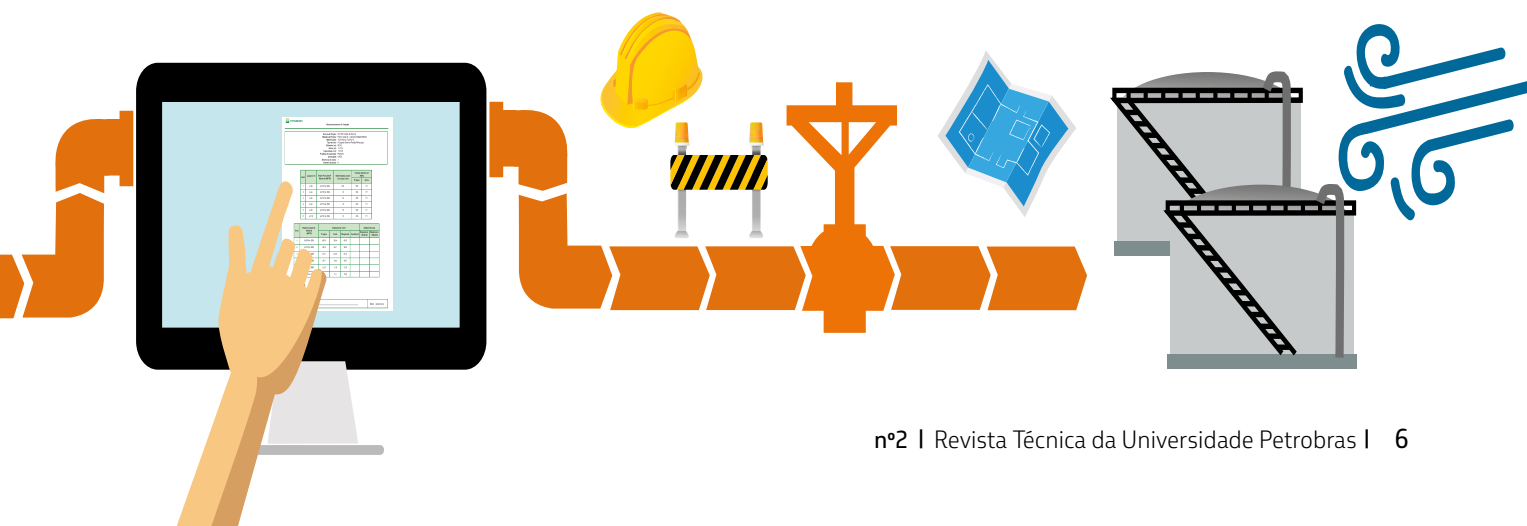
O Cálculo de Tanque de Armazenamento (CTA) é um conjunto de programas computacionais desenvolvido para a comunidade técnica Petrobras na área de Equipamentos Estáticos – Caldeiraria e Tubulações. Atualmente, o CTA apresenta as seguintes possibilidades de cálculo: Costado: dimensionamento do costado de um tanque de armazenamento pela norma API 650; Vento: determinação da carga de vento suportada por um tanque de armazenamento; API 653: análise da integridade do costado de um tanque de armazenamento conforme norma API 653; ESMINOP: determinação da espessura mínima operacional do fundo, costado e teto de um tanque de armazenamento.

Palavras-chaves: Tanque de armazenamento. Projeto do costado. Carga de vento. Anel de contraentamento intermediário. Tombamento. Integridade estrutural. Espessura mínima operacional. Vida útil.

ABSTRACT

The Calculation of Storage Tanks (CTA) is a set of computer programs developed for the Petrobras technical community in the area of Static Equipment – Storage Tanks, Vessels and Pipes. Currently, the CTA offers the following possibilities of calculation: Shell: shell design of a storage tank according to Standard API 650; Wind: wind load determination supported by a storage tank; API653: tank shell evaluation of a storage tank according to Standard API 653; ESMINOP: determination of the minimum acceptable operational thickness of a storage tank: bottom, shell and roof plates.

Keywords: Storage tank. Shell design. Wind load. Intermediate stiffening ring. Overturning stability. Structural integrity. Minimum acceptable thickness. Suitability for service.



1 INTRODUÇÃO

Desde 1971, estamos desenvolvendo programas computacionais para cálculo de Tanques de Armazenamento de petróleo e derivados. Atualmente, os quatro principais programas foram incorporados num pacote que denominamos Cálculo de Tanque de Armazenamento (CTA).

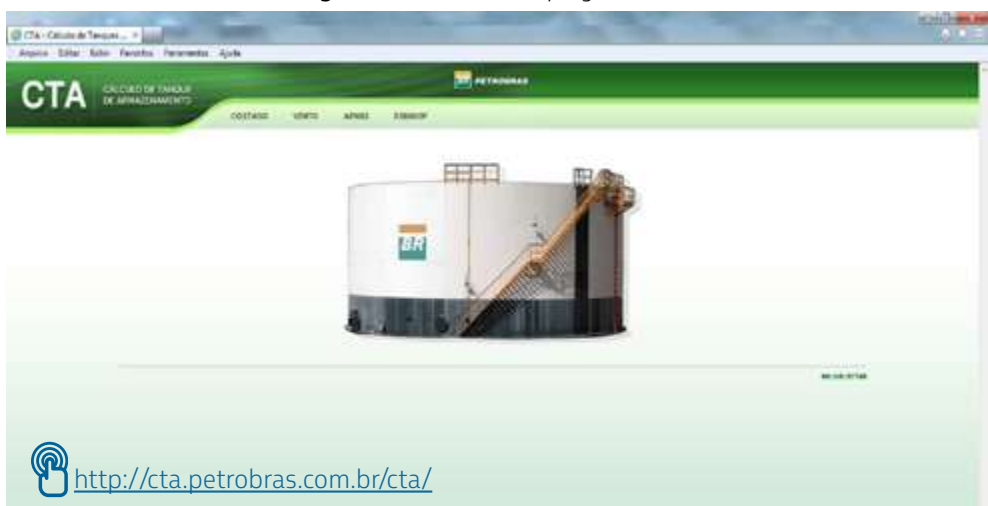
O programa CTA está disponibilizado, para a Comunidade Técnica Petrobras, no Portal Petrobras, Comunidades Virtuais: Tanques de Armazenamento (Tarja Aprendizagem), conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Comunidades Virtuais: Tanques de Armazenamento.



Fonte: PETROBRAS, 2015.

Figura 2 – Tela Inicial do programa CTA.



Fonte: PETROBRAS, 2015.



O programa CTA apresenta, atualmente, as seguintes opções de cálculo:

- Costado: dimensionamento do costado de tanques de armazenamento pela norma API 650 e atendendo às exigências da norma Petrobras N-270:
 - ◊ Anexo A;
 - ◊ Corpo de Norma:
 - ◊ Método do Ponto Fixo;
 - ◊ Método do Ponto Variável:
 - ◆ Cálculos Independentes (Projeto e Teste Hidrostático);
 - ◆ Aproveitamento integral da espessura comercial da chapa utilizada.
- Vento: determinação da carga de vento suportada por um tanque de armazenamento (Figura 3) em qualquer momento de sua operação (vazio / novo ou corroído):
 - ◊ Verificação da necessidade de anel de contraventamento intermediário (Figura 4);
 - ◊ Verificação do risco de tombamento.
- API653: análise da integridade estrutural de um costado localmente corroído conforme norma API 653;
- ESMINOP: determinação da espessura mínima operacional do fundo, costado e teto de um tanque de armazenamento. Estimativa da vida útil para o equipamento.

Figura 3 – Deformação do costado por carga de vento.



Fonte: BARROS, 2015, p. 419.

Figura 4 – Anel de contraventamento e anel de contraventamento intermediário.



Fonte: BARROS, 2015, p. 262.

2 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO CTA

Mostraremos inicialmente, como exemplo ilustrativo do CTA, na opção Costado, o dimensionamento do maior tanque de armazenamento atualmente construído na Petrobras (Figuras 5 a 7).

Dados de Projeto do Equipamento:

- Localização: Refinaria do Nordeste – Abreu e Lima (RNEST);
- Norma de projeto: API 650 Corpo de Norma;
- Método de projeto: Ponto Variável – Cálculos Independentes;
- Identificação: TQ-61003 a TQ-61010;
- Tipo de teto: Flutuante externo pontão reforçado;
- Diâmetro: 98,5 m
- Altura: 14,716 m
- Capacidade nominal: 112 138 m³;
- Produto armazenado: Petróleo;
- Densidade do produto: 0,958 (Petróleo Carabobo);
- Eficiência de junta soldada: 1;
- Número de anéis do costado: 6;
- Largura das chapas de cada anel do costado: 2,44 m;
- Especificação de material das chapas do costado: ASTM A 36M;
- Sobre-espessura para corrosão: 0,8 mm (1º anel do costado); 1,0 mm (demais anéis do costado);
- Cantoneira de topo do costado: 75 mm x 75 mm x 10 mm (3 in x 3 in x 3/8 in);
- Sistema internacional de unidades.

Figura 5 – Parque de tancagem de petróleo da RNEST.



Fonte: BARROS, 2015, p. 634.

Figura 6 – Tanque de petróleo da RNEST.



Fonte: BARROS, 2015, p. 634.

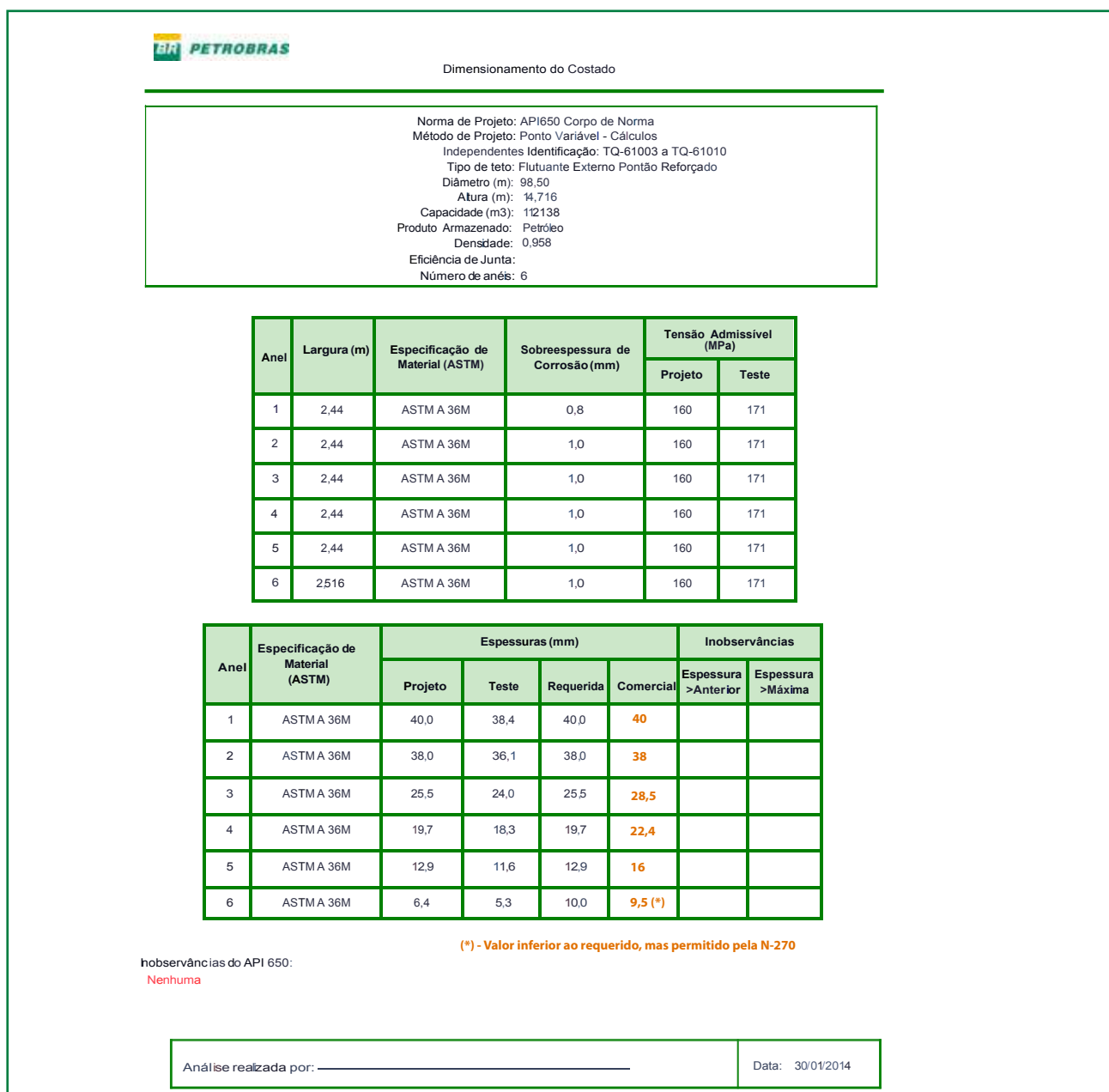
O arquivo em PDF gerado neste dimensionamento está reproduzido na Figura 7.

É importante salientar, neste dimensionamento, que a espessura requerida ao primeiro anel do costado é de 40 mm, máximo valor permitido por norma para a especificação ASTM A 36M adotada: aço-carbono estrutural tipicamente utilizado,

atualmente, em tanques de armazenamento.

Assim, para os dados de projeto fixados pela Engenharia da Petrobras, poderemos considerar este equipamento como o maior tanque de armazenamento possível de ser construído atendendo os requisitos normativos.

Figura7 – Exemplo de cálculo do Programa CTA. Cálculo das espessuras do costado. Tanque de petróleo da RNEST.



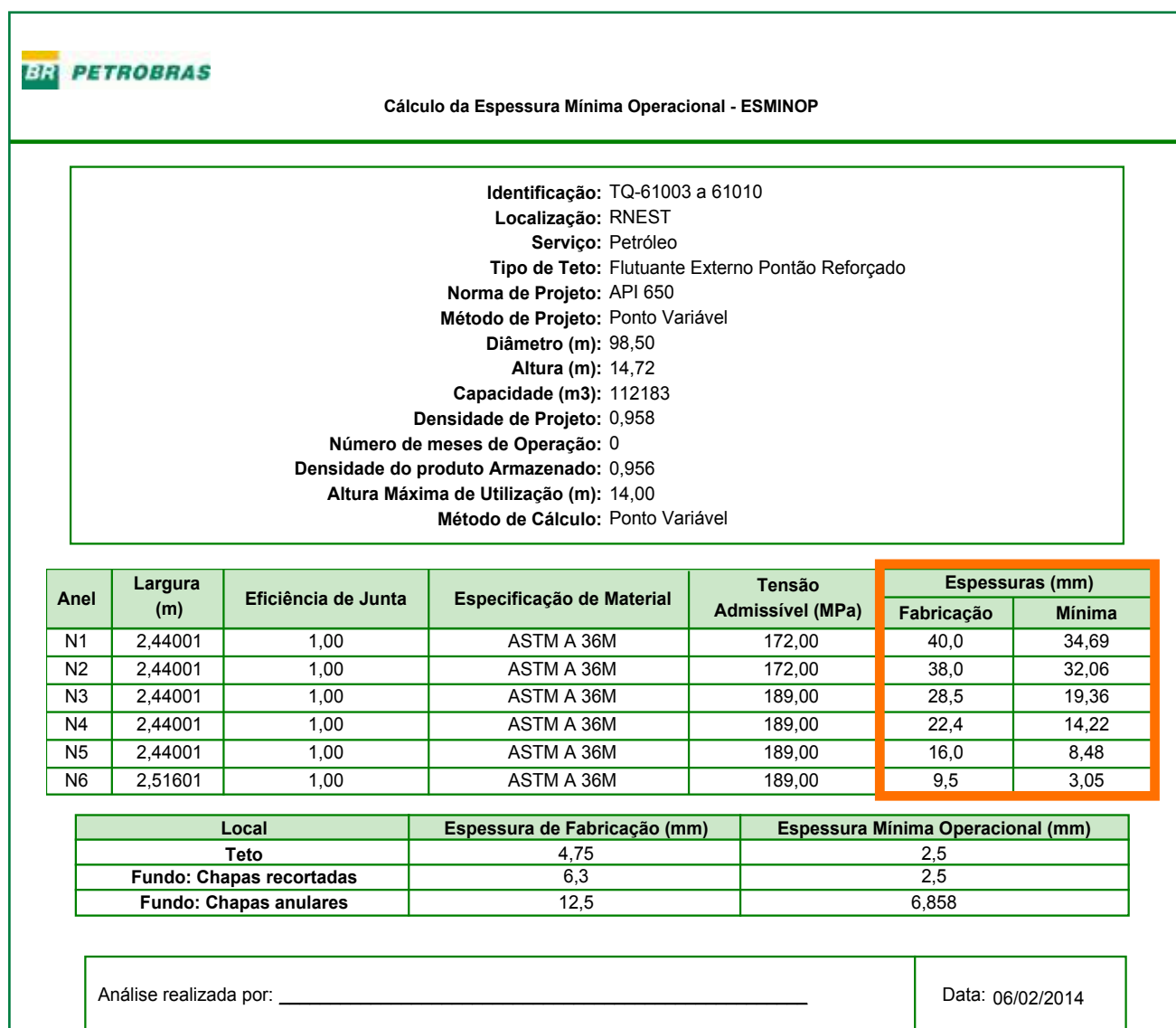
Fonte: PETROBRAS, 2014.

Utilizando a opção ESMINOP do CTA, poderemos calcular as espessuras mínimas operacionais (Figura 8) deste tanque de armazenamento considerando os seguintes dados fixados pelo órgão de operação do equipamento:

- Produto armazenado de maior densidade: Petróleo Marlim Sul;

- Densidade do produto: 0,956;
- Altura Máxima de Utilização (AMU): 14,0 m;
- Tensões admissíveis pelo API 653: 172 MPa (1º e 2º anel do costado); 189 MPa (3º ao 6º anel do costado).

Figura 8 – Exemplo de cálculo do Programa CTA. Cálculo das espessuras mínimas operacionais. Tanque de petróleo da RNEST.



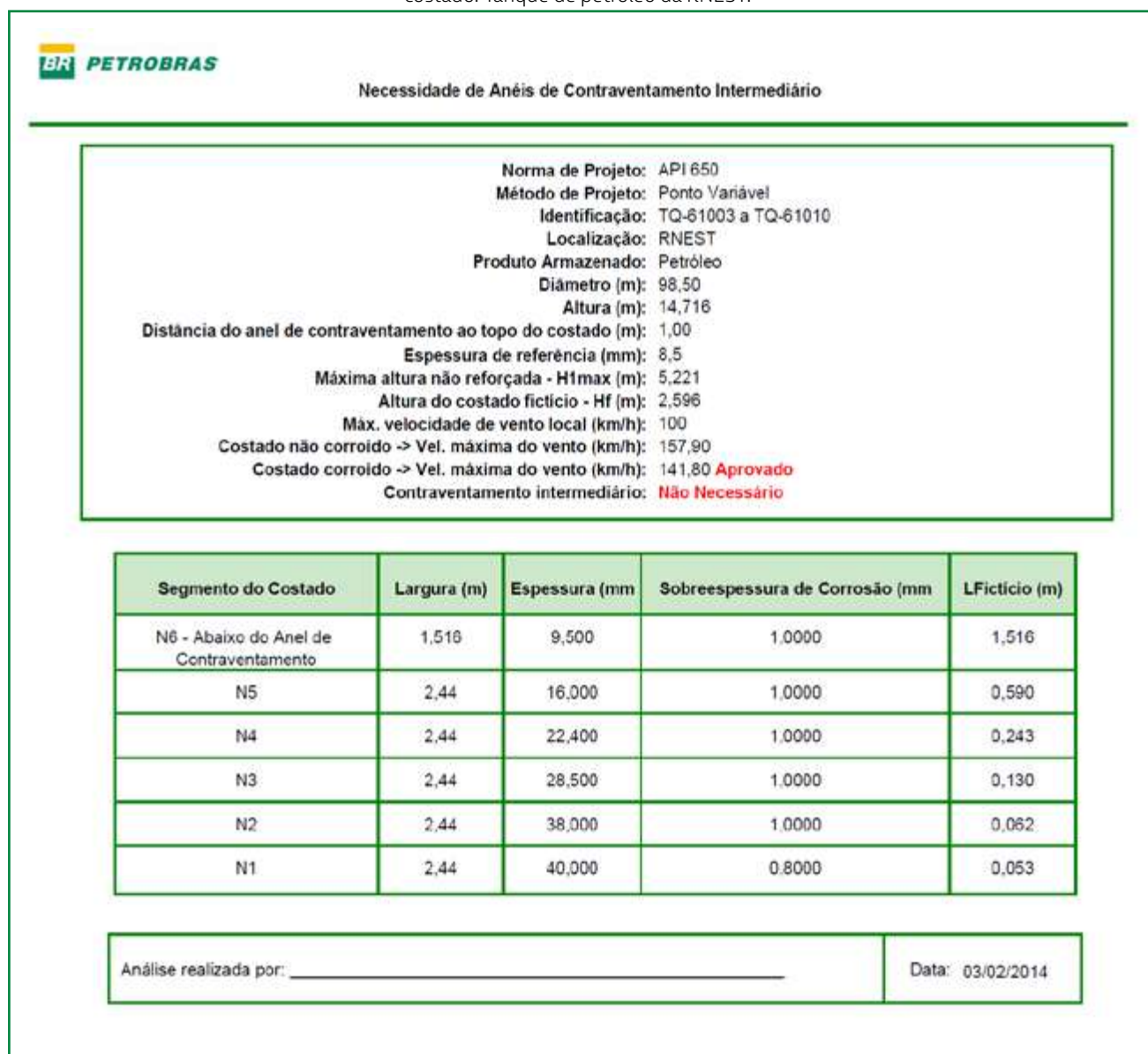
Fonte: PETROBRAS, 2014.

Utilizando a opção Vento do CTA, poderemos calcular a máxima velocidade de vento que este tanque de armazenamento poderá ser submetido (vazio / novo ou corroído) sem a

ocorrência das seguintes condições:

- Deformação no costado (Figura 9);
- Tombamento do equipamento (Figura 10).

Figura 9 – Exemplo de cálculo do Programa CTA. Cálculo da máxima velocidade de vento suportada sem risco de deformação no costado. Tanque de petróleo da RNEST.

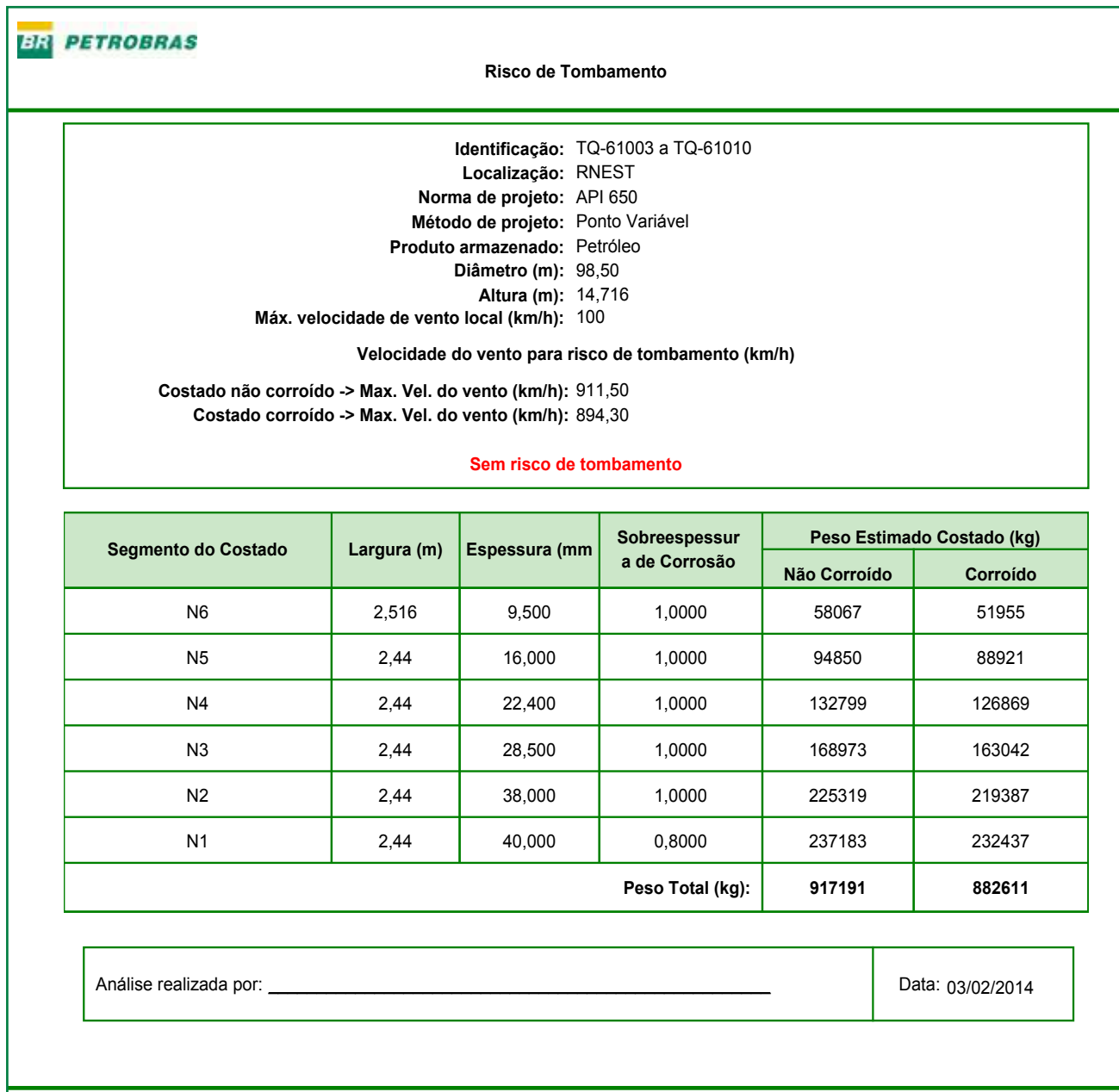


Fonte: PETROBRAS, 2014.

Conforme podemos observar no cálculo, este tanque poderá ser submetido a uma velocidade de vento máxima de 141,8 km/h

(vazio e corroído) sem risco de deformação no costado.

Figura 10 – Exemplo de cálculo do Programa CTA. Cálculo da máxima velocidade de vento suportada sem risco de tombamento. Tanque de petróleo da RNEST.



Fonte: PETROBRAS, 2014.

Conforme podemos observar no cálculo, este tanque poderá ser submetido a uma velocidade de vento máxima de 894,3 km/h (vazio e corroído) sem risco de tombamento.

Portanto, concluímos que neste tanque de armazenamento não haverá tombamento, pois seu costado se deformará antecipadamente.

3 CONCLUSÃO

O Programa CTA tem demonstrado imensa utilidade para os órgãos da Petrobras envolvidos com o projeto, montagem, segurança, inspeção e manutenção de Tanques de Armazenamento (Figura 11).

É com imenso orgulho que registramos este conhecimento como Tecnologia Petrobras,

algo que nos incentiva e muito nos alegra, gratifica e inspira ao longo destes anos de trabalho envolvidos na formação técnica dos profissionais da nossa companhia.

Figura 11 – Parque de tancagem de produtos finais da RNEST: diesel, nafta e óleo combustível.



Fonte: BARROS, 2015, p. 634.

4 REFERÊNCIAS

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Welded tanks for oil storage**. 12 ed. Washington: API, Mar. 2013. Errata 1, Jul. 2013. Addendum 1, Sep. 2014. Errata 2, Dec. 2014. API STD 650.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Tank inspection, repair, alteration, and reconstruction**. 5 ed. Washington: API, Nov. 2014. API STD 653.

BARROS, S. M. **Tanques de armazenamento**. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2015. 634 p. ISBN 85-85227-17-6.

PETROBRAS. Recursos Humanos. Universidade Petrobras. **Comunidades virtuais. Tanques de armazenamento**. [Rio de Janeiro]: 2015. Disponível em: <<http://cv.universidade.petrobras.com.br/tanques/>>. Acesso em: 27 jan. 2015. Acesso exclusivo via intranet Petrobras.


PETROBRAS. CONTEC. **Projeto de tanque de armazenamento atmosférico**: rev. F. Rio de Janeiro: PETROBRAS. ETM-CORP/ST/NORTEC, jul. 2013. Errata 1, abr. 2014. Emenda 1, maio 2014. N-270 F.

PETROBRAS. Recursos Humanos. Universidade Petrobras. Escola de Ciências e Tecnologias ABAST. **CTA - Cálculo de tanque de armazenamento**. [Rio de Janeiro]: 2007. Disponível em <<http://cta.petrobras.com.br/cta/>>. Acesso em: 27 jan. 2015. Acesso exclusivo via intranet Petrobras.



Stenio Monteiro de Barros

Graduação (1968) em Engenharia Mecânica pela Escola Nacional de Engenharia (ENE - Atual UFRJ). Engenheiro de Equipamentos da Petrobras desde 1969. Pós-graduação (1975) em Engenharia da Soldagem pela École Supérieure de Soudure Autogène (ESSA) do Institut de Soudure (França). Especialização (1986) em Tecnologia dos Materiais (CATEMA) na Petrobras. Consultor Sênior na área de Tanques de Armazenamento. Professor dos cursos de Tanques de Armazenamento na Universidade Petrobras (UP).RH/UP/ECTAB/PCEQUIP - Rio de Janeiro, RJ – Chave: SD51
E-mail: stenio@petrobras.com.br



MODELAGEM RIGOROSA DE UMA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA E A VÁCUO (UDAV) COMPLEXA INCLUINDO A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA

RESUMO

Um dos grandes desafios ao se realizar projetos básicos de unidades de destilação é estudar o comportamento integrado de suas torres fracionadoras com a recuperação energética na bateria de preaquecimento de petróleo. Buscando uma ferramenta completa, foi realizada a modelagem de uma unidade complexa utilizando um simulador comercial. A unidade modelada foi a Unidade de Destilação Atmosférica e a Vácuo (UDAV) da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR U-2100) que apresenta quatro torres de fracionamento integradas a uma bateria de preaquecimento complexa formada por cinquenta e sete permutadores. Os resultados mostraram que o modelo desenvolvido é bastante aderente à realidade da planta e não só agrega valor durante a fase de projeto básico bem como durante a vida útil da instalação, podendo ser utilizado em várias tarefas de otimização diária da produção.

Palavras-chaves: Destilação de Petróleo. Simulação de Processo.



Fonte: Banco de Imagens Petrobras.

ABSTRACT

One of the biggest challenges during basic design of a crude distillation unit is to study its integrated behavior between its fractionators and its heat integration on the preheat train. In search of a complete tool, a complex crude unit was modelled using a commercial process simulator. The modelled unit was REPAR's crude unit (U-2100) that has four fractionators integrated into a complex preheat train consisting of fifty seven shell and tube heat exchangers. The results showed that the developed model is quite representative of the plant data and adds value to the basic design phase as well as to the life cycle of the facility, as it can be used in various optimization tasks of daily production.

Keywords: *Crude Distillation. Process Simulation.*

1 INTRODUÇÃO

Ao se projetar melhorias em unidades de destilação de petróleo é comum o uso de várias ferramentas distintas buscando verificar o comportamento integrado dos sistemas de remoção de calor das torres fracionadoras (refluxos circulantes) com o sistema de aproveitamento desta energia para aquecimento de carga (bateria de preaquecimento).

É comum a utilização de simuladores de processos distintos, sendo um que simula o fracionamento e o outro que simula o preaquecimento. Estes dois modelos são normalmente integrados de forma iterativa o que gera bastante trabalho e pode levar a resultados não otimizados.

Devido à quantidade de trabalho é comum omitirmos a avaliação do impacto na recuperação energética de pequenos projetos de melhoria. Esta avaliação, no entanto, deve ser levada em consideração, uma vez que os impactos energéticos podem trazer um impacto significativo no estudo de viabilidade técnico-econômica do projeto, contribuindo de forma positiva ou negativa para a aprovação de uma proposta.

2 OBJETIVO

Durante os estudos iniciais para a instalação de um leito de fracionamento de gasóleo leve de vácuo na U-2100 da Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR) surgiu a necessidade de se avaliar o impacto deste projeto na bateria de preaquecimento, especificamente qual seria o impacto na redução da vazão de refluxo circulante de gasóleo pesado na temperatura do processo de dessalgação.

Com o objetivo de responder esta e outras perguntas foi desenvolvido um modelo complexo da unidade que integra os cálculos rigorosos de transferência de massa dos modelos prato a prato das fracionadoras, com os cálculos rigorosos de transferência de calor nos permutadores casco-tubo.

O modelo criado tem a capacidade de prever as temperaturas de operação das dessalgadoras, a temperatura final da bateria de preaquecimento, o consumo energético da unidade (consumo de gás nos fornos), os fluxos internos de líquidos nas colunas bem como a qualidade e o rendimento dos produtos obtidos, dado um determinado petróleo como carga.

Também era objetivo do trabalho criar uma ferramenta que fosse útil para o acompanhamento do processo, com a qual fosse possível prever o comportamento da unidade com diferentes petróleos, diferentes modos de operação (campanhas) ou com a retirada de operação de alguns equipamentos.

3 MODELAGEM INTEGRADA DA UDAV

A construção do modelo da unidade de destilação integrando as torres com a simulação rigorosa da bateria de preaquecimento é um trabalho árduo, que requer o cumprimento de diversas etapas subsequentes, como descrito a seguir.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ELENCO DE PETRÓLEOS

A primeira etapa do processo da modelagem consiste na escolha de um elenco típico da refinaria. Uma consulta ao histórico do banco de dados de carga processada permite a determinação de quais petróleos deverão compor a carga na simulação da unidade. Essa escolha precisa ser a mais representativa possível.

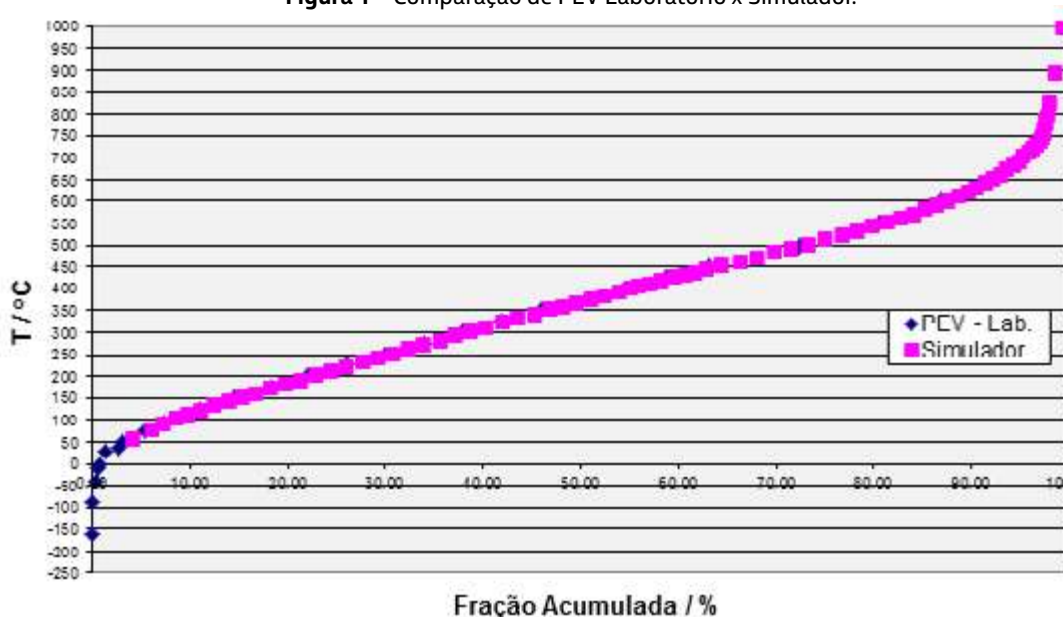
O passo seguinte é a caracterização de cada um dos petróleos do elenco. No mínimo são necessárias as seguintes análises de laboratório para execução dessa tarefa:

- a) cromatografia gasosa dos componentes leves;
- b) curva de destilação do Ponto de Ebulição Verdadeiro (PEV) (ASTM D2892);
- c) curva de densidade e curva de viscosidade versus fração acumulada.

Além dessas, outras informações também podem ser fornecidas, como, por exemplo, curva de contaminantes, que embora mesmo não sendo essencial, tornam a simulação ainda mais completa, permitindo extrair uma gama maior de informações a partir do modelo final.

A caracterização é uma das etapas mais importantes, pois a precisão dos resultados da simulação depende muito da qualidade dos dados de entrada. Para garantia da robustez do modelo, cada informação gerada pelo simulador deverá ser confrontada com os dados de entrada, ou seja, as análises de laboratório.

Figura 1 – Comparação de PEV Laboratório x Simulador.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.2 MODELAGEM DAS TORRES DE FRACIONAMENTO

Uma vez observada a consistência dos dados gerados pelo simulador para cada um dos petróleos, inicia-se a coleta dos dados de processo da planta para calibração do modelo que será construído. Entre eles estão os valores de vazão e de temperatura das retiradas de produtos e refluxos circulantes, de saída dos fornos, do sistema de topo das torres, entre outros.

O período escolhido para análise, além de condizente com o elenco utilizado na simulação, deve também ser com a unidade operando o mais estável possível. Testes de corrida realizados na planta são ideais para o alcance desse objetivo.

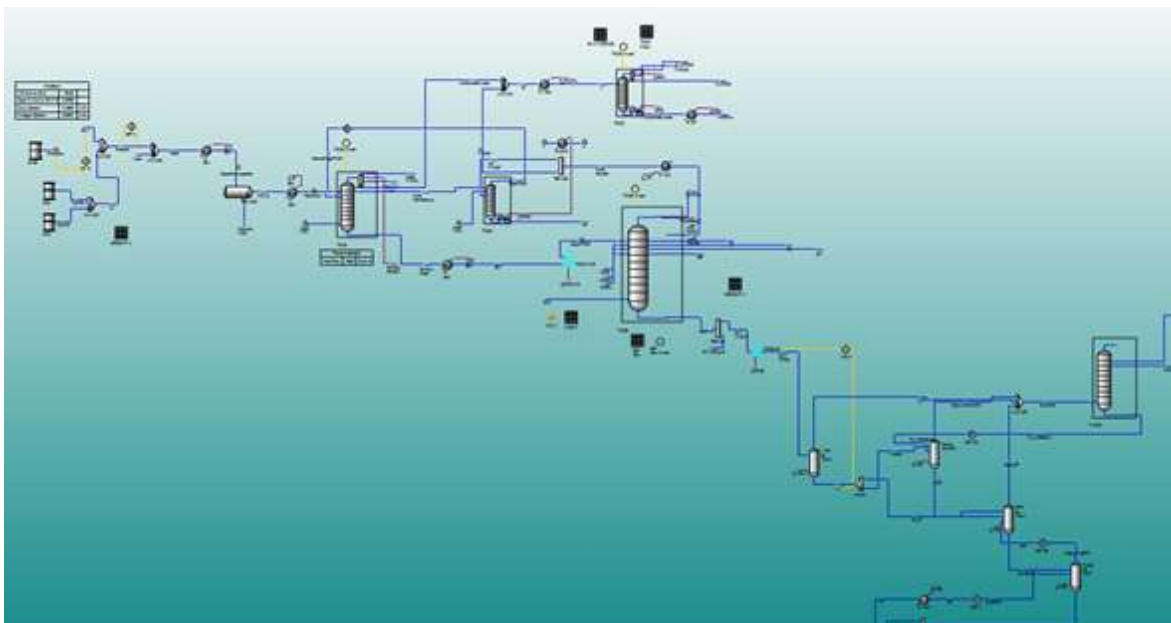
O processo de modelagem da unidade tem como primeira fase apenas a simulação das torres de fracionamento. A inclusão da bateria de preaquecimento ocorre em uma etapa posterior, uma vez que os produtos

e refluxos circulantes precisam ser gerados primeiramente. Este procedimento pode ser usado, porque as condições do petróleo na saída dos fornos são conhecidas com uma precisão razoável.

Após a convergência do modelo das torres de destilação, normalmente se faz necessário o ajuste de certos parâmetros para que os resultados da simulação fiquem o mais próximo possível dos valores medidos na unidade.

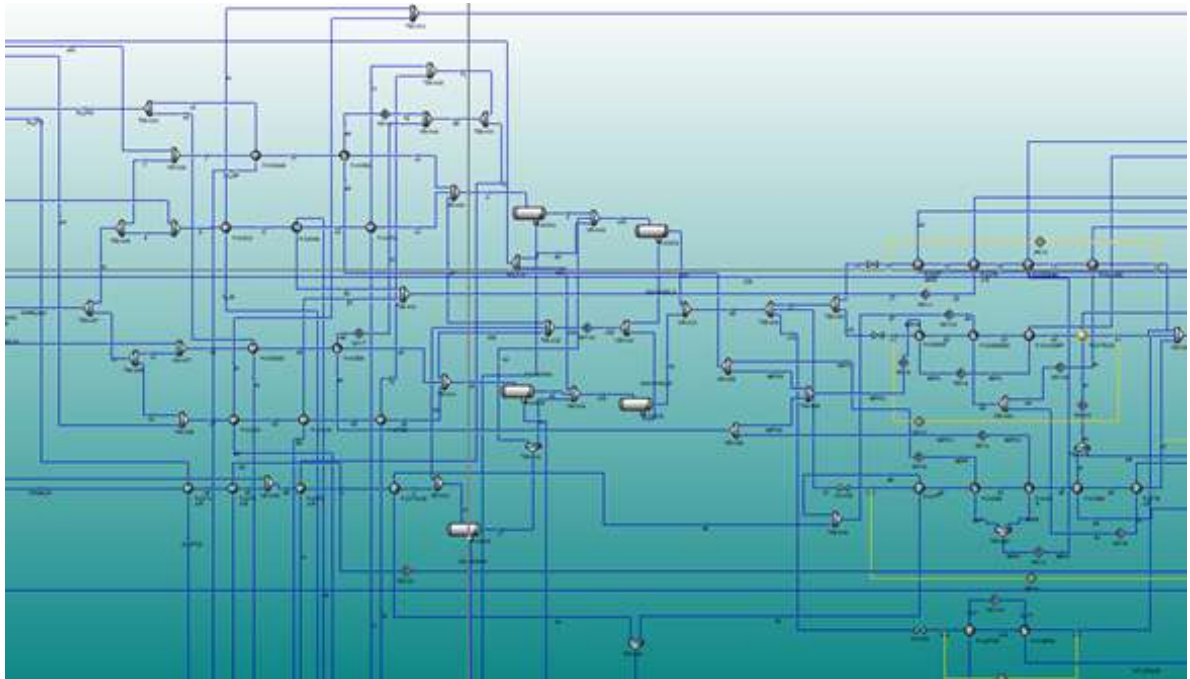
Análises das retiradas de produto auxiliam nesse processo de calibração.

Figura 2 – Modelagem das Torres Fracionadoras.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

Figura 3 – Modelagem da Bateria de Preaquecimento.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.3 MODELAGEM DA BATERIA DE PRAQUECIMENTO

Assim que os dados de temperatura das retiradas e rendimentos dos cortes estiverem razoavelmente coincidentes com os valores coletados da unidade, pode-se modelar a bateria de preaquecimento (BPA).

Dependendo do tamanho da BPA, essa etapa pode ser considerada a mais trabalhosa, porque requer a entrada dos dados geométricos de todos os trocadores, que preaquecem o petróleo, e os resfriadores dos produtos finais. Uma redução no esforço computacional e tempo de simulação podem ser atingidas, quando ramais simétricos e idênticos são simulados como um único na modelagem da BPA.

Uma vez convergido o modelo, certamente ajustes deverão ser feitos para alcançar os valores medidos de temperaturas de entrada e de saída de ambos os lados de cada um dos trocadores da unidade.

Esse processo é realizado por meio da alteração dos fatores de incrustação até que as temperaturas simuladas estejam compatíveis com a planta.

Em muitos casos, esse objetivo pode ser alcançado apenas para um dos lados do trocador, ou seja, não há o fechamento do balanço energia em torno do equipamento. Deve-se então verificar possíveis erros de entrada na simulação ou medições suspeitas obtidas na planta.

É importante notar que até o momento, as simulações das torres e da bateria de preaquecimento estão sendo realizadas de modo totalmente independente, uma seguida da outra.

Quando os dois modelos estiverem aderentes com os dados da planta, inicia-se a última etapa de construção do modelo integrado.

Figura 4 – Ajustes nos fatores de incrustação.

Current Cell	A3		Vytatelo		Exportable	Function Help	Spreadsheet O	Display formu	Copy formula
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Processo Bateria						Fluido	Fouling de Projeto	
2	Trocador	Fouling nos TUBOS	Fouling no CASCO	Fluido nos TUBOS	Fluido no CASCO	Petróleo	Petróleo	8,200e-004 C-h-m2/kcal	
3	P-2101AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	RCS	Petróleo	Nafta Pesada	4,100e-004 C-h-m2/kcal		
4	P-2102A	4,100e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Querosene	Petróleo	RCS	4,100e-004 C-h-m2/kcal		
5	P-2102B	4,100e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Querosene	Petróleo	Querosene	4,100e-004 C-h-m2/kcal		
6	P-2103AB	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo	Diesel Leve	4,100e-004 C-h-m2/kcal		
7	P-2103CD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo	Diesel Pesado	4,100e-004 C-h-m2/kcal		
8	P-2104B	1,400e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Pesado	Petróleo	BAT	1,000e-003 C-h-m2/kcal		
9	P-2105AD	1,400e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Diesel Pesado	Petróleo	GOP	6,100e-004 C-h-m2/kcal		
10	P-2105A	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP	RV	2,000e-003 C-h-m2/kcal		
11	P-2105B	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
12	P-2170A	2,200e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo				
13	P-2170B	2,200e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo				
14	P-2171AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	4,100e-004 C-h-m2/kcal	Diesel Leve	Petróleo				
15	P-2172AB	4,100e-004 C-h-m2/kcal	8,200e-004 C-h-m2/kcal	Nafta Pesada	Petróleo				
16	P-2173AB	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	GOP	Petróleo				
17	P-2174AB	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RV				
18									
19	Segunda Bateria								
20	P-2107ABCD	2,000e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCS				
21	P-2176AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	4,100e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	Diesel Pesado				
22	P-2110CDGH	3,000e-003 C-h-m2/kcal	3,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
23	P-2111BD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	1,800e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RV				
24	P-2106AC	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
25	P-2109ABCD	1,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RV				
26	P-2116ABEF	2,500e-003 C-h-m2/kcal	2,500e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
27	P-2175AB	1,000e-005 C-h-m2/kcal	1,000e-005 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCF				
28	P-2177	8,200e-004 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RV				
29	P-2108B	1,200e-003 C-h-m2/kcal	1,400e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
30	P-2106D	2,300e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	GOP				
31	P-2108B	5,000e-003 C-h-m2/kcal	5,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	RCF				
32	P-2173AB	4,000e-004 C-h-m2/kcal	6,000e-004 C-h-m2/kcal	Petróleo	RV				
33	P-2173AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	BAT				
34	P-2186AB	8,200e-004 C-h-m2/kcal	1,000e-003 C-h-m2/kcal	Petróleo	BAT				
35									
36	Tercera Bateria								
37	P-2149	2,000e-003 C-h-m2/kcal	2,000e-003 C-h-m2/kcal	Cra Reduzido	RV				
38									

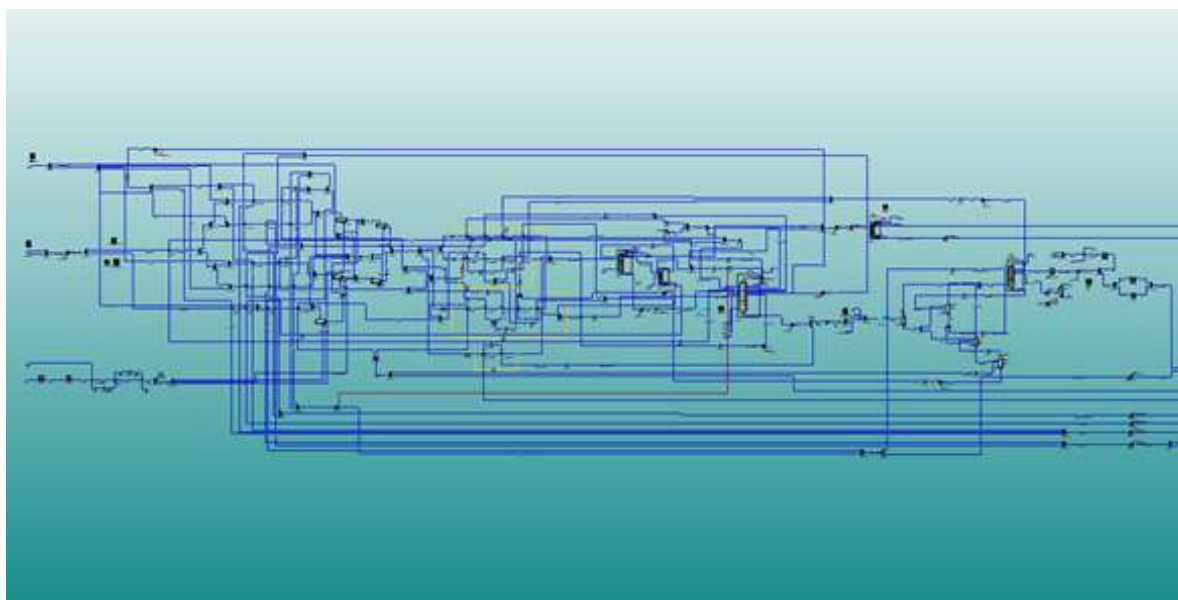
Fonte: OS AUTORES, 2013.

3.4 INTEGRAÇÃO DE MODELO FINAL

A integração das torres de destilação com a bateria de preaquecimento é a etapa mais simples de todo o processo de construção de modelo integrado, embora necessite ser executada aos poucos para facilitar a convergência.

Primeiramente, se realiza a interligação dos produtos por se tratarem de interações mais simples. Em seguida, os refluxos circulantes passam pelo mesmo processo. No entanto, deve se aguardar a convergência de toda a simulação para conectar um novo refluxo com a BPA, pois há uma grande influência entre os dois modelos.

Figura 5 – Modelagem das Torres Fracionadoras.



Fonte: OS AUTORES, 2013.

4 RESULTADOS E UTILIZAÇÃO DO MODELO

Após a calibração dos fatores de incrustação dos permutadores, os valores calculados pelo modelo foram comparados com os

resultados da planta. Os valores se mostraram bem aderentes à realidade, como está exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos resultados do modelo com a planta.

SEÇÃO	VARIÁVEL	MÉDIA(Planta)	SIMULADOR
Zona de Flash	Pressão manométrica/(kgf/cm ²)	0,36	0,33
	Temperatura /°C	374,5	375,0
FUNDO	Temperatura /°C	365,2	369,0
	Resíduo Atmosférico para Torre de Vácuo/(m ³ /d)	12 863	12 773
	Resíduo Atmosférico para Unidade de Coque/(m ³ /d)	2 500	2 509
	Resíduo Atmosférico Total/(m ³ /d)	15 363	15 343
	Vapor de média/(t/h)	2,5	11,0
	Vapor de baixa/(t/h)	8,5	

Fonte: OS AUTORES, 2013.

Com o modelo aderente à realidade foi possível sua utilização em várias aplicações, onde se podem destacar as seguintes:

4.1 FRACIONAMENTO DE GOL

O objetivo da instalação de um leito de fracionamento Gasóleo Leve de Vácuo (GOL) x Gasóleo Pesado de Vácuo (GOP) é melhorar a separação entre estas correntes de modo que o GOL tenha qualidade adequada para ser incorporado, após hidrotreatamento, ao *pool* de diesel da refinaria. Em vista desta necessidade, o principal motivador para a criação do modelo integrado foi estudar qual seria o impacto da instalação deste leito de fracionamento, na recuperação de calor da bateria.

Para se aumentar a produção de GOL, é necessário reduzir a vazão de refluxo circulante de GOP e aumentar a vazão de refluxo interno, para melhorar o fracionamento GOL x GOP. Uma redução no refluxo circulante de GOP diminui a recuperação energética da unidade tendo esse impacto quantificado com a utilização do modelo. Os resultados apontaram um acréscimo pequeno de cerca de 1,0 Gcal/h nas cargas térmicas dos fornos[1].

4.2 MELHORIAS NA DESSALGADORA E BATERIA

A REPAR possui em sua carteira dois projetos de melhoria que visam instalar melhorias no seu sistema de dessalgação e na bateria de preaquecimento. Ambos os projetos foram modelados e os resultados obtidos serviram como base para tomada de decisão durante as fases de definição de escopo e do projeto básico.

4.3 UTILIZAÇÃO DO P-2102A/B COM DP

Durante os anos de 2012 e 2013 a REPAR vivenciou um problema crônico de formação de sais de cloro no interior de sua fracionadoras atmosférica. A formação de sais levou a uma completa parada na retirada lateral da corrente de querosene, o que fez parar a troca de calor querosene x petróleo nos permutadores P-2102A/B.

Foi verificado que a corrente de diesel pesado que passa no permutador P-2104C/D ainda saía com uma temperatura adequada para ser utilizado nos P-2102A/B no lugar do querosene. O modelo então foi utilizado para estudar os ganhos desta solução e serviu de base o projeto de construção de tubulação interligando os sistemas. Os resultados estão resumidos na Tabela 2.

4.4 PARADA DA UNIDADE DE VÁCUO

Em novembro/dezembro de 2014 a unidade U-2100 precisou parar sua torre a vácuo para realizar a substituição da linha de resíduo de vácuo (RV). Nesse cenário foi solicitado um estudo do comportamento da unidade processando um petróleo atípico, incluindo a determinação das novas condições operacionais e da carga máxima de processamento alcançável.

Com o uso do modelo foi possível avaliar os sistemas críticos como as dessalgadoras, temperatura final de bateria, cargas térmicas dos fornos e fracionamento dos produtos.

Os resultados não apontaram restrições críticas nos sistemas, sendo a carga da unidade limitada pelo escoamento do Resíduo Atmosférico (RAT). A simulação indicou uma carga de 25000 m³/d, maior que a inicialmente estabelecida de 21000 m³/d, carga esta que foi praticada durante a parada.

Tabela 2 – Estudo de diesel pesado no P-2102A/B.

VARIÁVEL	BASE	ESTUDO	DELTA
Temp. da dessalgadora - 1º estágio /°C	141,7	148,3	6,6
Temp. da dessalgadora - 2º estágio /°C	138,4	142,5	4,1
Temp. final da BPA /°C	266,5	267,3	0,8
Temp. Diesel para água de resfriamento /°C	157,7	117,2	-40,5
Carga Térmica da BPA /(Gcal/h)	180,4	182,1	1,7
Carga Térmica do Forno Atmosférico /(Gcal/h)	96,4	95,7	-0,7
Carga Térmica dos Condensadores /(Gcal/h)	38,5	39,2	0,7

Fonte: OS AUTORES, 2013.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um modelo completo que integrou a simulação da bateria de preaquecimento com as torres de destilação trouxe grandes benefícios, tanto no desenvolvimento de projetos de engenharia básica, quanto no acompanhamento diário da unidade.

Apesar de a sua construção ser muito trabalhosa, o seu uso posterior é rápido e fácil.

O modelo desenvolvido foi utilizado, com sucesso, em várias ocasiões melhorando o embasamento técnico para a tomada de decisão.

A metodologia utilizada na construção da simulação da UDAV pode também ser facilmente estendida às outras unidades tais como de Craqueamento Catalítico, Coqueamento Retardado, Desasfaltação e Hidrotratamento, podendo levar ainda ao desenvolvimento de um modelo que permita a avaliação de todo parque de refino.

REFERÊNCIAS

[1] CENPES. Petrobras. **Estudo conceitual de adequação da U-2100 da REPAR para produção de diesel S10**: CT CS 006/2014: CENPES/EB-AB-G&E/CS. Rio de Janeiro, 2014.



Alexandre Ramos Jungmann

Graduação (2007) em Engenharia Química pela UFRJ. Atua na execução de projetos de engenharia básica para Unidades de Destilação, tendo

anteriormente trabalho na UO-BC como acompanhante de processo de plataforma. CENPES/EB-AB-G&E/CS – Rio de Janeiro, RJ. Chave: U3AA.

E-mail: ajungmann@petrobras.com.br.



André Cosentino Bellote

Graduação (2003) em Engenharia Química pela UFPR, Atuou na REPLAN e RPBC no acompanhamento do processo de destilação. REPAR/OT/OP – Araucária, PR. Chave: CX2E.

E-mail: bellote@petrobras.com



Fonte: Banco de Imagens Petrobras.

GERENCIAMENTO DE PROJETO APLICADO À TRANSFERÊNCIA DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

Danielle Perrotta Machado



RESUMO

Este artigo apresenta o processo e as ferramentas de controle oriundas do gerenciamento de projeto adotadas em um empreendimento do abastecimento da Engenharia da Petrobras para gestão da documentação técnica. São apresentados também os problemas encontrados, as partes impactadas, críticas e sugestões.

Palavras-chaves: Documentação Técnica. Engenharia. Gerenciamento de Projeto.

ABSTRACT

This paper introduces the process and the Project Management control tools used on an enterprise of Petrobras Engineering Supply undertook to managing technical documentation. Hereby, pitfalls, affected parties, criticisms and suggestions are presented as well.

Keywords: *Technical documentation. Engineering. Project Management.*

1 INTRODUÇÃO

Basta uma rápida olhada em qualquer um das dezenas de livros publicados sobre gerenciamento de projeto para percebermos o quanto as palavras registro, documentação, plano, norma, requisito, entre outras de natureza semântica aproximada, se repetem. Um título desta natureza, normalmente um guia, é por si só um registro formal de práticas e técnicas, organizadas de forma lógica e rastreável. Utilidade e acesso: são, também estes, princípios fundamentais da ciência da informação.

O maior desafio das equipes dos arquivos técnicos tem sido manter esses princípios. Durante a fase de execução de um projeto a documentação técnica deve ser entregue de forma contínua até sua fase final, mantendo o registro da forma mais atualizada possível de acordo com o avanço físico da obra.

O sucesso de um projeto está diretamente ligado ao atendimento das expectativas das suas partes envolvidas, ou seja, está ligado ao

cumprimento de requisitos, e “a satisfação das partes interessadas deve ser gerenciada como um objetivo essencial do projeto” (PMI, 2008, p.13).

Como a documentação de um projeto é parte da avaliação de um empreendimento, essa tem sido uma área com crescente investimento nos projetos da Engenharia, Tecnologia e Materiais (ETM).

Este artigo tem o objetivo de demonstrar como a coordenação de entrega da documentação técnica para o cliente pode ser tratada como um subprojeto e se apropriar positivamente das ferramentas pertinentes ao seu sucesso. Ao final, este trabalho pretende também indicar outros temas para aprofundamento da discussão e possíveis melhorias no processo.

Este estudo se limita à abordagem do problema da gestão da documentação técnica dentro do projeto modernização da carteira de diesel da Refinaria de Paulínia (REPLAN), contido no portfólio de refino da Petrobras.



2 O PROJETO DENTRO DO PROJETO

Ao final de um empreendimento, a documentação representa o registro de sua memória técnica e contém valor comprobatório pela responsabilidade civil de suas instalações. A documentação de um projeto evidencia também se os padrões e requisitos de qualidade foram atendidos. Porém, mais imediato do que seu valor legal e de garantia da qualidade, a documentação técnica é um dos principais insumos dos processos de operação e manutenção de uma área industrial. Sua desatualização eleva o risco de acidentes e aumenta o prazo de execução do projeto como um todo pela falta de informação ou pela informação desatualizada/errada no campo.

Somando-se o fato de que as saídas dos processos de um projeto são formadas por informações que devem atender aos requisitos preestabelecidos, é de suma importância que este processo “secundário” – o gerenciamento da documentação – seja levado em consideração como algo intrínseco ao sucesso do projeto principal.

O que frequentemente acontece, ao contrário, é que não há tal gerenciamento. As informações são revisadas e atualizadas sem uma visão totalitária e menos ainda é feito pela sua organização e registro. Uma vez finalizada a parte de execução do projeto, é realizada a desmobilização sem critério da equipe de documentação.

Os sistemas de gerenciamento eletrônico de documentos (GED) muito têm feito pelas equipes técnicas de projeto de engenharia, porém documentar ainda é um processo secundário se olharmos um projeto – qualquer projeto – como um todo.

Fazendo-se uma análise dos fluxos de dados dos processos preconizados pelo PMI (2008) verifica-se que todos contêm em suas saídas dados ou informações: relatórios, documentos, listas de atividades, listas de marcos, registros, planos, medições, calendários, documentos atualizados, etc. Assim como cada processo contém também seu elenco de requisitos. Porém o gerenciamento de documentação técnica ainda não configura como um processo independente. As informações geradas nas saídas de todos os processos hoje formalmente descritos são gerenciadas por um processo “oculto”: o gerenciamento da informação.

Enquanto o processo de monitoramento e controle da documentação não for identificado como uma fase do projeto, seja ela paralela ou sobreposta, dependendo do projeto, não será possível seu gerenciamento como meio de garantir seu sucesso.

3 O PROCESSO DE GESTÃO DA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

A documentação técnica de um projeto da engenharia consiste em um conjunto de documentos cujas informações são essenciais para a construção, montagem e operacionalização de uma instalação. Sua gestão abrange todas as fases do projeto e envolve as atividades de: recebimento, conferência, cadastramento, distribuição, arquivamento, disponibilização, transferência, guarda e descarte. Para atingir uma gestão eficaz da documentação no empreendimento, é indispensável a negociação e o acompanhamento das Engenharias com o Cliente (MAGES, 2008).

Segundo o Manual de Gestão da Engenharia (MAGES), a unidade de implementação de empreendimento deve fazer a gestão da documentação técnica, através dos seguintes processos:

- ⦿ Planejamento da Gestão da Documentação Técnica;
- ⦿ Execução e Controle da Documentação Técnica;
- ⦿ Análise de Requisitos de Documentação Técnica;
- ⦿ Transferência da Documentação;
- ⦿ Encerramento da Gestão da Documentação Técnica.

3.1 DIRETRIZ CONTRATUAL DE PROJETO EXECUTIVO

Conforme descrito na Diretriz Contratual de Projeto Executivo, segue descrição dos prazos para entrega da documentação supracitada:

⦿ Documentos certificados (**Doc. Projeto**)
“A CONTRATADA deverá prever em seu planejamento, a transferência da documentação “Conforme Construído” para a Petrobras ao longo de toda a obra.”

⦿ *Databooks* de fornecedores (**DB Fornecedor**)
“Os documentos finais (*Databooks*) de Projeto Executivo e de Fornecedores deverão ser apresentados e transferidos para a Petrobras, em arquivos eletrônicos certificados digitalmente, conforme definido nos procedimentos PE-5AP-01873 e PE-5AP-01874, e inseridos no Sistema Integrado de Gerenciamento de Empreendimentos (SIGEM) e Sistema Eletrônico de Gerenciamento de Documentos (SEGED) até 30 dias após o recebimento dos Documentos Certificados.”

⦿ *Databooks* de construção e montagem (**DB C&M**)
“*Databook* de Projeto. A CONTRATADA deverá, ao término dos serviços de Projeto, encaminhar a Petrobras um *Databook* eletrônico em mídia (DVD), contendo toda a documentação gerada, em arquivo editável e PDF.”

A mesma Diretriz Contratual versa o seguinte: “A Contratada deverá manter a lista de documentos (LD) atualizada. Sempre que houver revisão, inclusão ou cancelamento de qualquer documento constante na LD, esta deverá ser revisada.”

3.2 ACORDO DE NÍVEL DE SERVIÇO

A partir do Acordo Geral de Nível de serviço entre o Abastecimento-Refino e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES), Engenharia e Materiais para a prestação dos serviços de Projeto básico, estudos e projetos de engenharia, implementação de empreendimentos e suprimento – Acordo de Nível de Serviço (ANS), foi feito o planejamento da gestão da documentação técnica, conforme preconiza o MAGES. Este planejamento levou em consideração também o procedimento geral da REPLAN “Apresentação e Transferência de Documento Técnico de Engenharia” e os requisitos do cliente (atributos do sistema de GED).

4 O CASO

A modernização da carteira de diesel da REPLAN faz parte dos programas estratégicos do desdobramento do Plano de Negócios e Gestão da Petrobras para a área de Abastecimento. O projeto denominado Modernização da Carteira de Diesel da REPLAN consistiu na construção de unidades de processo para o tratamento do diesel que permitem produção de um combustível com menor teor de enxofre, gerando a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos e interior do país.

O escopo deste artigo são os três contratos assinados em 2011 com empresas distintas. Em janeiro de 2014, a última das seis unidades

previstas nestes contratos entrou em operação.

O empreendimento foi gerenciado pela Engenharia da Petrobras que fiscalizou as empresas contratadas responsáveis pela construção e montagem das unidades. Para efeito de controle da documentação seguiu-se o modelo da fiscalização – por contrato.

A documentação do projeto foi dividida por entrega e monitorada em comparação ao cronograma do avanço físico das suas seis principais unidades:

- 1) UHDT – Hidrotratamento de correntes instáveis de diesel;
- 2) UGH – Geração de hidrogênio;
- 3) UTAA – Tratamento de águas ácidas;
- 4) UTGR – Tratamento de gás residual;
- 5) URE – Recuperação de enxofre;
- 6) U-631 – Estação de tratamento de condensados.

Somadas a estas unidades principais foram construídas: nova subestação elétrica, adaptações diversas em subestações existentes e interligações de processo e utilidades. Estas unidades menores adjacentes tiveram sua documentação monitorada e contabilizada a partir das unidades principais supracitadas, somando-se a elas.

Desta forma ao final dos três contratos, a Engenharia deveria entregar para a Refinaria os seguintes números:

Tabela 1 – Totais de entregáveis do projeto por unidade.

Unidade	Doc. Projeto	DB Fornecedor	DB C&M
UHDT	4425	235	1
UGH	1504	119	1
UTAA	1730	114	1
UTGR	1431	72	1
URE	1697	68	1
U-631	920	37	1

Fonte: A AUTORA, 2013.

4.1 PARTES INTERESSADAS

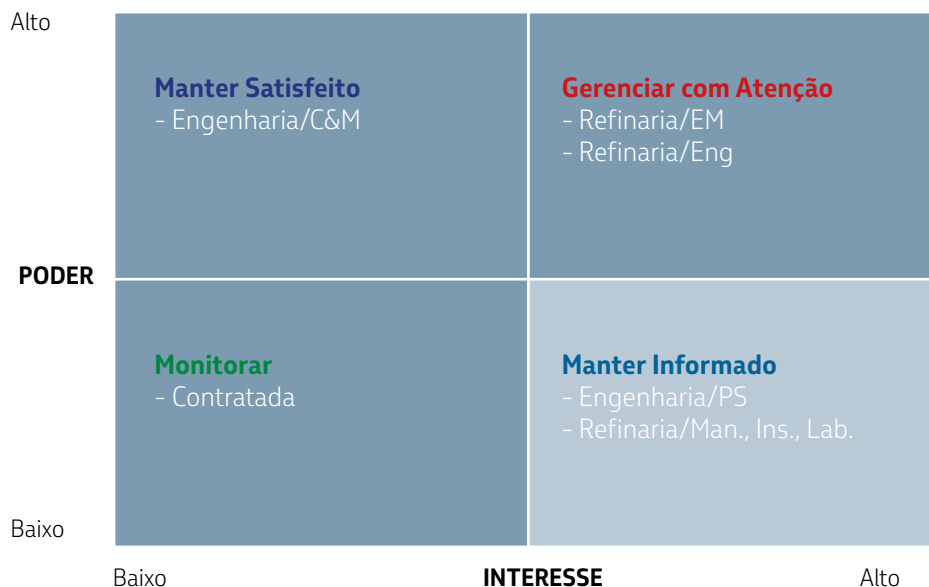
Segundo o PMI (2008) as partes interessadas de um projeto são as pessoas que podem interferir de algum modo no resultado do projeto. Também são consideradas partes interessadas aquelas pessoas que serão ou poderão ser afetadas pelo projeto.

“Ao longo do ciclo de vida do projeto, uma quantidade significativa de dados e informações é coletada, analisada, transformada e distribuída em vários formatos para os membros da equipe do projeto e outras partes interessadas. Os dados do projeto são coletados como resultado dos vários processos de execução e compartilhados no âmbito da equipe do projeto. Os dados do projeto são analisados no contexto e agregados e transformados tornando-se informações de projetos durante vários processos de controle. As informações podem então ser verbalmente comunicadas, ou armazenadas e distribuídas

como relatórios em vários formatos.” (PMI, 2008, p. 58)

Para a entrega da documentação foram identificadas as partes interessadas na sua transferência, informadas no quadro a seguir, seguindo o modelo classificatório (PMI, 2008, p. 396-397).

Figura 1 – Rede de poder/interesse com as partes interessadas.



Fonte: A AUTORA, 2013.

4.2 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Segundo Kerzner (2006, p. 57), “as melhores práticas podem aparecer nas relações de trabalho, no desenho de modelos e na forma como as metodologias de gestão de projetos são usadas e implementadas”. Assim pretende-se identificar ferramentas simples de gerenciamento de projeto sendo aplicadas num subprocesso, como meio de atingimento do resultado esperado, para sua futura replicação.

Além das ferramentas indicadas no MAGES, foram adaptadas e adotadas ferramentas oriundas das práticas de gerência de projetos. É importante destacar que o controle e monitoramento da entrega foi feito através de cinco ferramentas principais:

- a. Reuniões de monitoramento e controle com presença formal de representantes da Engenharia, do cliente e da contratada

Conforme orientação do PMI (2008) todas as reuniões do gerenciamento da documentação técnica foram realizadas separadas por tema, com agenda e arquivamento individuais.

- b. Relatório quantitativo de documentos certificados transferidos para a REPLAN

“Os relatórios de desempenho do trabalho são a representação física ou eletrônica das informações de desempenho do trabalho compiladas em documentos de projeto para suportar decisões, ações, ou criar conscientização” (PMI, 2008).

A partir dos dados de cada unidade individualmente foi feito o controle de inclusão e avanço da documentação. Neste relatório era registrada a quantidade de documentos

carregados no GED da REPLAN, em comparação ao total de documentos previstos na LD, por disciplina.

Figura 2 – Relatório de documentos certificados transferidos para a REPLAN.



CARTEIRA DE DIESEL

UHDT / UGH / UTA

Documentos de projeto certificados digitalmente / Data Books de Fornecedores e Construção e Montagem

Análise em: 10/1/2014

ÁREA	TOTAL	DISCIPLINA	TOTAL	(%)	DOCS. FINAIS ENTREGUES	(%)	DOCS. FALTANTES	(%)	OK PARCIAL	% OK PARCIAL	% TOTAL
DEA-4283	945	Caldeiraria	6	1%	5	83%	1	17%	5	83%	96,5%
		Civil	68	7%	68	100%	0	0%	68	100%	
		Elétrica	13	1%	13	100%	0	0%	13	100%	
		Instrumentação	78	8%	74	95%	4	5%	74	95%	
		Máquinas	13	1%	13	100%	0	0%	13	100%	
		Processo	113	12%	110	97%	3	3%	110	97%	
		Tubulação	674	70%	648	96%	26	4%	648	96%	
SE-4241 / 4283	535	Civil	116	22%	116	100%	0	0%	116	100%	96%
		Elétrica	341	64%	320	94%	21	6%	320	94%	
		Instrumentação	50	9%	49	98%	1	2%	49	98%	
		Processo	28	5%	27	96%	1	4%	27	96%	
CCL-4283	118	Civil	46	39%	46	100%	0	0%	46	100%	98,3%
		Elétrica	45	38%	44	98%	1	2%	44	98%	
		Instrumentação	20	17%	19	95%	1	5%	19	95%	
		Seg. Meio Ambiente	7	6%	7	100%	0	0%	7	100%	
HDT-4283	4386	Caldeiraria	19	0%	19	100%	0	0%	19	100%	99,0%
		Civil	500	11%	493	99%	7	1%	493	99%	
		Elétrica	175	4%	168	96%	7	4%	168	96%	
		Instrumentação	213	5%	200	94%	13	6%	200	94%	
		Máquinas	38	1%	39	100%	0	0%	39	100%	
		Processo	242	6%	237	98%	5	2%	237	98%	
		Seg. Meio Ambiente	45	1%	40	89%	5	11%	40	89%	
		Tubulação	3153	72%	3144	100%	9	0%	3144	100%	
239	DATA BOOKS	239	100%	142	59%	97	41%	142	59%	59,4%	
UGH-4241	1501	Caldeiraria	11	1%	11	100%	0	0%	11	100%	96,7%
		Civil	258	17%	255	99%	3	1%	255	99%	
		Elétrica	110	7%	93	85%	17	15%	93	85%	
		Instrumentação	124	8%	118	95%	6	5%	118	95%	
		Máquinas	1	0,1%	1	100%	0	0%	1	100%	
		Processo	173	12%	159	92%	14	8%	159	92%	
		Tubulação	824	55%	815	99%	9	1%	815	99%	
126	DATA BOOKS	126	100%	83	66%	43	34%	83	66%	65,9%	

Fonte: ANTONIO, 2012.

c. Planilha de controle de *databook*

O mapa de suprimentos de cada unidade contendo identificação, fabricante, previsão de compra e data prevista para chegada de cada equipamento foi passado para a coordenação de documentação técnica e

atualizado periodicamente, conforme a data de recebimento do equipamento na obra. Após a chegada do equipamento a contratada tem, por contrato, até 60 dias para entrega do *databook*.

Figura 3 – Planilha de controle de entrega de *databook*.

	A	B	C	D	E	F	J	K
1	239	217	91%	Data-Books Fornecedores				
2	Previsto	Entregue	Área	TAG	Fornecedor	Título	DATA RECEBIMENTO	GRD RECEBIMENTO
3	1	0	HDT	AT-428301B	ABB	Analisador FTNIR		
6	1	1	HDT	DB-428302A	ABB	Duto (MEGABARRE - SÃO PAULO-SP	02/10/2013	GRD-28-EXT-1312-13
7	1	1	HDT	DB-428302B	ABB	Duto (MEGABARRE - SÃO PAULO-SP	02/10/2013	GRD-28-EXT-1312-13
17	1	1	HDT	PCC-428301A	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABR	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
18	1	1	HDT	PCC-428301B	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABR	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
19	1	1	HDT	PCC-428302A	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
20	1	1	HDT	PCC-428302B	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABI	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
21	1	1	HDT	PCC-428303A	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABI	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
22	1	1	HDT	PCC-428303B	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABI	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
23	1	1	HDT	PCC-428304	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.ABI	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
24	1	1	HDT	PCC-428305A	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
25	1	1	HDT	PCC-428305B	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
38	1	1	HDT	PL-428301	ABB	Painel de Iluminação	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
39	1	1	HDT	PL-428302	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
40	1	1	HDT	PL-428303	ABB	Painel de Iluminação	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
41	1	1	HDT	PL-428304	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
42	1	1	HDT	PL-428305	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
43	1	1	HDT	PL-428306	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
44	1	1	HDT	PL-428307	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
45	1	1	HDT	PL-428308	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
46	1	1	HDT	PL-428309	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
47	1	1	HDT	PL-428310	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
48	1	1	HDT	PL-428311	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
49	1	1	HDT	PL-428312	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
50	1	1	HDT	PL-428313	ABB	Painel de Iluminação	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
51	1	1	HDT	PL-428351	ABB	Painel de Iluminação	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
61	1	1	HDT	PLA-428301	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
62	1	1	HDT	PLA-428302	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
67	1	1	HDT	PLE-428301	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	01/11/2013	GRD-28-EXT-1341-13
68	1	1	HDT	PLE-428302	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS) - A.CLA	02/10/2013	GRD-28-EXT-1311-13
69	1	1	HDT	PLE-428303	ABB	Painel (ABB -GUARULHOS)	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14
79	1	1	HDT	PN-428300A	ABB	Painel - Guarulhos - CDC-13,8kV	29/08/2014	GRD-28-EXT-1478-14

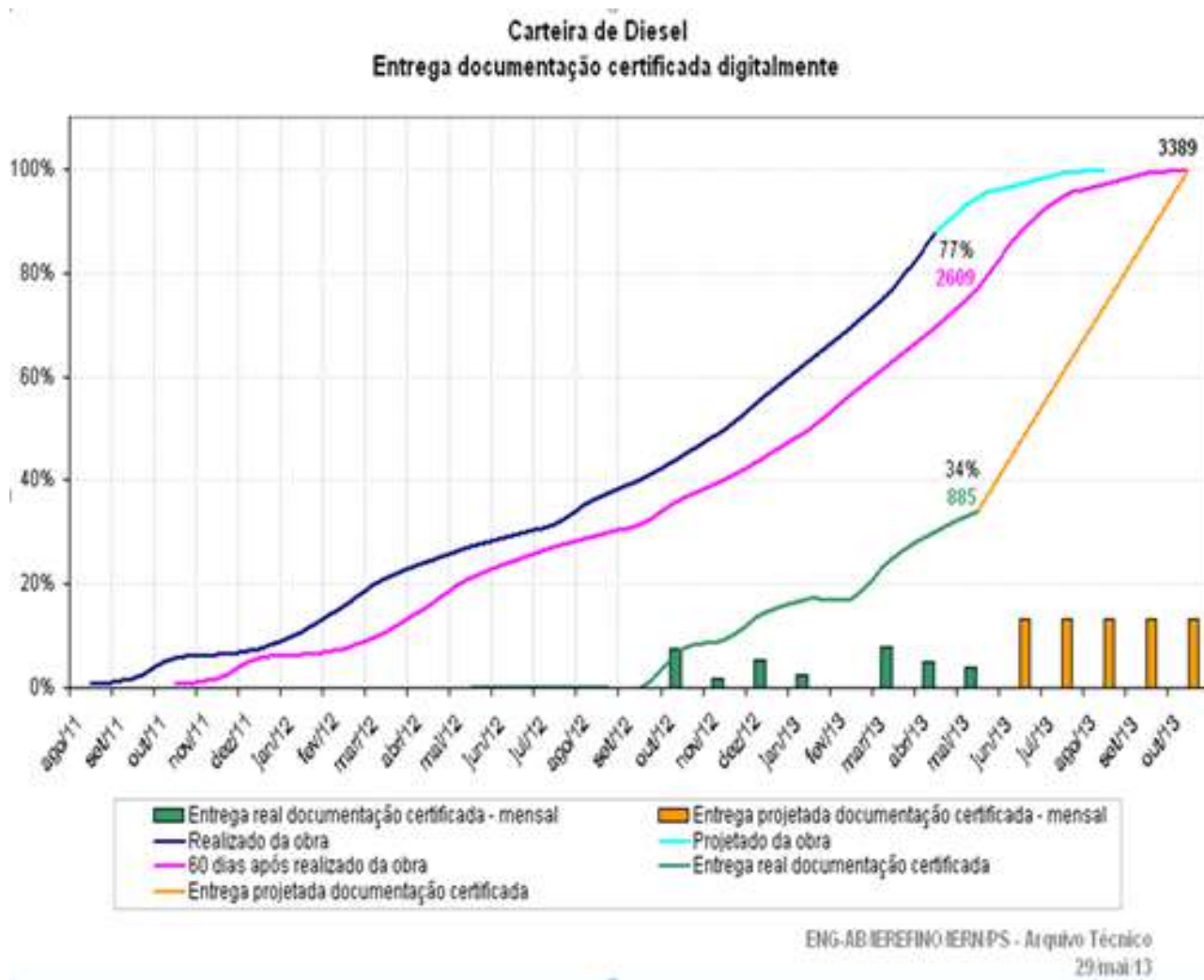
Fonte: A AUTORA, 2013.

d. Curva S de acompanhamento do avanço físico

Este gráfico permite identificar as diferenças - ou desvios - entre o planejado e o realizado. Normalmente é utilizado na comparação entre orçamento e cronograma. Neste caso foi adaptado e utilizado para comparação dos percentuais do avanço físico da obra com

avanço da entrega da documentação, a partir de seus prazos estabelecidos, bem como fazer projeções baseadas na relação entre o previsto e o realizado. As projeções inferidas das curvas S foram elementos chave para realização de plano de ação que previsse a finalização da entrega da documentação antes da desmobilização das equipes das contratadas.

Gráfico 1 – Curva S de acompanhamento do avanço físico.



Fonte: PENTEADO, 2013.

e. Matriz de distribuição das informações

Após identificar o impacto ou apoio potencial que cada parte interessada poderia gerar, foi criada a matriz de distribuição das informações do projeto, oriundas do processo de gerenciamento da documentação técnica, com suas respectivas ferramentas para manutenção dos canais de comunicação.

Conforme o modelo classificatório usado na análise das partes interessadas, verifica-se que o *stakeholder* Refinaria/Manutenção, Inspeção, Laboratório tem poder alto e interesse alto. Estas equipes além de serem as usuárias finais das instalações e conseqüentemente da documentação, fazem parte também do quórum que responde a pesquisa de satisfação do cliente, avaliando o trabalho da Engenharia.

Figura 4 – Quadro de ferramentas de comunicação com as partes interessadas.

			PARTE INTERESSADA	FERRAMENTA
PETROBRAS	Engenharia	Gerência	Gerente	Envio de relatório mensal
		Projeto e Suprimento	Gerente funcional	Reunião semanal
			Equipe de documentação	
			Coordenador de projeto	Reunião quinzenal
		Construção e montagem	Gerente funcional	Sem canal fixo
			Fiscal de contrato	Reunião quinzenal
			Gerente de contrato	Reunião quinzenal
	Especialista de disciplina		Sem canal fixo	
	Refinaria	Empreendimento	Gerente	Reunião quinzenal
			Gerentes da carteira de Diesel	Envio de relatório mensal
			Especialista de disciplina	Sem canal fixo
		Engenharia	Equipe de documentação	Reunião quinzenal
		Operação	Técnicos	Sem canal fixo
		Manutenção	Técnicos	Sem canal fixo
		Inspeção	Técnicos	Sem canal fixo
Laboratório	Técnicos	Sem canal fixo		
CONTRATADA	Gerente de contrato	Equipe	Reunião quinzenal	
	Gerente de projeto	Equipe	Reunião quinzenal	
	Gerente de qualidade	Equipe	Sem canal fixo	
	Gerente de produção	Equipe	Sem canal fixo	
	Gerente de suprimento	Equipe	Sem canal fixo	
	Arquivo técnico	Equipe	Reunião quinzenal	

Fonte: A AUTORA, 2013.

4.3 RESULTADOS ESPERADOS X RESULTADOS OBTIDOS

Dos resultados esperados e não obtidos na entrega da documentação o de maior impacto é o atraso da emissão final (“*as built*”) da documentação técnica.

Ao entregar a unidade em operação para o cliente, a Engenharia falha em não entregar juntamente toda a documentação referente à construção e montagem constituída não apenas pelos desenhos técnicos, mas também por seus manuais, certificados, testes, instruções de operação, catálogo, folha de dados, etc, ficando o usuário final, o operador, em contato com equipamentos em operação sem ter acesso aos seus ajustes e informações de segurança, colocando em risco não apenas a qualidade da operação como a integridade do operador.

Cada um dos três principais documentos que regem o controle de documentação técnica de um projeto de engenharia na Petrobras (ANS, MAGES, Contrato) tem seu próprio elenco de resultados e entregáveis.

Toda a entrega da documentação tem seu processo e medição previstos em instrumento contratual com especificações detalhadas na “Diretriz Contratual para projeto executivo” e no anexo “Critérios de medição”, e estão atreladas a eventos de pagamento, sendo o montante total previsto em comunicado emitido pela Associação Brasileira de Engenharia Industrial (ABEMI) em parceria com a Petrobras. Cada unidade teve uma data de partida em particular, portanto os resultados obtidos na entrega da documentação aqui estão separados por unidade.

Tabela 2 - Resultados obtidos por unidade.

UNIDADE	PARTIDA	DOC PROJ	FALTANTES set/2014	DB FORNECEDOR	FALTANTES set/2014
UHDT	07/11/2013	4425	0	235	23
UGH	29/09/2013	1504	0	119	13
UTAA	03/03/2013	1730	0	114	14
UTGR	13/05/2014	1431	252	72	29
URE	25/04/2014	1697	403	68	25
U-631	25/08/2013	920	94	37	6

Fonte: A AUTORA, 2014.

Conforme a diretriz contratual, os *databooks* de construção e montagem devem ser entregues “ao término dos serviços de Projeto”.

Segue tabela com as datas das partidas e a data de entrega dos *databooks* de construção e montagem. Os *databooks* das unidades UHDT, UTGR e URE não foram entregues até dezembro de 2014.

Tabela 3 - Resultados obtidos por unidade – *databook* de C&M.

UNIDADE	PARTIDA	ENTREGA DB C&M	DEFASAGEM
UHDT	07/11/2013	-	
UGH	29/09/2013	28/08/2014	11 MESES
UTAA	03/03/2013	01/10/2014	7 MESES
UTGR	13/05/2014	-	
URE	25/04/2014	-	
U-631	25/08/2013	29/05/2014	9 MESES

Fonte: A AUTORA, 2014.

4.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS X AÇÕES

O atraso da emissão final da documentação técnica tem origem em principalmente quatro causas a serem identificadas a seguir:

a) Critério de medição com baixo impacto financeiro: os eventos de pagamento às empreiteiras contratadas pertinentes à documentação final correspondem a uma porcentagem de significância monetária mínima. O comunicado ABEMI n.16 prevê que 60% do total correspondente à linha do projeto na estrutura analítica do projeto (EAP) (em média 8% no caso da Petrobras) seja destinado ao pagamento de emissão da documentação final. Tome-se como exemplo um projeto de R\$ 1 milhão: sendo 8% para a linha de projeto, temos R\$ 80 mil, dos quais 60% vão para documentação final, ou seja: R\$ 48 mil. Considerando um projeto de R\$

1 milhão de baixa complexidade, com 50 documentos aproximadamente, temos R\$ 960 por documento, em média.

Um documento técnico envolve, em média, 6h de trabalho desde sua origem até sua emissão final, conforme construído. Desta forma temos, no exemplo, R\$ 960 por 6h de trabalho de: um especialista na disciplina de nível superior, um desenhista, um auxiliar administrativo para carregamento no sistema de GED e confecção da guia de remessa e manutenção de espaço físico no canteiro com acesso ao sistema. O não pagamento das parcelas relacionadas à documentação não constitui impacto representativo na contabilidade da contratada, em comparação com o trabalho envolvido.

Ação: Este é um dado contratual não sendo possível sua revisão durante a vigência do contrato.

b) Desmobilização da equipe de documentação técnica: o Comunicado ABEMI n.39 “Exigências de experiência por categoria profissional” não prevê a função de coordenador de documentação como categoria ocupante de função chave, ou seja, não exige experiência mínima ou registro em conselho de classe.”

Sem esta exigência, ao final do contrato, durante a desmobilização da equipe, temos profissionais de outras disciplinas tendo parte de suas horas deslocadas para a entrega da documentação, sem o conhecimento necessário do processo ou do histórico da transferência. Neste momento a equipe da Petrobras precisa acompanhar novamente de maneira muito próxima as atividades de um processo que já havia sido ajustado ao longo do projeto.

Ação: Não existe atualmente forma de garantir a presença da equipe de projeto em número mínimo na equipe da projetista.

c) Ausência de registro no Relatório Diário de Obra (RDO): durante as reuniões quinzenais de monitoramento e controle, foram sistematicamente informados os atrasos na entrega da documentação. Apesar de este atraso constar nas atas de reunião o mesmo não constava nos RDOs.

Ação: Foi solicitado aos fiscais de contrato que fizessem o registro dos atrasos no RDO. Poucas solicitações foram atendidas.

d) Priorização de tarefas durante o empreendimento: o conflito na priorização das tarefas de um empreendimento por parte da Petrobras em definir para a contratada que coloque todos os seus esforços no avanço físico, deixando para o final da obra as atividades de registro e qualidade, também contribui para o não cumprimento por parte da contratada do avanço esperado da emissão da documentação de projeto.

Ação: Não foi tomada nenhuma ação que contrariasse as orientações da gerência do empreendimento quanto à priorização do avanço físico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CRÍTICAS

A avaliação da equipe de documentação é de que utilizar os métodos e ferramentas de gerenciamento de projeto no gerenciamento da documentação técnica, tratando o mesmo como um “projeto dentro do projeto” trouxe ganhos reais para o resultado final, conforme demonstrado. O desenvolvimento da equipe e seu entrosamento com as áreas de coordenação e fiscalização de projeto é um ganho intangível e imensurável, porém facilmente percebido.

Porém os atrasos ainda ocorridos na transferência da documentação para o cliente interno ocasionam impactos negativos na sua utilização.

Quando um projeto de engenharia é finalizado sem que sua memória técnica tenha assegurada a sua guarda, além da exposição aos riscos de segurança operacional presentes nas unidades construídas, ficam também comprometidos os estudos e análises para projetos futuros em áreas construídas e que, portanto dependam de documentação preexistente atualizada.

Com base na experiência da carteira de diesel da REPLAN, o não cumprimento do prazo na entrega da documentação técnica e os objetivos esperados não alcançados não ocorreram por alguma lacuna na gerência de projeto, como foi demonstrado. Todas as práticas preconizadas pelo MAGES foram adotadas, não constituindo garantia do cumprimento e qualidade da emissão e distribuição da documentação, bem como sua transferência definitiva.

5.2 SUGESTÕES

Sugere-se que os fiscais de projeto façam registro dos atrasos da entrega da documentação técnica no RDO para posterior aplicação de sanções à contratada. A exemplo do que acontece com as ocorrências da obra, o eventual relato do gerenciamento ineficiente da entrega da documentação pode manter as contratadas com esta prática fora da lista de possíveis próximos fornecedores.

O Comunicado ABEMI n. 39, que versa sobre a experiência mínima por categoria profissional em atuação na implementação de empreendimentos pela Engenharia da Petrobras, em sua revisão atual não prevê o cargo de Coordenador de Documentação. O cargo também não é previsto em sua tabela de experiência específica exigida nos anexos contratuais, bem como qualificação

mínima ou limite de experiência para profissional especialista em documentação. Sugere-se revisão do comunicado com inclusão do profissional documentalista e especificação do tempo de sua permanência no empreendimento.

Apenas com uma revisão contumaz dos processos de trabalho, capitaneada pela comunidade de projeto e suprimento, baseada nos exemplos reais do cotidiano da própria Engenharia, e realizada não apenas nos procedimentos internos, mas também nos externos à Petrobras é que será possível mudar o quadro do atraso recorrente neste processo.

Outras pesquisas poderão ser realizadas enfatizando, por exemplo, o impacto negativo do quadro exposto neste trabalho no principal *stakeholder* da Engenharia: a área cliente. Estudos que demonstrem este impacto somado às boas práticas existentes poderão levar ao caminho da gestão eficaz da documentação de projeto.



REFERÊNCIAS

- ANTONIO, Silvana da Silva. **Documentos de projeto certificados digitalmente / Databooks de projeto e construção e montagem**. Planilha em excel. Paulínia, 2012.
- COSTA, Maria Lenir Rodrigues da; ARAUJO, Rutênio Luiz Castro de. Modelo de otimização para gerenciamento de documentos técnicos de engenharia. **Scientia Amazonia**, [S.l.: s.n.], v. 1, n. 2, p. 4-13, 2012.
- DINSMORE, Paul C.; CABANIS-BREWEN, Jeannette. **AMA Manual de gerenciamento de projetos**. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.
- GIARETTA, Joacir. **Gerenciamento de documentação técnica para ambientes de engenharia/CAD com suporte a versões**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- HELDMAN, Kim. **Gerência de projetos: PMP Project management professional: guia para o exame oficial do PMI**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevir, 2006.
- KERZNER, Harold. **Gestão de projetos: as melhores práticas**. São Paulo: Bookman, 2006.
- PENTEADO, Deborah Bressan. **Curva S de acompanhamento do avanço físico**. Gráfico em excel. Rio de Janeiro, 2013.
- PETROBRAS, ABEMI. **Comunicado n. 16: critérios de medição para serviços de projetos de engenharia**. São Paulo: ABEMI, 2006.
- PETROBRAS, ABEMI. **Comunicado n. 19: emissão de documentação conforme construído "as built"**. São Paulo: ABEMI, 2007.
- PETROBRAS, ABEMI. **Comunicado n. 39: exigências de experiência por categoria profissional**. São Paulo: ABEMI, 2013.
- PETROBRAS. **Gestão da documentação técnica**. In: **MAGES: Manual de gestão da Engenharia**. Rio de Janeiro, ETM-CORP/GPRI/PIE, 2011. v. 2. Documento corporativo.
- PETROBRAS. **Acordo específico para prestação de serviços: construção das unidades das carteira de diesel da UO-REPLAN**. Paulínia, 2006.
- PETROBRAS. **Acordo geral de nível de serviço entre abastecimento-refino, CENPES, Engenharia e materiais para a prestação dos serviços de projeto básico, estudos e projetos de engenharia, implementação de empreendimento e suprimento**. Rio de Janeiro, 2005.
- PINTO, Dyana Távora Erbiste. **Proposta de implementação e integração aos processos de engenharia e qualidade**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011.
- PMI. **Guia PMBOK®**. 4.ed. Atlanta: PMI, 2008.
- RABECHINI JÚNIOR, Roque; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gerenciamento de projetos na prática: casos brasileiros**. São Paulo: Atlas, 2009.
- YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4.ed. São Paulo: Bookman, 2005.

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

PETROBRAS. **Diretriz contratual de projeto executivo.** Anexo dos contratos da carteira de diesel da REPLAN. Paulínia, 2011.

PETROBRAS. ABASTECIMENTO – REFINO – AB/RE. **Utilização e administração das ferramentas CAE.** Especificação técnica. Rio de Janeiro, 2012.

PETROBRAS. PE-4GA-00109-A- **PLANO DE DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA.** Rio de Janeiro, 2014.

PETROBRAS. PE-5AP-01949-C- **Controle e organização dos documentos de projetos e de montagens elétricas na REPLAN/EN/PCM.** Paulínia, 2011.

PETROBRAS. PG-3AP-00014-C – **Certificação digital de documentos técnicos.** Rio de Janeiro, 2011.

PETROBRAS. PG-3AP-00020-A- **Gerenciamento e controle da documentação**

técnica de engenharia. Rio de Janeiro, 2011.
PETROBRAS. PG-3AP-00021-A- **Emissão e revisão de documentos técnicos.** Rio de Janeiro, 2011.

PETROBRAS. PG-3AP-00026-D- **Apresentação e transferência de documentos técnicos de engenharia.** Rio de Janeiro, 2014.

PETROBRAS. PG-4AP-00126-C- **Cadastramento de documentos técnicos no SEGED – padronização de atributos e relacionamentos.** Rio de Janeiro, 2012.

PETROBRAS. PP-1EN-00002-0- **Gestão de documentos de empreendimentos no SIGEM.** Rio de Janeiro, 2013.

Danielle Perrotta Machado

Graduação (1998) em Biblioteconomia. Petrobras. ENG-E&P/IEUEP-I/IEICO-II. Pontal do Paraná, PR. Chave: UQJD.
E-mail: dperrotta@petrobras.com.br



SELAGEM INOVADORA DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS PARA ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

mercado nacional e internacional
implanta solução técnica
desenvolvida e patenteada
pela Petrobras

Paulo Roberto Leite Nóbrega
Roberval Bulgarelli

RESUMO

Este artigo apresenta o histórico de pesquisa, desenvolvimento e aplicação de novo dispositivo do tipo labirinto “U”, desenvolvido na Petrobras para a selagem de eixos e caixas de mancais de máquinas rotativas, tais como motores elétricos e bombas centrífugas. O objetivo deste novo dispositivo é o de aumentar o grau de proteção contra o ingresso de água e poeira em motores elétricos e bombas centrífugas industriais, bem como elevar os índices de confiabilidade e de vida útil destes importantes acionadores elétricos e máquinas para a indústria do petróleo. Após diversos ensaios em laboratórios independentes e em fabricante de motores elétricos, este novo dispositivo foi adotado para utilização também em motores elétricos industriais para instalação em atmosferas explosivas contendo gases inflamáveis e de poeiras combustíveis. Esta boa prática, patenteada pela Petrobras e licenciada para fabricação pelos grandes fabricantes mundiais de selos mecânicos e labirintos para máquinas rotativas, foi incorporada nas Normas Técnicas Petrobras N-0553 e N-0906 sobre bombas centrífugas e N-2919 sobre motores elétricos industriais.

Palavras-chave: Labirinto Tipo “U”. Selagem. Proteção contra Ingresso. Motores elétricos industriais. Atmosferas explosivas. Bombas centrífugas industriais.

ABSTRACT

This article presents the historical research, development and application of new labyrinth device type “U”, developed by Petrobras for the sealing of axes and rotating machinery bearing housings, such as electric motors and centrifugal pumps. The objective of this new device is to increase the degree of protection against ingress of water and dust in industrial electric motors and centrifuges pumps, increasing the reliability and life cycle of these important electric drives and machines for the oil industry. After several tests in independent laboratories and manufacturer of electric motors, this new device has been adopted for use in industrial electric motors for installation in explosive atmospheres containing flammable gases and combustible dusts. This good practice has been patented by Petrobras and licensed for use by major global sealing manufacturers, being incorporated in Petrobras Technical Standards N-0553 and N-0906, on industrial centrifugal pumps, and N-2919 on industrial electric motors.

Keywords: *“U” type labyrinth. Sealing. Ingress protection. Industrial electric motors. Explosive atmospheres. Industrial centrifugal pumps.*

1 INTRODUÇÃO

Mancais são componentes projetados para assegurar a posição de trabalho de eixos rotativos. Os mancais de motores elétricos industriais e bombas centrífugas, normalmente formados por rolamentos de esferas, utilizam lubrificante para assegurar o afastamento entre as partes, o qual deve estar livre de contaminantes, tais como água e poeira.

A região por onde o eixo atravessa as tampas da caixa mancais fica vulnerável, tornando-se necessário algum tipo de vedação. O mais tradicional componente de vedação são os retentores de borracha, que recebem o nome de protetor de mancais.

A utilização destes protetores está ligada ao método de lubrificação utilizado em motores elétricos; o mais comum é a lubrificação por graxa. A correta aplicação desses protetores, associada ao método de lubrificação adequado, pode aumentar muito a vida útil dos motores, além de colaborar para a proteção do meio ambiente. Também têm sido verificados casos em que, mesmo com a utilização de modernos protetores, os usuários não têm conseguido os resultados esperados.

Pesquisas de campo realizadas em refinarias de petróleo da Petrobras identificaram problemas em alguns modelos tradicionais de labirintos, aplicados a motores elétricos e bombas centrífugas.

No caso das instalações terrestres e marítimas da Petrobras, os motores elétricos são normalmente instalados em áreas classificadas, contendo atmosferas explosivas de gases inflamáveis ou de poeiras explosivas,

tais como refinarias de petróleo, terminais, estações de bombeio, plataformas de perfuração e de produção e navios petroleiros. Nestas áreas de risco, os motores elétricos necessitam possuir tipos de proteção contra explosão, de acordo com as normas técnicas da Série ABNT NBR IEC 60079 - Atmosferas explosivas, elaboradas pelas Comissões de Estudo do Subcomitê SC-31 do Cobei [1].

Analisando os tipos de falhas comuns em mancais de motores, observou-se que a tradicional proteção contra jatos de água e vazamento de graxa não é suficiente. É necessário impedir também a entrada de vapor e poeiras, também muito nocivos à vida útil dos motores elétricos certificados para instalação em atmosferas explosivas, denominados de motores "Ex". Nestes casos de instalação em atmosferas explosivas, a preocupação com os motores elétricos "Ex" é ainda maior, uma vez que o ingresso de água ou de poeira para o interior do motor elétrico pode provocar a deterioração dos seus materiais isolantes, o que pode ocasionar o surgimento de correntes de fuga e curtos-circuitos, o que pode provocar fontes de ignição.

Além disto, a deterioração da graxa devido a contaminação pelo ingresso de água e poeira pode danificar os rolamentos dos motores "Ex", o que pode ocasionar pontos de elevada temperatura e de vibração, e levar a quebra dos rolamentos, gerando o risco de "roçamento" entre rotor em movimento com o estator. Este tipo de falha pode ocasionar a geração de grande quantidade de faíscas, as quais podem provocar a ignição de uma atmosfera explosiva

que esteja ao redor dos equipamentos de processo instalados ao redor do motor elétrico "Ex". Pode ser verificado nas oficinas de reparo de motores elétricos que a falha mais comum é causada pela falha do rolamento do lado acoplado devido a contaminação do lubrificante por água e poeira.

Normas técnicas e práticas recomendadas para a indústria do petróleo orientam que uma bomba centrífuga ou um motor elétrico opere continuamente sem necessidade de reparo por, no mínimo, 25 mil horas [2]. Assim, a utilização de graxa de qualidade e a proteção contra o ingresso de contaminantes externos, representados por água ou poeira, são vitais para que os mancais possam cumprir essa recomendação. A maioria dos motores elétricos industriais instalados em atmosferas explosivas utiliza rolamentos de esfera ou de rolos em seus mancais, protegidos por labirintos, como os detalhes mostrados na Figura 1.

Os corpos rolantes e as pistas dos mancais de motores elétricos "Ex", por meio da rugosidade superficial, ancoram uma finíssima camada de graxa ou óleo que, com o movimento dos corpos sobre as pistas, forma uma fina e

resistente película lubrificante que assegura a separação das partes. Os mancais de rolamento diferem muito dos mancais de deslizamento, sendo esses últimos mais robustos e caros. Já os mancais de rolamentos são práticos e baratos, porém muito sensíveis à contaminação. É reconhecido que mais de 90 % dos rolamentos falham antes de atingir a vida útil determinada pelos fabricantes. Pesquisas e análises têm estabelecido ser a contaminação do lubrificante a causa predominante de falhas [3].

Existem dois conceitos de proteção contra contaminantes externos utilizados em caixa de mancais: o sistema aberto, que se apresenta em duas versões, pressurizado e não pressurizado; e o sistema hermético. Em motores elétricos normalmente é utilizado o conceito aberto, pressurizado ou não. Apesar das normas e práticas recomendadas para a indústria do petróleo, muitos usuários têm atualmente como expectativa o tempo médio entre falhas (TMEF) entre cinco e sete anos; além disso, as plantas têm que lidar com questões de segurança e respeito ao meio ambiente [4].

Figura 1: Detalhes de mancais com rolamentos e labirintos em motores elétricos industriais certificados para instalação em áreas classificadas contendo atmosferas explosivas (Motores "Ex").



Fonte: WEG, 2014, 2014a.

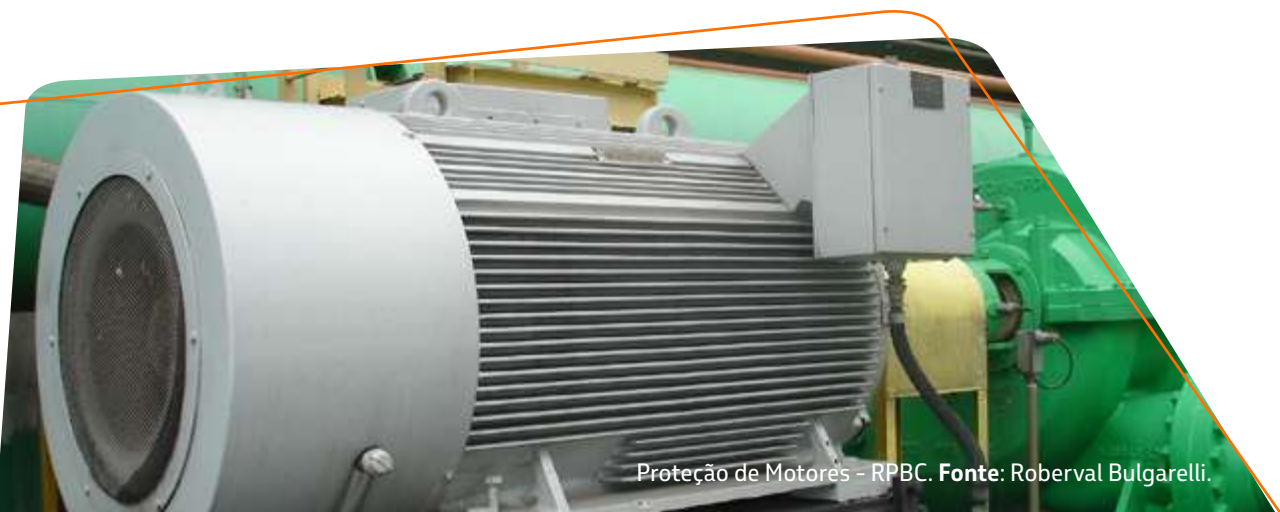
2 PROTETORES DE MANCAIS

Desde os primórdios da utilização de bombas centrífugas e de motores elétricos, a proteção do lubrificante nas caixas de mancal sempre foi exercida por meio da utilização de alguma proteção como labirintos, selos, retentores ou gaxetas [5].

Admite-se que as caixas de mancais de bombas ou o interior de motores elétricos e seus mancais sofrem a expansão e contração do ar em seu interior. A massa de ar expande-se ou se contrai de acordo com as temperaturas ambiente e de operação do equipamento. A isso chamamos de “respiração da caixa de mancais ou do motor”. Quando o motor é desligado, ele esfria e o ar em seu interior contrai, criando uma leve queda na pressão e um leve vácuo, fazendo com que nova massa de ar entre para equalizar a pressão. Quando começa a operar ocorre o contrário: aquece e o ar em seu interior se expande, fazendo com que parte dele saia pelos labirintos. Isso também ocorre com o motor parado pela simples variação da temperatura ambiente. Considerando que a cada vez que nova massa de ar entra, traz com ela os contaminantes da atmosfera, como poeira e umidade, isso se torna preocupante quando se trata da qualidade do lubrificante e vida útil dos rolamentos.

Somente mais recentemente, ao longo das últimas décadas, as falhas de mancais foram associadas, com maior ênfase, à condição do lubrificante. Era entendido apenas que a principal condição para a graxa ou o óleo deveria ser a de não vazar. Sendo assim, qualquer recurso era aceito para ser instalado na interface entre o eixo rotativo e a tampa da caixa de mancais das bombas e motores elétricos.

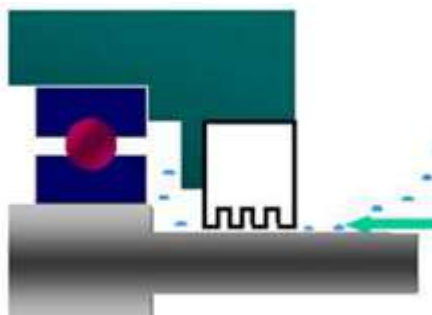
O contaminante mais comum, e provavelmente um dos mais nocivos, é a água. Sua presença na atmosfera como vapor ou como chuva e sua utilização na lavagem industrial fazem com que a maioria dos lubrificantes em uso apresente certa porcentagem de água. A poeira presente no ambiente também é um contaminante muito comum e prejudicial. A água presente na graxa ou no óleo causa o rompimento da película do lubrificante nas zonas de carga, acarretando o contato metálico entre as partes e reduzindo drasticamente a vida dos rolamentos. Os protetores de caixas de mancal são componentes de vedação que têm como objetivo impedir a entrada de contaminantes e impedir a saída de lubrificante.



2.1 PROTETORES RESTRITIVOS DE EIXOS E MANCAIS

Os protetores restritivos são os labirintos em suas mais variadas versões. Nessa categoria, a vedação não é hermética por não ter contato entre as partes e permitir a passagem de ar com vapores de água ou inflamáveis. Conforme indicado na Figura 2, a capacidade dos labirintos estacionários de impedir a entrada de água é muito limitada. Devido a isso, a maioria dos fabricantes, ao desenvolver novos modelos, focou seus esforços de projeto para impedir o ingresso de água para o interior da caixa de mancais.

Figura 2: Labirinto estacionário típico, projetado para evitar o ingresso de água para o interior da caixa de mancais de uma máquina rotativa, como em um motor elétrico “Ex”.



Fonte: NOBREGA, 2010.

Os projetos mais novos já avançaram quase para o limite do conceito e a maioria suporta até mesmo forte jato de água sobre o componente, o que na verdade não retrata a condição real, pois, normalmente, o que chega ao labirinto é um jato de água de lavagem ou chuva forte. Os labirintos em uso permitem desde uma pequena respiração da caixa e quase zero vazamento, até forte respiração e considerável vazamento [6]. Isto evidencia que a preocupação com a circulação do ar pelo labirinto nunca foi uma preocupação.

Como afirmam Bloch e Rehmann [6], os labirintos permitem a respiração da caixa de mancal. Assim, é preciso ficar claro que os labirintos trabalham pelo conceito de restrição, não há contato, logo, não podem ser chamados de selos. Por esta razão as literaturas técnicas são unânimes em afirmar que os labirintos têm vida útil infinita, uma vez que não havendo contato, não existe desgaste. Se não existir contato, um labirinto nunca pode ser considerado um selo hermético, pois as folgas que separam as partes permitem a passagem de vapores de água ou de gases inflamáveis ou de poeira. Esses componentes são projetados com folgas inerentes ao funcionamento e, assim, uma folga permanece separando o elemento estacionário do rotativo. Exceto em curtos momentos quando esse espaço é preenchido por algum filme de graxa ou de óleo, essa folga é suficiente para permitir a passagem de ar com contaminantes como vapor de água e poeira [3]. Infelizmente, alguns profissionais da área mecânica, e mesmo alguns fabricantes de bombas centrífugas ou motores elétricos “Ex”, por desconhecimento ou descaso, insistem em chamar “labirinto” de “selo”, causando prejuízos por escolha incorreta.

2.2 FUNCIONAMENTO DOS LABIRINTOS QUE UTILIZAM CONCEITO EM “L”

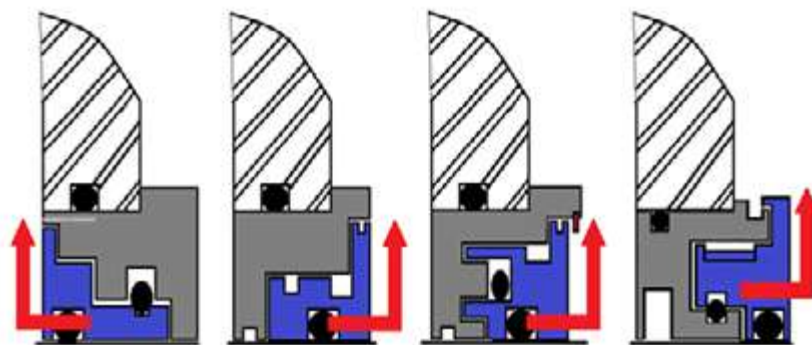
O objetivo da instalação de um labirinto é o aumento de vida útil do motor elétrico ou da bomba centrífuga para que se justifique o investimento. Muitos fabricantes focam seus esforços de projeto para um produto que proteja contra o ingresso de água devido a um jato com alta pressão sobre a caixa de mancais. Quando a atenção é focada somente nesse problema, projetos conhecidos como “L”, como o mostrado na Figura 3, atendem bem. Labirinto tipo “L” utilizam apenas um anel defletor, normalmente externo.

O que pode ser visto nestes casos é que, de fato, os rolamentos apresentam um modesto aumento de vida útil se comparado com os retentores, mas a experiência de campo mostra que ainda assim, acabam apresentando falhas precoces. Mesmo com a utilização de um labirinto “moderno”, ainda podem ser encontrados, nas caixas de mancal, um material com o aspecto de lodo e de sujeira.

Claro que não se devem ignorar outras causas de falhas de rolamentos. Entretanto, se a eficiência de vedação dos labirintos rotativos é tão alta, como é encontrado sujeira em caixas de mancais e ocorrência de falhas de rolamento por problemas de lubrificação? É reconhecido que os labirintos podem causar deslocamento de ar através de suas partes estacionária e rotativa devido ao formato do defletor em “L”.

Se o respiro da caixa for deixado aberto, o leve vácuo criado pelo defletor vai induzir o fluxo de ar para fora, transportando poeiras, sujeira, vapores, umidade do ar e tudo mais que estiver imediatamente próximo no ambiente de instalação da máquina rotativa, através da caixa de mancais, fazendo com que todas estas impurezas sejam misturadas com a graxa ou com o óleo. Essa ação é constante e a quantidade de detritos pode ser grande [3].

Figura 3: Modelos tradicionais de labirintos utilizando conceito de vedação com montagens em “L”.



Fonte: NOBREGA, 2010.

Figura 4: Protetor restritivo rotativo em “L” provoca o deslocamento do ar e o labirinto age como um “mini compressor”, provocando o ingresso de água e poeira para o interior do motor elétrico “Ex”.



Fonte: NOBREGA, 2010.

A resposta para este problema está, na verdade, relacionada com o desenho de projeto dos labirintos que apresentam uma conhecida, mas pouco percebida, montagem em “L”. A montagem de labirintos na forma de “L” é mais fácil e barata, mas traz um problema pouco comentado. A área da peça rotativa que forma a perna vertical do “L” gira próximo das faces estacionárias, conforme esquematizado na Figura 4, gerando um efeito de bombeio de ar.

Teoricamente, é admitido que, se as duas faces tiverem o mesmo acabamento, a fina camada de ar que fica entre as duas faces deve girar com aproximadamente 50 % da velocidade do eixo. Esse conceito, embora bastante teórico, não é novo, pois é encontrado em muitas literaturas sobre impelidores de bombas e no efeito da lubrificação hidrodinâmica em selos mecânicos. Uma vez que a camada de ar entre as faces do labirinto gira, pode-se admitir que uma força centrífuga atue sobre essa camada de ar causando seu deslocamento radial, no sentido de dentro para fora.

Observando a Figura 4, fica fácil entender que os labirintos, com a configuração em “L”, causam o deslocamento do ar do interior da caixa para o ambiente externo, ou seja, o labirinto age como um “mini compressor”.

Na realidade este entendimento constitui a resposta para boa parte dos problemas de rolamentos em caixas de mancal dotadas de labirintos modernos em motores elétricos “Ex” e em bombas.

Uma hipótese pode ser considerada: como o equipamento rotativo, seja motor ou bomba, tem dois labirintos e os mesmos atuam bombeando ar para fora, é de se esperar que a pressão interna fique abaixo da pressão atmosférica. Essa depressão causa a entrada de nova massa de ar na caixa, trazendo junto umidade, poeira e outros contaminantes para o interior da caixa de mancais. Em contato com a graxa ou óleo, a maior parte da umidade e poeira é assimilada e o ar que sai da caixa é quase limpo, funcionando como um “aspirador” de água e de poeira para o interior do motor elétrico, ocasionando a contaminação da graxa e a falha dos rolamentos e mancais. Por essa razão as falhas de rolamentos nos motores são mais comuns no lado acoplado, pois são os que mais estão expostos a atmosfera agressiva.

Pesquisas de campo realizadas com labirintos do tipo “L” na Petrobras/RPBC envolvendo 111 máquinas rotativas confirmaram a forte incidência de pressão negativa na caixa de mancais [7]. Isto confirma a hipótese de que a configuração em “L” causa o deslocamento de ar por meio de seu anel defletor. Das máquinas industriais pesquisadas, todas elas apresentaram diferenças de pressões devido ao bombeamento de ar, sendo que 70 % apresentaram pressão negativa no mancal.

Pode ser verificado na prática, com base nestas extensivas pesquisas de campo, que os labirintos rotativos em “L” podem ser eficientes para impedir a entrada de água e saída de óleo, mas têm uma séria deficiência pelo fato de induzir a circulação de ar para o interior da máquina rotativa, levando contaminantes para a graxa do motor elétrico “Ex”, causando sua degradação, provocando falhas nos rolamentos. O “possível” jato de água que eventualmente pode ser direcionado para o labirinto, e para o qual o projeto em “L” é tão bem preparado, na verdade, não representa muito se comparado com o fluxo constante de ar que circula através da caixa de mancais, o que ocorre, de forma indesejável, durante todo o tempo em que o motor “Ex” opera.

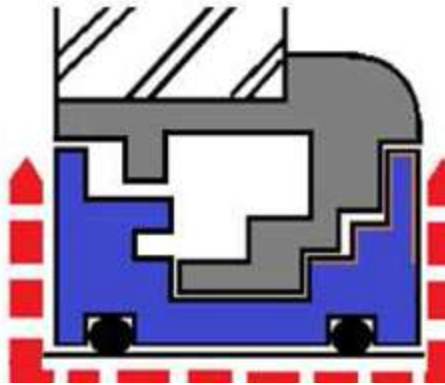
O mesmo se pode dizer da “respiração da caixa”, que representa pouco se comparada com a ação constante de bombeio de ar. Sem citar nomes ou fabricantes, mas unicamente o conceito, pode ser visto, na Figura 4, que todos eles tem ação de bombeio.

3 SOLUÇÃO PESQUISADA: LABIRINTOS COM FORMATO “U”

Tendo como motivação as deficiências verificadas nos labirintos em “L” existentes no mercado, foi verificada a necessidade de desenvolvimento de um novo tipo de labirinto, um novo conceito, deixando de lado a ilusória ideia, até então praticada, que a única necessidade é que o labirinto proteja a caixa contra jatos fortes de água e vazamento de óleo. A base para a nova exigência é que o projeto apresente também a eliminação do bombeamento de ar através do labirinto. Ou seja, o novo conceito de selagem por labirinto exige que, além de impedir a entrada de água e evitar o vazamento do Lubrificante, o labirinto também não poderá causar bombeio de ar. Assim, se o bombeio de ar não é mais admitido, os labirintos em “L” passam a ser considerados obsoletos.

Um novo modelo foi então concebido, desenvolvido e patenteado pela Petrobras (Brasil nº PI-0803690-0, USA nº 7,878,508), com a montagem em “U”, conforme Figura 5, onde, por meio do uso de dois defletores, o bombeio acontece para os dois lados e se neutralizam mutuamente, criando uma “zona de equilíbrio”, fazendo com que o deslocamento do ar por ação do labirinto rotativo seja neutralizado. Esse equilíbrio torna o labirinto “U” um componente neutro, fazendo apenas a função de protetor contra entrada de água e saída de lubrificante, porém sem causar deslocamento de ar. Esta é uma solução

Figura 5: Labirinto rotativo com formato em “U”: não provoca o efeito de “mini compressor”, impedindo o ingresso de água e poeira para o interior dos mancais dos motores elétricos “Ex”.



Fonte: NOBREGA, 2010.

sem precedente e inovadora, que a Petrobras protegeu por meio de patente tanto o labirinto desenvolvido como o próprio conceito em “U”.

Medições feitas em laboratório nos novos modelos de labirintos “U” indicaram valores de deslocamento de ar muito próximos de zero para esse modelo, raramente oscilando entre 0,09 a 0,17 mm H₂O. De forma comparativa, nas mesmas condições de testes, o modelo “tradicional” em “L” apresentou valores acima de 1,62 mm H₂O. Foram também encontrados casos de pressão negativa de até 7,5 mm H₂O. [7].

Pode ser afirmado que essa ideia é pioneira no atual conceito de que os labirintos não devem causar deslocamento de ar, pois todos os demais modelos verificados têm a característica de fabricação em “L”. Esse tipo de projeto também faz a proteção contra jatos de água e chuva forte. Por não haver deslocamento de ar através da caixa, a entrada de contaminantes é praticamente eliminada, dado ao grau de proteção IP-66 alcançado.

O modelo em “U” neutraliza o efeito de bombeamento e de circulação de ar devido à sua exclusiva e patenteada montagem com defletores paralelos opostos que causam o equilíbrio de pressão entre a parte interna e externa do labirinto.

Os labirintos do tipo “U”, após sete anos de testes na Petrobras, foram ainda exaustivamente testados e aprovados por grandes fabricantes mundiais deste tipo de dispositivo de vedação, como a Chesterton/USA, bem como por renomados laboratórios independentes de ensaios, como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Centro de Pesquisas Elétricas (CEPEL), no Rio de Janeiro e a TÜV Rheinland do Brasil. Em todos os testes a que foi submetido o labirinto “U” recebeu grau de proteção IP-66. Já existem mais de 4 mil unidades operando em várias petroquímicas, refinarias, siderúrgicas, empresas mineradoras, consolidando assim a eficiência do conceito em “U”.

De acordo com testes realizados nestes laboratórios e também na WEG, em sua fábrica de motores “Ex” em Jaraguá do Sul/SC, os labirintos do tipo “U” atingiram também o grau de proteção IP66 (NBR IEC 60034-5). Este máximo desempenho de proteção contra o ingresso de água e de poeira se mostrou efetivo não somente em sua condição de labirinto “novo” (como acontece geralmente com outros tipos de labirinto), mas também após o dispositivo ter sido submetido ao teste de envelhecimento acelerado e mantido em operação durante longo tempo, submetido a um grande ciclo de partidas e paradas dos motores elétricos de diferentes tamanhos e carcaças em que foram instalados para testes.

O desempenho da vedação apresentada pelo labirinto em "U" foi tão evidente que este foi o único modelo que a WEG homologou para utilização em motores com névoa (*oil-mist*), onde a pressão interna é levemente positiva. Nesta aplicação, o vazamento de névoa na condição parado é reduzido em quase dez vezes em relação aos modelos em "L", enquanto que em operação o vazamento é nulo. Alguns modelos no mercado conseguem este grau de proteção somente quando utilizados em conjunto com selo labial (retentor de borracha) e injeção de graxa.

Os retentores de borracha geram sérios problemas de desempenho e drástica queda de desempenho da vedação ao longo dos primeiros meses da vida útil dos motores elétricos "Ex", levando a ocorrência de vibração e elevação de temperatura dos rolamentos dos mancais, ocasionando a sua falha, da qual decorre a indisponibilidade da máquina acionada e a necessidade de remoção do motor "Ex" para reparos em uma oficina de serviços reparo, revisão e recuperação de equipamentos "Ex" certificada [1].

A vida útil de um retentor para aplicação em bombas e motores elétricos é muito importante devido ao uso praticamente ininterrupto e à alta velocidade periférica. No entanto, os retentores de borracha duram em média alguns meses e logo depois ressecam e passam a atuar como um labirinto de apenas um ponto e por isso tornam-se muito ineficientes. Como nos primeiros meses o lábio está novo e funciona em contato com o eixo, acaba por ser aprovado nos testes de grau de proteção, cujo desempenho é apenas "ilusório", pois sua proteção é drasticamente reduzida após um curto período de operação de dois ou três meses, quando ocorre o seu ressecamento e perda de proteção. Os retentores são bons componentes e até eficientes quando respeitados seus limites de velocidade periférica e número de horas de funcionamento, como é o caso das aplicações de sucesso em motores de automóveis ou em equipamentos com baixa rotação. Entretanto, a média de diâmetro e rotações por minuto nos eixos de motores elétricos e bombas centrífugas geram uma velocidade periférica tal que impedem seu bom funcionamento, por isso, assim como os labirintos em "L", os retentores também são considerados obsoletos.



Motor "Ex" WEG. Fonte: WEG Motores.

Tendo como base os excelentes resultados demonstrados em testes de laboratórios e em fábrica, a WEG incorporou os labirintos em “U” em sua linha de motores “Ex” W22, com tensão nominal até 1.1 kV e carcaças tamanhos 63 a 355 (altura do eixo). Esta linha de motores “Ex” certificada no Brasil pela TÜV Rheinland do Brasil (Certificado TÜV 110340 X de 20/09/2014), abrange o tipo de proteção não centelhante, marcação Ex nA IIC T3 Gc (NBR IEC 60079-15) e o tipo de proteção por temperatura de invólucro para poeiras combustíveis, marcação Ex tb IIIC 125°C Db (Norma NBR IEC 60079-31). Esta linha de motores “Ex” possui também certificação

internacional pelo IECEx, de acordo com o certificado IECEx BAS 10.0099X, podendo ser fabricados pela WEG em suas fábricas no Brasil, em Portugal ou na China [7].

Além da aplicação em motores novos, a utilização de labirintos em “U” está sendo também recomendado para serviços de reparo, revisão e recuperação de motores “Ex” existentes, de acordo com os requisitos da Norma NBR IEC 60079-19 [1], como forma de melhoria no desempenho contra ingresso de água e poeira, contribuindo para a elevação da confiabilidade dos motores elétricos “Ex”.

4 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES

As caixas de mancais dos motores elétricos utilizados pela Petrobras em atmosferas explosivas precisam de proteção que vai além do que é oferecido pela maioria dos projetos atuais de labirintos. Os projetos em formato “L” deixam muito a desejar diante da necessidade de diminuir a circulação de ar e a entrada de água e poeira para o interior dos motores elétricos instalados em atmosferas explosivas. Esse fenômeno age represando umidade e sujeira na caixa, durante todo o período que os motores elétricos “Ex” estiverem operando sendo este um dos principais fatores responsáveis pelas falhas nos de motores elétricos “Ex”.

Antes destes trabalhos de pesquisa e desenvolvimento realizados pela Petrobras, o fenômeno detectado de circulação de ar pela caixa de mancais, causada pelo formato em “L” dos defletores dos labirintos, era um fato

praticamente desconhecido e ignorado pela maioria dos usuários e fabricantes.

Considerando que a massa de ar no interior da caixa de mancais circula a uma vazão alta, quase três vezes o volume total a cada minuto, deve-se buscar a utilização de labirintos com projeto em “U” desenvolvido na Petrobras, de forma a evitar o ingresso de água e de contaminantes para a graxa e os rolamentos.

A utilização de labirinto com projeto em “U” praticamente elimina a circulação de ar, preservando as características da graxa, elevando a vida útil dos mancais, que são os maiores responsáveis pelos defeitos verificados nos motores elétricos industriais.

A elevação do TMEF é um dos resultados que são auferidos com base na utilização extensiva destes novos labirintos, representando o atual “estado da arte” na técnica de vedação de eixos e mancais em motores elétricos para atmosferas explosivas.

Em função das experiências e dos bons resultados obtidos pela utilização de labirintos do tipo “U”, este requisito faz parte das Normas Petrobras N-0553 – Rev. E - Bombas Centrífugas para a Indústria Petroquímica, de Gás Natural e de Petróleo e N-0906 Rev. D – Bombas centrífugas para serviços médios. Além disso, este requisito foi também introduzido na Revisão A da Norma Petrobras N-2919 - Motores Elétricos Trifásicos de Indução ou Síncronos, publicada pela NORTEC em abril de 2015, incorporando e disseminando as boas práticas e as lições aprendidas para toda a companhia.

Quanto aos ganhos obtidos com a utilização do labirinto em “U”, verificou-se na Petrobras que a vida útil dos equipamentos dobra em comparação com a utilização do labirinto em “L” e mais que triplica em relação à utilização de retentores de borracha. Como o labirinto em “U” é um componente cujo a patente a Petrobras assinou contrato de licenciamento autorizando a fabricação por quatro empresas no Brasil e no mundo, seu preço é relativamente baixo se comparado com os demais modelos em “L”, que apresentam tecnologia e desempenho bem inferior.

Levando em consideração que os motores elétricos “Ex” representam quase que a totalidade dos acionamentos das bombas, compressores, ventiladores, esteiras rolantes, elevadores e agitadores utilizados nas instalações terrestres e marítimas da Petrobras, os ganhos a serem obtidos pela elevação de sua confiabilidade e disponibilidade podem ser considerados significativos.

REFERÊNCIAS

[1] Subcomitê SC-31 do COBEI. **Normas Técnicas da Série ABNT NBR IEC 60079 - Atmosferas explosivas, 2015**. Disponível em: <http://cobei-sc-31-atmosferas-explosivas.blogspot.com>. Acesso em: set. 2015.

[2] API 610. **Centrifugal pumps for petroleum, petrochemical and natural gas industries**. ANSI/API Standard 610. Edition 11. Washington, 2010.

[3] BLOCH, Heinz P. **Bearing protection devices and equipment reliability: Part ii – what is really justified?** Pumps & Systems, Oct. 2001. Disponível em: www.sealing.com/fileadmin/docs/ISOMAG_Pump_Zone_Reprint.pdf. Acesso em: set. 2015.

[4] PUTNAM, Jason. **Oil mist bearing isolators contribute heavily to record growth at Inpro / Seal, product is the only permanent means to control stray emissions in process plants**. Rock Island: PRWEB, 2008. Disponível em: <http://www.prweb.com/releases/Inpro-Seal/Bearing%20isolators/prweb667263.htm>. Acesso em: set. 2015.

[5] _____. **Inpro/Seal expands shaft sealing product line to include water mizer**. Rock Island: PRWEB, 2009. Disponível em: <http://www.prweb.com/releases/2008/09/prweb1369354.htm>. Acesso em: set. 2015.

[6] BLOCH, Heinz P., P.E.; REHMANN, Chris. **Understanding bearing housing protection and reliable lubricant application**. 2009. Disponível em: http://reliabilityweb.com/index.php/articles/understanding_bearing_housing_protection_and_reliable_lubricant_application/. Acesso em: set. 2015.

[7] NÓBREGA, Paulo R. L. **Vedação para caixas de mancais de equipamentos rotativos** [apresentação oral]. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 25, 2010, Bento Gonçalves/RS.

[8] IECEX. WEG Equipamentos Elétricos S.A. **The W22 range of samll induction motors – Frame sizes 63 to 355**. Certificado IECEX BAS 10.0099X. IECEX, 2014. Disponível em: <http://iecex.iec.ch/iecex/IECEXWeb.nsf/CoCHistory/IECEX%20BAS%2010.00992>. Acesso em: set. 2015.

[9] WEG. **W22 motor elétrico trifásico**: catálogo técnico mercado brasileiro. Jaraguá do Sul, 2014.

[10] _____. **W3Seal: vedação do mancal**. [Jaraguá do Sul, 2014?].a.



Roberval Bulgarelli

Graduação (1985) em Engenharia Elétrica. Mestrado (2006) em Proteção de Sistemas Elétricos de Potência pela USP/POLI. Engenheiro de Equipamentos Sênior e Consultor. Coautor do Livro Instrumentação Industrial (IBP). Docente do RH/UP nas disciplinas sobre Segurança du-


rante o Ciclo Total de Vida das Instalações Elétricas e de Instrumentação em Atmosferas Explosivas e Automação de Sistemas Elétricos – Padrão IEC 61850. Membro da Subcomissão SC-06 (Eletricidade) da CONTEC. Coordenador do Subcomitê SC-31 do Cobei – Atmosferas explosivas. Representante do Brasil no TC 31 e TC 95 da IEC e no IECEX. Condecorado com o Prêmio IEC 1906 Award. RPBC/EM – Cubatão, SP. Chave: RBBS. E-mail: bulgarelli@petrobras.com.br



Paulo Roberto Leite Nóbrega

Graduação (2003) em Administração pela Universidade Metropolitana de Santos. Mestrado (2008) em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba. Professor e Consultor. Gerente de Engenharia da

Petrobras/REDUC. Autor do livro Manutenção de compressores alternativos e centrífugos (IBP). Docente do RH/UP e do IBP nas disciplinas sobre selagens de máquinas rotativas. Possui duas patentes de vedação para caixa de mancais com registro no Brasil e nos EUA. REDUC/EN – Duque de Caxias, RJ. Chave: RBV6. E-mail: paulonobrega@petrobras.com.br



MODELING OSCILLATORY BEHAVIOR OF ESP WELLS UNDER TWO-PHASE FLOW CONDITIONS

Rinaldo Antonio de Melo Vieira
Mauricio Gargaglione Prado

ABSTRACT

The effect of free gas on the Electrical Submersible Pump (ESP) performance is well known. At a constant rotational speed and constant liquid flow rate, small amount of gas causes a mild head reduction when compared to the single phase liquid head. However, at higher gas rates, a drastic reduction in the head is observed. This critical condition, known as surging point, is a combination of liquid and gas flow rates that cause a maximum in the head performance curve. The first derivative of the head with respect to the liquid flow rate change sign as the liquid flow rate crosses the surging point. In several works on ESP two-phase flow performance, production conditions to the left of the surging region are described or reported as unstable operational conditions. This paper reviews basic concepts on stability of dynamical systems and shows through simulation that ESP oscillatory behavior may result from two-phase flow conditions. A specific drift flux computation code was developed to simulate the dynamic behavior of ESP wells producing without packer.

Keywords: Electrical Submersible Pump. Two-Phase Flow. Oscillatory Behavior. Transient Simulation.

1 INTRODUCTION

The mathematical model that describes the dynamic behavior of fluid flows is generically known as “conservation laws” and is represented by a set of Partial Differential Equations (PDE). These equations represent mathematical statements of the following laws of physics: mass conservation, Newton’s second law and first law of thermodynamics.

If a system is described by a set of differential equations, an equilibrium solution may be determined by setting all derivatives with respect to time equal to zero. This equilibrium solution is also known as steady-state solution, fixed point, critical point, and equilibrium point, to name a few.

Several commercial steady-state two-phase codes are used by petroleum engineers to calculate the “equilibrium” flow rate for oil wells. This is a shortcut to obtain the “expected” steady-state solution, since the dynamics of the system are neglected. Some of the reasons why Steady-state simulators are so widely used include relatively low cost and easy to use when compared to more sophisticated transient simulators.

On the other hand, it is very important to distinguish between mathematical calculation and actual physical existence of a steady-state solution. An equilibrium solution may be obtained mathematically but physically may not exist or may never be achieved.

Taking for instance a two dimensional (2D) homogeneous linear system, represented by the following system of Ordinary Differential Equations (ODE):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 x_1 + a_2 x_2 \\ \dot{x}_2 = a_3 x_1 + a_4 x_2 \end{cases} \quad (1)$$

which can be written in matrix notation as

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (2)$$

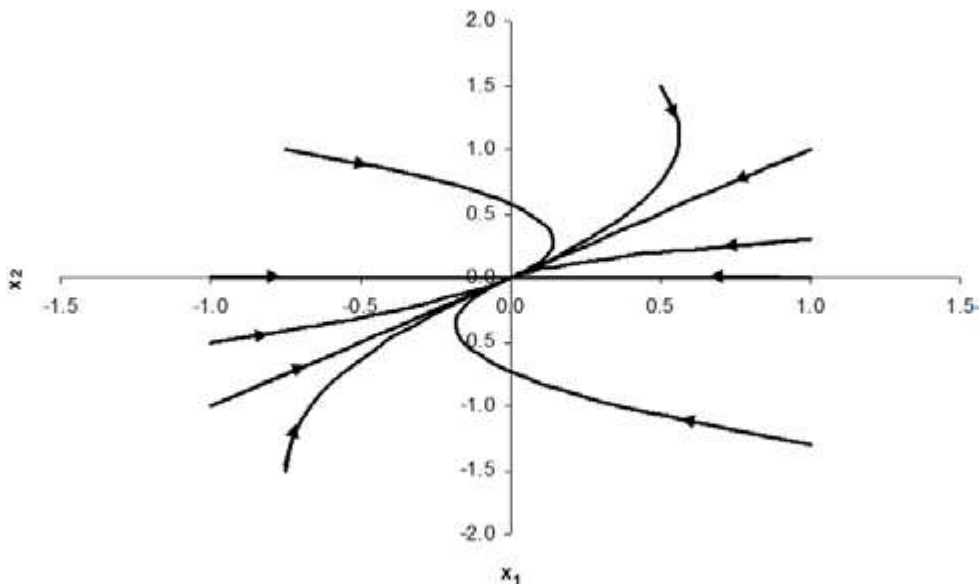
The stability of the equilibrium solution (origin) is based on the eigenvalues of \mathbf{A} . It is asymptotically stable if, and only if, the eigenvalues have negative real parts [1].

A very useful graph that helps in the understanding of stability concepts is the phase portrait. This graph illustrates the relationship between solutions x_1 and x_2 as time evolves for several different initial conditions. Figure 1 shows a generic phase portrait, which represents a stable equilibrium. Each path corresponds to a different initial condition and the arrows provide a visual interpretation of the stability.

Figure 2 shows all possible phase portraits for 2D linear systems. The axes in this figure are given by:

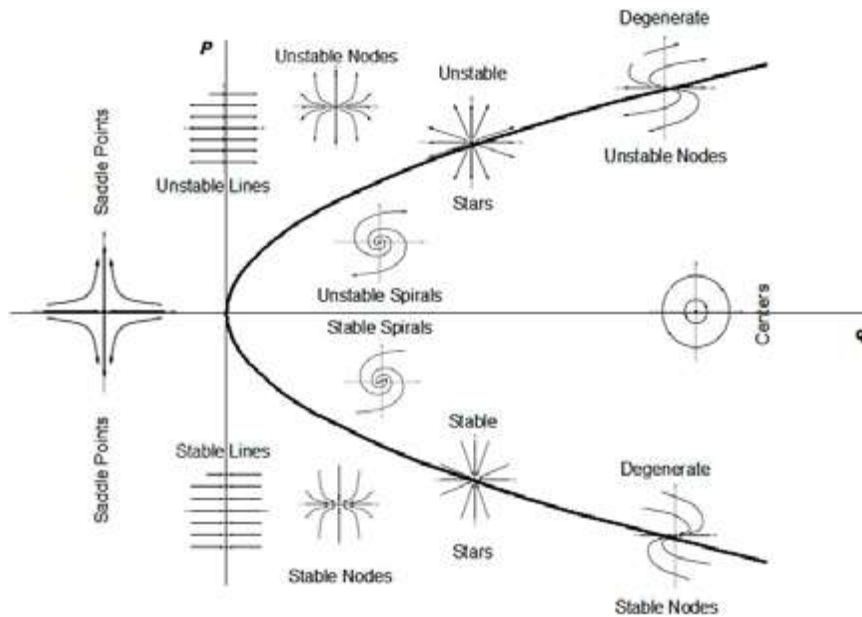
$$\begin{cases} P = a_1 + a_4 \\ q = a_1 a_4 - a_2 a_3 \end{cases} \quad (3)$$

Figure 1 - Phase Portrait – Stable Node.



Source: AUTHOR, 2012.

Figure 2 - Equilibrium Solutions Stability – Linear 2D Problems.



Source: AUTHOR (adapted from Wiens [2]), 2012.

The fourth quadrant of Figure 2 comprises 2D linear systems where the real part of the eigenvalues are negative, representing asymptotically stable solutions. A quick analysis of the graph reveals the presence of “neutrally stable” entities named centers. For this case, each different initial condition generates a different center which is not “attracted” nor “repelled” by the equilibrium solution. For all other situation, the paths are attracted or repelled by the equilibrium solution following lines or spirals.

The most simple and used procedure to check the stability of equilibrium solutions in nonlinear systems is known as “Local Linearization Analysis” (LLA). The linear system given by Eq. 1 can be related to the nonlinear case,

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2) \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2) \end{cases} \quad (4)$$

where f_1 and f_2 are nonlinear functions. If small disturbances $\delta x_i(t)$ are applied to the equilibrium solutions (\bar{x}_1, \bar{x}_2) :

$$\begin{aligned} x_i(t) &= \bar{x}_i + \delta x_i(t) \\ i &= 1, 2 \end{aligned} \quad (5)$$

and then Equation 5 is substituted into Equation 4, the equation of how the propagation of small disturbances *around* the equilibrium solution evolves, appears. Proceeding with Taylor expansions, neglecting second and high order terms, the final linearized system is obtained. In terms of matrix notation, it is given by

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{J} \mathbf{x} \quad (6)$$

where \mathbf{J} is the Jacobian Matrix. Similarly to the linear case, the stability of the steady-state solution *would* be given based on the eigenvalues of \mathbf{J} , evaluated at each equilibrium solution.

It *would* be asymptotically stable if, and only if, the eigenvalues had negative real parts. In other words, as Equation 6 represents how disturbances are propagated (in a “linearized” way), if they die-out – meaning they are attracted to the equilibrium solution – the equilibrium solution of the original non-linear system (Equation 4) is also stable and exists.

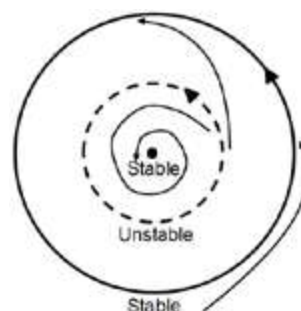
For real systems, this linearization process usually leads to easy inequalities that determine whether or not a solution is stable, which are based on steady-state parameters. Because of nonlinearities, usually these criteria are only valid in a *very small* vicinity of the equilibrium solution. In addition, another mathematical entity called “limit cycle” exists in the phase portrait of 2D nonlinear systems and is very important in determining if a steady state solution exists and if it can be achieved.

A limit cycles is an isolated closed trajectory, meaning that its neighboring trajectories are not closed – they spiral either towards (stable) or away (unstable) from the limit cycle. If one of the variables of a limit cycle is plotted against time, a periodic waveform is obtained. It only exists in nonlinear systems and cannot be determined through LLA. Transient numerical simulation is the **only** way to confirm the presence or not of such entity.

Figure 3 shows a very interesting situation that may occur in systems described by Equation 4. It represents a phase portrait containing a “locally” stable equilibrium solution that is surrounded by two limit cycles. The inner one is unstable while the outer, stable. The internal area of the unstable limit cycle represents the “basin of attraction” of this equilibrium solution. The equilibrium solution will only exist if the initial condition is placed inside its basin of attraction. In addition, the magnitude of any perturbation needs to be small enough

to maintain the system inside this area. If these conditions are not satisfied, the limit cycle, which represents a cyclical behavior, will be the final state of the system. This example clearly shows that criteria based on LLA may be useless.

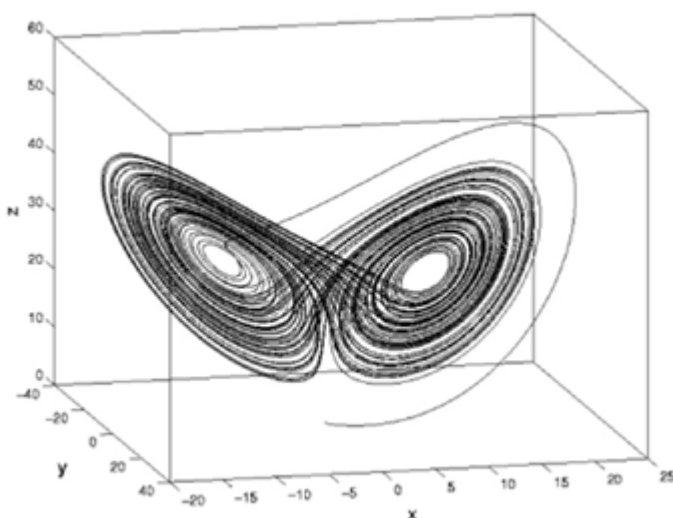
Figure 3 - Possible Phase Portrait in a 2D Nonlinear System.



Source: AUTHOR, 2012.

3D and higher-order non-linear systems also have a different entity named “strange attractor”. It represents waveforms that do not have any periodicity and remain bounded within a definite volume. This particular situation is usually called *chaos*. Figure 4 shows a well-known strange attractor named Lorenz attractor – the path never repeats itself and it remains bounded indefinitely [3].

Figure 4 - Strange Attractor [3] – Lorenz Attractor.



Source: COMPLEX, 2012.

Oscillatory behavior is also observed in fluid flow systems. Two phase flow system instability is a well-known problem in the nuclear industry [4, 5]. It may cause flow oscillations which can induce boiling crises, disturb control systems, or cause mechanical damage in nuclear equipment devices. Oil wells also face production instabilities that usually lead to operational problems to surface and subsurface equipment. Most importantly, they also cause production losses [6].

LLA may also be applied to fluid flow systems to determine analytical stability criteria. It is not trivial to derive such equations as the governing equations are Partial Differential Equations (PDE). To obtain easy practical criteria, several simplifying assumptions must be made. Most of them may end up reducing the system from PDE to ODE, to allow the use of LLA based on the eigenvalues of the Jacobian matrix. There exist other methods based on Laplace transformation and frequency domain but the resulting criteria are somehow equivalent. It should be noted that the number of criteria is related to the size of the Jacobian matrix.

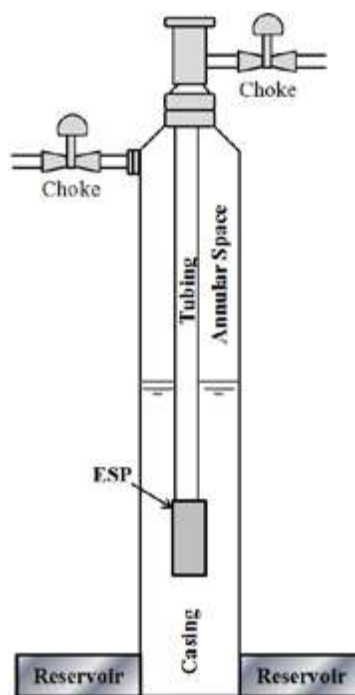
The simplifying assumptions combined with the nonlinearities effects may cause these criteria to fail in several cases, including some very simple systems [7]. The combination of steady-state simulators and LLA criteria may not be a good choice in real case situations. Transient simulation seems to be the most adequate method to determine if a well will exhibit or not an unstable behavior.

2 TWO-PHASE FLOW MODELING OVERVIEW

2.1 THE PROBLEM BEING SOLVED

Figure 5 shows the schematic of a production well. There are basically three domains in the system: casing, tubing and annular space. One of the extremities of each domain forms a shared interface called “junction” in this work with the other domains. The casing domain comprehends the volume between the reservoir and the junction, while the tubing and the annular space are bounded by the junction and each respective surface choke.

Figure 5 - Reservoir-Casing-Tubing-Annular Space Model.



Source: AUTHOR, 2012.

Two variations are possible: (1) The ESP may be located in front of the perforations (casing not included in the solution domain) and (2) ESP in front of the perforations and the assumption that only gas is separated – all liquid from reservoir goes inside the tubing and the gas separated to the annular space vanishes (casing and annular space not included in the solution domain).

Independent of the scenario, each domain must obey the conservation laws and the junction must receive an appropriate treatment to correctly model the problem, including the consideration of gas and liquid mass conservation.

2.1.1 Equations and Numerical Solution

The model is based on the drift-flux approach [8], assuming isothermal flow and no mass transfer between phases:

$$\frac{\partial(\alpha_g \rho_g)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_g \rho_g V_g)}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial(\alpha_l \rho_l)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha_l \rho_l V_l)}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\alpha_g \rho_g V_g + \alpha_l \rho_l V_l)}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial z} = -\rho_m g \sin(\theta) + \phi_{wt} \quad (9)$$

$$V_g - V_l = V_s \quad (10)$$

where Equations 7 and 8 represent, respectively, gas and liquid mass conservation, Equation 9 the mixture momentum conservation equation (convective terms were neglected), and Equation 10 the slip velocity closure relationship.

Closure relationships must be provided for the slip velocity (V_s) and for the two-phase friction term (ϕ_{wt}). The slip velocity is obtained using the traditional drift-flux model

$$\alpha = \frac{V_{sg}}{C_0(V_{sg} + V_{sl}) + V_d} \quad (11)$$

where C_0 is the distribution parameter and V_d the drift velocity. These two parameters are obtained from published correlations. For co-current upward flow, a modification in the correlation of Woldesemayat and Ghajar [9] was proposed while for co-current downward flow Ishii and Hibiki [10] was used. Because of the lack of correlations to model counter-current flow, a linear interpolation procedure between co-current upward/downward has been developed by Vieira [7].

The discretization of the equations was done using a fully implicit first-order finite-difference method on a staggered grid [11], with pressure and void fractions defined at the cell centers and velocities at cell edges, using an upwind scheme. Equations 7-10 was discretized in each domain, with some particular adaptations such as the use of equivalent and hydraulic diameters for annular geometry.

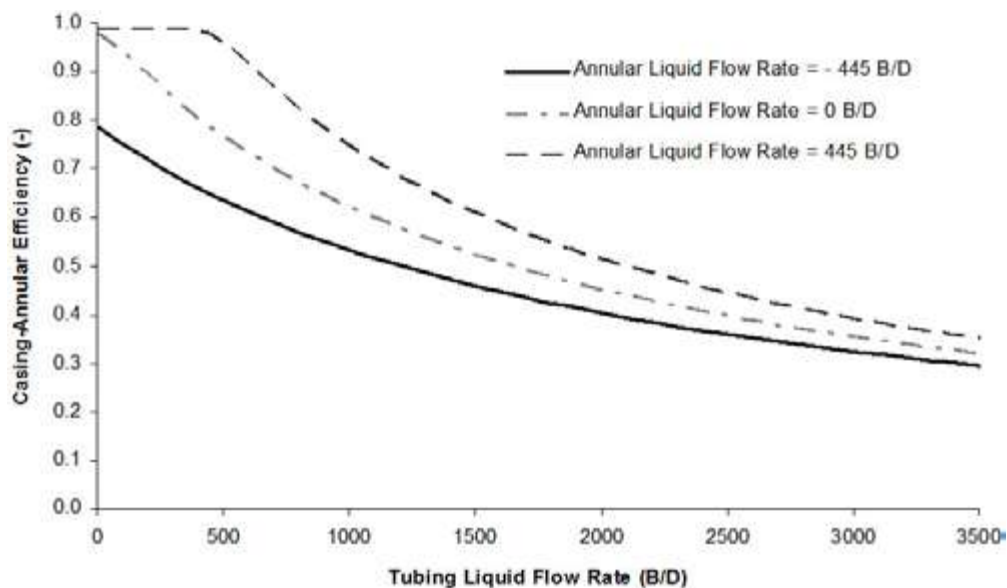
The reservoir was modeled as a source of liquid and gas, following linear relationships. As the chokes may be under single or two-phase flow conditions, Sachdeva [12] model was used. A proper description of the "junction" was done, assuring gas and liquid mass conservation as well as pressure continuity [7].

2.1.2 Gas Separation Models

The bottomhole natural gas separation efficiency was calculated using Alhanati model [13]. This model assumes that all liquid coming from the casing goes through the pump and the liquid inside the annular space is static. These premises do not satisfy the reality of this work since the liquid within the annular space may be flowing upward or downward. Because of the lack of correlations, a modification in Alhanati's work was proposed [7].

Figure 6 shows the results of the proposed modification for some arbitrary condition. For the case when the annular liquid flow rate is zero, the correlation represents Alhanati's original model itself. If the liquid is getting into the annular space (positive flow rate) the efficiency is higher since it drags more gas. On the other hand, if the annular liquid is going inside the intake (negative flow rate) more gas is dragged into the pump, reducing the separation efficiency.

Figure 6 - Natural Casing-Annulus Separation Efficiency – Pumped Well.

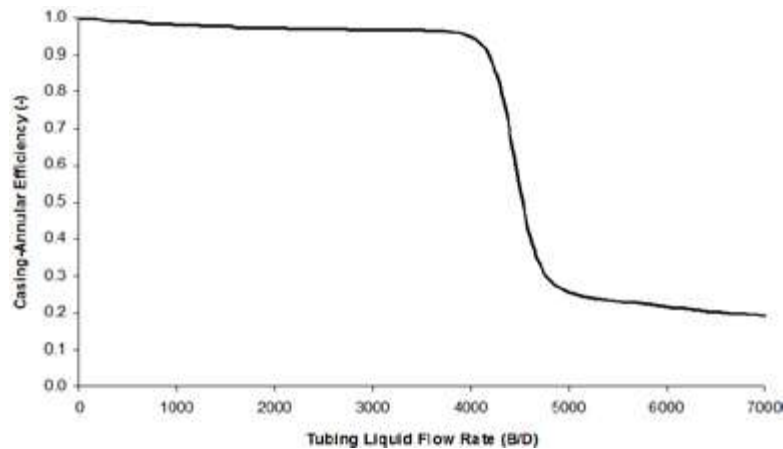


Source: AUTHOR, 2012.

A simplified rotary separator based in Alhanati's [13] rotary separator model can also be used. Figure 7 shows a typical curve for the global efficiency of this equipment, for some arbitrary conditions. As suggested by Alhanati, the existence of operational conditions in

which rotary separators are not effective was considered in the simplified model.

Figure 7 - Generic Rotary Separator Efficiency Curve.



Source: AUTHOR, 2012.

2.1.3 Pump Model

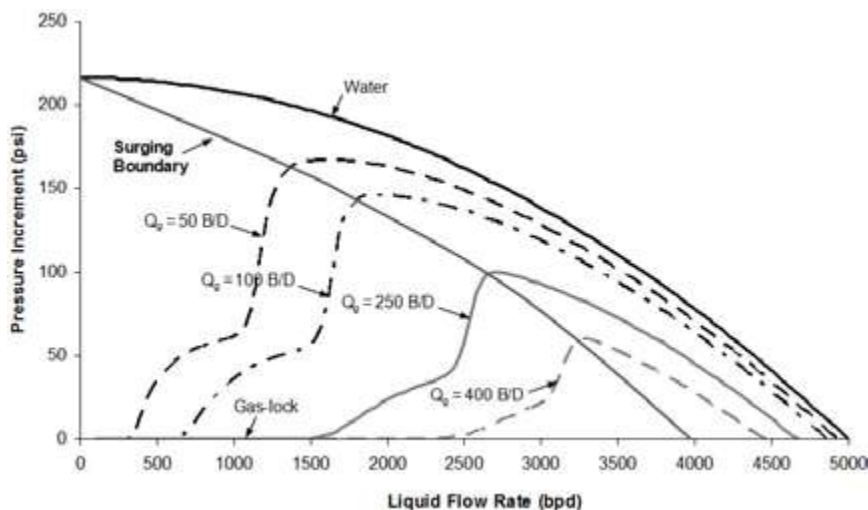
Electrical Submersible Pumps are widely utilized in the oil industry. It is a multistage vertical pump with a diffuser casing that can handle large liquid volumes. In an artificial lift system, the pump is installed within a cased hole well and produces the reservoir while staying “submersed” in the fluid.

Free gas directly impacts the pump curve performance deteriorating its ability to lift liquids. The degree of head deterioration varies from a simple reduction in performance

to more severe problems such as surging and gas-lock.

The pump model used in this work is proposed based on the works of Duran [14] and Carvalho [15]. The calculation is not done stage by stage; instead, it is considered an average total pressure increment. Figure 8 shows a typical curve performance for some arbitrary intake conditions for different constant gas flow rates as described by Vieira [7]. The stable operational envelope of the pump is assumed to be the region limited by the surging boundary, the water curve performance and the no-pressure increment horizontal line.

Figure 8 - Two-Phase Pump Performance Curve.



Source: AUTHOR, 2012.

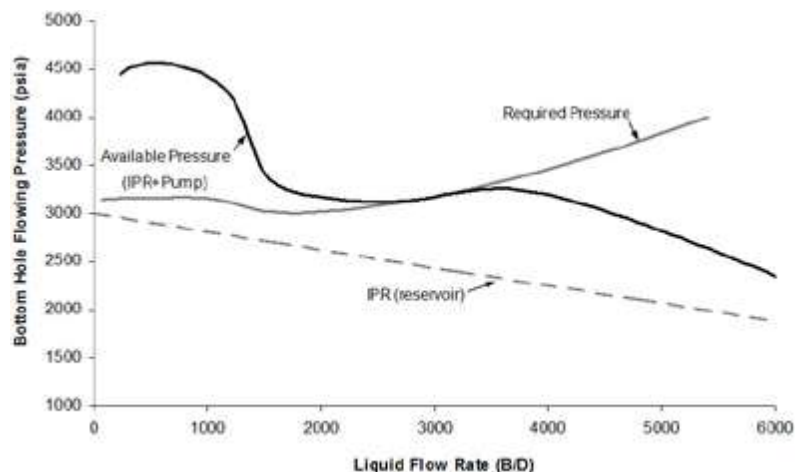
3 APPLICATION AND DISCUSSION

3.1 EXAMPLE 1: NEITHER CASING NOR ANNULAR SPACE INCLUDED IN THE SOLUTION DOMAIN: UNSTABLE EXAMPLE

This example considers a pump equipped with a rotary separator. The pump maximum flow rate is 8,640 B/D and it is located in front of the perforations. The separator is under-sized as its maximum operational liquid flow rate is about 1,250 B/D. For this scenario, all liquid from reservoir goes to the pump and the gas separated to the annular space disappears.

The gas split is determined through Alhanati's model previously described. The fluids considered in this simulation are air and water. Figure 9 shows the nodal analysis under these premises.

Figure 9 - Nodal Analysis – Example 1.



Source: AUTHOR, 2012.

One of the widely used instability criterion derived from LLA is [16]:

$$\left. \frac{dP_{avail}}{dQ} \right|_{eq.} > \left. \frac{dP_{req}}{dQ} \right|_{eq.} \quad (12)$$

According to this criterion, the solution is unstable if, at the equilibrium flow rate, the derivative of the available pressure is greater than the required pressure. Equation 12 does

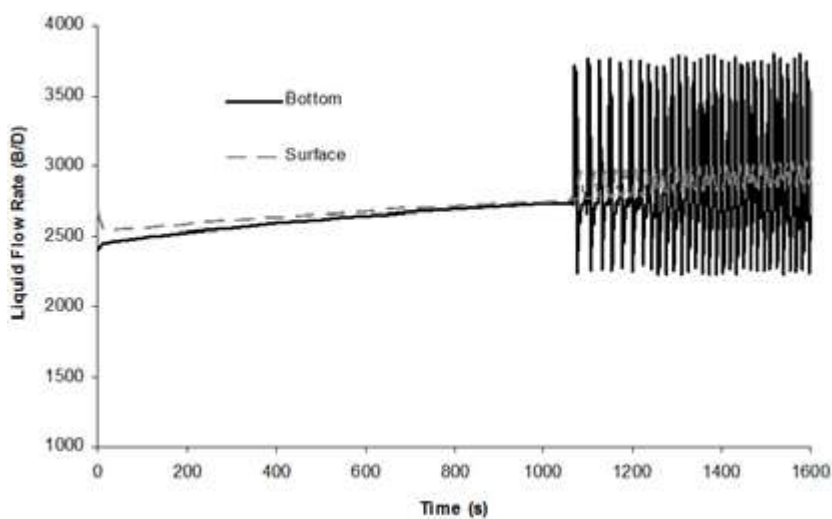
not guarantee that the equilibrium solution in Figure 9 is unstable. It should be noted that this is just one criterion among several others that may exist. For complex systems like this example, the other criteria are very difficult to obtain, even using simplifying assumptions.

Figure 10 shows the result of transient simulation for some initial condition. The equilibrium solution is unstable and no steady-state is obtained. The pump presents a high

frequency oscillatory behavior. An interesting observation is that the surface flow rates show small amplitudes while at the pump they are in the order of 1,500 B/D. This is not a desirable

operational condition for an ESP, especially for a pump with floating impellers. In a real well, probably the protective relay would shut down the equipment.

Figure 10 - Transient Solution – Example 1 – Liquid Flow Rates.



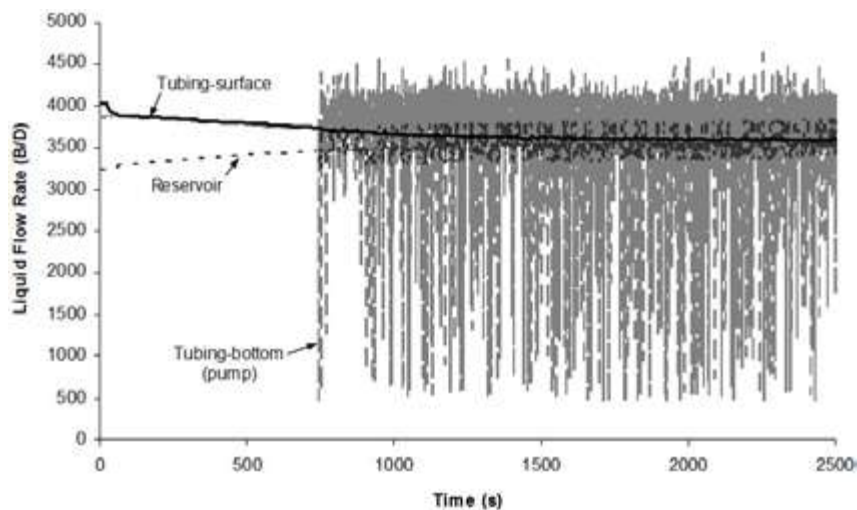
Source: AUTHOR, 2012.

3.2 EXAMPLE 2: TUBING AND ANNULAR SPACE INCLUDED IN THE SOLUTION DOMAIN: UNSTABLE EXAMPLE

The objective of this example is to determine the influence of the annular space dynamics in the unstable behavior of Example 1. To solve this problem under *steady-state conditions*, the first thing assumed is that the annular space has reached a constant dynamic level (no liquid moving inside the annular space) and thus all liquid coming from reservoir goes into the pump.

Thus, the nodal analysis is the same as the one shown in Figure 9. Figures 11 and 12 show the result of the transient simulation for some initial condition.

Figure 11 - Transient Solution – Example 2 – Tubing and Reservoir Liquid Flow Rates.

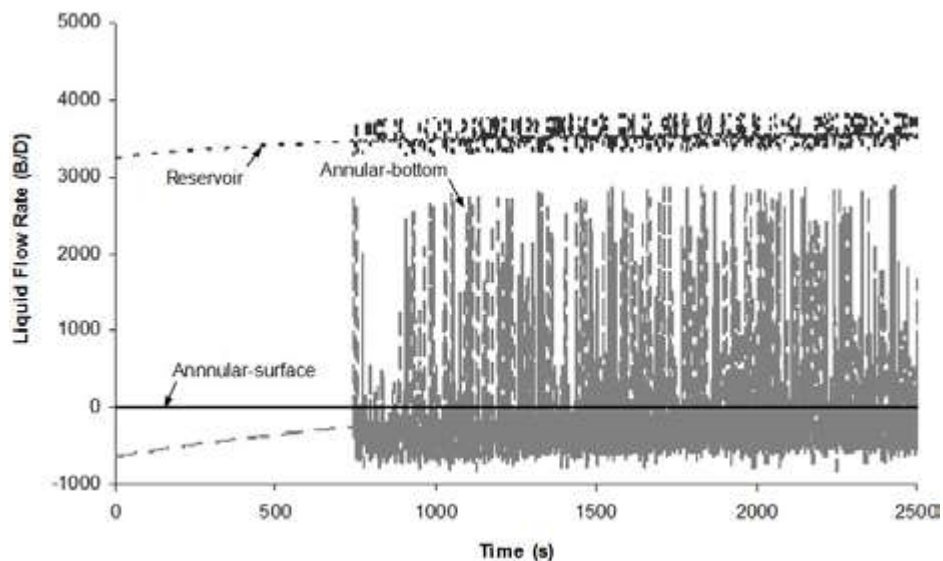


Source: AUTHOR, 2012.

The well exhibits an oscillatory behavior, confirming the previous result. It should be noted that the fluctuations at surface are even

smaller while the amplitudes downhole have increased. In addition, the solution shows more evidence of a chaotic behavior.

Figure 12 - Transient Solution – Example 2 – Annular Space and Reservoir Liquid Flow Rates.



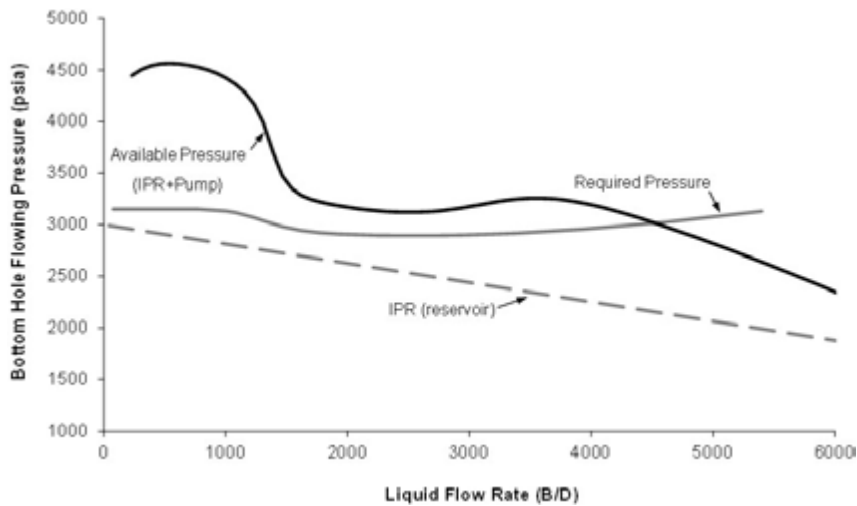
Source: AUTHOR, 2012.

3.3 EXAMPLE 3: TUBING AND ANNULAR SPACE INCLUDED IN THE SOLUTION DOMAIN: STABLE EXAMPLE

The only difference between this example and the last one is the tubing diameter. In this example, the tubing diameter is bigger than the one used in Example 2. Figure 13 shows the nodal analysis.

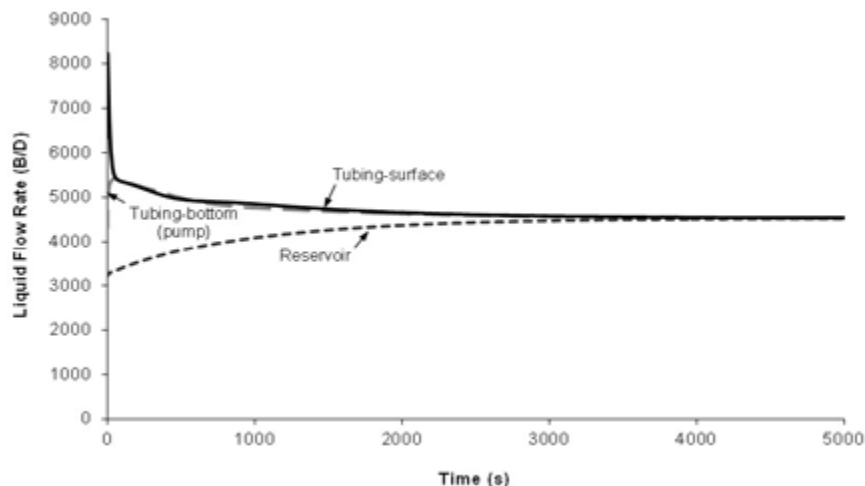
Figures 14 and 15 show the results of the transient simulations. The steady-state condition is reached with a constant dynamic level in the annular space, since no liquid flows in this domain after 5,000 seconds.

Figure 13 - Nodal Analysis – Example 3.



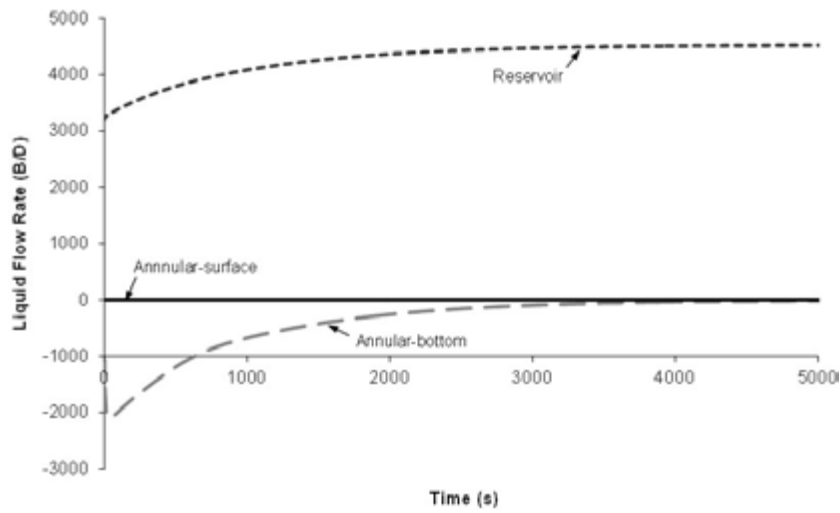
Source: AUTHOR, 2012.

Figure 14 - Transient Solution – Example 3 – Tubing and Reservoir Liquid Flow Rates.



Source: AUTHOR, 2012.

Figure 15 - Transient Solution – Example 3 – Annular Space and Reservoir Liquid Flow Rates.



Source: AUTHOR, 2012.

It should be noted that the model developed in this work is also able to simulate the classic casing heading (natural flow wells without packers). As the objective of this work is to simulate wells equipped with ESP, no examples for this situation were shown and can be found elsewhere [7].

4 CONCLUSIONS

1. There are different attractors in multidimensional nonlinear systems, such as: equilibrium solutions, limit cycles and strange attractors. LLA provides limited information regarding a tiny piece of a big puzzle and depending on the initial condition, the equilibrium solution may never be reached, even though it is stable. Only numerical simulations can really determine whether or not a dynamic system is stable.

2. A two-phase flow code based on the drift flux approach was developed in order to simulate well configurations without packers. Under this condition, bottomhole gas segregation and storage effects were considered. For wells equipped with ESP, the two-phase flow pump performance as well as separation models were used. Due to the non-existence of models for some conditions, some modifications in similar models were proposed.

NOMENCLATURE

a_i = Constants in Matrix

\mathbf{A} = Coefficient matrix

C_0 = Distribution parameter

D = Dimension

$f_i(x_1, x_2)$ = Generic nonlinear function

\mathbf{J} = Jacobian Matrix

P = Pressure or trace of a 2 by 2 matrix

q = 2 by 2 matrix determinant

Q = Volumetric flow rate

t = Time

V = Velocity

V_d = Drift velocity

V_s = Slip Velocity

V_{sg} = Superficial gas velocity

V_{sl} = Superficial liquid velocity

\dot{x}_i = First derivative of

\mathbf{x} = Column vector of variables

$\dot{\mathbf{x}}$ = First derivative of column vector

\bar{x} = Equilibrium solution

z = Position

Greek letters:

α = Gas void fraction

δ = Disturbance

θ = Angle with horizontal

ρ = Density

ϕ_{wr} = Two-phase friction loss gradient

Subscript:

avail. = Available

eq. = Equilibrium

g = Gas

l = Liquid

req. = Required

REFERENCES

- [1] LOGAN, J. D. **Applied mathematics**. 3th ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2006. ISBN: 9780471746621.
- [2] WIENS, E.G. **Two dimensional flows and phase diagrams**. Disponível em: <www.egwald.ca/nonlineardynamics/twodimensionaldynamics.php>. Acesso em: 20 dez. 2009.
- [3] STROGATZ, S. H. **Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering**. 1st ed. Boulder, Colorado: Westview Press, 2001.
- [4] BOURE, J. A.; BERGLES, A. E.; TONG, L. S. Review of two-phase flow instabilities. **Nuclear Engineering and Design**, [S.l.], v. 25, p. 165-192, 1973.
- [5] LAHEY JR., R. T.; PODOWSKI, M. Z. On the analysis of various instabilities in two-phase flows. In: HEWITT, G. F.; DELHAYE, J. M.; ZUBER, N. **Multiphase science and technology**. Hemisphere, Washington, DC: Hemisphere Publishing Corp., v. 4, p. 183-370, 1989.
- [6] HU, B.; GOLAN, M. **Gas-lift instability resulted production loss and its remedy by feedback control: dynamical simulation results**. In: SPE INTERNATIONAL IMPROVED OIL RECOVERY CONFERENCE IN ASIA PACIFIC, Kuala Lumpur, 2003. SPE 84917.
- [7] VIEIRA, R.A.M. **Flow dynamics in oil wells**. 2011. 305 l. Thesis (Ph.D.) - University of Tulsa. Tulsa, 2011.
- [8] ZUBER, N.; FINDLAY, J. A. Average volumetric concentration in two-phase flow systems. **Journal Heat Transfer**, [S.l.], v. 87, n.4, p. 453-468, 1965.
- [9] WOLDESEMAYAT, M. A.; GHAJAR, A. J. Comparison of void fraction correlations for different flow patterns in horizontal and upward inclined pipes. **International Journal of Multiphase Flow**. Oxford, v. 33, n. 4, p. 347-468, Apr. 2007.
- [10] ISHII, M.; HIBIKI, T. **One-Dimensional Drift-Flux Model for Various Flow Conditions**. Paper present in International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics, 11th. Avignon, 2005.
- [11] PATANKAR, S. V. **Numerical heat transfer and fluid flow**. Washington: Hemisphere Pub. Corp.; New York: McGraw-Hill, c1980. (Series in computational methods in mechanics and thermal sciences). ISBN: 0-07-048740-5.
- [12] SACHDEVA, R. **Two-phase flow through chokes**. 1984. 83 l. Thesis (M.S.E.) - University of Tulsa. Tulsa, 1984.
- [13] ALHANATI, F. J. S. **Bottomhole gas separation efficiency in electrical submersible pump installations**. 1993. 140 l. Thesis (Ph.D.)- University of Tulsa. Tulsa, 1993.
- [14] DURAN, J. **Pressure effects on esp stages air-water performance**. 2003. 156 l. Thesis (M.S.E.) - University of Tulsa. Tulsa, 2003.
- [15] CARVALHO, P. C. G. et al. **Multiphase performance of esp stage part II: case study**. Tulsa: University of Tulsa, 2009. Technical Report.

[16] DELHAYE, J. M.; GIOT, M.; RIETHMULLER, M. L. Thermohydraulics of two-phase system for industrial design and nuclear engineering. **Chemie Ingenieur Technik**. Wahington: New York: London, v. 53, n. 12, p. 991, 1981.

[17] COMPLEX SYSTEMS LABS. Disponível em: <<http://complex.upf.es/~josep/lorenzatt.jpeg>>.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors appreciate the technical and financial support of Tulsa University Artificial Lift Projects' member companies. The progress on this work is the results of the support of Baker-Hughes Centrilift, Chevron, ENI, Kuwait Oil Company, PEMEX, Petrobras, Shell International, Total and Wood Group ESP.



Rinaldo Antonio de Melo Vieira

Graduação (1999) em Engenharia Sanitária e Ambiental. Mestrado (2004) em Engenharia Química pela UFBA. Doutorado (2011) em Engenharia de Petróleo pela The University of Tulsa. Petrobras. RH/UP/ECTEP/PCPROD - Salvador, BA . Chave: CTU4.
E-mail: rinaldo_vieira@petrobras.com.br



Maurício Gargaglione Prado

Graduação (1982) em Engenharia Metalúrgia pelo IME. Mestrado (1989) em Engenharia de Petróleo pela UNICAMP. Doutorado (1995) em Engenharia de Petróleo pela The University of Tulsa. The University of Tulsa. McDougall School of Petroleum Engineering - Tulsa, OK.
E-mail: mauricio-prado@utulsa.edu

MUDANÇAS NO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DA REFINARIA DUQUE DE CAXIAS

minimização do uso de água e redução da carga orgânica lançada na Baía de Guanabara

Fernando Ribeiro Camaz



RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliação científica, análise e tratamento estatístico do comportamento da carga poluidora da Refinaria Duque de Caxias (REDUC) considerando os aspectos e impactos ambientais do fechamento do sistema de refrigeração aberto, ações 32 e 33, de um total de 105 ações propostas do Termo de Ajustamento Ambiental (TCA). A Baía de Guanabara teve a partir dezembro de 2003, uma grande redução no risco de poluição de suas águas em função do início do fechamento do antigo sistema de refrigeração aberto. O processo consistia em captar água da Baía de Guanabara para refrigeração de produtos e em seguida, após adequação de temperatura, era devolvida a Baía na forma de efluente dentro dos parâmetros de controle, atendendo ao órgão ambiental, Instituto do Ambiente (INEA) e a resolução CONAMA 357. Apesar deste controle, a carga orgânica lançada pela REDUC era alta em função da própria fonte de captação e do volume de água envolvido, aproximadamente 660.000 m³/dia. Os custos para implantação do Sistema de Refrigeração fechado foram de cerca de US\$ 46,8 milhões, que foram desembolsados em três anos. O investimento estimado foi de R\$ 218 milhões e o período de realização de 2000 a 2003, além de medidas de colaboração de R\$ 6 milhões em programa de educação ambiental, urbanização Praia de Ramos e apoio à Organizações Não governamentais (ONG) Ambientalistas no cumprimento de um termo de ajuste de conduta, numa demonstração de absoluta responsabilidade social e respeito ao meio ambiente.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Indicadores. Sistema de refrigeração. Refinaria de petróleo.

ABSTRACT

The objective of this work was scientific assessment, analysis and statistical treatment of the pollution load of the behavior of the Duque de Caxias Refinery (REDUC) considering the aspects and ambient impacts of the open cooling system closing, actions 32 and 33, a total 105 proposed actions of the Environmental Adjustment Agreement (TCA). The Guanabara Bay had from December 2003, a large reduction in the risk of pollution of its waters due to the early closure of the old open cooling system. The process was to draw water from Guanabara Bay for refrigeration products and then, after adjustment temperature, was returned to bay in the form of effluent within the control parameters in view of the environmental agency (INEA) and CONAMA resolution 357. Despite this control the organic load released by REDUC was high due to the pro-would put funding source and the volume of water involved, approximately 660,000 m³ per day. The costs of implementing the closed cooling system were about \$ 46.8 million, which were perform estimated for about three years. The estimated investment of R \$ 218 million and the 2000 implementation period to 2003, and R \$ 6 million collaborative action on environmental education program, urbanization Palm Beach and support for Non-Governmental Organizations (NGO) Environmentalists in fulfillment of a conduct adjustment term in a show of absolute social responsibility and res-chest to the environment.

Keywords: Ambient impacts. Indicators of performance. Refrigeration system. Oil refinery.

1 INTRODUÇÃO

As atividades de refino de petróleo acarretam impactos ambientais nas fases de construção, operação e manutenção da refinaria e para minimizar esses impactos negativos torna-se necessário realizar ações eficientes de monitoramento e controle ambiental. Estes empreendimentos podem estar próximos a manguezais junto à orla marítima e bacias hidrográficas complexas.

A Refinaria Duque de Caxias (REDUC) por estar situada próxima a Baía de Guanabara, em região de águas rasas, e possuir gasoduto com ponto de toque em áreas costeiras, influencia de forma direta e indireta nas áreas de manguezais, tanto no ambiente terrestre, quanto na região da Baía de Guanabara. Atualmente ainda continuam sendo executados diversos estudos, programas e Projetos do Monitoramento Ambiental voltado para este ecossistema coordenados pelo Centro de Pesquisas da Petrobras, CENPES.

O Programa de Excelência em Gestão Ambiental e Segurança Operacional (PEGASO), lançado em 2002, foi um diferencial na história da Petrobras, iniciando a nível corporativo, um grande movimento na busca da excelência em gestão de Segurança, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional (SMS). Somente na Refinaria Duque de Caxias, o programa era composto de 105 ações, a um custo de mais de R\$ 218 milhões. Outras fontes de subsídios importantes para a composição do Plano de Ação do Termo de Compromisso de Ajuste Ambiental (TCAA) foram as informações e projetos advindos da execução do Termo de Compromisso Ambiental (TCA) firmado pela refinaria e a Dutos e Terminais do Sudeste com a Fundação de Engenharia do Meio Ambiente (atual Instituto do Ambiente) e a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

O documento previa ações a serem executadas pela REDUC nas áreas de resíduos, hidrologia, minimização de riscos de processo, planos de gestão ambiental, educação ambiental e colaboração na urbanização da praia de Ramos e apoio a Organizações Não Governamentais (ONG's). O Termo discriminava de forma clara e concreta os compromissos de desembolsos iniciais de mais de R\$ 171 milhões, além de vários itens de projetos e melhorias recomendadas à adequação ambiental e a regularização através do licenciamento do seu parque de refino, concluído em 2005. Este Plano de ação previa medidas de melhoria no *hardware* da Refinaria, como a implantação de sistemas de gestão integrada e foco no ser humano, direcionadas a aspectos socioambientais.

Diversas obras foram executadas e implantadas e outras estão em andamento na Refinaria Duque de Caxias, para aumentar a confiabilidade de seus sistemas logo após o vazamento de óleo corrido na Baía de Guanabara em janeiro de 2000.



Vista aérea da REDUC.
Fonte: Banco de Imagens
Petrobras.

1.1 OBJETIVOS DO ESTUDO

Os resultados obtidos com monitoramento do efluente da Bacia de Resfriamento, área de referência deste estudo, foram interpretados considerando o seu contexto ambiental de área sob influência de outras atividades como o aterro de Gramacho, o Pólo Petroquímico e a cidade de Duque de Caxias.

O efluente da antiga Bacia de Resfriamento era lançado no rio Iguaçu cuja foz é a Baía de Guanabara. Esta área foi também utilizada como referência para estudos ambientais realizados pela Fundação Euclides Cunha da Universidade Federal Fluminense (FEC/UFF), Fundação da Universidade de São Paulo (FUNDESP) para o monitoramento, suporte, a caracterização e avaliação dos impactos na área do complexo dos rios Iguaçu e Sarapuí.

O estudo procurou analisar o comportamento da carga poluidora lançada (óleos e graxas), sistematizados conforme dados da DZ - 942. R-7 - Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos - PROCON-ÁGUA, enviados ao órgão ambiental - Instituto Estadual do Ambiente (INEA) no período da pesquisa.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A proposta apresentada poderá ser um instrumento prático de gestão ambiental e servir de base com informações para a tomada de decisão gerencial das empresas do segmento em estudo, desenvolvendo e incorporando em seus conceitos e métodos formas de registrar, comparar e mensurar os eventos econômicos relativos ao meio ambiente. Torna-se, portanto, necessário definir um número expressivo e representativo do potencial poluidor e histórico ambiental da região onde está inserida a refinaria.

O trabalho utilizou tratamento estatístico descritivo de dados do PROCON-ÁGUA, enviados mensalmente ao órgão ambiental (INEA), do período do estudo, janeiro de 1998 a outubro de 2006.

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Para esta finalidade, deve-se ter presente o disposto na Resolução nº 357/05, do CONAMA, que classifica em treze classes as águas doces, salobras e salinas, segundo seus usos preponderantes, estabelecendo os padrões de qualidade exigíveis em cada classe e vedações de uso, a fim de que aqueles padrões de qualidade sejam mantidos.

Em termos de descarga dos efluentes líquidos, estes deverão atender ao § 4 do artigo 34 da Resolução CONAMA 357/05. A concentração máxima de substâncias aceita no corpo d'água também são definidas na referida Resolução. Os limites estabelecidos na referida legislação são apresentados juntamente com os limites estabelecidos na legislação do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 1 - Unidade antiga de Refrigeração da Bacia de Resfriamento.



Fonte: O AUTOR, 2007.

2 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO ABERTO

O antigo sistema de refrigeração aberto era composto de um canal artificial que adentrava pela Baía de Guanabara por aproximadamente 3 km, denominado de Canal de Tomada de Água (CTA), para facilitar a captação de água. O canal possuía um septo flutuante com a finalidade de reter o material pesado, como moirões, troncos de árvore e material flutuante.

A estação elevatória era denominada Casa de Bombas de Refrigeração (CBR) e composta de sete bombas com capacidade nominal de 5500 m³/h. O recalque era feito através de cinco bombas e distribuídos em três *headers*: Norte, Sul e Central. Na entrada de cada unidade abastecida por este sistema existiam filtros para evitar o entupimento dos trocadores de calor. O sistema também possuía boca de visita para inspeção e drenos para limpeza rotineira.

A água salgada circulava pelas unidades industriais da Gerência do CB, refrigerando produtos que saem do processo através de equipamentos denominados trocadores de calor. O efluente deste sistema seguia por uma tubulação fechada até um canal aberto chamado de "FLUME". Este canal terminava em uma grande área denominada bacia de resfriamento, onde ocorria a troca térmica entre a água e o ar, para posterior deságue no Rio Iguaçu.

2.1 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO FECHADO

O novo sistema de refrigeração utilizado pela REDUC possui duas torres com capacidade de circulação de 45.000 m³/h de água e

tubulações de 2m de diâmetro que percorrem cerca de 1 km em torno da refinaria. Os custos para implantação do Sistema de Refrigeração fechado foram de: R\$ 124.311.717,53 (US\$ 46,8 milhões) em três anos.

O sistema de resfriamento fechado utiliza água clarificada, que circula pelas unidades de processo de combustíveis, retornando a cada ciclo, ou seja, é reaproveitada dentro do próprio circuito fechado de refrigeração. Este sistema de refrigeração é responsável por 90% do resfriamento do processo de produção da REDUC.

Figura 2 - Ação 32 REDUC - U-1364.



Fonte: O AUTOR, 2007.

A perda estimada de projeto é de 2 % do volume circulante, e se dá por evaporação e/ou arraste, ou seja, não há descarte para o meio ambiente. Há ganhos econômico, socioambiental e de imagem para a Petrobras devido à redução de custos de manutenção em tubulações e trocadores de calor devido à corrosão de máquinas e equipamentos.

Figura 3 - Ação 32 - U 1363 (Torre A).



Fonte: O AUTOR, 2007.

2.2 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

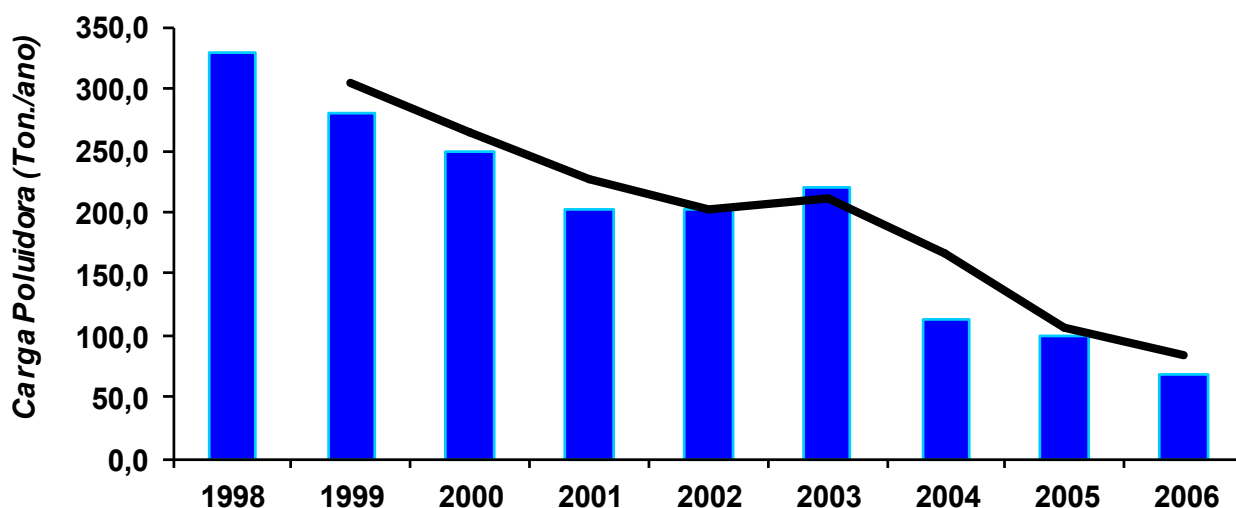
Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São raramente encontrados em águas naturais, normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas. Os despejos de origem industrial são os que mais contribuem para o aumento de matérias graxas nos corpos d'água, dentre eles, destacam-se os de refinarias, frigoríficos e indústrias de sabão.

A pequena solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere a sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e,

quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento de água. A presença de óleos e graxas diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo dessa forma, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água.

Em processo de decomposição, a presença dessas substâncias reduz o oxigênio dissolvido elevando a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), causando alteração no ecossistema aquático. Na legislação brasileira não existe limite estabelecido para esse parâmetro, a recomendação é que os óleos e as graxas sejam virtualmente ausentes para as classes 1, 2 e 3 da resolução CONAMA nº. 357/2005. O Gráfico 1 mostra a evolução da redução na carga poluidora de óleos e graxas medido na saída da Bacia de Resfriamento.

Gráfico 1 - Carga Poluidora de Óleos e Graxas medidos na saída da Bacia de Resfriamento.



Fonte: CAMAZ, 2008.

Os volumes captados na Baía de Guanabara e no efluente descartado no Rio Iguaçu foram altos, cerca de 30.000m³/h. Este sistema, apesar do descarte de seus efluentes, dentro dos padrões de controle do órgão ambiental (como exemplo o parâmetro óleos e graxas), o volume descartado no início da pesquisa, em 1998, foi de 330 t/ano, e no final da pesquisa, em 2006, foi de 50t/ano.

Os ganhos econômicos foram a redução no custo do tratamento de efluentes cerca de US\$ 633,6 mil/dia, que deixaram de ser tratados e descartados. Os ganhos socioambientais foram significativos somente à quantidade de óleos e graxas lançado no rio Iguaçu em 1998 foi de 330 t/ano igual 2.408 barris de petróleo/ano equivalente a 383.000 l/ano.

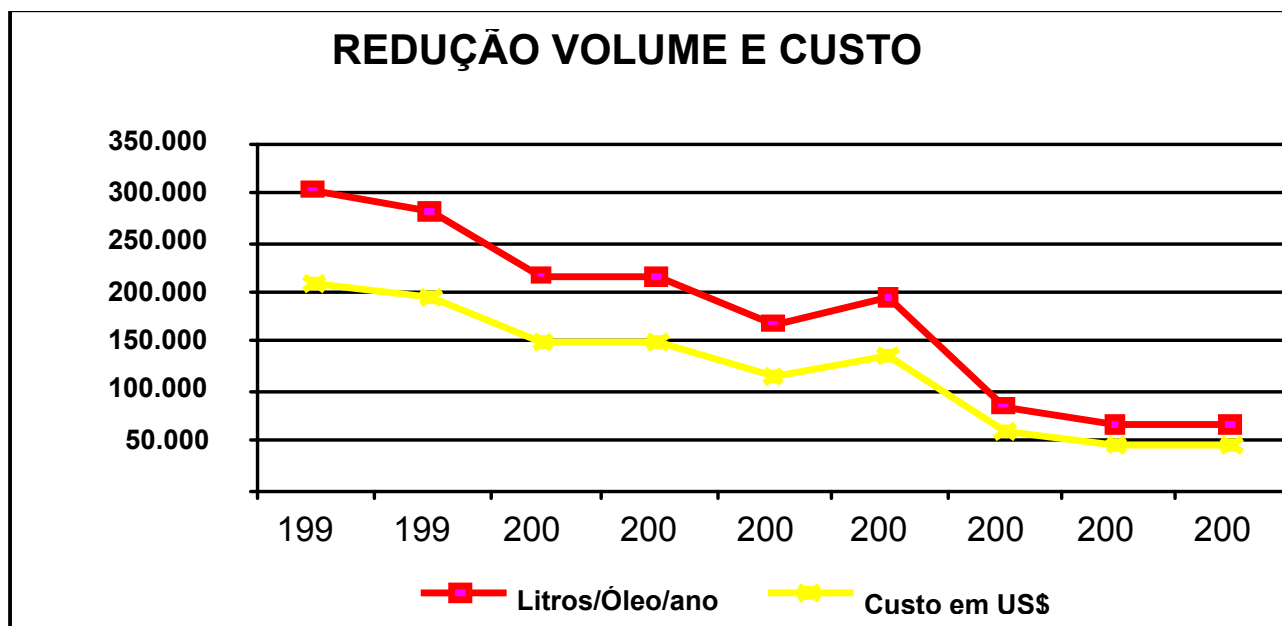
A redução de custo com desperdício de matéria prima foi de US\$ 207 mil/ano, que poderiam gerar cerca de US\$ 500 mil em faturamento com o reprocessamento e a geração de

produtos de maior valor agregado somente no ano de 1998.

Correlacionando o volume de óleos e graxas descartado com barris de petróleo e seu respectivo custo em dólar, podemos evidenciar de forma clara a sua evolução no Gráfico 2. Já a quantidade de óleos e graxas lançado até outubro de 2006, quando foi totalmente fechado o Sistema de Refrigeração aberto e a Bacia de Resfriamento, foi de 50 t/ano igual a 365 barris de petróleo/ano equivalente a 58.000 l/ano. Este volume equivalente a US\$ 44 mil poderia gerar cerca de US\$ 106 mil em faturamento com a geração de produtos de maior valor agregado que deixaram de ser produzidos.

Estas reduções associadas às de nitrogênio, amônia e metais pesados também melhoraram consideravelmente as atividades de pesca e qualidade de vida para as comunidades de pescadores, caranguejeiros do entorno da

Gráfico 2 - Redução de Volume e Custos medidos na saída da Bacia de Resfriamento.



Fonte: CAMAZ, 2008.

Baía de Guanabara. O processo de educação ambiental e os programas de treinamento implementados pela companhia, aumentaram a conscientização ambiental dos funcionários e colaboradores. Adiciona-se o fato de que este projeto reduziu consideravelmente (90 %) o consumo de recursos hídricos e a vazão de efluente tratado para o corpo receptor: o rio Iguaçu reduzindo o impacto ao meio ambiente. Este programa proporcionou melhoria operacional, uma vez que reduziu substancialmente a frequência de limpezas de trocadores de calor, reduzindo com isso os custos de manutenção e aumentando a confiabilidade operacional, pois as intervenções nos referidos equipamentos eram frequentemente emergenciais, causando instabilidade na operação da planta de combustíveis.

Estas reduções ocorreram paralelo a várias ações internas no sistema de gestão, como a otimização da estação de tratamento de efluentes, mediante a sistematização da coleta e transporte de amostras para o laboratório de análises de água e efluentes, tanques de equalização, unidade de flotação e adição de oxigênio dissolvido na lagoa de equalização aerada com objetivo de aumentar a eficiência do sistema.

Com o intuito de analisar o projeto de implantação do referido programa foi realizada uma avaliação técnico econômica do projeto, com foco no tempo de retorno do investimento total, e o curto prazo para o retorno, cerca de um ano, quando a literatura básica aceita este retorno em um prazo de até vinte anos, confirmando a viabilidade do empreendimento.

3 CONCLUSÃO

Os projetos cumpriram os objetivos propostos e geraram informações técnicas científicas para o poder público, universidades, organizações não governamentais, a Petrobras e seus parceiros, o Órgão Ambiental no âmbito Estadual (INEA) e Federal além das comunidades locais.

Com relação a metais pesados, amônia e óleos & graxas, os resultados obtidos comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (BRASIL, 2005), evidenciaram que os efluentes líquidos da refinaria encontram-se em conformidade com a Resolução nos parâmetros estabelecidos por tal legislação. A ausência de informações dessa natureza contribui para que conhecimentos precários sobre a contabilidade socioambiental prevaleçam e alimentem uma visão distorcida de que investimentos na área ambiental sejam visualizados como custos que reduzem a

Figura 4 - Torre de refrigeração concluída e operando.



Fonte: O AUTOR, 2008.

competitividade ao invés de investimento. Podemos inferir que, o cumprimento das ações 32 e 33, relativas ao fechamento do sistema aberto de resfriamento e em paralelo a implantação de um programa de gerenciamento ambiental, balizado no Termo de Compromisso e Ajuste Ambiental (TCAA). Este propiciou inúmeros ganhos para refinaria, no uso de recursos naturais, preservação da qualidade ambiental, além de potencializar resultados econômicos.

Quanto às contribuições de fontes difusas ficou evidenciado após o fechamento do sistema de refrigeração aberto da refinaria, nas questões levantadas e analisadas, que o rio Iguaçu e o rio Sarapuí continuarão impactando da mesma forma o estuário da região noroeste da Baía de Guanabara. Devido à falta de um sistema de saneamento básico nos municípios de Nova Iguaçu, São João de Meriti, Duque de Caxias, entre outros da baixada fluminense que lançam efluentes domésticos in natura nos respectivos Rios.

Os programas de educação ambiental implantados trouxeram vários ganhos na minimização do consumo de água através do reuso e reciclagem de efluentes aquosos da Refinaria de Duque de Caxias, REDUC, proporcionaram grandes melhorias na gestão de águas e efluentes, proporcionando redução de custos, melhora no desempenho operacional e minimização da poluição hídrica.

Essas ações estão em consonância com a política de responsabilidade socioambiental da Petrobras, e com as diretrizes corporativas de Segurança, Meio Ambiente e Saúde, atendendo a Conformidade Legal e a Responsabilidade Social Corporativa da Empresa.

REFERÊNCIAS

AMADOR, E. S. Baía de Guanabara: um balanço histórico. In: ABREU, Maurício de Almeida et al. **Natureza e sociedade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, 1992.

BIODINÂMICA. **Caracterização ambiental da área compreendida entre a avenida marginal leste da REDUC e a Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 24 ago. 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Relatório sobre o impacto ambiental causado pelo derramamento de óleo na Baía de Guanabara**. Brasília, 2001. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/processos/67B2E6A7/artigo5.doc>. Acesso em: 05 de agosto de 2007.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 25 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011. Complementada pela Resolução nº 393, de 2009. Brasília, DF, 2005.

_____. Resolução nº 397, e 3 de abril de 2008. Altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA no 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece

as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_397.pdf. Acesso em: 04 set. 2011.

_____. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 p. Disponível em: http://www.legislacao.mutua.com.br/pdf/diversos_normativos/conama/2011_CONAMA_RES_430.pdf. Acesso em: 18 de julho de 2014.

CAMAZ, F. R. **Considerações sobre os aspectos e impactos ambientais para o fechamento do sistema de refrigeração de uma refinaria de petróleo localizada na orla da Baía de Guanabara, RJ**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Visão estratégica empresarial**. Rio de Janeiro, 2002. 2 v. Disponível em: <www.cebds.org.br>. Acesso em: 12 ago. 2006.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (RJ). Disponível em: www.feema.rj.gov.br>. Acesso em: 20 out. 2000.

FUNDAÇÃO EUCLIDES DA CUNHA DE APOIO INSTITUCIONAL À UFF. **Estimativa da participação da REDUC nas cargas de contaminantes exportadas para a Baía de Guanabara, devida ao descarte de seu efluente no Rio Iguaçu**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2007. 2º Relatório Parcial.

INSTITUTO BAÍA DE GUANABARA. Disponível em: <<http://www.portalbaiadeguanabara.com.br/sitenovo/>>. Acesso em: 24 jul. 2006.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION. ISO 14031: environmental management: environmental performance evaluation – guidelines. Gêneve, 1999.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (RJ). **Bacias hidrográficas e rios fluminenses:** síntese informativa por macrorregiões ambientais. Rio de Janeiro: SEMADS/GTZ, 2001. 73 p. (Série SEMADS/GTZ).

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS (RJ). Disponível em: <www.serla.rj.gov.br>. Acesso em: 24 set. 2006.

TEIXEIRA, L. A. C. et al. **Relatório final de avaliação das condições presentes de funcionamento do complexo industrial REDUC/DTSE sob o ponto de vista de suas implicações ambientais.** Rio de Janeiro: Secretaria do Estado de Ciência e Tecnologia, 2000. Convênio SECT - Secretaria de Estado Ciência e Tecnologia/PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A.

Fernando Ribeiro Camaz

Graduação (1984) em Engenharia Química pela UFRRJ. Tecnólogo (2005) em Gestão ambiental CEFET-RJ. Mestrado (2008) em Sistema de Gestão de SMS pela UFF. Doutorando (2017) em Políticas Públicas e Formação Humana–PPFH na UERJ. Petrobras. RH/UP/EGN/IPCSMES. Rio de Janeiro, RJ. Chave: RQMQ.
E-mail: fernandocamaz@petrobras.com.br



Envio de Artigos

Os originais serão submetidos à aprovação de especialistas reconhecidos nos temas tratados.

Os trabalhos serão enviados para avaliação sem identificação de autoria.

Excepcionalmente, serão aceitos artigos que já tenham sido publicados em outros periódicos.

Nesse caso, serão submetidos à mesma avaliação de originais inéditos.

O autor deverá apresentar autorização por escrito do editor da revista em que seu texto tenha sido originalmente publicado, acompanhado de cópia do artigo.

O conteúdo dos artigos é de responsabilidade exclusiva dos autores.

O envio de artigos para submissão deve ser feito para:



Email:

revistatecnicaup@petrobras.com.br
ou Chave: u5js

Somente é permitido citar parte dos artigos, sem prévia autorização, com a identificação correta da fonte.

Foto da Capa: Laboratório de Vibração e Estudos Rotodinâmicos (LAVEDIN).

Fonte: Caroline Campos Leal/Personal Service.

Arte e Infografia: Claudio Souto Baptista/Hope Serviços.

Capa verso:

01 Laboratório de Múltiplas Aplicações Interdisciplinares em Saúde.
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

02 Laboratório de Inovação em Gestão (LABGEST).
Fonte: Álvaro Farias.

03 Espaço de Geociências Terra e Petróleo.
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

04 Estação de Jogos Educacionais e Simuladores Virtuais.
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

05 Laboratório Didático Multidisciplinar de Geociências (MULTILAB).
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

06 Laboratório de Simulação e Controle de Poço (SIMPOÇO).
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

07 Laboratório de Equipamentos e Sistemas Elétricos (LABESE).
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

08 Laboratório de Soldagem, Ensaios não Destrutivos, Materiais e Corrosão (SEMACO).
Fonte: Luiz Augusto Marinho/Personal Service.

RECURSOS HUMANOS/UNIVERSIDADE PETROBRAS

Rio de Janeiro – RJ

R. Ulysses Guimarães, 565, Cidade Nova.

Salvador – BA

Av. Antônio Carlos Magalhães, 1113, Pituba.



01



02



ESPAÇO DE GEOCIÊNCIAS TERRA & PETRÓLEO

Organizado pelo Programa de Capacitação em Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da FAP

"A certeza que tenho no futuro é de um mundo melhor - com um desenvolvimento sustentável para nós e para o planeta, um planeta de futuro para nós e para as próximas gerações."
O Papa do Vaticano, 2007

Este espaço tem como objetivo proporcionar aos alunos da graduação em Engenharia de Petróleo e Engenharia de Minas, além de oferecer suporte técnico e científico para a realização de projetos de pesquisa e desenvolvimento de produtos, a realização de atividades de extensão e a participação de alunos de graduação em eventos científicos e tecnológicos. O espaço é destinado a:

03



04



05



06



07



08

