

Uso Prático de Modelos Matemáticos em Operações com Sistemas Flutuantes de Armazenamento de Óleo

SH Sphaier
COPPE/UFRJ

Goulart, MP
E&P Petrobras

JS Sales Jr
COPPE/UFRJ

SHS Correa da Silva
E&P Petrobras

IPEN - Julho de 2005

Resumo

No Brasil, grande parte do escoamento de petróleo é feita através de navios Aliviadores. A transferência do óleo de Navios Cisternas para o Aliviador é uma operação que envolve risco, necessitando de cuidados especiais, não só na operação em si, mas também em todo seu planejamento, estabelecendo-se procedimentos mais seguros para esta operação.

Com o intuito de definir esses procedimentos, a Petrobras, através do E&P (Departamento de exploração e produção) e do Cenpes (Centro de Pesquisas da Petrobras), desenvolveu um extenso trabalho em parceria com centros de pesquisa e universidades brasileiras.

Neste contexto foi desenvolvido um conjunto de ferramentas para análise de sistemas flutuantes, cuja modelação matemática se deu associada a um vasto trabalho experimental.

No presente trabalho apresentamos um histórico do desenvolvimento das ferramentas para análise do comportamento de sistemas flutuantes, bem como seus algoritmos e as investigações experimentais envolvidas.

Mostramos também a aplicação prática da simulação de operações em condições ambientais críticas. E por último, apresentamos exemplos deste ferramental no estabelecimento de procedimentos de operações especiais.

1 Introdução

A atividade de exploração de óleo no mar iniciou-se no Brasil, nos anos 70. Os sistemas de produção que, inicialmente, para pequenas lâminas d'água, eram baseados em estruturas do tipo jaquetas, evoluíram para semi-submersíveis à medida que se caminhou para águas mais profundas. Na última década a produção de óleo sofreu fortes mudanças. Estudos de viabilidade econômica mostraram que a conversão de VLCC's era a melhor alternativa para alguns cenários da exploração de petróleo. Assim, entre 1997 e 2003, três VLCC's foram instalados como FSO (Floating, Storage and Offloading) e seis outros VLCC's foram instalados como unidades FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading) ancorados através de sistemas CALM (Cathenary's Anchor Leg Mooring) - Turret e mais tarde através de sistemas SMS (Spread Mooring System). A operação de transferência, na qual o óleo desses terminais flutuantes é transferido para navios petroleiros que transportam a carga para o continente, apresenta alguns riscos para as tripulações bem como para o meio ambiente. Procura-se capacitar os navios, equipamentos e estabelecer procedimentos para que seja possível operar a maior parte do ano com segurança, mas sem dúvidas, há condições ambientais severas que criam limites para a operação. Assim, foi constituído um Comitê Técnico para estabelecer requisitos básicos a serem preenchidos pelos navios Aliviadores. Estes requisitos visam o uso de modernas tecnologias para armazenamento e trans-

ferência do óleo, procedimentos operacionais adequados e tripulação qualificada. Em 1999, entre os requisitos técnicos adotados, deu-se destaque à capacidade de manobra dos navios Aliviadores. A fim de se garantir eficiência e segurança concentrou-se no estabelecimento de especificações para impelidores, mecanismo de fornecimento de potência, cenários ambientais limites, entre outros aspectos. Com base nas diretrizes do Comitê Técnico, a partir de 2002 evoluiu-se para o uso de navios com Sistemas de Posicionamento Dinâmico (DP). Três navios Aliviadores com sistemas de posicionamento dinâmico foram afretados, e quatro outros navios, também DP, foram convertidos para trabalharem nesta finalidade. Este processo de análise e decisão de novas soluções foi amparado por um grande trabalho técnico envolvendo laboratórios no Brasil, no exterior e universidades. Inicialmente foram desenvolvidas, em um trabalho de cooperação envolvendo o departamento de E&P da Petrobras, o CIAGA da Marinha do Brasil e a COPPE/UFRJ, bases de dados para o Simulador de Manobra do CIAGA. Estas bases foram criadas para os VLCC's (280 KDWT), convertidos para FPSO e petroleiros, adaptados para Aliviadores (135 KDWT). Isto permitiu o treinamento e a análise da operação de Alívio em diferentes cenários da Bacia de Campos. Posteriormente foram desenvolvidos testes para determinação de coeficientes de manobra no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológico, São Paulo) e a partir desses testes foram desenvolvidos modelos numéricos para introduzir em um Simulador de Manobras em Fortran (SDIN). Com base neste simulador foi então desenvolvido um outro totalmente dedicado à operação de alívio sem o uso de navios DP (VEDITA). Além do trabalho acima mencionado, foi desenvolvido, em um contrato entre o E&P e a Projemar, o projeto de conversão de petroleiros em Aliviadores providos de sistema de posicionamento dinâmico. Para avaliação dos resultados foram feitos testes no Marintek, na Noruega, de operações de Alívio com sistemas Passivos (desprovidos de Posicionamento Dinâmico) e sistemas Ativos (providos de Posicionamento Dinâmico).

Um programa de aquisição de dados ambien-

tais, com objetivos similares aos acima mencionados, foi também desenvolvido nos últimos anos pela Petrobras e resultou na determinação das condições críticas reais das áreas de exploração de petróleo, principalmente na Bacia de Campos, localizada na Plataforma Continental do Estado do Rio de Janeiro.

O presente trabalho descreve os Simuladores desenvolvidos neste trabalho de Cooperação, apresenta os seus usos em operações de alívio e de pull-back, e mostra algumas comparações com os dados experimentais obtidos no Marintek nos testes com sistemas Passivos.

2 Simuladores

Apresentamos aqui três distintos conceitos de Simuladores de acordo com as necessidades que surgiram no decorrer do processo. O primeiro é o clássico "Full Mission Simulator". O segundo é um "Simulador Dedicado". O terceiro é o "Simulador Adaptável".

2.1 Full Mission Simulator

Trata-se de um Simulador completo que contém todas as informações dos navios envolvidos, como maquinaria, sistema de propulsão, propulsor, máquina do leme, leme, casco, etc. Simula os movimentos do navio com seis graus de liberdade. Possui uma cabine de comando completa, com todos os equipamentos, de onde se pode visualizar a imagem virtual do que seria visto no caso real. É adequado ao treinamento, a projetos de portos, definição de manobras em porto, definição de procedimentos de operações diversas, etc. No que tange aos aspectos hidrodinâmicos, contém modelos para considerar efeitos de manobras, em face ao movimento relativo navio-correnteza, efeitos de ondas, efeitos de ventos, ação do propulsor e ação do leme.

2.2 Simulador Dedicado

Trata-se de um Simulador compacto totalmente dedicado à operação de alívio. Contém mode-

los numéricos que consideram efeitos de manobras, em face ao movimento relativo navio-correnteza, efeitos de ondas e ventos, ação do propulsor, de rebocadores, da ancoragem e de cabo de conexão. Contém dados relativos unicamente aos sistemas flutuantes utilizados pela Petrobras. Simula os movimentos no plano horizontal.

2.3 Simulador Adaptável

Trata-se de um código em linguagem Fortran-90 orientado ao objeto. Contém basicamente modelos para considerar efeitos de manobras, em face ao movimento relativo navio-correnteza, efeitos de ondas de primeira e segunda ordem, efeitos de ventos, ação do propulsor, ação de rebocadores, ação de ancoragem e de cabos de conexão. Podem ser incluídos diversos corpos, diferentes sistemas de ancoragem, etc. É importante observar uma diferença entre um Full Mission Simulator e um Simulador Adaptável. Se quisermos representar as reações humanas de um comandante operando um navio temos que ir a um Full Mission Simulator. Isto, entretanto, significa alto custo e dispêndio de tempo. Não é razoável pensarmos em desenvolver um código capaz de representar as atitudes humanas. Essas são uma seqüência de reações baseadas em uma constante análise do estado presente. Por outro lado, um procedimento não precisa ser verificado através de uma repetição fidedigna do mundo real. Assim, podemos determinar uma série de estudos que uma vez realizados possam nos indicar que a operação a ser realizada é factível. O Simulador Adaptável nos permite tal tipo de estudos, porém é necessário que seja administrado por um especialista na área, que conheça o código do Simulador, desenvolva modelos e possa implementá-los no código.

2.4 Estrutura Básica do Simulador

Através do trabalho de cooperação Petrobras/COPPE foi desenvolvido o SDIN. O código foi inicialmente desenvolvido por Pontes (1998) e Pontes e Sphaier (1996) a partir de um pro-

grama de simulação de semi-submersíveis no mar. Trata-se da integração das equações de movimento que descrevem a segunda lei de Newton, para forças e momentos atuantes em cada corpo do conjunto. As equações de movimento são descritas em sistemas solidários a cada corpo. Um esquema de Runge-Kutta de quarta ordem é utilizado para integrar as equações de movimento.

O código SDIN é capaz de simular os movimentos com 6 graus de liberdade de vários sistemas flutuantes expostos a vento, onda e corrente. Nele podem também ser consideradas linhas de ancoragem e os cabos de conexão entre os navios.

Dois tipos de estratégias podem ser utilizados na simulação. A primeira é baseada no problema desacoplado em pequenos movimentos de oscilação (pequena amplitude e período de oscilação no intervalo do mar real - movimentos de primeira ordem) e grandes movimentos (grandes períodos e grandes amplitudes). O pequeno movimento de oscilação é resolvido no domínio da frequência e os movimentos irregulares no domínio do tempo são gerados por espectro de onda. A solução dos movimentos de primeira ordem do navio é somada ao movimento de grande amplitude. Este último relativo a resposta para a manobra e forças de segunda ordem (deriva média, movimento de deriva lenta, efeitos de amortecimento devido a onda) agindo nos corpos considerando linhas de ancoragem, cabos de conexão, etc.

Qualquer outra ação como propulsores, impelidores, forças do leme ou novas forças são consideradas no problema de grande amplitude.

A Segunda estratégia é baseada no uso do efeito de memória fluida para forças de radiação de onda.

2.5 Modelos para Forças do Fluido no Casco

A teoria potencial é usada para determinar o carregamento de onda de primeira e segunda ordem. O código é adaptado para ler os arquivos de saída do Wamit (1995). Existe uma biblioteca com resultados de problemas de primeira e segunda ordem, para diferentes cascos de navios usados na Bacia de

Campos, que alimenta o sistema com todos os dados necessários. A corrente e o movimento relativo fluido-casco são considerados através de modelos de manobra de experimentos com modelos reduzidos (Sphaier e outros (2000, 2002)). Como mencionado na Introdução, a Petrobras tem feito muitos outros diferentes experimentos no IPT (Brasil), Marintek (Noruega) e DMI (Dinamarca), e usado seus resultados para desenvolver modelos de manobra. Os modelos reduzidos, usados nestes experimentos, correspondem aos cascos de um petroleiro VLCC (FPSO), um classe M (Shuttle) e um Suezmax (Shutte). Modelos de manobra desenvolvidos para o Simulador "Full Mission" também podem ser usados para alguns cascos de rebocadores. Dados publicados pela OCIMF são usados para determinar forças de vento. Além disto, considera-se também alguns testes experimentais. Para novos cascos, o sistema permite a introdução de outros dados hidrodinâmicos e aerodinâmicos.

2.6 Ancoragem e Cabos de Conexão

Para cada uma das linhas do sistema de ancoragem é necessário conhecer a força de reação como função do deslocamento do topo da linha. Os cabos são usados para representar a conexão entre alguns dos cascos. Ambas as forças, isto é, dos cabos de conexão e das linhas de ancoragem, são modeladas de acordo com a curva tração-deslocamento.

2.7 Força dos Propulsores, Lemes e Impelidores

O código tem um modelo interno para propulsor, leme e impelidor. O modelo para força de propulsor é baseado nos diagramas K_t , K_q - J nos quatro quadrantes (Velocidade do navio - rotação). As forças do propulsor são determinadas como uma função da velocidade instantânea do navio e a rotação do propulsor.

Para determinar as forças do leme o sistema é provido com um modelo baseado em dados experimentais, teoria de asa curta e interferência do propulsor. As forças do leme são determinadas

como função do ângulo do leme, velocidade do navio e rotação do propulsor. De um jeito similar o sistema tem seu próprio modelo interno para considerar as forças do impelidor, como uma função da razão passo/diâmetro ou número de revoluções e velocidade no navio.

Uma segunda forma de calcular a força do propulsor, leme e impelidor é o uso do resultado global. Ao invés de informar a rotação do propulsor, a razão passo/diâmetro, o ângulo do leme ao longo do tempo, são informadas a força total e a direção.

3 Comparação de Resultados Numéricos com Experimentais

Para desenvolver e validar o modelo um vasto programa de testes tem sido feito no Brasil, Noruega e Dinamarca. São apresentados aqui alguns dos resultados obtidos de experimentos do Marintek. Os testes foram feitos para vários cenários de operações de alívio, incluindo diferentes combinações de onda, vento e corrente. Estes resultados foram obtidos para o sistema de ancoragem Spread Mooring, mais especificamente o DICAS. Neste teste utilizou-se modelo reduzido na escala de 1:75, sistema DICAS representado por 4 linhas, o navio Aliviador foi conectado ao FPSO por um cabo modelado e foi incluída uma linha para representar a força do rebocador. As características principais dos navios são:

- FPSO: $Loa = 317,70$ m, $Boca = 57,30$ m, $Calado = 9,25$ m, $Deslocamento = 321722$ tons.
- ALIVIADOR: $Loa = 282$ m, $Boca = 46,88$, $Calado = 9,25$ m, $Deslocamento = 97900$ tons.

O programa experimental completo envolve testes com navios aliviadores convencionais e DP para ancoragem em Turret e DICAS. A figura 1 mostra uma foto tomada durante um ensaio de offloading realizado no Marintek.

A comparação apresentada aqui corresponde ao conjunto:

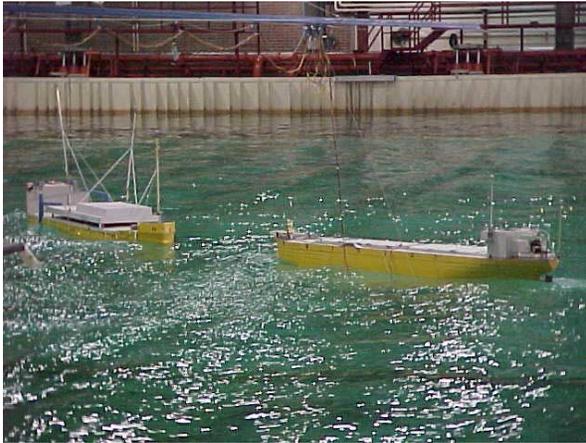


Figura 1: Foto tomada durante um ensaio de Offloading

Aproamento inicial do FPSO = 148 graus, Direção das ondas = 120 graus, Altura significativa = 5,0 m , Período de pico = 13 s, Direção do vento = 120 graus, Velocidade do vento = 19,6 m/s, Direção da corrente = 180 graus Velocidade da corrente = 1,5 m/s, Força do rebocador = 100 kN, Ângulo do rebocador = 175 graus

Os resultados incluem movimentos laterais e longitudinais para os dois navios, ângulo de aproamento e tração do cabo de conexão (hawser). Eles são mostrados em gráficos nas figuras 2 e 3. Em cada uma destas figuras os resultados da simulação numérica são comparados com os resultados obtidos dos testes em tanques.

4 Aplicação prática

Geralmente as forças são classificadas pela sua origem e pelo processo ou equipamento no qual estão trabalhando. Desta forma, são classificadas como forças de manobra no casco, forças do propulsor, do leme, etc. Nós podemos também olhar para as forças como passivas e ativas. Neste caso, as forças devidas às ondas são passivas, uma vez que elas ocorrem independente da ação do homem. Ativas são aquelas devidas à ação do homem, como a força do propulsor para uma dada rotação, força do

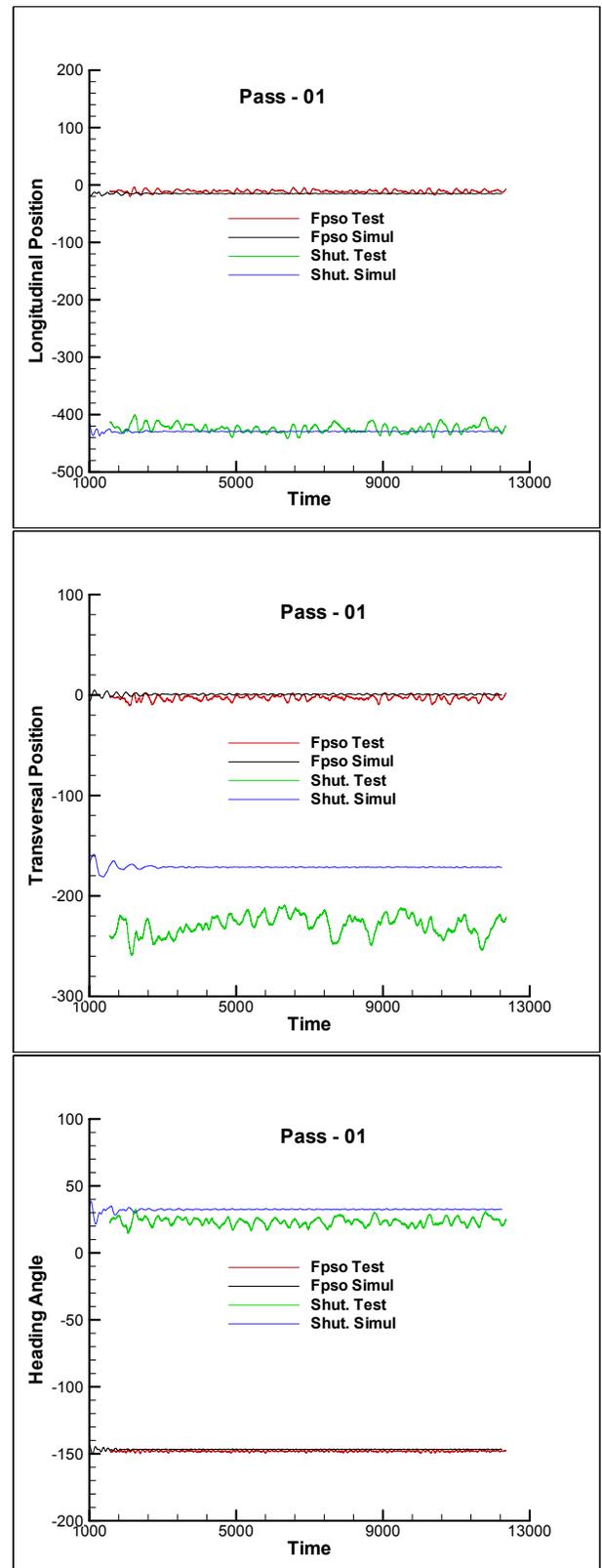


Figura 2: Aproamento dos Navios

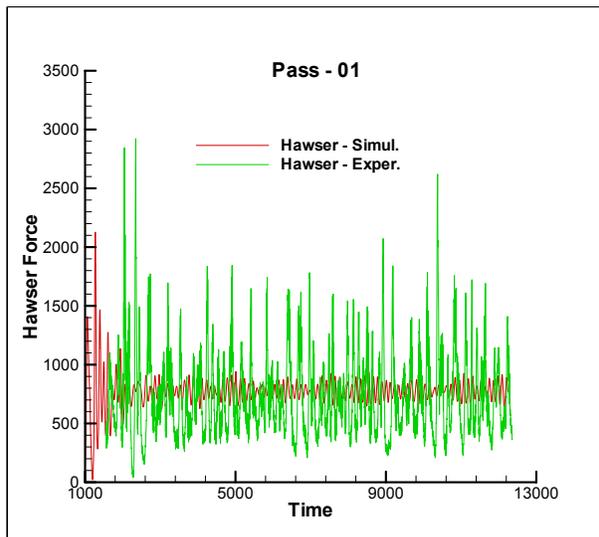


Figura 3: Tração no hawser

leme para um dado ângulo e forças dos impelidores.

Como foi explicado acima, o sistema tem alguns modelos matemáticos para gerar as forças do propulsor, leme e impelidores através da definição da rotação, relação passo/diâmetro, ângulo do leme. As principais questões são: como representar o comando do capitão e quantas diferentes situações de operação poderiam ser possíveis simular. Para ter um modelo completo poderíamos ir para um simulador "full mission", o que não é razoável para algumas aplicações práticas ou para especificar algumas características em um estágio inicial de projeto.

Também se deve observar que para o cálculo das forças passivas, como onda, vento e corrente pode-se confiar em alguns modelos teóricos e experimentais, enquanto no caso das forças ativas elas dependem muito dos efeitos de interação entre o propulsor e o casco, o propulsor e o leme, o leme e o casco. Associado com estas dificuldades apontadas acima, para algumas operações é mais razoável trabalhar com as forças totais exercidas pelo leme e pelo propulsor para análise da operação, como no caso das operações de pull-back.

Para manobras clássicas é possível programar uma seqüência de comandos para controle da



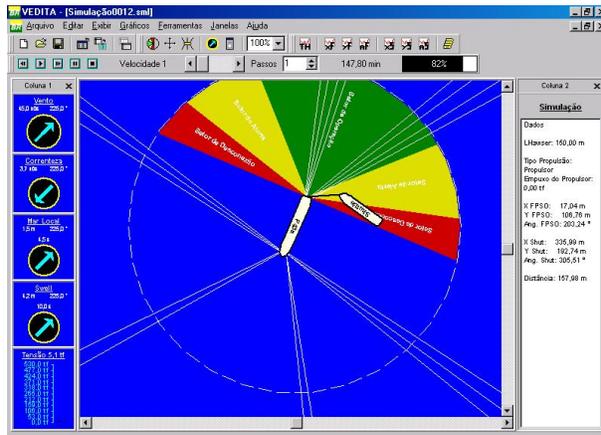
Figura 4: Foto tomada durante uma operação de offloading

rotação do propulsor, ângulo do leme e assim por diante, como no caso do teste de zig-zag, manobra de giro, teste espiral e outros.

4.1 Vedita - Simulador dedicado à operação de offloading

O objetivo do VEDITA (Sales e outros, 2002) é ser uma ferramenta auxiliar à tomada de decisão por parte de capitães de manobras, para a operação de offloading. Apresentamos aqui uma aplicação do VEDITA na análise do comportamento de uma plataforma da Petrobras exposta a um cenário típico da Bacia de Campos. A definição dos cenários típicos foi realizada em trabalho conjunto desenvolvido entre a COPPE e a Petrobras (Parente e outros, 2002). O cenário escolhido entre aqueles observados no referido trabalho, talvez seja o mais crítico, em que com um ciclone vindo do sul, incide sobre a região um forte vento de Sudoeste, acompanhado de uma ondulação e de vagas também de sudoeste. Mostramos aqui o comportamento do sistema flutuante durante a operação de offloading com conexão pela popa, utilizando o código VEDITA para este cenário, com as seguintes características:

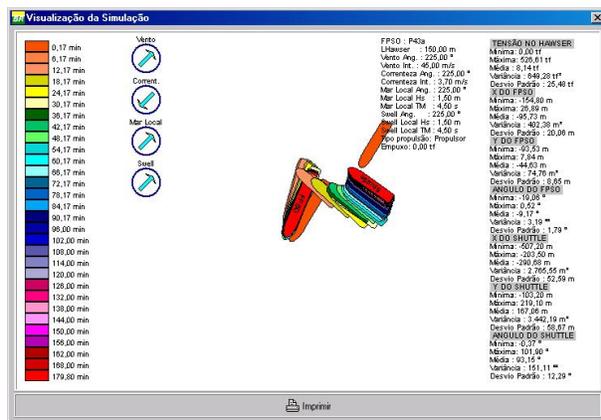
1. Intensidade da Correnteza: 3,7 nós; Incidência



da Correnteza: 225 graus (NE).

2. Intensidade do Vento: 45 nós; Incidência do Vento: 225 graus (SW).
3. Mar de Vagas (sea) Incidência: 225 graus (SW); Período Médio: 4,5 segundos; Altura Significativa: 1,5 m.
4. Mar de Ondulação (Swell) - Incidência: 225 graus (SW); Período Médio: 10.0 segundos; Altura Significativa: 4,2 m.

Os resultados são apresentados através das telas do VEDITA nas seguintes figuras:



1. Figura 5: Comportamento do Sistema exposto ao Cenário acima em um determinado instante; Posições do sistema no tempo; Tração no Hawser.
2. Figura 6: Comportamento do Sistema exposto ao Cenário acima em um determinado instante; Posições do sistema no tempo; Tração no Hawser, com uma força de 40 tons aplicada ao Aliviador e com 10 graus de inclinação em relação ao norte, representando a ação de um rebocador.

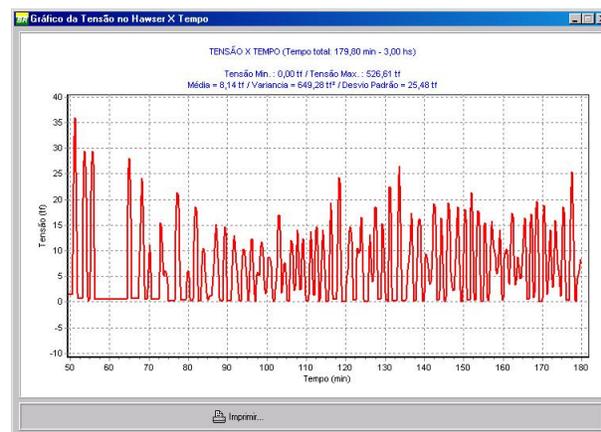


Figura 5: Posicionamento do Sistema FPSO-Aliviador e Tração no hawser

A figura 5 mostra o comportamento do sistema exposto ao Cenário pré-estabelecido. Sem o uso de um empuxo do propulsor ou de um rebocador, o Aliviador mantém-se lateralizado fora do Setor de Operação. Após a fase transiente a tração no hawser chega a 35 tf, sendo que por curtos períodos o hawser fica destendido. O uso de uma força de 40 tf aplicada com 10 graus em relação ao norte, fornecida por um rebocador, mantém o Aliviador no Setor de Operação um pouco mais alinhado com o FPSO como mostrado na figura 6. A tração no hawser, entretanto, oscila entre 60 e 90 tons com picos em torno de 110 tf.

4.2 Uso do Simulador na Análise da Operação de Pull-Back

Esta é a operação requerida para manter o F(P)SO com um aproamento pré-definido, ancorado com

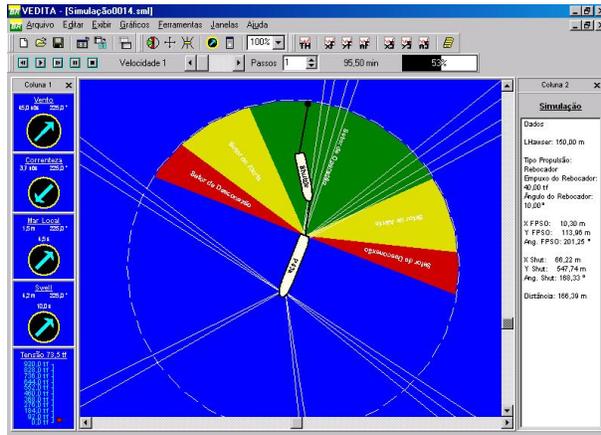


Figura 7: Mar de Popa; $H_s = 3.5$ m, $V_w = 40$ nós, $V_c = 2.0$ nós

	T e L (metros)		Bollard Pull (ton)	Tração (ton)
	$T = 21$	$L = 600$	150	324
	$T = 21$	$L = 1000$	150	291
	$T = 15$	$L = 600$	110	314
	$T = 15$	$L = 1000$	110	291

Figura 8: Mar de Través; $H_s = 3.5$ m, $V_w = 40$ nós, $V_c = 2.0$ nós

	T e L (metros)		Bollard Pull (ton)	Tração (ton)
	$T = 21$	$L = 600$	135	326
	$T = 21$	$L = 1000$	135	262
	$T = 15$	$L = 600$	115	2952
	$T = 15$	$L = 1000$	155	216

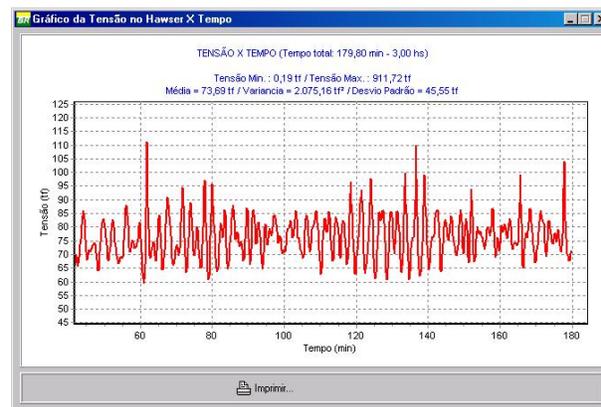
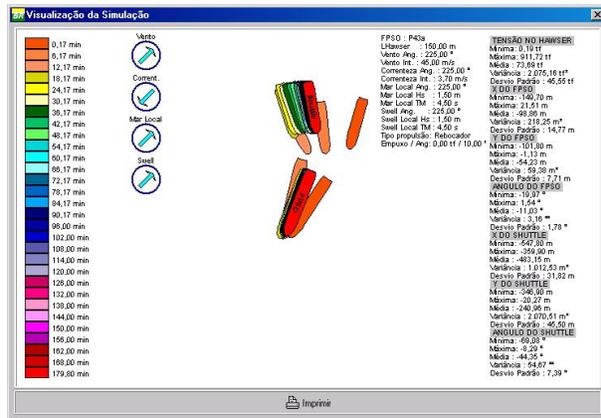


Figura 6: Posicionamento do Sistema FPSO-Aliviador e Tração no hawser, com ação do propulsor

sistema Turret, durante as operações de pull-in e pull-out. Esta operação geralmente é feita com dois rebocadores amarrados na popa da Unidade. A figura 11 mostra uma foto tomada durante uma operação de pull back.

A partir de uma demanda do departamento operacional da Petrobras, foi feito um estudo desta operação para determinar o cabo apropriado (comprimento, diâmetro e material) e as características de um rebocador para pull-back necessárias para uma operação segura. Simulações numéricas foram feitas estabelecendo a tração suportada pelo cabo e o bollard pull necessário.

Dois casos críticos foram definidos pelos Capitães de Manobra:

1. vento, onda e corrente incidindo na popa do F(P)SO (following sea)
2. vento, onda e corrente incidindo na lateral da Unidade (beam sea).

O estudo compreende duas diferentes condições

Figura 9: Mar de Popa; $H_s = 2.5$ m, $V_w = 26$ nós, $V_c = 2.0$ nós

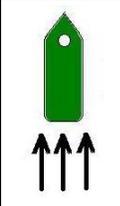
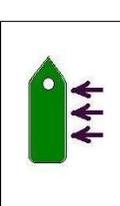
	T e L (metros)	Bollard Pull (ton)	Tração (ton)
	$T = 21$ $L = 600$	110	292
	$T = 15$ $L = 600$	95	234

Figura 10: Mar de Través; $H_s = 2.5$ m, $V_w = 26$ nós, $V_c = 2.0$ nós

	T e L (metros)	Bollard Pull (ton)	Tração (ton)
	$T = 21$ $L = 600$	105	295
	$T = 15$ $L = 600$	98	288

ambientais, dois comprimentos de cabos e dois diferentes calados do FPSO. A posição de equilíbrio do sistema foi determinada e comparada com a experiência dos capitães, que analisaram a configuração obtida em termos de segurança. Aspectos como distância entre os rebocadores, posição de equipamentos na popa do F(P)SO entre outros foram também considerados.

Uma força aplicada, com intensidade e direção constante, foi introduzida, representando a força ativa (propulsor, leme e rebocador) fornecida pelo rebocador. Diferentes simulações com diferentes forças foram usadas para representar a evolução do tempo da operação. Uma vez atingido o aproamento determinado e uma configuração em que o sistema pode ser mantido oscilando ao redor de uma posição de equilíbrio, é computada a tração no cabo, a posição e o aproamento de cada navio envolvido são analisados.

Comparados com operações realizadas anteriormente, os resultados obtidos pela simulação foram muito próximos dos observados na prática. Estes



Figura 11: Foto de um Instante da Operação de Pull back

resultados permitiram definir recomendações sobre o diâmetro e o material do cabo e o bollard pull mínimo requerido para os rebocadores.

Um resumo do mínimo bollard pull recomendado e a máxima tração nos cabos para cada caso são apresentados nas figuras 7 a 10.

5 Conclusões

Testes experimentais e simulações numéricas podem ser usadas como técnicas complementares para o projeto de sistemas flutuantes, sendo os testes usados para calibração e validação das simulações.

Modelos matemáticos podem prever com boa acurácia o comportamento do sistema FPSO-Aliviador em condições ambientais reais. Conseqüentemente é possível desenvolver ferramentas computacionais para auxiliar nas decisões em um estágio inicial do projeto. E também para estabelecer procedimentos e estimar a condição limite para se manter operando, como, no caso deste trabalho, durante uma operação de offloading e pull-back.

Novas rotinas podem ser adotadas para um código sofisticado para estudo de uma específica operação. Do mesmo jeito que é possível desenvolver códigos de simulação dedicados para ser operado por capitães de manobra com o objetivo

de determinar o comportamento do sistema em condições ambientais estabelecidas.

O projeto e especificação de sistemas DP podem também ser feitos com a ajuda de um código de simulação adaptável.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Petrobras, ANP (Agência Nacional de Petróleo) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro pelo suporte dado ao presente trabalho.

Referências

Costa, APS, Rolo, LFA, Goulart, MP and Correa da Silva, SHS (2003), Offloading Trends in Brazil WMTC, 2003, San Francisco, USA.

Parente, CA, Violante-Carvalho, N, Lima, JAM e Assunção, CB (2001), Wave and Wind Extreme Values in good Weather Situations in the Campos Basin, Off Rio de Janeiro 20th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE2001

Pontes, LGS and Sphaier, SH (1996), SDIN - Sistema de Análise Dinâmica de Estruturas Flutuantes XVI Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, SOBENA 1996, setembro de 1996

Pontes, LGS (1998), Comportamento de Navios Cisterna sob a Ação Simultânea de Ondas, Correnteza e Vento Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ

Sales Jr., JS, Matter, GB, Sphaier, SH, Machado, RR and Correa da Silva, SHS (2002), A simulation program to support decisions in offloading operations The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, KitaKyushu, Japan

Sphaier, SH, Fernandes, AC, Correa da Silva,

SHS, Castro, GAV (2002), Maneuvering Model for FPSO's and Stability Analysis of the Offloading Operation, *Journal of OMAE* vol 124, no. 4, 196-202

Sphaier, SH, Fernandes, AC and Correa da Silva, SHS,(2000), Maneuvering Model for the FPSO Horizontal Plane Behavior The Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, Seattle, USA

WAMIT (1995), A Radiation-Diffraction Panel Program for Wave-Body Interaction Dept. of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA