

SAEP OFFSHORE: APLICATIVOS WEB PARA ANÁLISE DE ONDAS OCEÂNICAS

SAEP OFFSHORE: WEB APPLICATION FOR OCEAN WAVE ANALYSIS

Eduardo da Silva Paranhos Sobrinho,¹ Heleno Pontes Bezerra Neto,² Michele Agra de Lemos Martins³

RESUMO

No setor de petróleo e gás, o acesso à maioria dos *softwares* existentes é bastante limitado, dado que estes são pagos ou de uso restrito. A fim de contribuir para um maior acesso da comunidade acadêmica a ferramentas didáticas com aplicações voltadas para esse setor, este trabalho objetiva a criação de um conjunto de aplicações, baseando-se em interface *web*, com ênfase na área de sistemas oceânicos. O sistema proposto apresenta uma interface amigável e didática para que os usuários, principalmente alunos e professores, possam usá-lo como ferramenta auxiliar às atividades de sala de aula. As aplicações presentes nesse sistema *on-line* abrangem desde o tratamento estatístico de dados oceanográficos para obtenção de parâmetros que possam caracterizar estatisticamente uma onda até a determinação das propriedades cinemáticas e dinâmicas da onda, como elevação, velocidades e acelerações horizontal e vertical, deslocamento das partículas de onda, além de pressões dinâmicas e cálculo de forças hidrodinâmicas através da formulação de Morison.

Palavras-chave: Sistemas Oceânicos; Ações de Onda; Interface *Web*.

ABSTRACT

In the oil and gas industry, the access to most of the existing software is rather limited, given that they are paid or of restrict use. In order to provide greater access of the academic community to educational tools with applications at this area, this work aims to develop a set of interface-based web applications to offshore systems. The proposed system features a user-friendly and didactic interface, especially for the use of students and professors as a support tool in the classroom. The applications present in this online system comprise the statistical treatment of oceanographic data for the statistical characterization of ocean waves, as well as the determination of the kinematic and dynamic properties of the wave, such as elevation, horizontal and vertical accelerations and velocities and particle displacement. In addition, it evaluates dynamic pressures and hydrodynamic forces using Morison equation.

Keywords: Oceanic systems; Wave actions; Web interface.

1 Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas.

2 Prof. Me. em Universidade Federal de Alagoas e pesquisador do Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/UFAL).

3 Prof. Me. em Universidade Federal de Alagoas e pesquisadora do Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/UFAL).

INTRODUÇÃO

O setor de petróleo e gás exige diversas ferramentas de cálculo em seus projetos, afinal, grande parte das atividades ocorre em ambientes severos. Diante dessa necessidade, diversas empresas e universidades buscam criar ferramentas que possam solucionar os problemas de engenharia desse setor, a fim de auxiliar nas fases *upstream* (exploração e produção) e *downstream* (transporte e refino) (THOMAS, 2001).

No ambiente *offshore*, a complexidade dos problemas torna-se ainda maior devido à grande influência das condições ambientais sobre as unidades de operação. Em um estudo de estruturas *offshore* é fundamental a consideração das ações de onda, corrente e vento, pois estas podem comprometer a integridade da estrutura, tornando-se imprescindível a determinação dos movimentos – translação e rotação – mais críticos da unidade de operação.

Com a finalidade de especificar condições de maior risco à estrutura, as ferramentas computacionais são amplamente utilizadas, mediante o alto grau de complexidade dos problemas envolvidos, visto que as condições ambientais são eventos aleatórios. Um dos am-

bientes para desenvolvimento de ferramentas é a *web*, que permite um longo alcance rapidamente, sendo uma poderosa ferramenta para disseminação de novas contribuições para o setor de óleo e gás.

Embora se tenha um extenso acervo de ferramentas para modelagem de sistemas *offshore*, é válido destacar que muitos *softwares* são comerciais, a exemplo do *OrcaFlex*⁴ e do *ANSYS Aqwa*. Outros são frutos de projetos de universidades em parcerias com empresas, como *Dynasim* (COELHO; NISHIMOTO; MASETTI, 2001) e o *Dynamic Of Offshore LINES* (SILVEIRA; LAGES; FERREIRA, 2011), sendo, na maioria das vezes, restritos a um determinado grupo envolvido nos projetos. Portanto, é de grande relevância a criação de ferramentas mais acessíveis ao meio acadêmico.

Nesse contexto, surgiu o projeto Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo (SAEP), que foi idealizado para contribuir no acesso de estudantes, professores e pesquisadores a ferramentas relacionadas à engenharia de petróleo. Desse sistema, este trabalho apresenta as aplicações voltadas para sistemas *offshore*, em que são abordadas estatística, cinemática e dinâmica de ondas (Figura 1).

Figura 1: Aplicações *StatWave* e *CalcWave* desenvolvidas no SAEP



Fonte: acervo dos autores.

4 Todos os sites e ferramentas *on-line* citadas neste artigo estão referenciados ao final juntamente com as demais referências deste trabalho.

FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Para a criação dessas aplicações foram utilizadas ferramentas convencionais de desenvolvimento *web* como HTML, CSS e JavaScript (JS). Além dessas linguagens, foram utilizadas outras ferramentas de auxílio gratuitas – ou para uso sem fins lucrativos –, a fim de permitir que tanto o desenvolvimento quanto o uso dessa ferramenta sejam facilitados para fins educacionais.

Dessas ferramentas é preciso citar o *framework Bootstrap*, que disponibiliza componentes pré-configurados. Na contribuição visual, os sites *Flaticon* e *Font Awesome* disponibilizaram ícones gratuitamente. Vale destacar também o *Highcharts*, que disponibiliza gráficos dinâmicos prontos para uso, e o *Handson-table*, que atua como uma planilha *on-line* com recursos funcionais.

Foram utilizadas ferramentas que auxiliam o uso do *JavaScript*, como a biblioteca *jQuery* (que visa a simplificar a escrita de código em JS), o JSON (que cria um formato de variáveis para transferência de dados de forma mais simples) e o *AJAX* (que aumenta a dinâmica da página ao permitir que seja feita a manipulação de conteúdo sem a necessidade de recarregá-la).

Entre as possíveis linguagens de programação disponíveis, o *Python* foi a escolhida para o desenvolvimento das formulações presentes nas aplicações do SAEP, por ser uma linguagem de alto nível e devido à simplicidade da sua sintaxe, resultando em um código limpo e organizado.

Todo o desenvolvimento do SAEP e suas aplicações foi realizado no servidor *pythonanywhere*, o qual dispõe de um ambiente *on-line* gratuito que permite a criação de sites e que suporta a linguagem de programação *Python*. Assim sendo, o SAEP está disponível no seguinte link: <http://saep.pythonanywhere.com/>.

ONDAS

As ondas marinhas são eventos que ocorrem aleatoriamente na natureza e incidem diretamente nas estruturas de campos *offshore*. Esse fenômeno pode ser originado, principalmente, pela ação de ventos sobre água, bem como por outros fatores não tão recorrentes, como deslizamentos de terra, explosões e atividades tectônicas (SILVA, 2014).

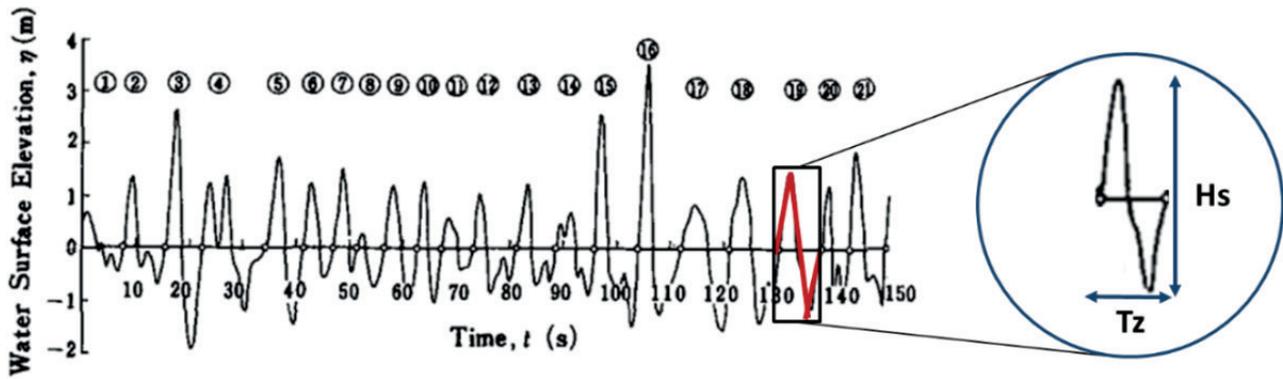
Embora as ondas marinhas sejam irregulares, elas podem ser caracterizadas como uma série de ondas regulares, representadas por harmônicos simples. Para o dimensionamento de estruturas *offshore* é substancial a consideração das propriedades cinemáticas e dinâmicas da onda (elevação, velocidade, aceleração e pressão dinâmica), o que justifica a caracterização de ondas através de teorias como: Teoria Linear de Airy e Teoria de Stokes de segunda ordem.

Estatística de Ondas

Devido à aleatoriedade das ondas, torna-se impossível descrevê-las através de métodos determinísticos. Portanto, faz-se necessária uma abordagem estatística dos dados coletados por meio de equipamentos, como sensores de elevação da superfície, boias-ondógrafo do tipo *heave-pitch-roll*, boias de medição de deslocamento, perfiladores de correntes por efeito *doppler*, radares costeiros de alta frequência e de banda-X e radares de abertura sintética (MENDES, 2012).

A grande quantidade de dados coletados encoraja ainda mais o seu tratamento estatístico, sendo um deles o método de cruzamento de zeros. Esse método consiste na individualização de ondas a cada dois cruzamentos (ascendentes ou descendentes) de zeros consecutivos, definindo os períodos, alturas e comprimentos das ondas individuais, conforme é mostrado na Figura 2.

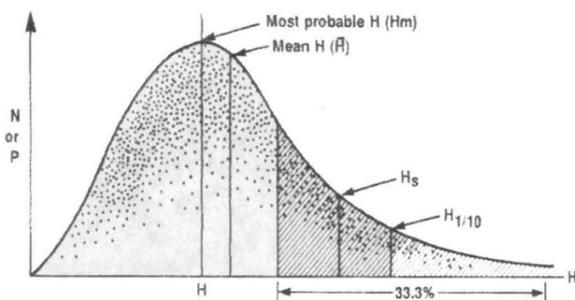
Figura 2: Cruzamento dos zeros de uma sequência de dados de elevação



Fonte: modificado de Goda (2000)

Por meio das alturas e períodos de ondas individuais, alguns parâmetros estatísticos são determinados, como: maior onda (e), média da maior décima parte da onda (e), média da maior terça parte da onda ou onda significativa (e ou e) – a mais usada para representação de ondas (Figura 3) – e a onda média (e) (GODA, 2000).

Figura 3: Alturas de onda



Fonte: NOAA (2006)

Teorias de Onda

Airy

Embora a teoria linear de *Airy* seja considerada a mais simples, é a teoria mais utilizada. Para esta, a elevação da superfície da água é regida por um harmônico simples. Essa teoria é aplicável a ondas com pequenas amplitudes, comparadas ao comprimento de onda (CHAKRABARTI, 2005).

Para uma profundidade finita é possível determinar algumas propriedades cinemáticas e dinâmicas que caracterizam as ondas, como a elevação, as velocidades e acelerações horizontal e vertical, pressão dinâmica e as trajetórias da partícula de água na direção horizontal e vertical, respectivamente, dadas por:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos[k(x - ct)] \quad (1)$$

$$u(x, z, t) = \frac{\pi H \cosh[k(z + d)]}{T \sinh(kd)} \cos[k(x - ct)] \quad (2)$$

$$w(x, z, t) = \frac{\pi H \sinh[k(z + d)]}{T \sinh(kd)} \sin[k(x - ct)] \quad (3)$$

$$\dot{u}(x, z, t) = \frac{2\pi^2 H \cosh[k(z + d)]}{T^2 \sinh(kd)} \sin[k(x - ct)] \quad (4)$$

$$\dot{w}(x, z, t) = -\frac{2\pi^2 H \sinh [k(z + d)]}{T^2 \sinh (kd)} \cos [k(x - ct)] \quad (5)$$

$$p(x, z, t) = -\rho g z + \rho g \frac{H \cosh [k(z + d)]}{2 \cosh (kd)} \cos [k(x - ct)] \quad (6)$$

$$\xi(x, z, t) = -\frac{H \cosh [k(z + d)]}{2 \sinh (kd)} \sin [k(x - ct)] \quad (7)$$

$$\zeta(x, z, t) = -\frac{H \sinh [k(z + d)]}{2 \sinh (kd)} \cos [k(x - ct)] \quad (8)$$

sendo H a altura de onda, k o número de onda, x a coordenada na direção de propagação da onda, c a celeridade, t o tempo, g a aceleração da gravidade, z a coordenada vertical, d a lâmina de água e ρ a massa específica do fluido (DNV-RP-C205, 2010).

Stokes 2ª ordem

A teoria de Stokes de 2ª ordem considera um componente adicional à formulação da teoria linear de Airy, sendo assim, as ondas definidas por essa teoria são formadas por dois harmônicos simples. Estes possuem frequências de oscilação diferentes e, conseqüentemente, cada um influencia no comportamento da onda de uma forma diferente (CHAKRABARTI, 2005).

O componente de segunda ordem apresenta uma menor contribuição para a composição final da onda. Essa combinação promove cristas mais íngremes, gerando um aspecto mais próximo do real, o que torna essa teoria mais eficiente se comparada à teoria linear de Airy, em casos de ondas com alturas maiores (CHAKRABARTI, 2005).

Bem como na teoria de Airy, por meio das formulações da teoria de Stokes de 2ª ordem pode-se definir o comportamento da onda através das propriedades cinemáticas, da pressão dinâmica e da trajetória da partícula de água nas direções horizontal e vertical, dadas por:

$$\eta(x, t) = \eta_1 + \frac{\pi H^2 \cosh (kd)}{8L \sinh^3(kd)} [2 + \cosh (2kd)] \cos [2k(x - ct)] \quad (9)$$

$$u(x, z, t) = u_1 + \frac{3\pi H}{4T} \left(\frac{\pi H}{L}\right) \frac{\sinh [2k(z + d)]}{\sinh^4(kd)} \cos [2k(x - ct)] \quad (10)$$

$$w(x, z, t) = w_1 + \frac{3\pi H}{4T} \left(\frac{\pi H}{L}\right) \frac{\cosh [2k(z + d)]}{\sinh^4(kd)} \sin [2k(x - ct)] \quad (11)$$

$$\dot{u}(x, z, t) = \dot{u}_1 + 3 \frac{\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L}\right) \frac{\cosh [2k(z + d)]}{\sinh^4(kd)} \sin [2k(x - ct)] \quad (12)$$

$$\dot{w}(x, z, t) = \dot{w}_1 - 3 \frac{\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L}\right) \frac{\sinh [2k(z + d)]}{\sinh^4(kd)} \cos [2k(x - ct)] \quad (13)$$

$$p(x, z, t) = p_1 + \frac{3}{4} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{1}{\sinh(2kd)} \left\{ \frac{\cosh[2k(z+d)]}{\sinh^2(kd)} - \frac{1}{3} \right\} \cos[2k(x-ct)] - \frac{1}{4} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\{\cosh[2k(z+d)] - 1\}}{\sinh(2kd)} \quad (14)$$

$$\xi(x, z, t) = \xi_1 + \frac{H}{8} \left(\frac{\pi H}{8} \right) \frac{1}{\sinh^2(kd)} \left\{ 1 - \frac{3 \cosh[2k(z+d)]}{2 \sinh^2(kd)} \right\} \sin[2k(x-ct)] + \frac{H}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh[2k(z+d)]}{\sinh^2(kd)} (\omega t) \quad (15)$$

$$\zeta(x, z, t) = \zeta_1 + \frac{3H}{16} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\sinh[2k(z+d)]}{\sinh^4(kd)} \cos[2k(x-ct)] \quad (16)$$

sendo η_1 , u_1 , v_1 , \dot{u}_1 , \dot{v}_1 , p_1 , ξ_1 e ζ_1 e os componentes de primeira ordem para a elevação, velocidades e acelerações horizontal e vertical, a pressão dinâmica e as trajetórias da partícula de água nas direções horizontal e vertical, respectivamente, as quais são equivalentes ao que é encontrado na teoria linear de Airy. Outros parâmetros presentes nessas equações são o L , que representa o comprimento de onda, e o período de onda representado por T (DNV-RP-C205, 2010).

Força hidrodinâmica

A formulação de Morison foi proposta em 1950 para descrever a força de uma onda incidente em uma estrutura esbelta, cuja dimensão transversal característica é pequena em relação ao comprimento da onda. De acordo com Marques (2010), a formulação de Morison é bastante utilizada na modelagem de estruturas *offshore*, tanto para plataformas fixas quanto para linhas de ancoragem e *risers* de unidades flutuantes.

Segundo Costa (2008), a força de Morison é composta por duas parcelas: arraste e inércia. Na primeira são considerados os efeitos viscosos, os quais são proporcionais ao quadrado da velocidade do fluido, já a segunda está relacionada com as acelerações do fluido e da estrutura. A resultante dessas duas parcelas por unidade de comprimento é dada por:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| + \rho C_M A \dot{u} \quad (17)$$

sendo C_D o coeficiente de arrasto, D a dimensão transversal do corpo, C_M o coeficiente de inércia e A a área da seção transversal da estrutura.

RESULTADOS

StatWave

A aplicação *StatWave* aborda o tratamento estatístico de dados de uma série histórica de elevação de onda, que pode ser obtida por meio do uso de equipamentos de medição de elevação. A partir desse tratamento estatístico resultam alguns parâmetros que permitem a caracterização de ondas no intervalo de tempo medido. Com esses parâmetros é possível fazer uma análise preliminar das ações de ondas marinhas, uma vez que esse evento é um fenômeno natural e pode ser avaliado apenas por meio de métodos probabilísticos.

Para avaliar a aplicação foi gerada no *software* comercial *OrcaFlex* uma série histórica de elevação, a qual foi definida com valores de altura significativa e período de cruzamento de 5m e 7s respectivamente. Essa aplicação adota o método de cruzamento de zeros para calcular os períodos e alturas individuais e a partir destes definir a altura significativa e o período de cruzamentos.

A série histórica gerada no *OrcaFlex* foi inserida via arquivo na *StatWave*; para esse caso foram mapeados 3058 cruzamentos de zero. Também são calculados todos os máximos da

série para definir os períodos de crista média. A Tabela 1 mostra o comparativo dos resultados obtidos pela *StatWave* e dos valores de altura significativa e período de cruzamento que originaram os dados de elevação.

Os resultados da *StatWave* se mostraram satisfatórios, visto que os valores encontrados

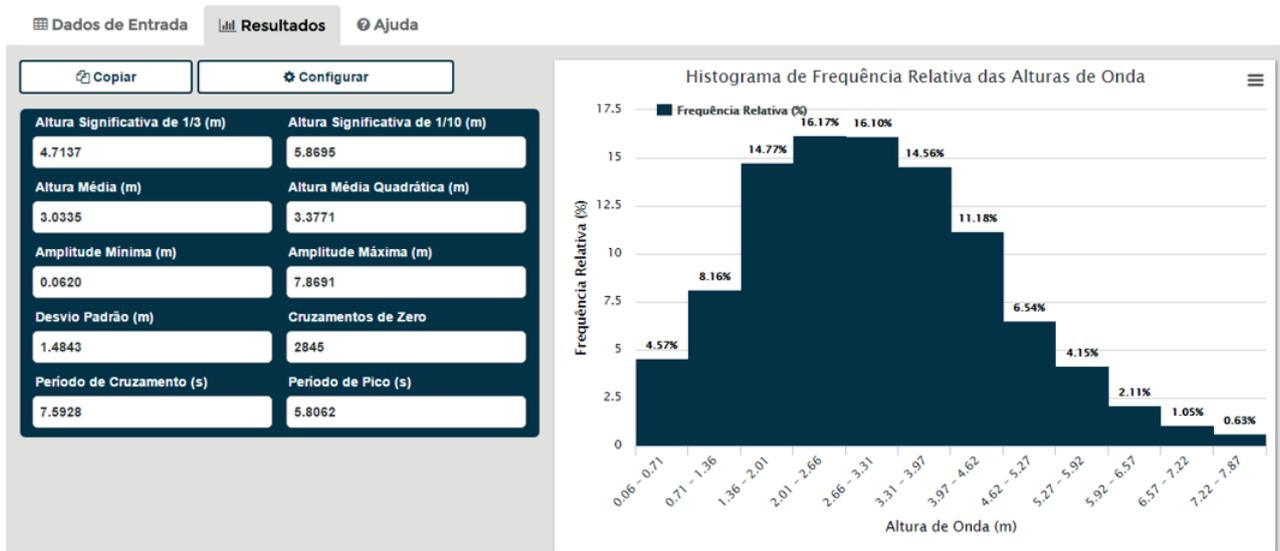
estão próximos dos dados de entrada no *OrcaFlex*. A aplicação *StatWave* também apresenta um gráfico das frequências relativas das alturas de onda no formato de histograma, conforme é apresentado na Figura 4.

Tabela 1: Resultados da aplicação *StatWave*

Parâmetro	<i>StatWave</i>	<i>OrcaFlex</i>
Altura Significativa de 1/3 (m)	4,7499	5,00
Período de Cruzamentos (s)	7,0627	7,00
Período de Crista Média (s)	4,2226	-

Fonte: elaborada pelos autores.

Figura 4: Captura de tela dos resultados da *StatWave*



Fonte: acervo dos autores.

CalcWave

A aplicação *CalcWave* aborda o tema de cinemática e dinâmica de ondas, propriedades que são fundamentais para elaboração de projetos de estruturas *offshore*, uma vez que o entendimento das ações ambientais, neste caso ondas marinhas, é primordial para garantir a integridade da estrutura durante as várias etapas de sua vida útil, mesmo diante de condições severas.

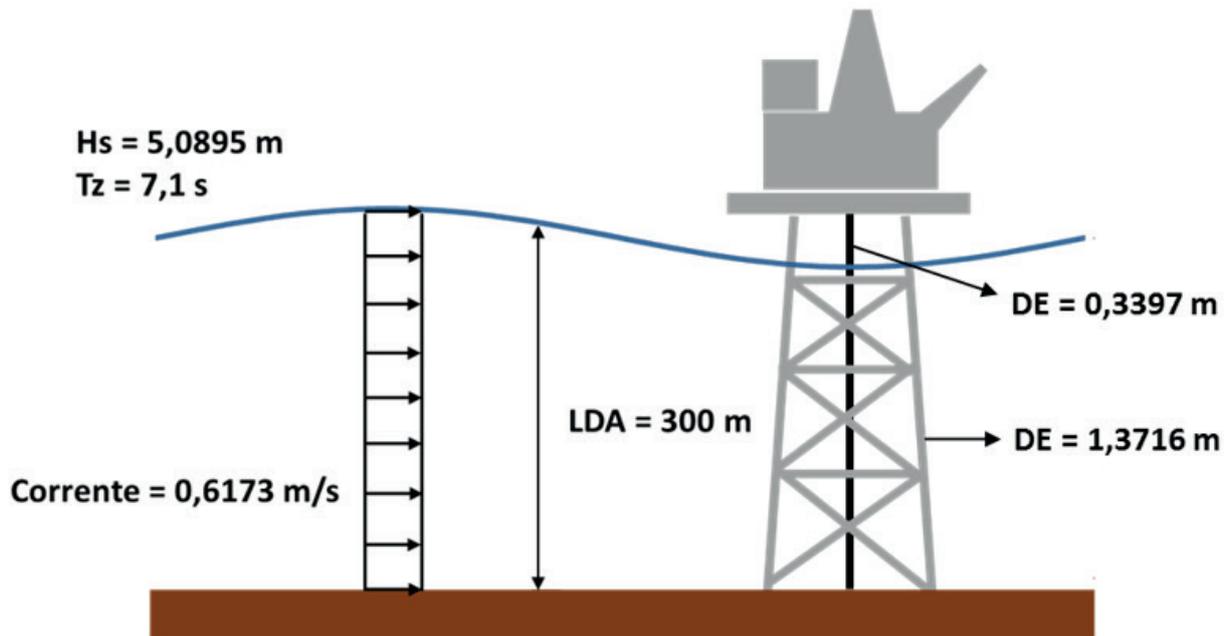
A fim de avaliar o desempenho da aplicação, foi montado um caso fictício com uma mescla de dados obtidos a partir da monografia

de Santos (2006) – da qual foram coletadas informações geométricas da perna de uma plataforma do tipo jaqueta – e das dissertações de Farfán (2005) e Kubota (2003) – das quais se recolheu os coeficientes de arraste e inércia, respectivamente. A partir daí, compararam-se os resultados cinemáticos e da Força de Morrison da *CalcWave* com o *OrcaFlex* e *DOOLINES* respectivamente.

O caso fictício consiste na ação de onda sobre a perna e um riser de produção de uma plataforma do tipo jaqueta na posição vertical. Admite-se uma correnteza disposta em um perfil uniforme na mesma direção e sentido de

ação da onda (Figura 5) e adota-se como teoria de onda a Linear de *Airy*. Na Figura 6 são mostrados os dados de entrada:

Figura 5: Ação de onda e corrente sobre a perna e um *riser* de produção de uma jaqueta



Fonte: acervo dos autores.

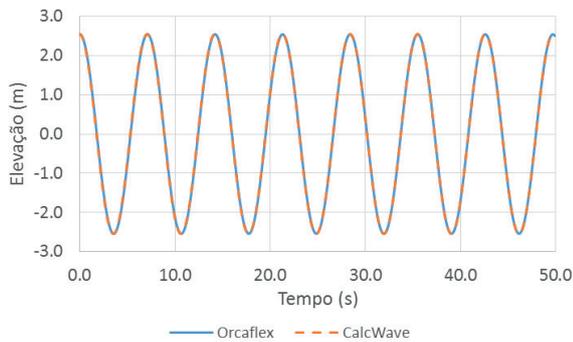
Figura 6: Captura de tela dos dados de entrada da *CalcWave*.

Dados de Entrada		Resultados	Ajuda
<input type="button" value="Abrir"/> <input type="button" value="Salvar"/> <input type="button" value="Calcular"/>			
Altura Significativa (m)	5.0895 ✓	Coefficiente de Arraste	0.7 ✓
Período da Onda (s)	7.1000 ✓	Coefficiente de Inércia	1.5 ✓
Lâmina de Água (m)	2200 ✓	Coordenada X (m)	0 ✓
Massa Específica da Água (kg/m³)	1025 ✓	Coordenada Z (m)	0 ✓
Tempo de Análise (s)	50 ✓	Perfil Linear de Corrente (m/s)	0.6173 ✓
Comprimento Característico (m)	0.1095 ✓	Teoria de Onda	Linear de Airy ✓

Fonte: acervo dos autores.

São exibidos gráficos de elevação, velocidades e acelerações horizontais e verticais, pressão dinâmica e trajetória da partícula, sendo esses dois últimos calculados apenas pela *CalcWave*, além da *força de Morison*. Também foram gerados gráficos no *Excel* com os resultados das três ferramentas. A Figura 7 apresenta as curvas para a elevação de onda.

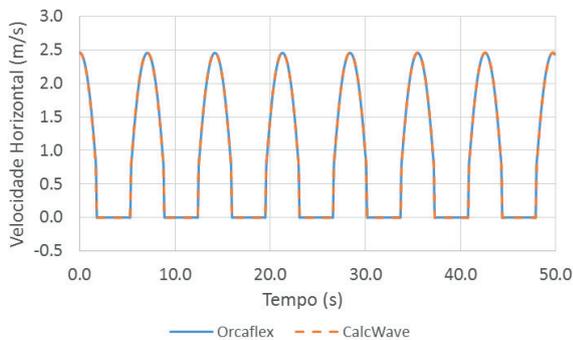
Figura 7: Elevação da onda



Fonte: acervo dos autores.

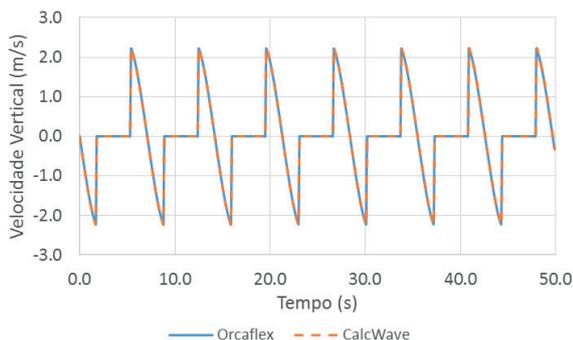
Observa-se que o comportamento das curvas é idêntico para todo o intervalo de tempo da propriedade avaliada. As Figuras 8 e 9 apresentam os gráficos resultantes para as velocidades horizontal e vertical.

Figura 8: Velocidade horizontal da onda



Fonte: acervo dos autores.

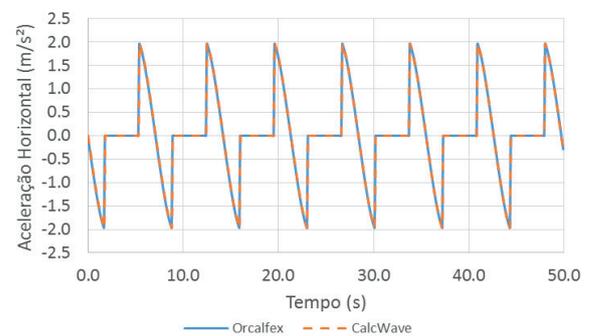
Figura 9: Velocidade vertical da onda



Fonte: acervo dos autores.

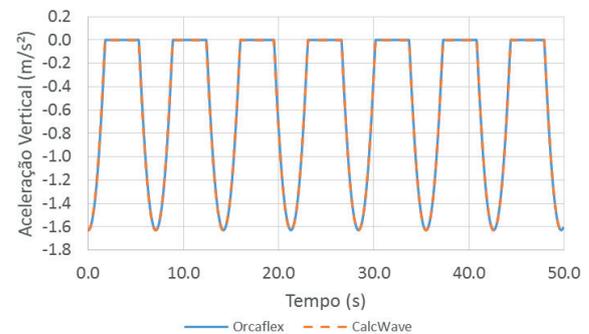
As curvas de velocidades horizontal e vertical também apresentaram comportamentos idênticos, destacando que a correnteza contribui para o aumento da velocidade horizontal por estar no mesmo sentido da onda. Outro ponto a ser mencionado é que nos instantes em que a elevação está abaixo da cota z do ponto de análise, as velocidades apresentam valores nulos, o que é coerente já que nesse instante a onda não incide no ponto de análise (0,0). As curvas das acelerações horizontal e vertical são apresentadas nas Figuras 10 e 11.

Figura 10: Aceleração horizontal da onda



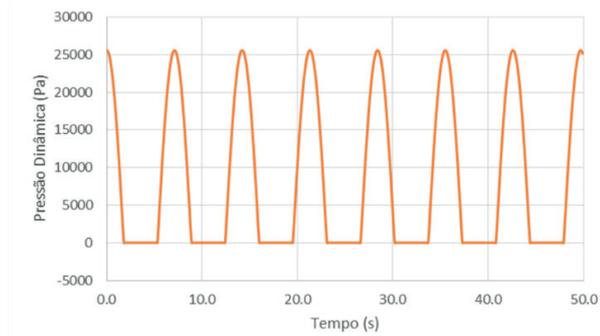
Fonte: acervo dos autores.

Figura 11: Aceleração vertical da onda

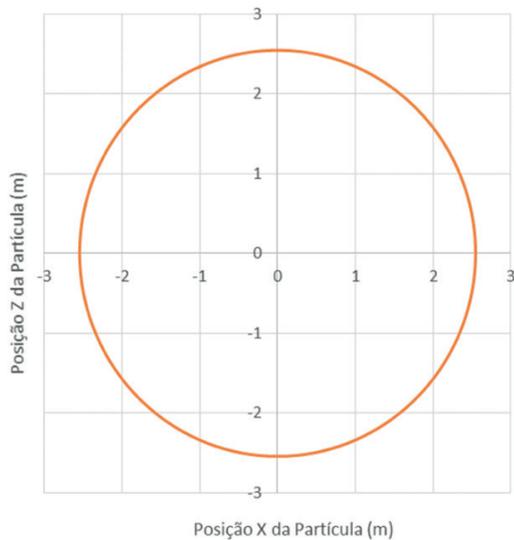


Fonte: acervo dos autores.

Assim como os resultados anteriores, as curvas de acelerações horizontal e vertical geradas pelo *OrcaFlex* e pela *CalcWave* mostraram um comportamento idêntico, destacando também o fato de as curvas de aceleração apresentarem valores nulos pelo mesmo motivo da velocidade. As Figuras 12 e 13 apresentam as curvas de Pressão Dinâmica e da Trajetória da Partícula para os mesmos dados de entrada.

Figura 12: Pressão dinâmica da onda – CalcWave

Fonte: acervo dos autores.

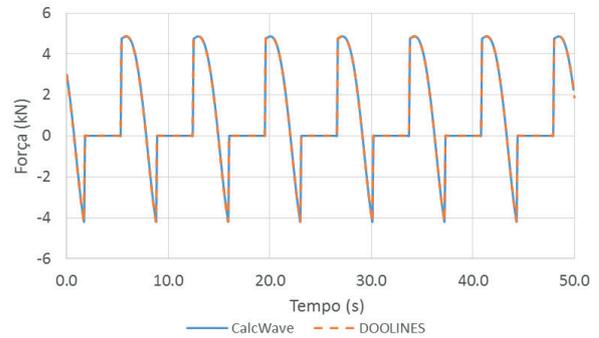
Figura 13: Trajetória da partícula da onda – CalcWave

Fonte: acervo dos autores.

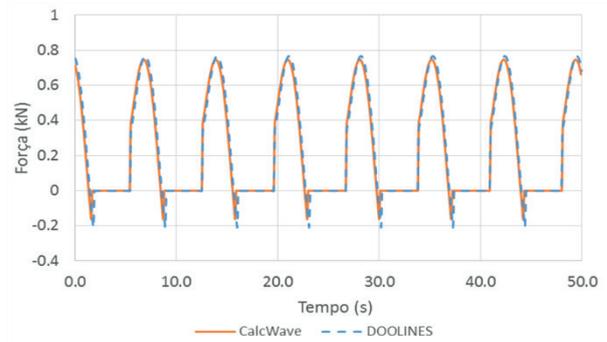
Os gráficos da pressão dinâmica e da trajetória da partícula não puderam ser comparados no *software OrcaFlex* e no *Framework DOOLINES*, pois esses recursos não constam no seu leque de ferramentas. No entanto, as curvas apresentaram um resultado esperado, pois a formulação da pressão dinâmica consiste em um harmônico assim como mostra a Figura 12. A trajetória da partícula formulada pela teoria Linear de *Airy* não considera o deslocamento da partícula, ou seja, não há transferência de massa, portanto é esperado que a partícula apresente uma trajetória orbital fechada, como é exibida na Figura 13.

As Figuras 14 e 15 apresentam a *força de Morison* com as curvas geradas pela *CalcWave* e pelo *DOOLINES* na perna da estrutura e no *riser* de produção de uma plataforma do tipo jaqueta. Por sua vez, as Figuras 16 e 17 exibem as parcelas de arraste e inércia e a soma destas

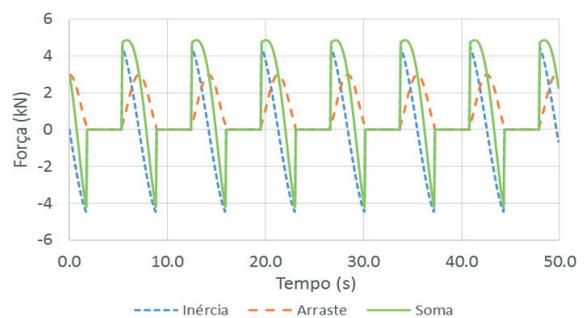
calculadas na *CalcWave* para os mesmos pontos de interesse.

Figura 14: Força de Morison na perna da estrutura calculada na CalcWave e DOOLINES

Fonte: acervo dos autores.

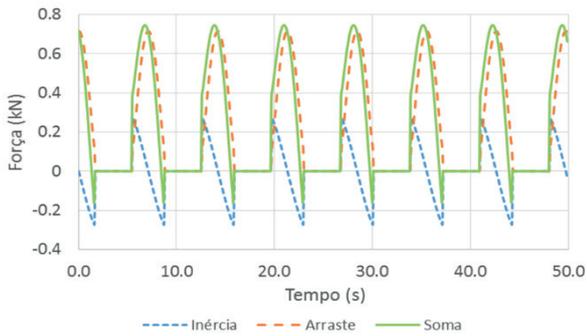
Figura 15: Força de Morison no riser de produção calculada na CalcWave e DOOLINES

Fonte: acervo dos autores.

Figura 16: Parcelas de Arraste e Inércia e a soma destas na perna da estrutura

Fonte: acervo dos autores.

Figura 17: Parcelas de Arraste e Inércia e a soma destas no riser de produção



Fonte: acervo dos autores.

Para a *força de Morison* calculada a partir da *CalcWave* e do *DOOLINES*, apresentada nas Figuras 16 e 17, as curvas estão sobrepostas em ambos os casos, o que garante à *CalcWave* a capacidade de calcular, de forma analítica, através da formulação de Morison, casos mais simples de estruturas fixas que sofrem ação dinâmica de ondas.

Verifica-se (o que se pode ver na Figura 16) que a parcela de inércia tem mais influência do que a de arraste, já que o diâmetro externo da perna é maior do que a do *riser* de produção; conseqüentemente, o comprimento característico é maior, aumentando-se a parcela de inércia, a qual contém o termo do comprimento característico ao quadrado. Na Figura 17, a parcela arraste tem muito mais influência do que a parcela de inércia, devido ao menor comprimento do *riser* de produção, o que era esperado, pois o *riser* é mais esbelto do que a perna da estrutura.

São consideradas estruturas esbeltas aquelas que possuem dimensões transversais características pequenas se comparadas ao comprimento de onda. Portanto, o resultado obtido é compatível com o esperado, pois o uso da equação de Morison é indicado quando os efeitos viscosos são mais significativos que os de inércia no *riser* de produção (BAHIENSE, 2007).

CONCLUSÃO

As aplicações desenvolvidas para o SAEP relacionadas à temática *offshore* se mostraram bastante eficientes quando comparadas a ferramentas já consolidadas no meio acadêmico e na indústria, como o *OrcaFlex*.

Na *StatWave*, foi utilizada uma série histórica de elevação gerada a partir do *OrcaFlex*, a qual passou pela contagem de cruzamentos de zero, gerando os parâmetros estatísticos, entre eles a altura significativa e período de onda que resultaram em valores próximos dos adotados inicialmente para gerar a série histórica no *OrcaFlex*.

Para a *CalcWave*, foi montado um caso fictício que tratava de uma perna de uma plataforma do tipo jaqueta e um *riser* de produção sofrendo ação de onda. Com os mesmos dados de entrada, foram gerados resultados excelentes nas ferramentas *OrcaFlex* e *DOOLINES* para cinemática e dinâmica de ondas.

Os resultados conferem ao SAEP uma solidez como ferramenta de apoio *on-line* e gratuita para estudantes e professores e também indústrias relacionadas à temática de estatística, cinemática e dinâmica de ondas.

REFERÊNCIAS

- ANSYS. **Ansys**. Disponível em: <<http://www.ansys.com/>>. Acessado em: out. de 2016.
- BAHIENSE, R. A. **Implementação e avaliação de uma metodologia fortemente acoplada para análise de sistemas flutuantes offshore**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- BOOTSTRAP. **Bootstrap**. Disponível em: <<http://getbootstrap.com/>>. Acessado em: out. de 2016.
- CHAKRABARTI, S. K. **Handbook of offshore engineering**. Illinois, EUA: 2005.
- COELHO, L. C.; NISHIMOTO, K.; MASETTI, I. Q. **Dynamic simulation of anchoring systems using computer graphics**. Omae Conference. Rio de Janeiro, Brasil. 2001.
- COSTA, J. A. C. **Estudo e implementação computacional de diferentes teorias de ondas oceânicas**. Monografia. 2008. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.
- DJANGO. **Django Project**. Disponível em: <<https://www.djangoproject.com/start/overview/>>. Acessado em: out. de 2016.
- DNV-RP-C205. **Environmental Conditions and Environmental Loads**, 2010.
- FARFÁN, D. C. **Estudo do comportamento estático e dinâmico de um riser vertical com bóia de**

superfície. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia do Petróleo) – Pós-Graduação Interdisciplinar de Ciências e Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

FLATICON. **Flection**. Disponível em: <<http://www.flaticon.com/>>. Acessado em: out. de 2016.

FONT AWESOME. **Font awesome**. Disponível em: <<http://fontawesome.io/>>. Acessado em: out. de 2016.

GODA, Y. **Random seas and design of maritime structures**. Tokyo: University of Tokyo Press, 2000.

HANDSONTABLE. **Handsontable**. Disponível em: <<https://handsontable.com/>>. Acessado em: out. de 2016.

HIGHCHARTS. **Highcharts**. Disponível em: <<http://www.highcharts.com/>>. Acessado em: out. de 2016.

JQUERY. **Jquery**. Disponível em: <<https://jquery.com/>>. Acessado em: out. de 2016.

JSON. **Json**. Disponível em: <<http://www.json.org/>>. Acessado em: out. de 2016.

KUBOTA, H. Y. **Comportamento dinâmico de um “riser” rígido de produção**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia do Petróleo). – Pós-Graduação Interdisciplinar de Ciências e Engenharia de Petróleo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MARQUES, R. O. **Análise acoplada dos movimentos de um fpso e da dinâmica dos sistemas de ancoragem e risers**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MENDES, A. L. T. **Desenvolvimento de uma Bóia-Ondógrafo Brasileira**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NOAA. **When Do Ocean Waves Become ‘Significant’?** A Closer Look at Wave Forecasts. Disponível em: <http://www.vos.noaa.gov/MWL/apr_06/waves.shtml>. Acessado em: out. de 2016.

ORCINA. **OrcaFlex**. Disponível em: <<https://www.orcina.com/SoftwareProducts/OrcaFlex/>>. Acessado em: out. de 2016.

PYTHON. **Python**. Disponível em: <<https://www.python.org/>>. Acessado em: out. de 2016.

PYTHONANYWHERE. **Pythonanywhere**. Disponível em: <<https://www.pythonanywhere.com/>>. Acessado em: out. de 2016.

SANTOS, A. A. **Projeto estrutural de uma jaqueta para plataforma de manutenção de aeronaves na bacia de campos**. Monografia. 2006. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2006.

SILVA, L. **Análise modal e controle de plataformas offshore sujeitas a perturbações persistentes**. 2014. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PROEE), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

SILVEIRA, E. S. S.; LAGES, E. N.; FERREIRA, F. M. G. DOOLINES: an object-oriented framework for non-linear static and dynamic analyses of offshore lines. **Engineering with Computers**, Springer, 1-11, 2011.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Petrobras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

W3C. **Ajax**. Disponível em: <<https://www.w3.org/standards/webdesign/>>. Acessado em: out. de 2016.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Eduardo da Silva Paranhos Sobrinho é graduado em Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal de Alagoas (2017). Atualmente é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas, atuando na área de concentração de estruturas.



Heleno Pontes Bezerra Neto é graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2012) e mestre em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas, pela Universidade Federal de Alagoas (2014). Atualmente é professor da Universidade Federal de Alagoas, lecionando, principalmente, disciplinas da área de Sistemas Oceânicos para o curso de Engenharia de Petróleo e pesquisador do Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/UFAL).



Michele Agra de Lemos Martins é graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2008) e mestre em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas, pela Universidade Federal de Alagoas (2011). Atualmente é professora da Universidade Federal de Alagoas do curso de Engenharia de Petróleo e pesquisadora do Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/UFAL).