

Análise Paramétrica de Capacidade de Carga Axial das Bases Torpedo de 36” a serem utilizadas como início de poço em solo marinho de águas ultra profundas

Rachel G.B. Costa Genzani

PETROBRAS, Rio de Janeiro, Brasil, rachel_costa_99@yahoo.com.br

Jose Renato Mendes de Sousa

COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, jrenato@laceo.coppe.ufrj.br

Alexandre Thomaz Borges

PETROBRAS, Rio de Janeiro, Brasil, atborges@petrobras.com.br

Elisabeth de Campos

PETROBRAS, Rio de Janeiro, Brasil, bethporto@petrobras.com.br

Emmanuel Franco Nogueira

PETROBRAS, Rio de Janeiro, Brasil, efranco@petrobras.com.br

Cristiano Aguiar

COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, Cristiano@laceo.coppe.ufrj.br

RESUMO: A Base Torpedo é um tipo de fundação de poço que utiliza revestimento condutor cravado no leito marinho pela ação de seu peso próprio, associado ao peso de um lastro-martelo, que foi desenvolvida pela PETROBRAS e vem sendo aprimorada, há cerca de 10 anos, para aumentar sua abrangência de utilização. Com mais de 100 unidades instaladas em solos argilosos de resistência média e alta, confirmando sua vantagem promissora de economia de tempo e de recursos, deu-se início ao desenvolvimento de uma Base Torpedo capaz de suportar os carregamentos desafiadores dos cenários de águas ultra profundas, que têm solos de menor resistência. Um primeiro protótipo desta Base Torpedo de maior dimensão idealizada foi construído e instalado num campo do Pré-Sal da costa brasileira. Os resultados desta instalação foram monitorados e mostraram a viabilidade de uso da Base Torpedo, também, em cenários de águas ultra profundas. Na sequência, análises numéricas adicionais, permitiram ainda, que fossem propostas algumas melhorias para otimizar a sua geometria. Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados das análises de capacidade de carga axial obtidos com a configuração da Base Torpedo de 36” que foi testada e compará-los aos resultados obtidos nos modelos que contemplam as melhorias adicionais propostas na geometria desta nova solução. Um modelo de elementos finitos foi utilizado para que o comportamento do solo, no entorno da Base Torpedo, fosse simulado de forma mais adequada, já que a geometria da Base Torpedo é complexa e, nos modelos analíticos usualmente empregados, sua geometria precisa ser aproximada por um tubo de seção equivalente. Os resultados obtidos com esta formulação analítica também serão apresentados para fins de comparação.

PALAVRAS-CHAVE: Base Torpedo, Poço, Revestimento Condutor, Capacidade de Carga, Fundação.

1 INTRODUÇÃO

As fundações de poços marítimos, conhecidas como revestimentos condutores, podem ser instaladas no solo marinho segundo três metodologias: perfuração e cimentação; jateamento; ou cravação.

As duas primeiras alternativas possuem ampla utilização na indústria internacional. Já a solução instalada por cravação recebeu, nos últimos 13 anos, uma grande contribuição tecnológica da PETROBRAS, que desenvolveu e patenteou as Bases Torpedo.

As Bases Torpedo são revestimentos condutores curtos, que penetram no solo marinho por ação da gravidade após lançamento em queda livre, e contam com o auxílio de um martelo que também serve como lastro, para atingir sua penetração final no leito marinho de forma controlada. Possuem 4 ou mais aletas externas de dimensões significativas ao longo de todo seu comprimento (Figura 1).



Figura 1. Modelo em escala reduzida de uma das primeiras configurações.

A presença destas aletas, aumenta a capacidade de carga axial da fundação, pois proporcionam maior área de contato com o solo e, também, confere à fundação uma elevada rigidez à flexão, minimizando possíveis deslocamentos impostos por cargas laterais.

As Bases Torpedo representam uma grande redução de custo nas instalações de início de poço, uma vez que: (A) utilizam recursos de menor custo e com maior disponibilidade no mercado nacional (tipicamente, a instalação de bases torpedo demanda somente uma embarcação de manuseio - AHTS - enquanto as soluções convencionais necessitam de uma sonda); (B) possuem menores comprimentos de fuste se comparadas às soluções convencionais de fundações de poço (Bases Torpedo, em geral,

possuem comprimento total entre 18 m e 22 m); (C) e são instaladas de forma mais rápida (seu manuseio é mais fácil e seu lançamento é feito através de um disparo a certa altura de queda em relação ao fundo marinho usando, principalmente, seu peso próprio). A Figura 2 ilustra o lançamento da Base Torpedo.

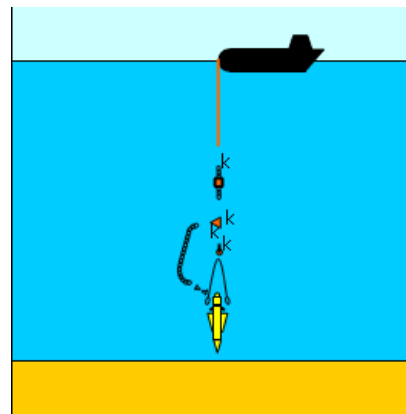


Figura 2. Esquema simplificado do lançamento em queda livre utilizando embarcação de manuseio.

Este tipo de tecnologia ganhou ampla utilização na PETROBRAS, de forma que, atualmente, já há mais de 100 inícios de poços que empregaram a Base Torpedo como fundação na Bacia de Campos, onde a resistência não drenada do solo é média. No entanto, o uso da Base Torpedo, em cenários típicos do Pré-Sal brasileiro, ainda se constitui num grande desafio tecnológico, uma vez que as cargas axiais a serem sustentadas pelo condutor são altas em função dos maiores comprimentos de revestimentos de superfície utilizados, e o solo apresenta baixa resistência, o que confere capacidade de carga limitada a este tipo de fundação.

Seguindo a tendência crescente do mercado de exploração no Pré-Sal brasileiro, surgiu a demanda de modificação das Bases Torpedo em relação ao projeto de 30" para que sua utilização fosse viabilizada, também, nestes cenários mais severos. O primeiro projeto de modificação da Base Torpedo foi conduzido e testado no campo através de um protótipo em escala real. Após a avaliação dos resultados dos testes, verificou-se a possibilidade de otimização da geometria para aumentar, ainda mais, a capacidade de carga axial alcançada.

Dessa forma, o desenvolvimento de

ferramentas numéricas capazes de prever adequadamente a capacidade de carga axial desses revestimentos condutores é fundamental, uma vez que, através delas, torna-se possível realizar análises paramétricas mais representativas do modelo real para se chegar às possíveis soluções geométricas otimizadas da Base Torpedo de maior dimensão.

Nesse trabalho, apresenta-se um modelo numérico baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF) que permite representar a estrutura complexa de uma Base Torpedo e o solo que a circunda. Apresentam-se também as diferentes configurações de revestimentos cravados que foram estudados, variando-se, basicamente, a largura, a espessura e a quantidade de aletas nessas estruturas. Os resultados obtidos são discutidos e indicações para uma Base Torpedo de maior dimensão, adaptada às novas condições de contorno mais severas descritas, são estabelecidas.

2 EVOLUÇÃO DO PROJETO DA BASE TORPEDO

2.1 Base Torpedo Original – Histórico de Aplicação da BT de 30” na Bacia de Campos

A Base Torpedo (BT) começou a ser desenvolvida pela PETROBRAS no final da década de 90 com o intuito de reduzir o custo da instalação do revestimento condutor de poço. Essa tecnologia é oriunda das estacas torpedo, amplamente utilizada até então, para a ancoragem de unidades flutuantes de produção.

O desafio original era desenvolver uma solução mais barata de fundação de poço, alternativa ao revestimento condutor jateado com 3 juntas, que vinha sendo utilizado nos cenários da Bacia de Campos.

Após a execução de diversas análises de capacidade de carga para solos típicos da Bacia de Campos, observou-se que 18 metros de revestimento condutor de 30” de diâmetro com quatro aletas diametralmente opostas, de grande largura e ao longo da metade superior do tubo, seriam suficientes para produzir uma força de atrito maior do que aquela proporcionada por um jateamento do revestimento condutor de 36

metros de comprimento (Figura 3).

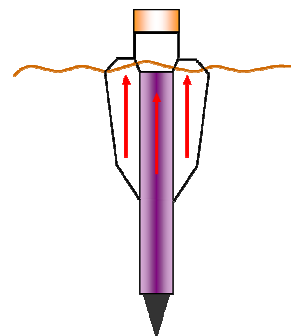


Figura 3. Atrito lateral no fuste e nas aletas da BT.

Além do condutor de 30” com aletas externas de largura variável, o conjunto BT possui também um martelo-lastro tubular de 26”, que é lançado junto, para dar peso ao conjunto e, posteriormente, auxiliar no processo de cravação do condutor. Ao final da instalação da BT, ele é removido para ser aproveitado em outras instalações.

A cravação inicial da BT no solo se dá através de um processo que aproveita a energia gerada pela queda livre do condutor com o martelo-lastro em seu interior, a partir de uma altura do fundo marinho. Em seguida, a cravação é complementada através do martelo-lastro que, governado pelo *heave* (movimento vertical) da embarcação, promove impacto num anel instalado no topo deste revestimento condutor.

Para facilitar a penetração da Base Torpedo no solo marinho, uma ponteira de ataque foi acrescentada à parte inferior do revestimento condutor. Além de melhorar a hidrodinâmica do lançamento, ela facilita o corte do solo durante a cravação. Esta ponteira de cimento é removida durante a perfuração da fase seguinte. Dessa forma, a capacidade de carga de uma BT se dá somente por atrito nas paredes externas do condutor e das aletas.

No topo da Base Torpedo, quatro chapas laterais conectadas às aletas formam uma caixa, constituindo o que se chama de freio geomecânico. Durante a cravação da BT, o solo penetra no interior do freio até ocorrer seu embuchamento na caixa, de forma que a descida da BT pare bem próxima deste nível. Esse dispositivo, além de colocar a BT na profundidade necessária para realizar as

conexões com os demais equipamentos, aumenta a capacidade da BT de suportar esforços axiais de compressão. Vale lembrar que caso a BT não pare exatamente na posição final requerida, a cravação pode ser complementada com golpes do martelo-lastro.

Um grande ganho obtido com a utilização da BT se deve a sua instalação ser realizada através de barco de manuseio de âncoras, economizando bastante tempo de sonda de perfuração, que possui alto custo. Outra vantagem é a obtenção de uma melhor fundação para o poço, uma vez que não há pré-furo no seu processo de instalação. A BT crava com ponta fechada, no solo íntegro, perturbando menos o solo ao seu redor do que quando se adotam as execuções por jateamento ou por perfuração e cimentação. Além disso, a presença de aletas com largura da ordem de grandeza de um diâmetro aumenta muito a resistência da seção transversal ao momento fletor, quando comparada aos revestimentos convencionais, minimizando os deslocamentos laterais da cabeça de poço.

2.2 Base Torpedo de diâmetro de 36" – Foco de aplicação nos cenários do Pré-Sal da Bacia de Santos

Dado o histórico de sucesso de utilização da BT, surgiu a necessidade de desenvolver uma nova geometria capaz de atender aos cenários do Pré-Sal, onde: fatores ambientais impõem carregamentos maiores na conexão com o *riser* (duto que liga o poço ao sistema de produção/perfuração na superfície do mar); a grande extensão dos revestimentos da fase II gera carregamentos axiais maiores; o solo é de menor capacidade de suporte; e, por questões operacionais, os condutores que melhor se ajustam no projeto de poço são os de 36".

Para isto, foi estudada uma configuração com 36" de diâmetro, com cerca de 22 metros de comprimento e com aletas de largura constante ao longo de todo o comprimento do fuste e, numa tentativa de aumentar a capacidade de carga axial, foram adicionadas aletas intermediárias de menor largura, ao longo de todo comprimento do tubo.

Surgiu, assim, a BT-1000, uma configuração

de Base Torpedo com potencial para suportar cerca de 1000 metros de revestimento de superfície de 22". A Figura 4 ilustra uma seção transversal da BT com 8 aletas, na altura do freio geomecânico.

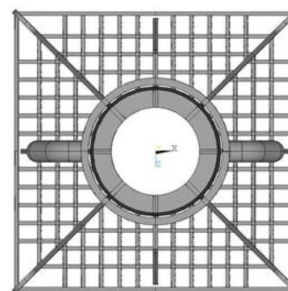


Figura 4. Seção transversal na altura do topo – fuste, aletas e freio da BT-1000.

Esta BT respeita o mesmo conceito da configuração original de 30". Ela é composta por um corpo tubular, com 4 aletas maiores diametralmente opostas e mais 4 aletas intermediárias ao longo de todo comprimento. Possui um martelo-lastro em seu interior, para aumentar o peso próprio do conjunto durante o lançamento e permitir o ajuste da cravação final. Sua ponta também é fechada durante o lançamento e cravação, e depois, removida durante a perfuração das demais fases. O freio geomecânico, que aumenta a resistência axial e coloca em sua posição final desejada, também é composto por 4 chapas que interligam as aletas, e uma grelha, que fica no nível do leito marinho.

Foi criado um protótipo desta nova concepção, que foi lançado num campo com solo típico do Pré-Sal da Bacia de Santos e os resultados desta primeira experiência indicaram a possibilidade de mais algumas otimizações na geometria para aumentar sua capacidade axial.

A capacidade de carga desta solução de maior dimensão chega a ser, quase, 4 vezes maior que a resistência axial por atrito da solução original de 30" de diâmetro.

3 ESTUDO REALIZADO

3.1 Cenário escolhido

Para fins de comparação, foi escolhido um

cenário típico do Pré-Sal brasileiro.

Nas análises numéricas, considerou-se, um solo argiloso homogêneo com resistência não drenada, S_u , variando linearmente com a profundidade, z , de acordo com a expressão:

$$S_u(z) = 1.3 \cdot z \quad (1)$$

Sendo $S_u(z)$ em kPa e z em metros.

Além disso, considera-se que o peso submerso do solo é igual a $6,0 \text{ kN/m}^3$ e o módulo de elasticidade do solo varia linearmente com a profundidade através da expressão:

$$E(z) = 550 \cdot S_u(z) \quad (2)$$

Foi adotado coeficiente de Poisson de 0,49 com o intuito de simular o comportamento não drenado do solo.

Como análise de referência, estuda-se a base BT-1000 de 36", descrita no item 2 desse artigo. Na sequência, varia-se, de forma paramétrica, algumas de suas características geométricas para verificar o impacto destas modificações na capacidade de carga axial da estrutura. Será apresentado também, para comparação, qual seria a capacidade de carga da BT de 30" neste mesmo cenário.

Serão analisadas e comparadas as seguintes configurações geométricas:

CASO A: BT de 30" com 4 aletas, em somente metade do comprimento do fuste;

CASO B: BT de 36" original, com 4 aletas principais e 4 aletas intermediárias, em toda a extensão do tubo;

CASO C1: BT de 36" semelhante à original, porém sem as aletas intermediárias;

CASO C2: BT de 36" semelhante à original, sem as aletas intermediárias e com as quatro aletas maiores com largura 29% superior e espessura 56% maior;

CASO C3: BT de 36" semelhante à original, sem as aletas intermediárias e com as quatro aletas maiores com largura 38% superior e espessura também 56% maior.

A Tabela 1 apresenta os pesos das diversas configurações de BT estudadas.

Tabela 1 – Peso submerso das diferentes configurações de Base Torpedo analisadas.

Tipo de BT	Peso da BT (kN)	Peso da BT (kip)	Peso da BT normalizado em relação ao CASO B
CASO A	247	55,5	0,49
CASO B	508	114,2	1,00
CASO C1	398	89,5	0,78
CASO C2	570	128,2	1,12
CASO C3	588	132,2	1,16

Nota-se, na Tabela 1, que o peso da BT de 36" (CASO B) é o dobro do peso da BT de 30" (CASO A). Observa-se também que a retirada das aletas intermediárias (CASO C1) da BT de 36" leva a uma diminuição do peso da BT-1000 de 22%. Por outro lado, com aumento da largura e da espessura das aletas maiores associado à retirada das aletas intermediárias ocorre um aumento de 12% e de 16% no peso de aço da estrutura da cabeça de poço no CASO C2 e no CASO C3, respectivamente, em relação à BT original de 36".

3.2 Modelos de análise

3.2.1 Modelo analítico

Usualmente, a capacidade de carga axial, Q_a , da BT é calculada através do modelo analítico proposto pela API RP 2A WSD (2007):

$$Q_a = Q_{a,p} + Q_{a,l} \quad (3)$$

onde $Q_{a,p}$ e $Q_{a,l}$ são, respectivamente, as resistências de ponta e lateral por atrito da BT e são dadas por:

$$Q_{a,p} = 6.17 \cdot S_u(z_{fg}) \cdot A_{fg} \quad (4)$$

$$Q_{a,l} = \int_0^L \alpha(z) \cdot S_u(z) \cdot p_{bt}(z) \cdot dz \quad (5)$$

onde, na Eq. (4), z_{fg} é a profundidade do freio geomecânico e A_{fg} é a área da sua projeção, ou seja, considera-se, para efeito de cálculo, que o freio geomecânico é uma fundação rasa. Para o cálculo da resistência de ponta, despreza-se, conservativamente, a contribuição das bases das aletas. Na Eq. (5), $p_{bt}(z)$ é o perímetro da base

na profundidade z . No cálculo do perímetro não foi considerada a contribuição das aletas intermediárias. A função $\alpha(z)$ é dada pela (API RP 2A WSD, 2007):

$$\alpha(z) = \begin{cases} 0,5 \cdot \psi(z)^{-0,5}, & \text{se } \psi(z) \leq 1 \\ 0,5 \cdot \psi(z)^{-0,25}, & \text{se } \psi(z) > 1 \end{cases} \quad (6)$$

onde:

$$\psi(z) = \frac{S_u(z)}{\gamma_{sub}(z) \cdot z} \quad (7)$$

e o valor de $\alpha(z)$ é limitado a 1,0.

3.2.2 Modelo numérico baseado no MEF

O modelo numérico utilizado para análises de BTs é o mesmo proposto em de Sousa et al (2011) para análise da capacidade de carga de Estacas Torpedo (Ver Figura 5).

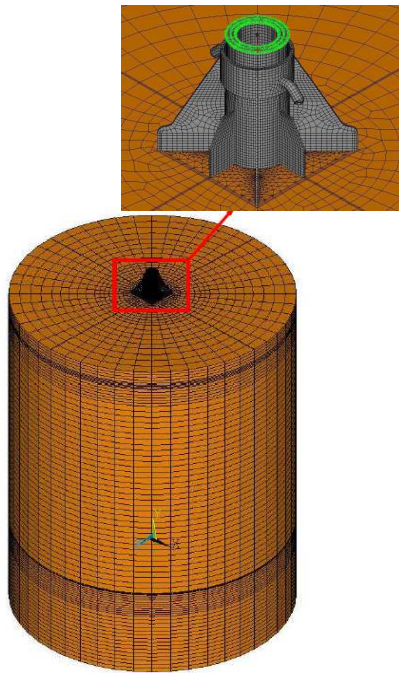


Figura 5. Malha de elementos finitos para a análise da capacidade de carga da BT-1000.

Esse modelo utiliza elementos finitos sólidos isoparamétricos para a modelagem tanto do solo como da BT. Uma vista geral de uma das malhas de elementos finitos utilizadas nesse trabalho foi apresentada na Figura 5.

O solo é considerado isotrópico e com

resposta elástica e linear até a ruptura, que é caracterizada pelo critério de Drucker-Prager. A partir desse ponto, o solo perde sua capacidade de resistir aos carregamentos impostos. O efeito de grandes deformações também é considerado nos elementos finitos empregados.

Assume-se que a BT é constituída por aço carbono com resposta também elástica e linear (as tensões que se desenvolvem na BT são, usualmente, bastante inferiores à tensão de escoamento do material que a compõe).

A interação entre a BT e o solo é garantida através de elementos de contato. Esses elementos permitem o deslizamento relativo entre as interfaces em contato, quando a tensão cisalhante na interface ultrapassa o valor máximo, τ_{max} , dado por:

$$\tau_{max}(z) = \alpha(z) \cdot S_u(z) \quad (8)$$

Nota-se, portanto, que a Eq. (8) permite variar a tensão cisalhante ao longo da profundidade e se mantém consistente com o indicado na API RP 2A WSD (2007).

Para evitar a hipostaticidade do modelo, a base do maciço de solo é considerada engastada. Os nós na parede externa do cilindro que representa o maciço de solo têm todos os seus deslocamentos restringidos, exceto o deslocamento axial.

O maciço de solo tem um diâmetro total equivalente a $20D$, onde D é o diâmetro da Base Torpedo incluindo suas aletas maiores, e a ponta da BT dista 5,0 m em relação à base do cilindro. Essas dimensões, de acordo com de Sousa et al. (2011), são suficientes para impedir que as condições de contorno afetem a resposta da BT.

A malha de elementos finitos gerada é densa no topo da BT, na base de suas aletas e junto ao fuste ao longo de todo o comprimento da base. Essas são as regiões onde os gradientes de tensões são mais intensos.

O estado de tensões inicial no solo é imposto diretamente ao modelo em um passo inicial de carga. Esse passo é seguido da imposição do peso próprio da base e o último passo consiste na aplicação do carregamento axial (peso do condutor). A carga axial é uniformemente aplicada no topo da BT (pontos verdes em

detalhe na Figura 5), que é considerado rígido.

4 RESULTADOS

A capacidade de carga de cada uma das configurações de BT analisadas foi avaliada através do modelo analítico e do modelo baseado no MEF, exceto a BT de 30", que só possui resultados pelo modelo analítico. A Tabela 2 apresenta os resultados de capacidade de carga previstos pelo modelo analítico e a Tabela 3 pelo MEF.

Tabela 2 – Capacidade de Carga Axial da BT estimados pelo modelo analítico somando o freio geomecânico.

Tipo de BT	Capacidade de Carga Axial da BT (kN)	Capacidade de Carga Axial da BT (kip)	Capacidade de Carga Normalizada em relação ao CASO B
CASO A	860	193,4	0,28
CASO B	3098	696,5	1,00
CASO C1	3098	696,5	1,00
CASO C2	3658	822,4	1,18
CASO C3	3813	857,2	1,23

Tabela 3 – Capacidade de Carga Axial da BT estimados pelo MEF somando o freio geomecânico.

Tipo de BT	Capacidade de Carga Axial da BT (kN)	Capacidade de Carga Axial da BT (kip)	Capacidade de Carga Normalizada em relação ao CASO B
CASO A	-	-	-
CASO B	3300	741,9	1,00
CASO C1	2987	671,5	0,91
CASO C2	3484	783,2	1,06
CASO C3	3723	837,0	1,13

A partir dos resultados apresentados para o modelo analítico (Tabela 2), observou-se que:

(A) A BT de 36" original (CASO B) tem capacidade de carga quase 4 vezes maior que a BT de 30" (CASO A);

(B) A capacidade de carga axial do CASO C1 ficou igual à do CASO B, porque o cálculo com modelo analítico não considerou as aletas (será explicado com mais detalhes a seguir);

(C) As capacidades de carga previstas para as BTs do CASO C2 e do CASO C3 são, respectivamente, 18% e 23% maiores que a capacidade de carga da BT de 36" original. O aumento das dimensões (largura e espessura)

das aletas maiores associado à retirada das aletas intermediárias implicou num aumento do peso de aço da BT, que, no entanto, foi amplamente compensado pelo aumento da capacidade de carga dessas estruturas.

Nas análises através do MEF (Tabela 3), onde as aletas intermediárias foram modeladas junto com as principais, os resultados se mostraram semelhantes aos indicados pelo modelo analítico e permitem concluir que:

(D) Comparando as capacidades de carga obtidas com a BT de 36" original e a BT do CASO C1, nota-se que há uma pequena redução na capacidade de carga axial (9%), ou seja, apesar das aletas aumentarem a área de contato com o solo em 35%, a contribuição das aletas intermediárias nas BTs é pequena;

(E) O aumento da largura e da espessura das aletas maiores associado a retirada das aletas menores é benéfico para as bases torpedo. O aumento de capacidade de carga axial foi confirmado no MEF.

(F) Outra conclusão, que se pode obter ao observar os resultados nas Tabelas 2 e 3, é o fato de que o MEF e o modelo analítico indicaram a mesma tendência de comportamento. Comparando os valores de capacidade de carga obtidos através de ambos os modelos, nota-se que eles diferem cerca de 4% em média. Isto valida o modelo analítico simplificado, que é usado de maneira mais recorrente nos projetos.

Cabe ressaltar ainda que a carga de ruptura obtida através do MEF corresponde a carga associada a um deslocamento axial de 1% do diâmetro equivalente da base. O diâmetro equivalente foi obtido a partir de uma média ponderada que leva em conta a variação das seções transversais ao longo do comprimento.

Outro ponto importante diz respeito à contribuição das aletas intermediárias na resposta axial das Bases Torpedo. Verificou-se que esta contribuição é muito pequena.

Os resultados do MEF, para o instante da ruptura, mostram que a região de solo mobilizada no entorno das aletas maiores, engloba as aletas intermediárias, que passam a atuar dentro dessa massa já rompida não contribuindo de forma efetiva para a capacidade axial (Figura 6). Desse modo, a contribuição

dessas aletas se torna muito pequena, ao passo que, se suas áreas laterais fossem computadas no cálculo do diâmetro equivalente do modelo analítico, seriam obtidas capacidades de carga superiores às encontradas. Por isso elas não foram incluídas no cálculo analítico.

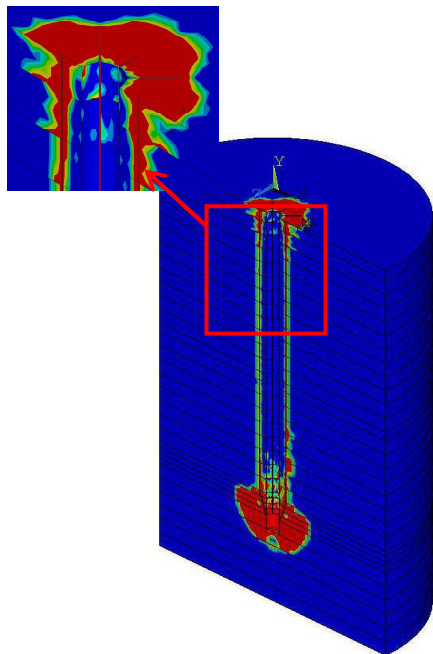


Figura 6. Distribuição de tensões (normalizadas pelas tensões de ruptura) ao longo do maciço do solo para a carga de ruptura da BT-1000.

A Figura 6 apresenta a distribuição de tensões (normalizadas pela tensão de ruptura) ao longo do maciço de solo, no momento da ruptura da BT de 36". Nota-se, nessa figura (em detalhe), que a superfície de falha engloba as aletas intermediárias.

5 CONCLUSÕES

No intuito de adaptar a solução de início de poço conhecida como Base Torpedo para suportar carregamentos típicos dos cenários do Pré-Sal da Bacia de Santos, foi proposta e testada no campo uma nova configuração com diâmetro de 36" e com aumento na quantidade e na extensão das aletas. Essa nova geometria de 36" tem peso da ordem do dobro do peso da Base Torpedo de 30", porém tem capacidade de carga axial quase quatro vezes maior, viabilizando a solução BT para maiores carregamentos até em solos menos resistentes.

Adicionalmente, foram propostas algumas

modificações estruturais para otimização da capacidade de carga, que representaram um aumento de 16% em relação ao peso inicial da BT de 36" testada, mas que também acrescentaram capacidade de carga axial em 13%.

Essas modificações consistem em retirar as aletas menores, uma vez que se percebeu, através de modelagem numérica e da experiência de campo, que ela não contribuía de forma eficaz na capacidade de carga, e em aumentar as aletas de maior dimensão na largura e na espessura, a fim de aumentar a resistência por atrito lateral no contato com o solo.

Este trabalho tem foco somente na avaliação da capacidade de carga axial da solução Base Torpedo e na avaliação paramétrica de possíveis modificações estruturais de otimização.

Foram propostos dois modelos numéricos de cálculo para se proceder às avaliações necessárias: um analítico seguindo a formulação da API RP 2A WSD (2007), que é mais simples e de uso rotineiro, e outro, que se baseia em MEF tridimensional, mais representativo do modelo real, porém mais complexo, que poderia ser usado para ajudar a compreender melhor o modelo de ruptura e até validar o modelo analítico.

Os resultados mostraram que é benéfico, do ponto de vista da capacidade de carga axial, remover do projeto original da BT-1000 as aletas intermediárias e aumentar as maiores.

REFERENCIAS

- American Petroleum Institute - API (2007) Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design. API RP 2A-WSD, 21st ed, Washington.
- de Sousa, J. R. M., de Aguiar, C. S., Ellwanger G. B. (2013) Base Torpedo para o Pré-Sal. Relatório Técnico, PEC 15582, LACEO/COPPE/UFRJ.
- de Sousa, J. R. M., de Aguiar, C. S., Ellwanger G. B. (2015) Análise do Efeito de Modificações Estruturais na BT1000 - Relatório Final (Rev. 1).
- de Sousa, J. R. M., de Aguiar, C. S., Ellwanger G. B., Porto, E. C., Foppa, D., Medeiros Jr, C. J. (2011) Undrained Load, Capacity of Torpedo Anchors Embedded in Cohesive Soils. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, v. 133(2), pp. 1-12.