

A geotecnia offshore, no Brasil, aplicada à indústria do petróleo

Offshore geotechnics in Brazil applied to the oil industry

Francis Bogossian*

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo apresentar um relato sobre os fundamentos e o estado da arte da geotecnia, no Brasil, desenvolvida para atender às necessidades de explorar e produzir petróleo e gás, em campos marítimos. O autor aborda as diversas fases do reconhecimento geológico geotécnico inerentes ao estudo de fundações de estruturas offshore, tecendo considerações sobre os principais aspectos que devem nortear a programação de uma campanha de investigações geotécnicas. São apresentadas as diversas soluções adotadas no Brasil para a execução de investigações geotécnicas desde as lâminas d'água mais rasas, perto da costa, até locações de águas profundas, com destaque para a técnica de investigações genuinamente brasileira com a utilização de sino de sondagem. O sino de sondagem é um equipamento para investigações em lâmina d'água até 36 m, excepcionalmente, 50 m, sendo a única solução para execução de sondagens em zonas de arrebentação. O autor vem participando ativamente desse desenvolvimento da geotecnia, dirigida à indústria de petróleo, desde início da década de 70.

SYNOPSIS - The aim of this paper is to present an account of the fundamentals and the state-of-the-art of geotechnics, as developed in Brazil to meet the demands of the oil and gas exploration industry in maritime fields. The author approaches the different phases of geological and geotechnical reconnaissance inherent to the studies of foundations of offshore structures point out the main aspects that should guide the planning of a geotechnical investigation campaign. Many solutions that are adopted in Brazil for the execution of geotechnical investigations are presented, ranging from shallower water depths, near the coast to deep waters with a focus on the genuinely Brazilian solution using the diving bell. The diving bell is an equipment for investigations in water depths around 36 m and in exceptional cases 50 m, being the only solution for the execution of borings in near shore zone. The author has been actively taking part in the development of geotechnics in the oil industry since the beginning of the 70's.

* Professor Titular de
Mecânica dos Solos, Obras
de Terra e Fundações, pelo
Conselho Federal de
Educação, Membro da
Academia Nacional de
Engenharia e da Academia
Brasileira de Educação -
E-mail:
francis@geomecanica.com.br

Palavras-chave - Estruturas offshore; reconhecimento geotécnico; sondagens.

1 - PAPEL DA GEOTECNIA NA IMPLANTAÇÃO DE ESTRUTURAS SUBMERSAS

O desenvolvimento da geotecnia offshore, no Brasil, é consequência direta das significativas descobertas de óleo e gás na costa brasileira a partir da década de 70. As reservas brasileiras, pioneiramente descobertas no campo terrestre de Lobato, em 1939, foram ampliadas, durante a década de 1940 com diversos campos localizados no estado da Bahia até que em 1953, após quase sete anos de campanha O PETROLEO É NOSSO, estabeleceu-se o monopólio estatal e foi criada a Petrobras. Neste 50 anos, a produção brasileira de petróleo, que inicialmente era de 2700 barris/dia, chegou, em 2003 à marca, atingida por poucas empresas mundiais, de 2,14 milhões de barris/dia, graças às descobertas offshore, que partiram das águas rasas a profundas atingindo, hoje, reservas ponderáveis em águas ultra-profundas (lâmina d'água superior a 3000 metros). As estruturas necessárias para a exploração e produção demandaram que uma geotecnia especializada, mesmo utilizando o "know how" estrangeiro, principalmente do Mar do Norte, se desenvolvesse para se adequar às condições tropicais e às águas cada vez mais profundas.

Julga o autor importante, inicialmente, tecer algumas considerações sobre o papel da geotecnia quando se objetiva, com os estudos e projetos, a implantação de qualquer tipo de estrutura, total ou parcialmente submersa. Sejam as fundações de obra marítima, fluvial ou lacustre, seja o assentamento de uma linha de dutos, a construção de um cais, um porto, um molhe, etc., será sempre indispensável lançar mão de investigações geomecânicas especiais. Nos casos de lâminas d'água profundas (1000 a 2000 m) ou ultraprofundas, o reconhecimento geotécnico para projetar com segurança, por exemplo, as cabeças de poços de petróleo, vem exigindo o aprimoramento das tecnologias da geotecnia até níveis elevados de sofisticação.

Como para qualquer obra de engenharia, o vulto do empreendimento, incluindo-se aí todos os riscos envolvidos com a preservação do meio ambiente, e a geologia local serão os ingredientes que mais influirão nas decisões sobre as investigações. Aprofundar mais ou menos os conhecimentos sobre os solos e rochas que serão submetidos às ações físicas do empreendimento constitui-se deliberação de grande responsabilidade e requer a participação direta de especialistas.

Assim, o reconhecimento geológico da área, a morfologia do leito, a presença de descontinuidades, as atividades sísmicas, os estudos sobre correntes, comportamento das ondas e das marés, quando for o caso, enfim, todas as informações sobre o terreno e também sobre a

lâmina d'água, seja ela rasa, média, profunda, ou ultra-profunda, serão úteis nas considerações sobre a campanha de investigações. O quê investigar, como investigar e porquê investigar são questões que só podem ser respondidas de posse dos conhecimentos preliminares sobre os terrenos e sua interação com a hidrostática e a hidrodinâmica na área do empreendimento.

Ressalte-se que, nas investigações geotécnicas em terrenos sob lâmina d'água, a programação, execução e interpretação adequadas assumem importância capital, já que a eventualidade de se deparar, na fase de execução da obra, com um comportamento do terreno diferente daquele previsto nas etapas de estudos e projetos, implicará em retardamento no cronograma. Há reflexos ponderáveis para a economicidade, principalmente em mar aberto, em zonas desabrigadas, sujeitas a correntes, ventos e, principalmente, as afastadas da costa. A paralisação dos equipamentos e equipes de apoio, bem como os de execução propriamente dita da obra, em "stand by", aguardando definições de incertezas ou novas investigações, alterações nas concepções de projeto ou dos métodos executivos, conduzirão fatalmente a situações de custos improdutivos capazes de inviabilizar um empreendimento.

2 - FASES DO RECONHECIMENTO

Para que o reconhecimento geotécnico seja realizado de forma criteriosa, torna-se recomendável executá-lo paulatinamente, em três fases:

- Fase preliminar, constituída pelo reconhecimento geológico regional e identificação da espessura da lâmina d'água.

- Fase intermediária, para um reconhecimento mais localizado, através de técnicas que permitam obter noções sobre a morfologia, estratigrafia, feições geológicas e dados sobre ventos, marés, correntes, ondas, etc.

- Fase final, de detalhamento de parâmetros físicos e mecânicos, para conhecimento do subsolo submerso, utilizando-se tecnologias adequadas, dentro da locação que vai receber as tensões da obra ou do empreendimento a ser implantado.

3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INVESTIGAÇÕES

Não seria possível, no presente enfoque, ser suficientemente abrangente e, ao mesmo tempo, chegar ao nível do detalhe sobre as investigações geotécnicas necessárias a qualquer tipo de empreendimento, mais ou menos afastado da costa, ou das margens, e sobre os estudos para sua implantação, nas múltiplas situações batimétricas, geológicas e geotécnicas que a natureza oferece,

como vem acontecendo, no Brasil, na exploração de óleo e gás.

As considerações aqui apresentadas, no âmbito da geotecnia, visam a uma orientação aos especialistas da engenharia geotécnica e da geologia de engenharia, no sentido de se abordar, para terrenos sob lâmina d'água, diretrizes básicas para os iniciados que se defrontem com problemas de investigações geomecânicas. Caberá adaptar, a cada caso específico em estudo, o que for conveniente e compatível com o vulto do empreendimento, a natureza do terreno e todos os aspectos relevantes sobre a presença da lâmina d'água, como sejam profundidades, correntes, ondas, marés, possibilidades de enchentes ou mudanças bruscas, enfim, dispor de dados para fazer as opções adequadas.

As investigações geotécnicas em terrenos submersos devem sempre ser localizadas rigorosamente dentro da área de implantação da obra, não sendo válida a interpolação ou extrapolação de resultados de locais próximos, principalmente em mar aberto e nas zonas de arrebentação.

A programação dessas investigações deve ser específica para o tipo de empreendimento a ser implantado, considerando-se as premissas de comportamento que se espera da interação terreno – estrutura. Em função das informações obtidas através dos levantamentos geofísicos, da geologia e da topografia do fundo do mar, da natureza dos estratos mais superficiais que se prevê encontrar na locação, serão definidos, além das dimensões da área a ser investigada, os métodos de investigação e as profundidades a serem atingidas pelos estudos. É, conseqüentemente, nesta fase, que os especialistas precisam definir como investigar.

Deve-se, portanto, determinar a acurácia necessária, tanto do sistema de posicionamento e da topografia batimétrica, quanto dos trabalhos investigatórios de campo ou de laboratório, de modo a considerar as respectivas tolerâncias nas análises críticas das possibilidades de erros, bem como as suas limitações na fase de aplicação dos resultados, durante o projeto do empreendimento.

Inspeções por mini-submarinos ou câmeras de televisão poderão ser também convenientes para se prevenir contra imprevistos na fase de implantação. Ainda neste campo dever-se-á considerar a possibilidade da existência de movimentos superficiais do fundo, principalmente no caso de solos granulares.

Um levantamento geológico da superfície do solo submerso, sob o ponto de vista da geologia de engenharia, será portanto um excelente passo inicial para a definição dos equipamentos e metodologias de investigação das camadas, seja para obras, dutos ou para as instalações superficiais de cabeças de poços e outras similares (Fase Preliminar).

Com base nas informações dos levantamentos topobatimétricos, geofísicos e na geologia de engenharia, as fases intermediária e de detalhamento das investigações de campo, ou prospecção geomecânica, serão programadas para indicar e identificar as camadas importantes dos solos, rochas e terrenos de transição, estendendo-se em área e profundidade suficientes para se obter o perfil geológico-geotécnico que irá atender ao projeto.

O detalhamento consistirá basicamente de sondagens com amostragem intermitente, coleta de amostras superficiais e ensaios in situ, incluindo-se também os ensaios geotécnicos laboratoriais que se executarão em função da natureza dos solos. Considera-se portanto que a unidade de apoio dos equipamentos que executam as investigações de campo possa ser provida de um mini-laboratório de bordo, cuja equipe, além de executar alguns ensaios expeditos em parte das amostras obtidas, fará também a seleção e acondicionamento da outra parte, que será conduzida ao laboratório geotécnico terrestre para os ensaios restantes.

4 - ESTADO DA ARTE

Neste tópico apresenta-se um levantamento do “state of the art” sobre as sondagens geotécnicas em terreno sob lâmina d'água.

Tece-se comentários sobre cada um dos métodos de investigação, suas vantagens e desvantagens, bem como as opções de apoio para os equipamentos de sondagens ou métodos executivos especiais para as diversas situações, desde os mais simples flutuadores até os modernos navios de sondagem.

4.1 - Equipamento apoiado sobre flutuantes

O flutuante é apenas utilizado, em princípio, quando se pretende executar sondagens a percussão, desde que as condições de mar, profundidade da lâmina d'água e correntezas o permitam.

É geralmente constituído de tambores ou tubulões estanques de aço, posicionados sob estrutura metálica e/ou de madeira. É fixado com auxílio de âncoras e tem sido usado em condições favoráveis, para lâminas d'água de até 20 m e furos com não mais de 50 m de profundidade, em zonas abrigadas.

Existem flutuantes mais reforçados, chegando-se até ao uso de pontões ou chatas, adequadamente ancoradas.

Sua utilização para sondagens além do impenetrável à percussão com equipamento misto é restrita a sondas rotativas leves, em geral de avanço manual, que possam se apoiar no tubo de revestimento e só em casos de fundo raso, sem ondas ou correntes.

Este apoio flutuante tem o seu campo de aplicação bastante limitado, como se pode depreender, mas, nas condições em que é viabilizado, torna-se recomendável face ao custo.

Foi empregado, por exemplo, nos estudos de fundações da Ponte Rio-Niterói, para realizar parte das sondagens a percussão nas zonas mais abrigadas e rasas da baía de Guanabara, no estado do Rio de Janeiro.

4.2 - Equipamento apoiado em plataformas fixas

Trata-se de plataformas fixas, metálicas, que se apóiam no fundo do mar, e são transportadas por embarcações e posicionadas com auxílio de câbreas e/ou guindastes.

Plataformas do tipo andaime desmontável, apoiadas diretamente em sapatas sobre o solo, foram utilizadas para os estudos de fundação da Ponte sobre o Lago Maracaibo, na Venezuela, onde o piso do fundo é plano. Sua utilização, com a mesma finalidade, nos estudos da Ponte Rio-Niterói foi um fracasso, face às condições de relevo do piso marinho.

4.3 - Equipamento sobre plataformas auto-elevatórias

Trata-se de uma plataforma (base) flutuante, em geral com três pernas, inclinadas, constituídas por tubos também flutuantes, de comprimentos variáveis. Essas pernas tubulares são emendadas por meio de flanges e descem por ação de um guincho específico para cada perna, até encontrar o subsolo, penetrar, encontrar resistência e, a partir daí, levantar a base flutuante que fica suspensa, ao abrigo da ação das ondas e correntes, apoiada no fundo do mar. Uma plataforma de 4 pernas verticais, com sistema semelhante também foi projetada para apoio de equipamentos de investigações, mas carecia de estabilidade e não chegou a funcionar a contento.

No Brasil temos exemplos de utilização de plataformas auto-elevatórias para os estudos do porto de Vitória, no estado do Espírito Santo, e nas investigações para estudo e projeto da Ponte Rio-Niterói. Tais plataformas permitem a execução, a contento, seja de sondagens a percussão ou rotativas e ensaios "in situ", do tipo palheta ("vane shear test") ou penetração de cone - "cone penetration test" - C.P.T..

Seu emprego está limitado às zonas abrigadas, ou mesmo não a brigadas, e em condições e especiais, bem como à espessura de lâmina d'água. As empregadas nos estudos de fundação da ponte Rio-Niterói foram projetadas para lâminas d'água de até 25 metros, mas sossobraram nos estudos para a ilha artificial da TERMISA em Areia Branca (RN), a 13 km da costa, com lâmina d'água pequena, da ordem de 13 m, face à presença de ondas com 2 a 3 metros de altura.

O custo dessas plataformas já é elevado e sua operação, embora simples, requer considerável e oneroso apoio marítimo, o que conduz a uso bastante restrito.

4.4 - Equipamento apoiado em monotubo

Não temos conhecimento de seu uso no Brasil, exceto no caso em que se aproveitaram as camisas de tubulões cravadas para as fundações da Ponte Rio-Niterói, em locais sem sondagens prévias. O sistema serviu para definir as cotas das bases dos próprios tubulões que careciam de informações geotécnicas precisas face a mudança de locação de pilares ocorrida posteriormente à realização da campanha de investigações.

Os equipamentos, neste caso, se apoiavam sobre uma espécie de bandeja, que enlaçava e se encaixava na extremidade superior da camisa, acima da linha d'água.

Foi necessária a utilização de apoio marítimo constituído de câbreas, rebocadores e lanças, analogamente aos casos das plataformas auto-elevatórias e fixas.

4.5 - Equipamento em balanço sobre "jack-up" com auxílio de tubo-guia cravado no fundo do mar

A "Jack-up" é um tipo de plataforma auto-elevatória largamente utilizada nas perfurações exploratórias de hidrocarbonetos.

Esta foi mais uma iniciativa pioneira desenvolvida com a chancela da Petrobras, com o objetivo de agilizar e dinamizar a disponibilidade do petróleo, reduzindo o hiato entre as fases de exploração e de estudos de engenharia para a produção.

Com este método, os estudos geotécnicos iniciais de fundação das plataformas de produção puderam se processar a partir de uma estrutura em balanço instalada nas "Jack-ups". Assim, na fase de exploração, foram instaladas plataformas metálicas em balanço, a partir das "Jack-ups" e, sobre elas, operaram os equipamentos de sondagem (sonda rotativa e de percussão).

As sondagens geotécnicas foram executadas, então, com as colunas de revestimentos e hastes protegidas no interior de um tubo-guia, desde a plataforma até penetrar 2 a 3 metros no fundo do mar.

4.6 - Navios de sondagem

Os navios de sondagem, em geral e específicos para geotecnia e geofísica, representam, sem dúvida, a solução para sondagens em zonas desabrigadas, com lâmina d'água de grande espessura. Ao que se tenha notícia, na Baía de Campos, no estado do Rio de Janeiro, estão para ser explorados campos petrolíferos com lâmina d'água

superior a 3000 m. Já se utilizaram navios com âncoras e outros dotados de sistema de posicionamento dinâmico que, podendo prescindir delas, não só aceleram a operação como também evitam problemas de perda das âncoras e cabos, em caso de mudanças repentinas das condições de mar. O uso de âncoras representa também riscos às instalações existentes na área e no fundo do mar, tais como cabeças de poços, além de ficar inviável para profundidades acima de 200 m de lâmina d'água. A sondagem geotécnica, operando com navios ancorados ou de posicionamento dinâmico, é realizada com guincho "wireline", indicador de profundidade e tensiômetro, além de equipamentos para verificação de verticalidade de coluna. A operação alterna perfuração, com auxílio de lama, e amostragens representativas ou semi-indeformadas.

O custo elevado é uma limitação deste método, já que não existem no Brasil navios deste tipo, dependendo-se, assim, de contratação de embarcações estrangeiras, o que só se justifica para grandes campanhas geotécnicas.

A maioria desses navios dispõe de laboratório de bordo para os ensaios correntes e alguns especiais e ainda de um heliponto o qual facilita a rapidez na movimentação de equipes e no transporte de amostras para o laboratório terrestre. Alguns possibilitam realizar ensaios de penetração de cone - CPT, indispensável no caso de solos de difícil amostragem.

4.7 - Sondagem a partir de navios-sonda e plataformas de exploração de petróleo

Os navios-sonda e as plataformas de exploração de petróleo, como as semi-submersíveis, têm se mostrado importantes opções para obtenção de dados geotécnicos em lâminas d'água, inclusive até 3.000 m de profundidade.

As amostragens são executadas no interior das perfurações executadas pela própria sonda, mediante o emprego de amostradores geotécnicos especiais, sob orientação da equipe geotécnica de bordo, a fim de se minimizar os problemas advindos da adaptação dos equipamentos e métodos.

O fato de as amostragens, classificação e testes expeditos serem executados logo após a realização dos poços faz com que se tenha acesso imediato aos dados geotécnicos para cada locação específica.

Este método, que tem sido extensivamente utilizado em toda a costa brasileira, apresenta como desvantagem a necessidade de se disponibilizar uma sonda, portanto o navio ou plataforma, por um período de 3 a 5 dias para a execução de cada sondagem.

4.8 - O Sino de sondagem

Trata-se de um método de concepção genuinamente brasileira, desenvolvido e operado no

Brasil, por brasileiros, sem necessidade de importação de tecnologia, mercê da iniciativa da Petrobras em apoiar o desenvolvimento desta nova técnica pioneira, nos idos de 1974.

Este método permite a execução, dentro de uma câmara pneumática submersa, de sondagens a percussão ou rotativas em ambiente oxigenado. Viabiliza também a execução de outros ensaios "in situ" tais como palheta ("vane shear") e penetração de cone (C.P.T.).

Sua limitação é a espessura da lâmina d'água, sendo que chegaram a ser realizadas sondagens em terrenos sob espessura de lâmina d'água de até 36 m e, posteriormente, com maiores recursos tecnológicos de apoio e mergulho e injeção de mistura de gases, procedeu-se a sondagem com lâmina d'água da ordem de 50 m no litoral do Ceará. Para profundidades até 20 m o sino opera sem problemas maiores. Apresenta ainda, o processo, a vantagem de evitar a dissipação da energia de cravação ao longo das hastes, desde o espelho d'água até o fundo do mar, como normalmente ocorre nas sondagens apoiadas em plataformas e/ou flutuantes, em geral, durante a realização do ensaio SPT (Standard Penetration Test).

O sino permite, assim, sondagens que investigam os terrenos abaixo do limite do impenetrável à percussão, mediante a utilização de equipamentos de sondagem rotativa, obtendo-se testemunhos de rocha e de terrenos de transição, de sorte que podem ser normalmente executadas sondagens mistas. Assim, mesmo em presença de material rochoso, faculta a obtenção de um perfil geotécnico completo do terreno investigado, conforme é normalmente requerido e usual em estudos e projetos de engenharia.

Sua principal vantagem é permitir a execução das sondagens em zonas de arrebentação ou absolutamente desabrigadas, onde os métodos convencionais (flutuantes e plataformas) são inoperantes, na maioria dos casos. Tem sido utilizado ao longo do litoral brasileiro para estudos de fundação de estruturas offshore, estudos de dragagem e derrocagem, bem como de instalações portuárias em geral.

O sino vem também representando uma solução eficaz para os casos de estudos de assentamento de dutos de óleo, gás e emissários, para permitir o reconhecimento prévio e os projetos em zonas de arrebentação, nas proximidades da costa.

O sino de sondagem é transportado no convés de uma embarcação, que pode ser um rebocador comum, munido de cábrea, instalada na popa, apropriada para seu deslocamento, sendo então conduzido para o local da sondagem. Esta embarcação navega com o sino e opera como apoio no local de cada sondagem, dispondo de compressores de ar e câmaras de descompressão.

Posicionada e ancorada a embarcação junto ao local a sondar, identificado por uma bóia, procede-se à imersão e descida do sino, até o fundo do mar, ajustando-se as suas sapatas de apoio para condições de equilíbrio. O ar comprimido, injetado através da tubulação de alimentação, propicia expulsão da quantidade de água remanescente no interior do sino até a ocorrência de um selo de cerca de 0,5 m que é mantido durante toda a operação, para o acesso dos mergulhadores. Obtém-se assim uma câmara de trabalho com ambiente seco, onde os mergulhadores operam livremente.

O sino já possui, no seu interior, todos os equipamentos de sondagem acoplados às suas paredes internas e pode ser projetado para uma concepção operacional específica das condições de trabalho. Possui também sistema de comunicação com a embarcação de apoio por fonia, é provido de iluminação e, opcionalmente, de câmara de transmissão e gravação das imagens da operação.

Desde a concepção e início de utilização, em 1974, foram realizados milhares de furos de sondagem a percussão e mistas e ainda alguns ensaios experimentais de penetração de cone (CPT), com o emprego do sino de sondagem.

Ensaio de cisalhamento "in situ", não drenado, do tipo "vane shear test" podem também ser viabilizados.

Única solução para sondagens executadas em zona de arrebentação, o torna especialmente indicado para trechos de implantação de dutos e emissários.

5 - CONCLUSÃO

A pretensão do autor, com este relato, é reunir uma coletânea de elementos sobre a experiência que adquiriu, em conjunto com a equipe de engenheiros geotécnicos da sua empresa, Geomecânica S.A., sediada na cidade do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, Brasil, nos últimos 30 anos, já que é reconhecido, no meio geotécnico brasileiro como pioneiro nas investigações geotécnicas offshore para a indústria do petróleo.

AGRADECIMENTO

Após um especial agradecimento à Petrobras, pelas oportunidades, deseja nominar com destaque os engenheiros geotécnicos Paulo Cesar Corrêa Lopes e Arnaldo Silaid Muxfeldt, respectivamente diretor vice-presidente e diretor de serviços e tecnologia da Geomecânica S.A., empresa fundada em 1972 e pelo autor presidida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogossian, F. e Lopes, Paulo C. C. (1977). *Estudos de fundações para estruturas "offshore"*. In: Palestra proferida na DENG/DEXPRO, pp.35.
- Bogossian, F.; Lopes, Paulo C. C., Lima, Sergio A. (1978). *Considerações para análise e interpretação de estudos geotécnicos executados em águas profundas para fundação de estruturas "offshore"*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia das Fundações, 6, Rio de Janeiro, pp.39-48.
- Bogossian, F. e McEntee, J. M. (1978). *Marine site investigations in exposed deep water locations offshore Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 6, Rio de Janeiro, ABMS, pp.49-60.
- Bogossian, F.; Spatz, Fawul, Lopes, Paulo C. C. (1978). *Sondagens geológicas em mar aberto com utilização do "sino de sondagens"*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 6, Rio de Janeiro, ABMS, pp.49-60.
- Bogossian, F. e Spatz, F. (1978). *Sondagens geológicas em solos e rochas sob lamina d'água para projetos de engenharia*. Rio de Janeiro, Offshore Brasil, pp.7.
- Spatz, F.; Bogossian, F.; Dahlberg, N. F. e Braathen, R. (1979). *Foundations conditions for piles structures offshore Brazil*. In: Offshore structures. London, Pentech Press, pp. 1351-1363.
- Bogossian, F. e Matos, F. D. (1979). *On the evaluation of soil parameters for the foundations design offshore structures*. In: Offshore structures. London, Pentech Press, pp. 1297-1314.
- Bogossian, F. e Machado, C. F. Dias (1981). *Energy dissipation on the SPT rods*. In: *Proceedings of tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering*. Stockholm, A. A. Balkema, pp. 449-450.
- Bogossian, F.; Lopes, Paulo C. C. e Muxfeldt, A. S. et al. (1982). *Primeiros resultados de ensaios triaxiais dinâmicos realizados no Brasil para estudos de fundações de estruturas offshore*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 7, Rio de Janeiro, ABMS, pp. 9-26.
- Bogossian, F.; Lopes, Paulo C. C. e Muxfeldt, Arnaldo S. (1982). *Triaxial dynamic test - a new device for studying behaviour of soils*. Rio de Janeiro, Offshore Brasil, pp.16.
- Bogossian, F.; Muxfeldt, Arnaldo S. e Bogossian, André de F. (1983). *Ensaio de penetração do cone*. In: Simpósio Nordeste de Estruturas Offshore, 1, Recife, ABMS, pp.163-184.
- Machado, C. F. Dias; Bogossian, F. e Melo, R. N. de. (1984). *Contributions to the studies of bearing capacity of marine clays*. In: ISSMFE, Suécia, pp. 1001-1002.
- Rapport, V.; Bogossian, F. e Matten, R. (1986). *Geotechnical considerations in placement of*

- jack-up drilling units offshore Brasil*. Rio de Janeiro, Offshore Brasil, pp.10.
- Bogossian, F.; Lopes, Paulo C. C. e Muxfeldt, Arnaldo S. (1986). *Ensaaios triaxiais cíclicos em areias calcáreas para o estudo de fundações offshore*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 8, Porto Alegre, ABMS, pp.11.
- Lopes, Paulo C. C. e Muxfeldt, Arnaldo S. (1988). *O piezocone para utilização em águas profundas – desenvolvimento e primeiros resultados com equipamento nacional*. In: Simpósio sobre novos conceitos em ensaios de campo e laboratório em geotécnica. Rio de Janeiro, pp.14.
- Lopes, Paulo C. C.; Muxfeldt, Arnaldo S. e Sahione, Maria B. C. (1989). *The piezocone for deep water testing*. In: *Supplementary contributions*. Rio de Janeiro, 12, ICSMFE, pp.69-71.
- Muxfeldt, Arnaldo S.; Bogossian, F. e Soares, J. P. (1989). *Jack-up rigs in Brazil – A comparative foundations analysis*. In: *Supplementary contributions*. Rio de Janeiro, 12, ICSMFE, pp.63-64.
- American Petroleum Institute (1993). *“Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design – RP2A-IRFD”*, 1ª ed.
- American Petroleum Institute (1993). *“Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design – RP2A-WSD”*, 20ª ed,