



Tipo de Documento:	(DI-01)
Presentado por:	(BRASIL)
Tipo de Sesión:	(CACAT)
Punto de Agenda:	12.1.b

A EXPERIÊNCIA DA ENGENHARIA DA MARINHA DO BRASIL NA PARCERIA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA COM A CHINA NAS OBRAS CIVIS PARA A RECONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ



A EXPERIÊNCIA DA ENGENHARIA DA MARINHA DO BRASIL NA PARCERIA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA COM A CHINA NAS OBRAS CÍVIS PARA A RECONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

1 INTRODUÇÃO

As peculiaridades na concepção de obras civis em ambientes inóspitos, como no continente antártico, onde a Natureza impõe condições severas, tais como ventos de até 200km/h, baixas temperaturas, atmosferas agressivas e atividades sísmicas, devem ser levadas em consideração na elaboração de projetos de engenharia.

Além disso, as dificuldades logísticas devidas às distâncias envolvidas, a severidade do clima e a própria condição de preservação do continente, fazem com que a busca por sistemas energéticos eficientes e a redução da queima de combustíveis fósseis tornem-se objetivos prioritários nos projetos para estações antárticas.

Nesse contexto, este artigo apresenta, de forma resumida, uma compilação dos estudos de engenharia desenvolvidos para a reconstrução da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), realizados até o momento na área de geotecnia. Também estabelece novas possibilidades de linhas de pesquisas que poderão ser desenvolvidas em parceria com os atores envolvidos nos trabalhos de reconstrução ora em curso, e durante a vida útil da estação, como forma de buscar novas tecnologias que poderão ser aplicadas na própria edificação e em novos empreendimentos no continente gelado.

2 INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS

As investigações de campo e laboratório foram realizadas em duas etapas. A primeira, em 2014, denominada preliminares, tiveram por finalidade obter as características geológicas e geotécnicas para elaboração do projeto de fundações da EACF. Em 2016, as investigações complementares (segunda etapa) confirmaram os parâmetros de resistência e deformabilidade do solo de fundação.

2.1 Investigações geológicas-geotécnicas preliminares

No intuito de se estabelecerem as diretrizes para a execução das obras de reconstrução da EACF, a Marinha do Brasil (MB) realizou, entre os meses de fevereiro e março de 2014, a campanha de investigações geológicas e geotécnicas preliminares, visando-se ao reconhecimento do subsolo do local de implantação da Estação. A campanha contou com inspeções visuais, execução de sondagens mistas, ensaios pressiométricos, aplicação de método geofísico de investigação do subsolo (*Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW*), além de ensaios de laboratório e das medições da temperatura do solo ao longo da profundidade, chegando-se a cerca de 16,5m, com medições a cada 1,5m (Fotos 1 a 4).



Foto 1. Execução de sondagens mistas.



Foto 2. Execução de ensaio pressiométrico.



Detalhe 1. Sistema de aquisição de dados (temperaturas).



Detalhe 2. Saída da sonda para medição de temperatura.



Foto 3. Furos de sondagem para medições de temperatura.



Foto 4. Método geofísico de investigação do subsolo: MASW.

2.2 Investigações geológicas-geotécnicas complementares

A partir dos resultados obtidos nessa primeira fase de investigações, optou-se, então, pela execução das fundações superficiais para o empreendimento. Porém, por se tratar de um ambiente sujeito a consideráveis variações no comportamento do solo, dependendo das condições naturais, tais como temperatura e presença de água e gelo, que, em outubro de 2015, na cidade de Pequim-China, foram definidos os procedimentos técnicos, por engenheiros da Marinha do Brasil, em conjunto com profissionais da empresa estatal chinesa *China National Electronics Import and Export Corporation* (CEIEC) e da Universidade de Tsinghua, para a execução das investigações geotécnicas complementares no continente gelado. Nessa ocasião foi confirmada pelos engenheiros a necessidade de se considerar, nessa nova campanha de investigações de campo, os efeitos das alterações de temperatura nos ensaios de carga em placa sobre o solo (PLT), com a finalidade de se conhecer efetivamente as possíveis respostas do solo de fundação, em termos de deformabilidade e resistência (características geomecânicas), visando-se a garantia da estabilidade e da segurança da nova edificação. Assim, após a definição das técnicas executivas, os ensaios foram realizados no verão antártico de 2015-2016 (Foto 5).



Detalhe: Aplicação de carga no ensaio PLT



Foto 5. Execução de ensaio de carga em placa sobre o solo de

3 RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados preliminares das investigações de campo, após realizadas a compilação dos dados obtidos e efetuadas as respectivas análises, são aqui apresentados de forma resumida.

A Figura 1 mostra um croqui com as localizações das investigações geotécnicas, realizadas entre meses de fevereiro e março de 2014 (campanha de investigações geológicas-geotécnicas preliminares).

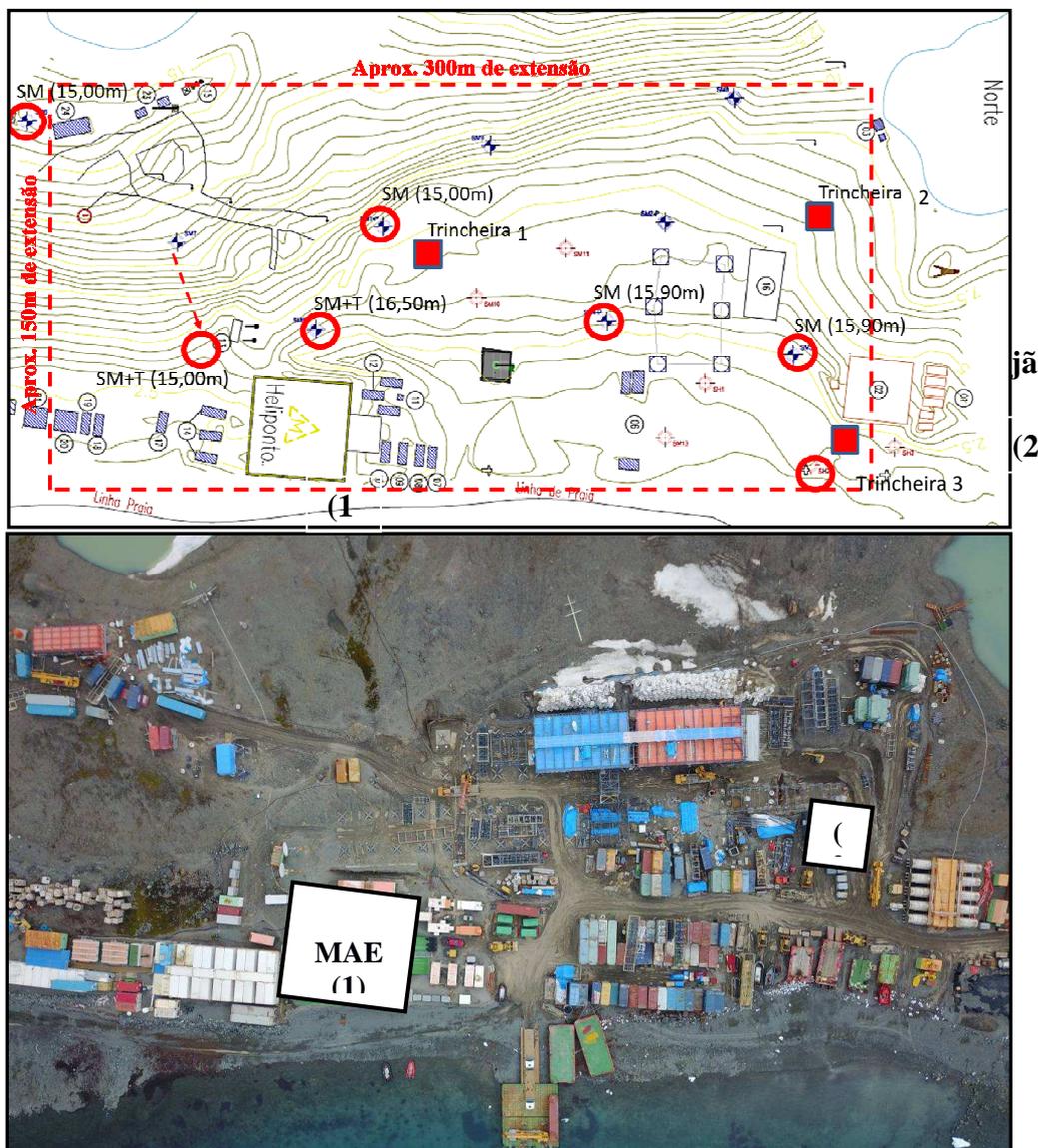


Figura 1. Localizações das investigações geotécnicas (preliminares).

SM = sondagem mista; SM+T = sondagem mista e medição de temperaturas.



3.1 Classificação do solo de fundação

Em virtude do tipo de terreno em que foram realizadas as sondagens, um depósito de material transportado, contendo uma mistura de rochas piroclásticas, colúvio, fragmentos de rochas ígneas diversas, num possível *permafrost* (solo/rocha permanentemente congelado), não foi possível obter uma estratigrafia a partir da realização de sondagem a percussão, com medida de SPT. O amostrador padrão não penetrava sob tais condições de campo. Dessa forma, a sonda rotativa foi empregada e o material extraído foi analisado. Assim, foram feitas as identificações tátil-visuais, além da caracterização do solo, com os materiais coletados nos furos de sondagens e nas trincheiras.

A Tabela 1 mostra os parâmetros principais e as porcentagens de finos obtidas nos ensaios de granulometria das amostras do solo local, que permitiram definir o material, segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos - SUCS, como do tipo GP e/ou GW (Pedregulho mal e/ou bem graduado), com porcentagem desprezível de finos (diâmetros inferiores a 5% na peneira # 200 ou 0,074 mm).

Tabela 1
Classificação do solo segundo o Sistema Unificado (SUCS)

LOCAL	D10	D30	D60	CNU	CC	% 2mm	% #200	CLASSIFICAÇÃO
SM/Trincheira 1	2,2	4,75	13	5,91	0,79	4,97	0,1	GP
SM/Trincheira 2	2,8	5,5	12,6	4,50	0,86	0,75	0,05	GP
SM/Trincheira 3	3	6	19	6,33	0,63	0,23	0	GP

GP = pedregulho mal graduado

GW = pedregulho bem graduado

CNU = Coeficiente de não uniformidade

CC = Coeficiente de curvatura

3.2 Ensaio pressiométrico

O equipamento criado e patenteado pelo engenheiro francês Louis Ménard, em 1955, é mundialmente conhecido como “PRESSIÔMETRO MÉNARD” (PMT). O pressiômetro, ou sonda pressiométrica, foi projetado como um elemento de forma cilíndrica para aplicar uma pressão uniforme nas paredes de um furo de sondagem, por meio de uma membrana flexível, promovendo a expansão de uma cavidade cilíndrica na massa de solo.



O procedimento de ensaio executado no local, com pré-furo, consistiu na colocação da sonda no interior dos furos de sondagem, na cota desejada para, em seguida, expandi-la mediante a aplicação de incrementos de pressão de mesma magnitude, ou seja, com pressão controlada.

A Tabela 2 exibe os valores dos módulos de elasticidade do solo (E), como resultados dos ensaios pressiométricos executados no local (SM 1-P).

Tabela 2
Valores de E obtidos no ensaio pressiométrico no furo SM 1-P

PROFUNDIDADE (m)	E (kPa)
1	1.287,77
2	605,04
3	1.280,43

3.3 Método geofísico de investigação de campo: *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)*

A técnica MASW fornece a variação vertical da velocidade das ondas transversais ou secundárias (ondas S), de modo a permitir a estimativa dos módulos dinâmicos de elasticidade do terreno no local investigado.

O MASW trabalha com geofones na superfície do terreno e utiliza como fonte de geração de energia uma marreta (MASW Ativo) ou o próprio ruído ambiente (MASW Passivo). Os geofones registram as ondas de superfície, sendo estas dispersivas, cujas velocidades variam em função da frequência. Esta, por sua vez, determina o alcance em profundidade.

A análise da curva de dispersão das ondas de superfície permite obter a curva de variação da velocidade das ondas S com a profundidade, calculando-se, dessa forma, os módulos dinâmicos de elasticidade do meio.

Assim, com a utilização dessa técnica, determinou-se o topo rochoso e definiu-se a espessura da camada de solo transportado na área. A Foto 6 indica as profundidades aproximadas do topo rochoso, a partir dos resultados obtidos no MASW. O critério utilizado para a detecção de rocha foi baseado nas faixas de velocidade das ondas de superfície (S), em conformidade com a classificação *UBC/IBC Site Classifications* (classificação sísmica do *National Earthquake Hazards Reduction Program- NEHRP*), resumida na Tabela 3.

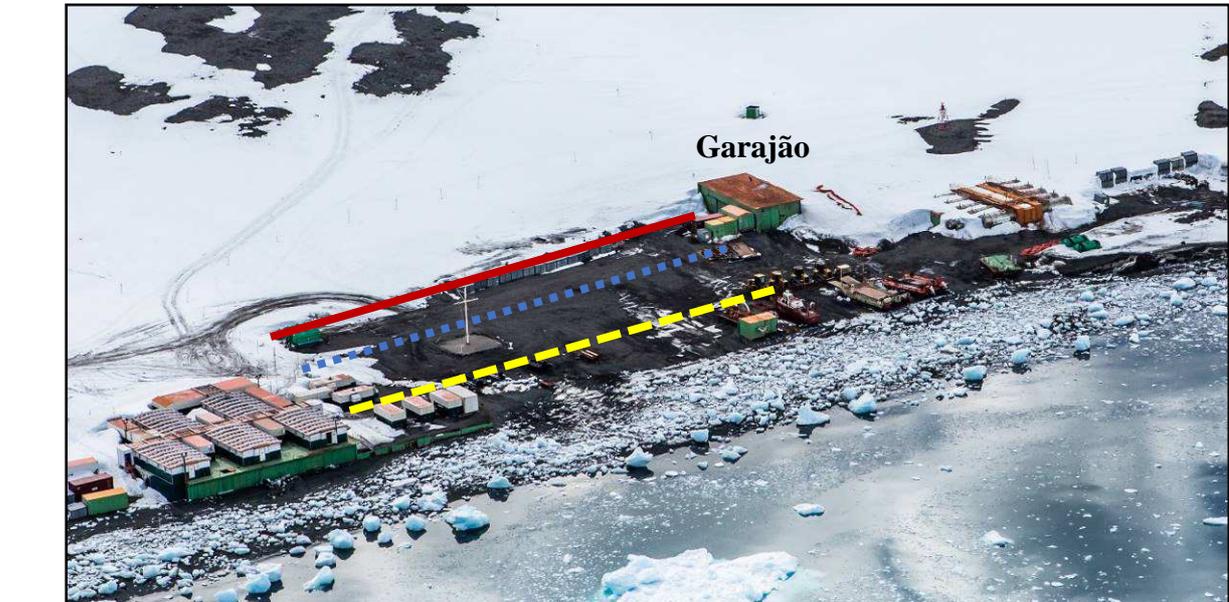


Foto 6. Indicações das profundidades do topo rochoso:

- cerca de 15m de profundidade
- de 25m a 40m de profundidade
- - - - - cerca de 70m de profundidade

Tabela 3

Identificação do material conforme as velocidades das ondas S.

VELOCIDADES (m/s)	TIPO DE MATERIAL
$V_s < 500$	Material não consolidado
$500 \leq V_s \leq 1200$	Material semi compacto ou rocha decomposta
$V_s \geq 1200$	Material compacto ou rocha sã

3.4 Monitoramento das temperaturas no subsolo

O monitoramento das temperaturas no subsolo continua sendo efetuado desde abril de 2014. A Figura 2 indica os locais onde foram instalados os sensores de temperatura, sendo o furo SM7, com profundidade de 13,5m, e o furo SM5-P, com 16,5m de profundidade.

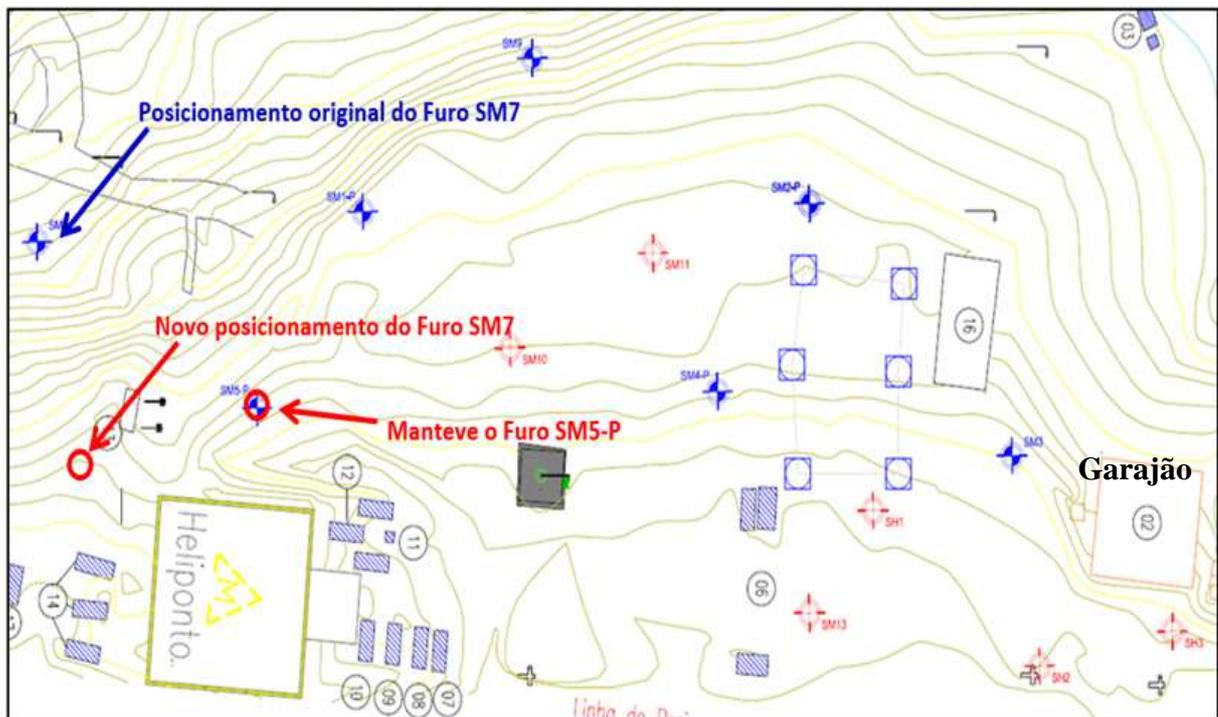


Figura 2. Indicação dos locais de instalação dos sensores de temperatura.

O Gráfico 1 mostra as temperaturas ao longo da profundidade do furo de sondagem SM7, até junho de 2014. Os dados atualizados estão sendo compilados para novas análises. Observa-se, preliminarmente, que as temperaturas registradas se apresentam acima de 0°C . Porém, até uma profundidade de um metro, a camada apresenta uma condição de ciclo de congelamento e descongelamento, o que pode indicar um comportamento semelhante ao de uma camada ativa (*active layer*) de um solo permanentemente congelado ou *permafrost* (Figura 3). Nesse caso, deve-se tomar os devidos cuidados por ocasião da elaboração de projetos para implantação de fundações, em especial superficiais, devido às alterações significativas nas características geotécnicas do solo, conforme as mudanças de temperatura ao longo das estações do ano.

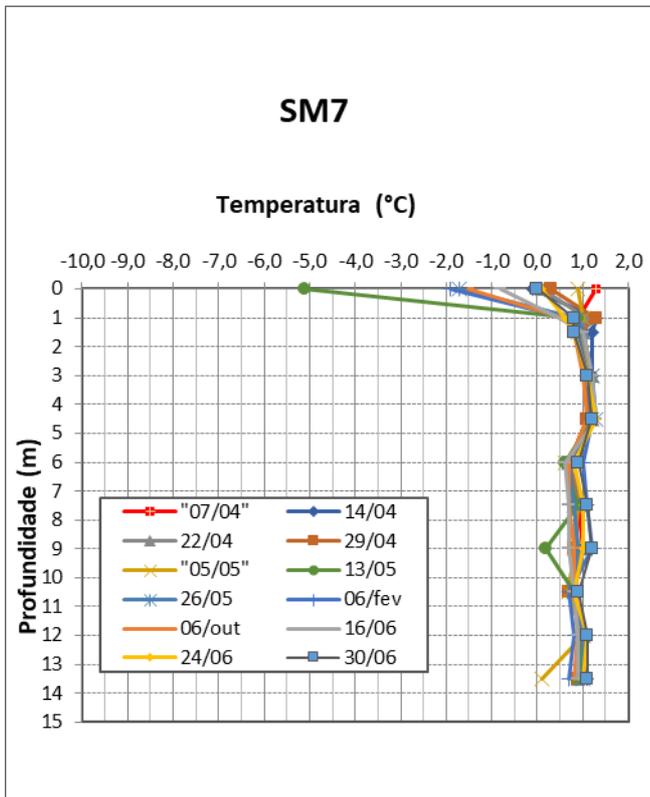


Gráfico 1. temperaturas ao longo da profundidade do furo de sondagem SM7.

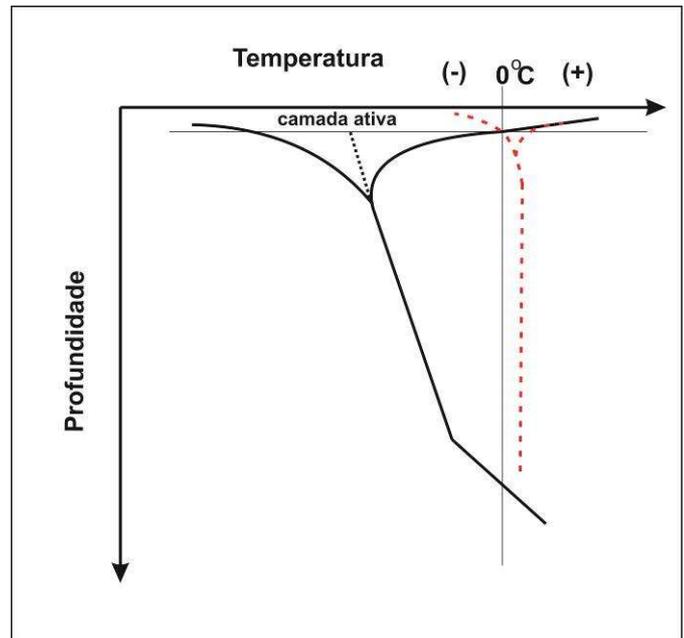


Figura 3. Ilustração: camada ativa do *permafrost*.

4 INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS COMPLEMENTARES

Finalmente, com a mobilização das equipes da MB e da empresa CEIEC, em janeiro de 2016 (verão antártico), foram reiniciados os trabalhos de campo na área destinada à construção da nova Estação, executando-se as investigações geotécnicas complementares, incluindo os ensaios de carga em placa sobre solo (PLT), além da caracterização do solo e de nova aplicação do MASW. Nessa ocasião, a prioridade foi a realização do PLT, cujos resultados seriam utilizados para o dimensionamento das fundações.

4.1 Ensaio de carga em placa sobre solo de fundação (PLT)

A aplicação do ensaio ou prova de carga em placa sobre solo (PLT) em projetos de fundações diretas tem por objetivo determinar a resposta do solo, em termos de resistência e deformabilidade, frente às solicitações da estrutura. Trata-se de um ensaio estático, no qual se busca simular as condições reais de campo, basicamente a partir da aplicação de tensões no solo, com a utilização de placas, e do acompanhamento dos



respectivos recalques.

No caso específico dos ensaios executados na campanha complementar na área destinada à EACF, foi adotado o ensaio lento (*Slow Maintained Load Test – SML*), com placas de diâmetro 60cm, buscando ainda compatibilizar as normas brasileira, norte americana e chinesa. Além disso, em alguns pontos, os ensaios foram executados com a aplicação de calor, a fim de simular uma possível transmissão (de calor), da superestrutura às fundações e, conseqüentemente, ao solo.



Figura 4. Indicação dos locais dos ensaios PLT-1 e PLT-2.

Os PLT foram realizados em nove pontos, de forma a cobrir a área de implantação da EACF. Os resultados obtidos para dois pontos, PLT-1 e PLT-2, localizados próximos ao antigo heliponto e atual Estação Provisória – Módulo Antártico Emergencial – MAE (Figura 4), são apresentados nas curvas Tensão x Recalque dos Gráficos 2 e 3.

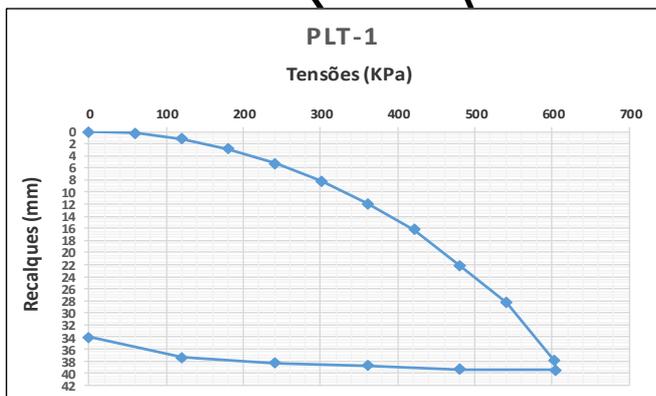
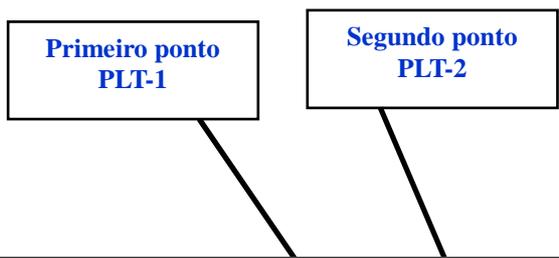


Gráfico 2. Curva Tensão x Recalque do PLT –

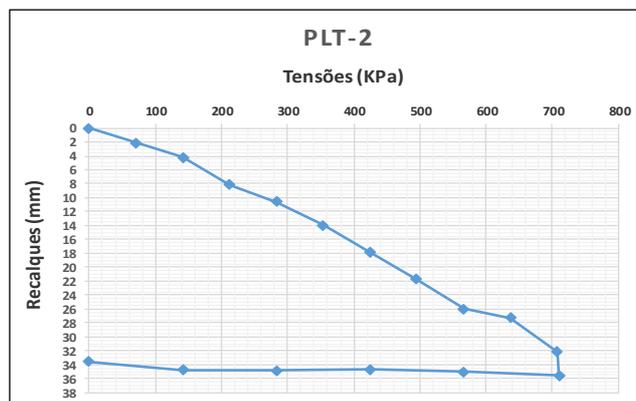


Gráfico 3. Curva Tensão x Recalque do PLT –



5 SISTEMA DE MONITORAMENTO DE MOVIMENTOS DE MASSA E DA TEMPERATURA DO SOLO

Na fase de implantação das fundações da EACF, no verão antártico de 2016-2017, foram instalados três inclinômetros nos taludes a montante da Estação (Foto 7). A profundidade dos tubos instalados foi de até 18m, e será possível monitorar movimentações de massa de solo dos taludes.

Também estão sendo realizados levantamentos topográficos detalhados, com a utilização de laser scanner, para acompanhar as movimentações superficiais (Foto 8), além de medir (monitorar) os deslocamentos verticais da estrutura.



Foto 7. Indicações dos posicionamentos do inclinômetros, a montante da EACF.



Foto 8. Equipamento laser scanner.

Quanto às medições (monitoramento) da temperatura ao logo da profundidade do solo, os tubos dos inclinômetros poderão ser ainda utilizados para tal, uma vez que as verificações de deslocamentos (movimentos de massa de solo) deverão ser realizadas, em princípio, a cada verão antártico, permanecendo, assim, livres para que a MB dê continuidade aos trabalhos. Foram ainda instalados três tubos, a partir da cota de assentamento dos blocos de fundação dos Blocos Leste, Oeste e Técnico, a fim de permitir a medição das temperaturas ao longo do tempo.

Além dos aspectos de engenharia geotécnica e de estruturas, as inovações implantadas no projeto da nova EACF, na área de eficiência energética e sustentabilidade, servirão de referência para o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao incremento da utilização de fontes limpas de energia.

6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

A presença das instituições nacionais no continente antártico, com o objetivo estratégico de apoiar a produção científica brasileira, necessita da produção de energia elétrica que atualmente é gerada a partir da queima de combustíveis fósseis (diesel antártico). A substituição do uso dessa fonte por energias renováveis está intrinsecamente ligada ao conhecimento dos recursos naturais locais, incluindo a dinâmica do Oceano Antártico, em especial as interações entre atmosfera, oceano e continente.



No campo da eficiência energética e de redes inteligentes, a nova EACF contará com um Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC) que gerenciará tanto a oferta quanto a demanda de energia da edificação, constituindo o *smart grid* da Estação. Contará ainda com um sistema de cogeração (*Combined Heat and Power- CHP*) de pequena escala, que será capaz de recuperar parte do calor dissipado para o ambiente, a partir do sistema de arrefecimento do motor e do calor proveniente dos gases de exaustão. Os dados do SGTC, que incluirá também a base de dados de recuperação de calor, permitirão estudos de otimização e melhorias continuadas, mantendo-se a vanguarda intelectual correlata às redes inteligentes de pequeno porte.

Para o verão antártico 2017-2018, as edificações prontificadas possuirão um controle da temperatura interna, mantidas em até 5°C. Para isso, serão utilizados aquecedores elétricos e trocadores de calor à água, e instalados sensores para o monitoramento das temperaturas do ar (externa e interna às edificações). Com esses dados, aliados às informações da potência térmica consumida, será possível verificar eventuais perdas térmicas, comprovar a eficácia da envoltória e ainda propor soluções ou medidas para melhorias no sistema.

7 CONCLUSÃO

Com os trabalhos de engenharia que vêm sendo desenvolvidos para a reconstrução da EACF na Antártica, pela MB e seus parceiros, estão sendo geradas inovações tecnológicas, além de propiciar a troca de experiências profissionais que ultrapassam fronteiras, na construção em ambientes gelados.

Os ensaios PLT foram realizados no local trouxeram como novidades a possibilidade, além da adequação das normas brasileira, norte americana e chinesa, o aquecimento do sistema, de forma a estudar o comportamento do solo no caso de possível transferência de calor da superestrutura para as fundações. Os resultados poderão ainda ser estudados a partir de análises numéricas e de laboratório, para o desenvolvimento de procedimentos padronizados, e mesmo simplificados, visando-se à obtenção das características geotécnicas dos solos em ambientes gelados.

O sistema de monitoramento do solo e da estrutura, realizado por meio de inclinômetros, medições de temperatura em profundidade e acompanhamento topográfico detalhado, aliado às informações atualizadas de projeto e execução, permitem a realização das análises do comportamento do maciço de solo e da estrutura, necessárias à verificação da segurança e solidez do empreendimento, além de abrir espaço para maiores estudos da interação solo-estrutura no ambiente antártico.



Os dados obtidos no SGTC permitirão ainda os estudos de otimização e melhorias continuadas, de forma a desenvolver tecnologias que busquem a eficiência energética e a manutenção do meio ambiente, reduzindo o impacto ambiental local pela queima de combustíveis fósseis e permitindo às futuras gerações contarem com os recursos naturais fundamentais à vida humana.

Espera-se que, ao final dos esforços para a reconstrução da EACF, a comunidade científica possa contar com as facilidades necessárias ao desenvolvimento das pesquisas nas diversas áreas de interesse nacional no ambiente antártico.

Finalmente, no âmbito das obras civis, no seu amplo espectro multidisciplinar, que engloba desde fundações, estruturas e instalações prediais a tecnologias que visam explorar as energias renováveis para um futuro sustentável, a engenharia da MB atualmente vem atuando na Antártica, no campo da tecnologia e inovação, buscando desenvolver soluções técnicas que garantam a segurança das construções em locais sob condições ambientais adversas, sobretudo nas regiões geladas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSLAND, O. B. e LADANYI, B. (1997) – *An Introduction to Frozen Ground Engineering*; Springer; Londres; 1997, 363 p.
- ARAÚJO, S. P. M. *O Ensaio Pressiométrico de Ménard e sua Utilização na Estimativa da Capacidade de Carga e Recalque de Fundações Assentes em Solo Residual de Gnaisse*; Universidade Federal de Viçosa; Departamento de Engenharia Civil; Dissertação de Mestrado; 2001; 156 p.
- ASTM STANDARD D – 4.719-87. (1988). *Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soil*. Annual book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. Vol. 04.08. Philadelphia, 1988.
- FELLENIUS, B. H. (1975). *The load piles and new proof testing procedure*. In: *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, v. 101, n. GT9, 1975. p.855-869.
- HUGHES, J. M. O.; WROTH, C.P. e WINDLE, D.(1977) – *Pressuremeter Tests in Sands*; *Geotechnique*; 27 (4); 1977, 455-477.
- MAIR, R. J. e WOOD, D.M. (1987) – *Pressuremeter Testing*; *Butterworths*; Londres; 160 p.
- SCHNAID, F. *Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações*; Oficina de Textos: São Paulo; 2000; 189 p.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B. *Mecânica dos solos na prática da engenharia*. Rio de Janeiro: Livro Técnico S. A., 1962.