

PRENAC – Pressiômetro Nacional

Alessandro Cirone

Professor, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, acirone@puc-rio.br

RESUMO: O pressiômetro é o equipamento utilizado para a realização do ensaio pressiométrico, universalmente considerado um dos melhores ensaios *in situ* para a determinação de parâmetros geotécnicos. Para incentivar o seu uso no país, foi iniciado na PUC-Rio um projeto de desenvolvimento tecnológico visando criar um pressiômetro nacional e, ao mesmo tempo, garantir à sociedade o acesso gratuito, público e aberto ao desenho do equipamento e ao material científico produzido. O título escolhido para o projeto reflete o seu objetivo: PRENAC é o acrônimo de PREssiômetro NACional. O presente trabalho descreve o projeto, construção e calibração da sonda. São apresentados os resultados obtidos nos primeiros testes efetuados em solo residual do campo experimental da PUC-Rio, ressaltando alguns aspectos técnicos do protótipo deste novo equipamento.

PALAVRAS-CHAVE: pressiômetro, investigação *in situ*, solo residual.

ABSTRACT: The pressuremeter is the equipment used for performing the pressuremeter test, universally considered one of the best *in situ* tests for determining geotechnical parameters. To encourage its use in the country, a technological development project was initiated at PUC-Rio aiming to create a national pressuremeter while ensuring free, public, and open access to the equipment design and scientific material produced. The title chosen for the project reflects its objective: PRENAC stands for PREssiometer NACional (National Pressuremeter). This paper describes the project, construction, and calibration of the probe. The results obtained from the initial tests conducted in residual soil at the PUC-Rio experimental field are presented, highlighting some technical aspects of this new equipment prototype.

KEYWORDS: pressuremeter, *in situ* testing, residual soil.

1 INTRODUÇÃO

O pressiômetro é o equipamento utilizado para realizar o ensaio pressiométrico, amplamente considerado como um dos melhores ensaios para determinar parâmetros geotécnicos *in situ*. Apesar de ser comum na França, ainda não alcançou popularidade no Brasil devido aos elevados custos de mercado. Outros fatores que contribuem para sua limitada disponibilidade incluem a falta de cultura neste ensaio, a necessidade de uma sólida base acadêmica para obter parâmetros adequados e seu acesso quase exclusivo ao segmento acadêmico. Com o objetivo de incentivar seu uso no país, foi proposto o projeto PRENAC para desenvolver um pressiômetro nacional economicamente viável, que atendesse tanto a acadêmicos quanto a profissionais.

O projeto recebeu o apoio do Programa de Incentivo à Produtividade em Ensino e Pesquisa, promovido pela Vice-Reitoria para Assuntos Acadêmicos da PUC-Rio, através da Of. CCCD-10/2022, para o biênio 07/2022-06/2024.

Na primeira etapa do projeto, foram definidas as características gerais do equipamento: pressiômetro do tipo 'pré-furo', composto por uma sonda pressiométrica monocelular e uma unidade de controle com pistão hidráulico acionado manualmente. Ao contrário do pressiômetro francês, o presente modelo dispensa o uso de células de guarda devido à alta relação entre comprimento e diâmetro da sonda. Adicionalmente, optou-se por utilizar água sob pressão, em vez de gás, de modo a realizar ensaios a volume controlado. A escolha da água se justifica pelo fato de ser um fluido quase incompressível, ecologicamente compatível e de imediata disponibilidade.

O projeto completou o Marco 2, com a conclusão da redação do desenho CAD 3D da sonda pressiométrica, a elaboração dos detalhes de fabricação e a construção do protótipo da sonda.

Este trabalho apresenta as características da sonda pressiométrica projetada. Inclui informações sobre componentes da sonda e características técnicas. Dividido em três partes, o presente trabalho aborda o Projeto PRENAC, o desenvolvimento da sonda pressiométrica e os testes realizados até o momento.

2 O PROJETO PRENAC

Um pressiómetro desenvolvido anteriormente na PUC-Rio por Bello (2004) é utilizado como base para o equipamento do projeto PRENAC. A metodologia segue um faseamento clássico, composto por várias etapas de projeto. São elas:

- Marco 01 – Projeto conceitual
- Marco 02 – Projeto da sonda
- Marco 03 – Projeto do atuador
- Marco 04 – Projeto detalhado em CAD
- Marco 05 – Aquisição das peças/usinagem/montagem do protótipo

2.1 Etapas do projeto

- Marco 1 – Projeto conceitual. O projeto conceitual do pressiómetro visa definir as características principais da sonda e da unidade de controle do equipamento. Nesta fase, é escolhido o formato e o material da membrana, o sistema de injeção e os dispositivos de medição e controle.
- Marco 2 – Projeto da sonda. Uma vez definidas as características gerais do equipamento, neste marco é realizado o projeto da sonda e da membrana de borracha, com dimensões projetadas para furos de duas polegadas de diâmetro. É definido, inclusive, o sistema de fixação da membrana.
- Marco 3 – Projeto do atuador. Neste marco, é realizado o projeto do sistema de injeção do fluido. São definidos os dispositivos de medição de volume e pressão e as conexões hidráulicas.
- Marco 4 – Projeto detalhado em CAD. Neste marco, é realizado o projeto detalhado do equipamento, utilizando-se software específico para elaboração dos desenhos técnicos. O projeto detalhado reúne todo o material produzido no projeto conceitual e nos marcos anteriores.
- Marco 5 – Protótipo. Após a elaboração do projeto detalhado, são adquiridas as peças para usinagem e montagem do protótipo do equipamento. O protótipo do pressiómetro é submetido a diversos testes, que compreendem ensaios em solo residual de gnaiss dentro do campus da universidade.

2.2 Estado do projeto

No estágio atual, o projeto completou a realização do projeto CAD da sonda, a confecção do presente estudo e a realização de alguns testes preliminares no campo e em laboratório. Conforme mostrado na Tabela 1, foram concluídos os dois primeiros marcos, que são o Projeto Conceitual e o Projeto da Sonda. O próximo marco será o Projeto do Atuador, indispensável para controlar a sonda durante a execução do ensaio pressiométrico. A aquisição das peças e sua usinagem está em andamento, faltando apenas a montagem do atuador.

Tabela 1. Estado do projeto.

Marco	Progresso
Marco 1 – Projeto conceitual	100%
Marco 2 – Projeto da sonda	100%
Marco 3 – Projeto do atuador	45%
Marco 4 – Projeto CAD detalhado	30%
Marco 5 – Protótipo	50%

3 A SONDA PRESSIOMÉTRICA

A sonda projetada consiste em um corpo metálico revestido por uma membrana inflável monocelular, fixada em suas extremidades por anéis metálicos.

Quando montada, a sonda possui um diâmetro externo de 50 mm e um comprimento total de 380 mm. A sonda não é instrumentada, uma vez que as medições de pressão e deformação são realizadas por meio de sensores instalados na unidade de controle. A membrana é inflada através da injeção de água sob pressão. A deformação volumétrica é obtida através da medição da variação de volume d'água que entra ou sai da sonda. A Figura 1 apresenta os componentes da sonda pressiométrica. São eles:

1. Corpo metálico.
2. Anel de pressão para fixação da membrana, um em cada extremidade.
3. Membrana de borracha.

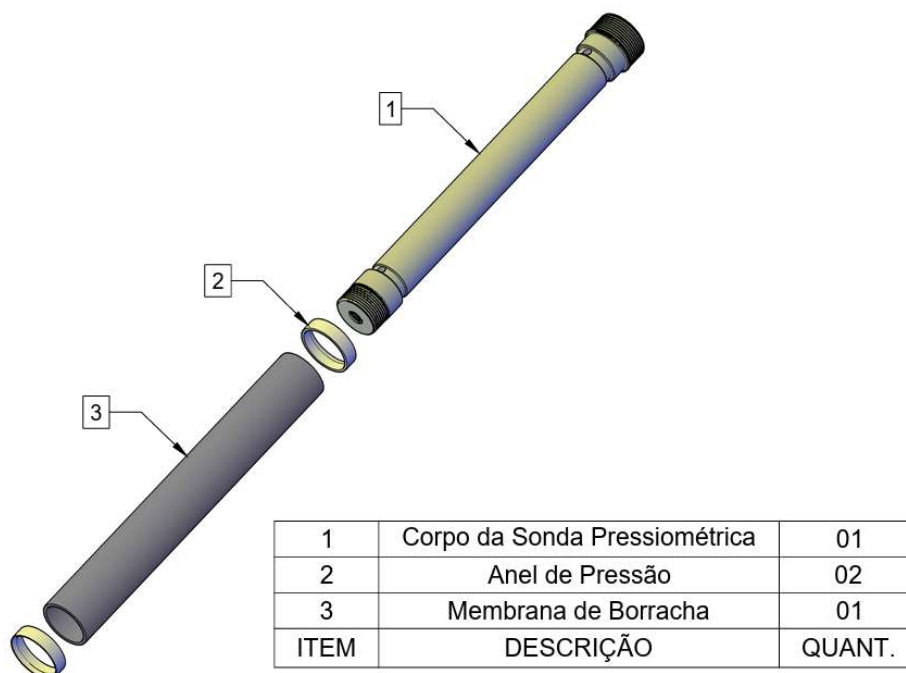


Figura 1. Visão geral da sonda pressiométrica – modelo A.

Corpo da sonda, anéis de pressão e membrana de borracha foram fabricados com a ajuda dos técnicos de laboratório da PUC. A Figura 2 mostra o protótipo realizado.

O protótipo foi submetido a testes rápidos no laboratório. Inicialmente, realizou-se a expansão ao ar livre, com o objetivo de medir expansibilidade da membrana. A Figura 2(b) mostra as boas características da membrana fabricada, apresentando expansão uniforme, ou seja, sem saliências, nem roturas.

4 TESTES PRELIMINARES

O protótipo da sonda foi submetido a testes rotineiros, no laboratório, avaliando as perdas de pressão e as perdas de volume. Em seguida, a sonda foi testada no solo coluvionar do campo experimental da PUC-Rio, localizado atrás do prédio do Rio Datacentro (RDC). Os testes foram conduzidos com o auxílio de uma unidade de controle TEXAM. Todos os procedimentos seguiram a norma ASTM D4719.

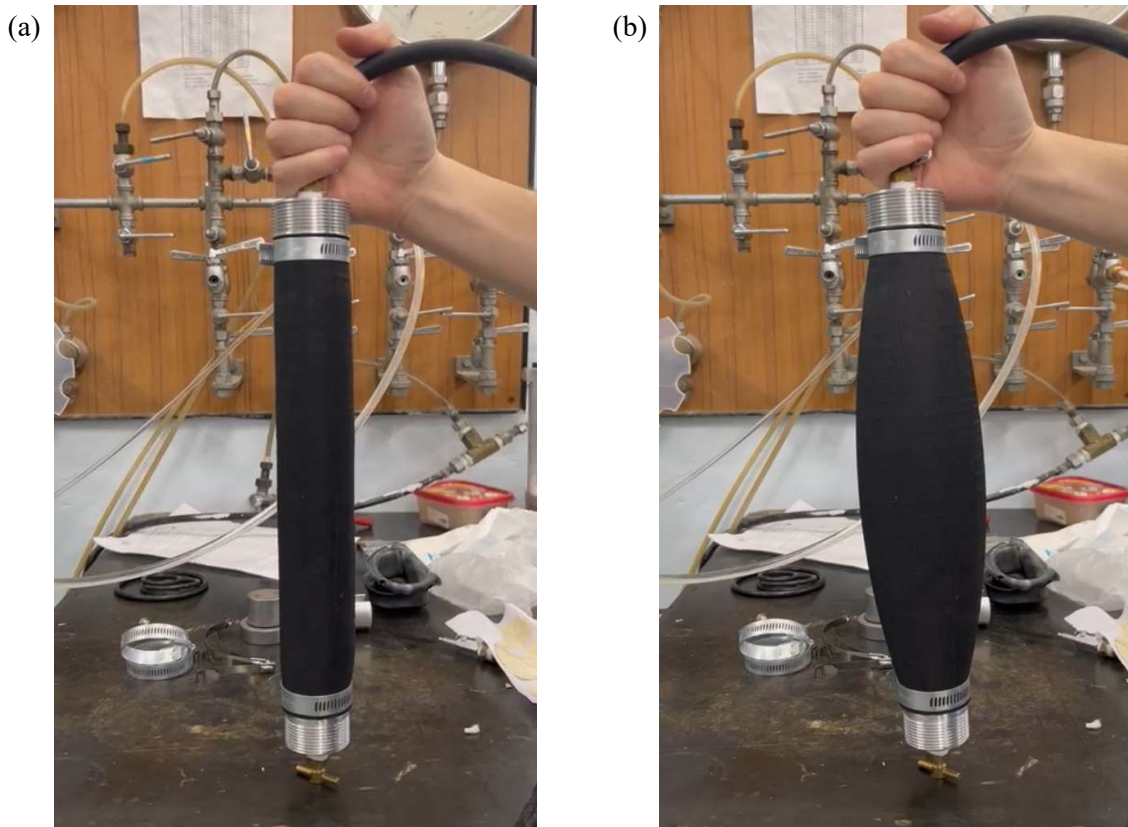


Figura 2. Protótipo da sonda. (a) Sonda despressurizada. (b) Sonda inflada.

4.1 Perdas de pressão

A calibração para perdas de pressão consiste em expandir a sonda ao ar livre, com o objetivo de medir a inércia da membrana. Para ensaios a volume controlado, a norma ASTM D4719 especifica aplicar incrementos de volume iguais a 5% do volume inicial da sonda, lendo a pressão após 30 segundos. A curva resultante, traçada em um gráfico de pressão *versus* volume, é a curva de calibração das perdas de pressão.

Levando em consideração que a célula expansível possui volume nominal de 520 cm³, dado o diâmetro de 4,7 cm e o comprimento de 30 cm, optou-se por aplicar incrementos de volume iguais de 25 cm³, bastante próximos do especificado por norma, até atingir a expansão máxima de 750 cm³. A curva obtida está mostrada na Figura 3(a), apresentando comportamento típico de material hiperelástico.

4.2 Perdas de volume

A calibração para perdas de volume consiste em expandir a sonda dentro de um tubo de aço, pressurizando o sistema hidráulico. Devido ao confinamento da sonda, o volume expandido corresponde diretamente à expansão das mangueiras hidráulicas, ao esmagamento da membrana, e à compressão das bolhas de ar aprisionadas no circuito hidráulico. Isso permite identificar vazamentos e avaliar a compressibilidade do sistema. O processo de calibração envolve a aplicação de diferentes níveis de pressão registrando o deslocamento volumétrico correspondente após 60 segundos. O bombeamento para manter a pressão constante é interrompido nos últimos 10 segundos antes da leitura. A curva obtida está mostrada na Figura 3(b), apresentando compressibilidade da ordem de 0.12% do volume nominal da sonda a cada 100 kPa, abaixo do limite de 0,5% imposto pela norma ASTM D4719.

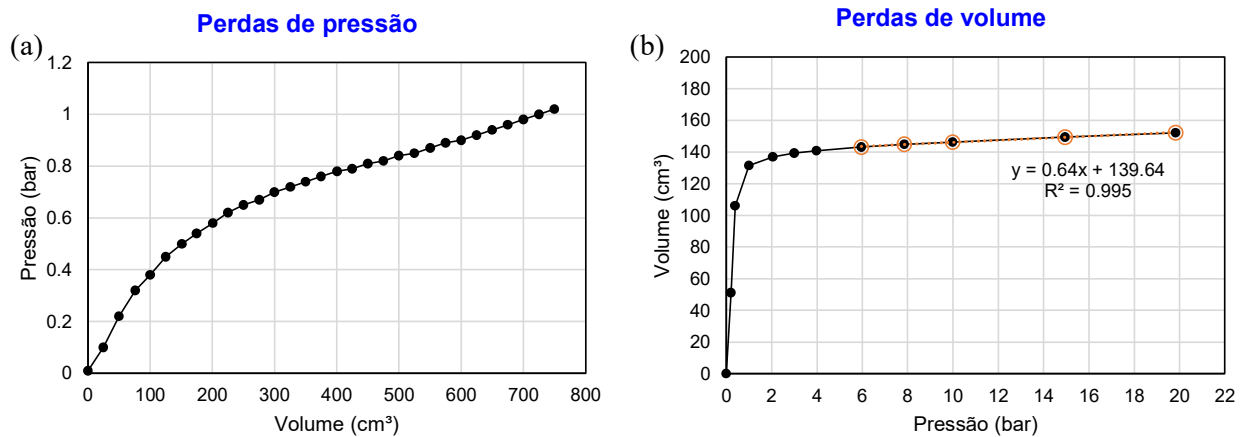


Figura 3. Calibração para perdas de pressão e volume.

Ainda conforme a norma, o intercepto da regressão linear ($V_i = 139,64 \text{ cm}^3$) pode ser usado para estimar o volume inicial (V_0) pela seguinte expressão:

$$V_0 = (\pi/4)LD_i^2 - V_i \quad (1)$$

onde D_i é o diâmetro interno do tubo de aço, utilizado na calibração, e L é o comprimento da célula expansível. Tendo utilizado um tubo Schedule 10s, com diâmetro de 2" polegadas, cujo diâmetro interno é de 54,8 mm, foi calculado o volume inicial $V_0 = 568 \text{ cm}^3$.

4.3 Ensaio piloto

Como último teste foi realizado um ensaio piloto no solo coluvionar do campus experimental da PUC-Rio. O objetivo do ensaio foi avaliar o desempenho da sonda projetada, obtendo resultados para condições de campo "reais". O ensaio foi executado em cerca de meio metro de profundidade, em furo aberto mediante trado manual. O ensaio, a volume controlado, teve duas fases: a fase de carregamento (que coincidiu com a expansão da sonda), e a fase de descarregamento (que correspondeu ao esvaziamento da sonda). A máxima leitura de pressão atingiu cerca de 6,5 bar, e o volume máximo 650 cm^3 . O ensaio foi executado de acordo com o procedimento B, especificado na norma ASTM D4719, aplicando incrementos de volume de 25 cm^3 a cada 30 segundos.

A curva corrigida obtida no teste piloto está mostrada na Figura 4. Qualitativamente, os resultados podem ser classificados como bons a excelentes. O gráfico apresenta o formato típico do ensaio pressiométrico de pré-furo, sendo possível analisá-lo de acordo com o método convencional, que fornece os seguintes resultados:

- Módulo pressiométrico $E_p = 6202 \text{ kPa}$
- Pressão inicial $p_0 = 16 \text{ kPa}$
- Pressão limite $p_L = 607 \text{ kPa}$
- Pressão limite líquida $p^*_L = 591 \text{ kPa}$
- Módulo na descarga $E_D = 35956 \text{ kPa}$.

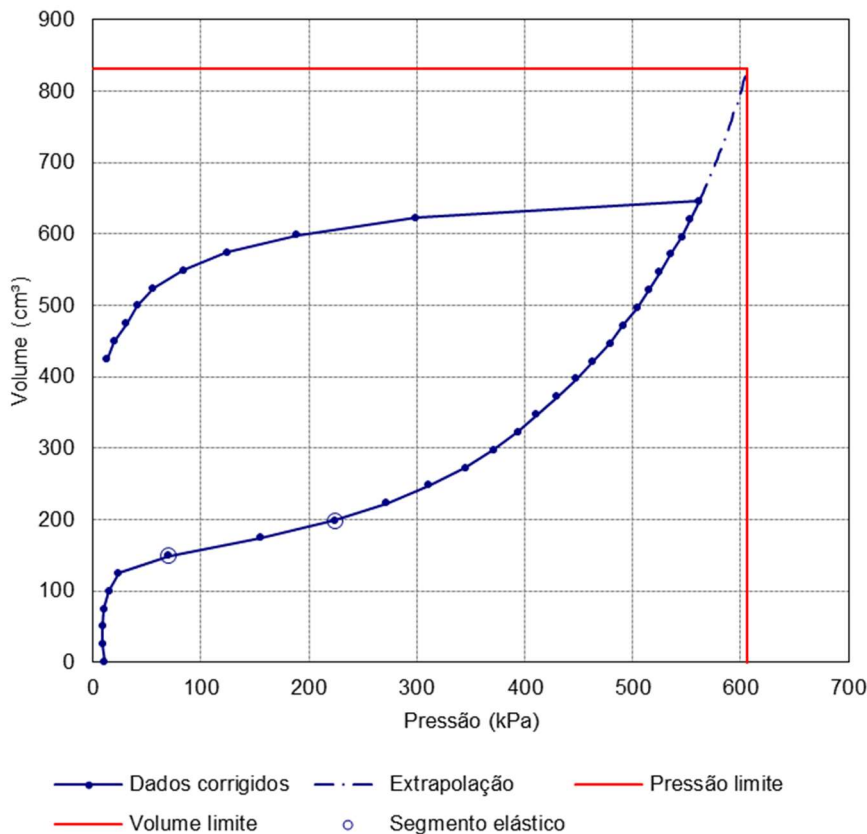


Figura 4. Curva pressiométrica do ensaio piloto.

5 CONCLUSÃO

A sonda projetada apresentou comportamento satisfatório, fornecendo resultados que variam de bons a excelentes em termos qualitativos. Em todos os testes realizados, a sonda atendeu aos requisitos estabelecidos pela norma ASTM D4719. Os próximos passos incluem a realização de ensaios em maiores profundidades, visando avaliar o desempenho da sonda em pressões mais elevadas, correspondentes às sondas comerciais para solos, que são projetadas para suportar pressões de trabalho de até 50 bar (5 MPa). O projeto PRENAC segue para o marco sucessivo, no qual será desenvolvido o projeto definitivo da unidade de controle.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos professores Tácio de Campos e Eurípedes Vargas pelo apoio a este projeto. Agradecimentos são direcionados ao anônimo revisor por sua contribuição crítica. O autor agradece aos técnicos de laboratório da PUC, especialmente ao Amaury, Carlos e Josué.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International (2020). ASTM D4719: *Standard Test Methods for Prebored Pressuremeter Testing in Soils*.
- Bello, L. A. L. (2004) *Desenvolvimento de um pressiómetro de cravação com aplicação na determinação de propriedades mecânicas de resíduos sólidos*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 286 p.