

Estimativa de densidade relativa de solos granulares do Campus Carreiros da FURG a partir de sondagens SPT

Alana Stern Retzlaff

Técnica em Edificações e Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, Brasil, alanasternr@gmail.com

Karina Retzlaff Camargo

Professora da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, Brasil, karinacamargo@furg.br

RESUMO: O trabalho trata-se da continuidade de uma pesquisa anterior e utiliza dados de sondagens e dos perfis longitudinais apresentados para o Campus Carreiros da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, o qual está localizado no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. Em quatro locais dos perfis foram realizadas saídas de campo, para determinação do peso específico natural do solo, com ensaio de frasco de areia, e coleta de amostras para a realização de ensaios de caracterização geotécnica tradicional e determinação do índice de vazios máximo e mínimo. A comparação entre a densidade relativa determinada em campo e a estimada por fórmulas tradicionais encontradas na literatura, mostrou-se adequada apenas para um dos quatro pontos avaliados. Atribui-se este comportamento à condição das amostras para determinação do peso específico natural do solo, as quais foram retiradas de regiões muito próximas à superfície. Entende-se que estes baixos valores de peso específico natural acabam elevando os valores das estimativas de densidade relativa. Assim, entende-se que uma das principais contribuições do trabalho é demonstrar que, para a adequada estimativa de parâmetros geotécnicos, é imprescindível a determinação, com a adequação precisão, de outros parâmetros geotécnicos necessários à estimativa.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio frasco de areia, Compacidade relativa, Interpolação.

ABSTRACT: The paper is a continuation of a previous research and uses geotechnical survey data and longitudinal profiles for the Carreiros Campus of the Federal University of Rio Grande – FURG, which is located in the extreme south of Rio Grande do Sul state. In four locations on the profiles, field trips were carried out to determine the natural specific weight of the soil, using sand bottle test, and samples were collected to carry out traditional geotechnical characterization test and to determine the maximum and minimum void index. The comparison between the relative density determined in the field and that estimated by traditional equations found in the literature proved to be adequate for only one of the four points evaluated. This behavior is attributed to the condition of the samples to determine the natural specific weight of the soil, which were taken from regions very close to the surface. It is understood that these low values of natural specific gravity end up increasing the values of relative density estimates. Thus, it is understood that one of the main contributions of the paper is to demonstrate that, for the adequate estimation of geotechnical parameters, it is essential to determine, with adequate precision, other geotechnical parameters necessary for the estimation.

KEYWORDS: Sand bottle test, Relative compacity, Interpolation.

1 INTRODUÇÃO

A sondagem de simples reconhecimento com ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) ou, simplificada, ensaio SPT é, segundo Odebrecht (2003), o sistema de investigação mais utilizado no Brasil pela Engenharia Geotécnica. O autor destaca que a simplicidade e robustez do ensaio, aliadas ao baixo custo do equipamento e a experiência empírica acumulada na execução e na sua interpretação fazem desta sondagem uma ferramenta indispensável na prática de Engenharia Civil. Esta sondagem é atualmente padronizada no âmbito nacional pela NBR 6484 (2020) e, segundo Velloso e Lopes (2010), consiste na

cravação de um amostrador padrão através de um martelo padronizado e que permite a retirada de amostras do solo e medição do número de golpes necessários para cravar o amostrador padrão.

A PROINFRA (Pró-Reitoria de Infraestrutura) da FURG (Universidade Federal do Rio Grande) coordena as ações relativas à implantação, manutenção e ampliação da infraestrutura necessária ao desenvolvimento das atividades de Ensino, Pesquisa, Extensão e Administração da Universidade. Assim, entre outras atividades, a PROINFRA coordena a ocupação dos espaços físicos da instituição e, justamente por isso, possui em seu acervo relatório de sondagens SPT realizados por solicitação da Universidade. Em um trabalho anterior, Retzlaff *et al.* (2022) organizaram estes relatórios disponibilizados pela PROINFRA em um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) e, entre outros resultados, apresentaram dois perfis longitudinais do Campus Carreiros da FURG, localizado na cidade do Rio Grande, no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Ambos os perfis, os quais estão apresentados na Figura 2, tem aproximadamente 1000 m de comprimento e profundidades que variam entre 13 e 18 m. Em síntese, os resultados revelaram a presença de um aterro de 0,5 m, mas observações em campo demonstraram que este aterro somente ocorre nos locais dos prédios da instituição. Abaixo deste aterro (onde ele ocorre), ocorre o predomínio de um solo granular fino pouco a medianamente compacto, seguido por uma camada granular fina argilosa com conchas e espessura variável. Logo abaixo, é identificada outra camada de solo granular, porém mais compacta que a anterior. Assim, fica evidenciado o predomínio do solo granular no Campus Carreiros da FURG.

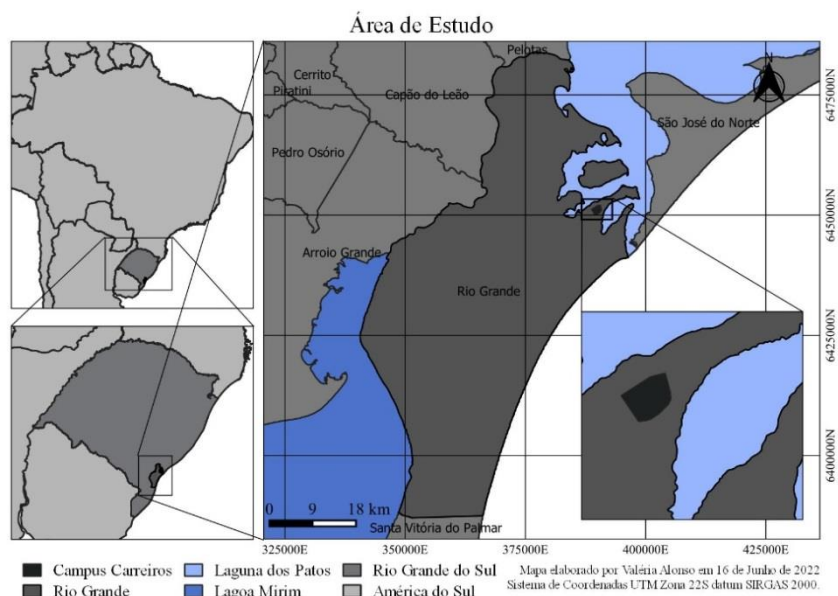


Figura 1. Localização do Campus Carreiros da FURG, no município do Rio Grande.

Um importante parâmetro geotécnico que pode ser estimado a partir de ensaios SPT é a densidade relativa (D_r) de solos granulares, como é o caso dos solos do Campus Carreiros da FURG. O D_r de um solo granular trata-se, segundo Pinto (2006), de uma relação entre o índice de vazios natural de uma areia (e), ou seja, a condição em que ela se encontra em campo, e seus índices de vazios máximo ($e_{máx}$) e mínimo ($e_{mín}$). Neste contexto, este trabalho tem por objetivo dar continuidade ao trabalho de Retzlaff *et al.* (2022) através da estimativa de D_r nos solos do Campus Carreiros da FURG com base em resultados de ensaios SPT e comparação com resultados de ensaio de frasco de areia em campo, para a determinação do D_r .

2 CENÁRIO DE ESTUDO

O município do Rio Grande, onde se encontra o Campus Carreiros da FURG, estudado por este trabalho, localiza-se no extremo sul do Rio Grande do Sul, na planície costeira daquele estado e, mais especificamente, no mais recente sistema deposicional que a forma, que é o Sistema Laguna-Barreira IV. Esta barreira é caracterizada principalmente pelas areias da faixa praial e o campo éolico adjacente. Segundo Tomazelli e Villwock (2005), esta barreira é a única holocênica e é o resultado da última grande transgressão pós-glacial,

quando o nível do mar alcançou um nível de 3 a 4 metros acima do atual. Estas informações justificam a informação de que os perfis avaliados neste trabalho são predominantemente granulares.

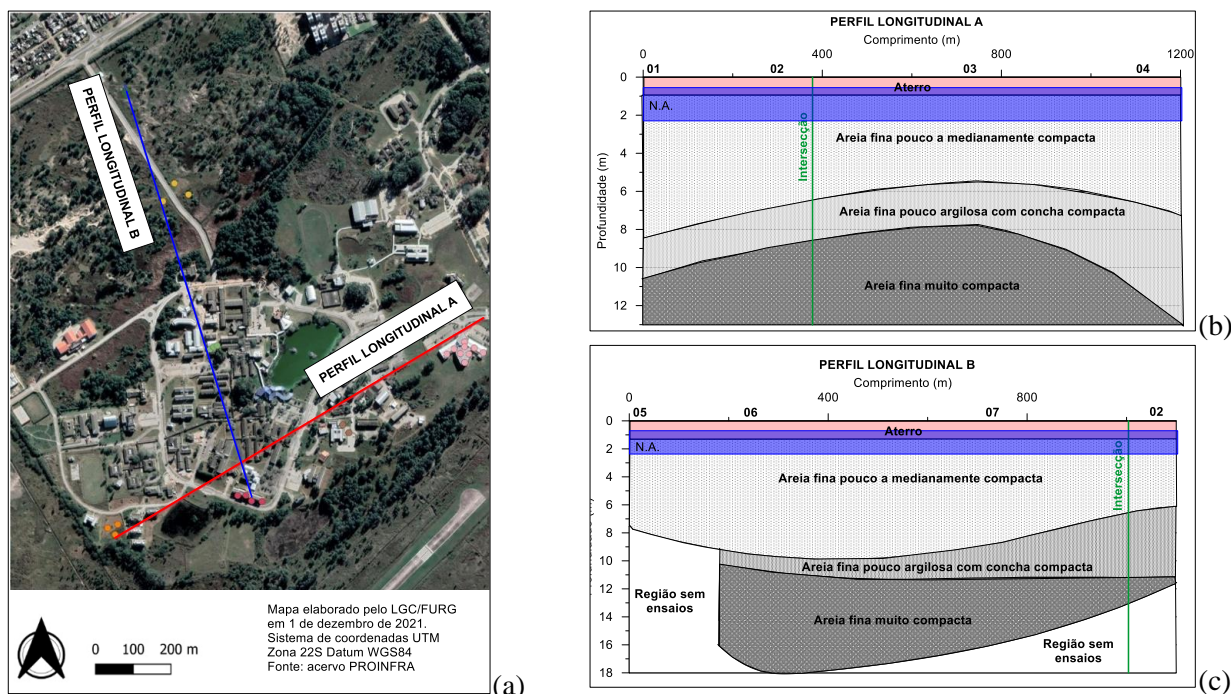


Figura 2. Perfis longitudinais do Campus Carreiros da FURG: (a) mapa de localização; (b) Perfil longitudinal A; e (c) Perfil longitudinal B. (RETZLAFF *et al.*, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Em síntese, os métodos utilizados neste trabalho podem ser agrupados em três grupos: (i) estimativa de D_r a partir de ensaios SPT; (ii) determinação de D_r através de ensaios; e (iii) comparação entre os resultados estimados e determinados. Para a estimativa de D_r foram utilizados os resultados de penetração do ensaio SPT (N_{SPT} – número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais do amostrador padrão do ensaio), devidamente corrigidos em função da energia de cravação e estimativas da tensão vertical efetiva atuante, conforme proposta de Gibbs e Holz (1957) e Skempton (1986), apresentadas nas Equações 1 e 2, respectivamente, as quais são dependentes do N_{60} (número de golpes do ensaio SPT corrigido para 60% da energia teórica de cravação). Os ensaios SPT inventariados utilizaram o sistema manual para liberação da queda do martelo e, de acordo com Decourt *et al.* (1989), a eficácia, em termos médios, do SPT brasileiro nestas condições é 72%. Destaca-se que para a estimativa da tensão vertical efetiva (σ'_{v0}) foram utilizados os valores de peso específico natural do solo (γ_{nat}) determinados em campo.

$$D_r = \left(\frac{N_{60}}{0,23 \times \sigma'_{v0} + 16} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$D_r = \left(\frac{N_{60}}{0,28 \times \sigma'_{v0} + 27} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Tomando-se como base os perfis longitudinais propostos por Retzlaff *et al.* (2022), foram realizadas saídas de campo a quatro pontos, os quais estão indicados na Figura 3 e foram denominados por PAV. 4, CIDE, PÓRTICO e PAV. 6. Em cada um desses locais, a pequenas profundidades, foram realizados ensaios para a determinação do peso específico natural e coletadas amostras deformadas representativas (Figura 4a), as quais foram levadas ao Laboratório de Geotecnia e Concreto (LGC) da FURG para a realização de ensaios. Em função da natureza granular do solo, optou-se pela realização do ensaio de frasco areia para a determinação do γ_{nat} , de acordo com a NBR 7185 (2016), conforme apresentado na Figura 4b. As amostras deformadas coletadas foram transportadas para o LGC-FURG, onde a preparação das amostras e determinação do teor de umidade higroscópico foram realizados de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 6457 (2016).

A análise granulométrica e a massa específica dos grãos foram determinadas conforme as recomendações da NBR 7181 (2016) e NBR 6508 (2016), respectivamente. O limite de liquidez e de plasticidade foram determinados de acordo com a NBR 6459 (2016) e NBR 7180 (2016), respectivamente. Com base nos resultados de peso específico aparente natural e teor de umidade, foi determinado o índice de vazios em campo, o qual aliado aos índices de vazios máximo e mínimo foi utilizado para determinação da densidade relativa. Como há uma grande variabilidade entre os valores médios e os máximos e mínimos considerados, entende-se como conveniente trabalhar com a análise geoestatística destes dados, ou seja, associar à análise estatística a geolocalização dos dados. Para isso, foi utilizado o software *Surfer*[®], com o uso do interpolador Função de Base Radial, o qual é caracterizado por apresentar uma resposta que varia monotonicamente com a distância em relação a um ponto central.

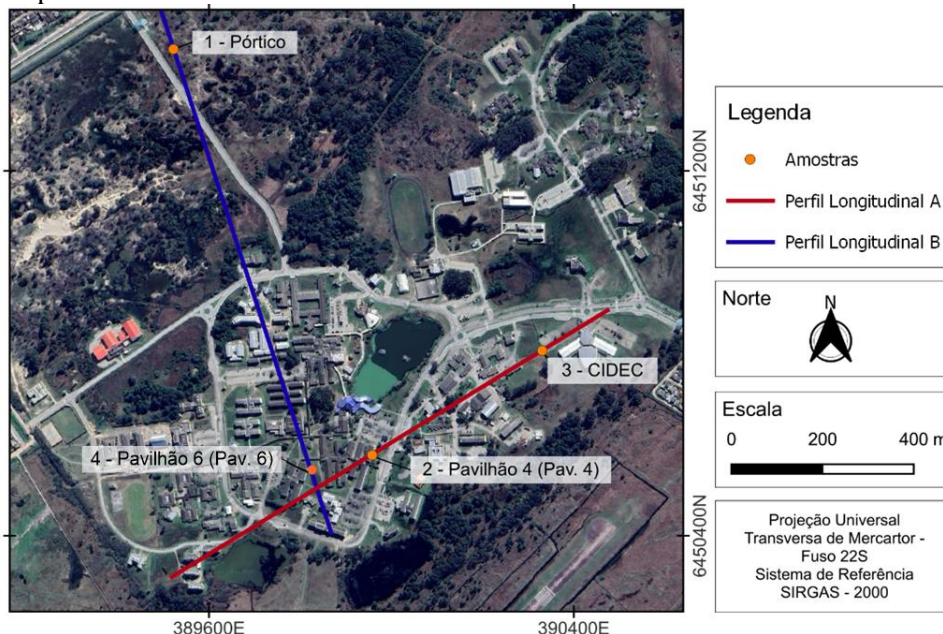


Figura 3. Localização dos pontos para retirada de amostras.

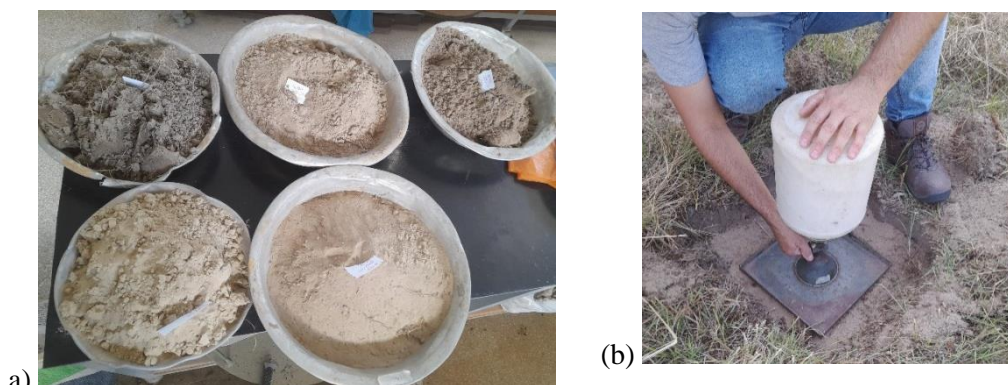


Figura 4. (a) Amostras deformadas representativas; e (b) ensaio de frasco de areia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas granulométricas obtidas estão apresentadas na Figura 5 e ratificam o comportamento granular do solo avaliado. A Tabela 1 sumariza os resultados da caracterização geotécnica, onde d_{50} corresponde ao diâmetro médio das partículas, w_l corresponde à limite de liquidez, w_p corresponde à limite de plasticidade, C_u corresponde à coeficiente de uniformidade, C_c corresponde à coeficiente de curvatura, HRB corresponde à classificação pela *Highway Research Board*, SUCS corresponde à classificação pelo Sistema Unificado de Solos, w corresponde à umidade e γ_d corresponde à peso específico aparente seco.

Em síntese, os resultados indicam solos bastante parecidos, não plásticos e predominantemente formados pela fração areia.

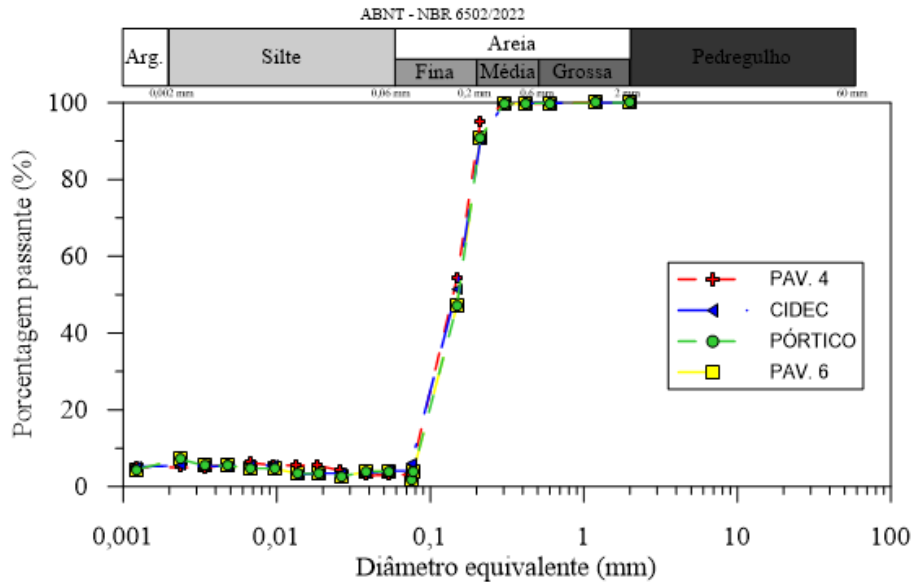


Figura 5. Curvas granulométricas.

Tabela 1. Caracterização geotécnica.

| Propriedade geotécnica | Pórtico | Pav. 4 | CIDEC | Pav. 6 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| d_{50} | 0,16 | 0,15 | 0,15 | 0,14 |
| w_l (%) | NP | NP | NP | NP |
| w_p (%) | NP | NP | NP | NP |
| Argila (%) | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Silte (%) | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Areia (%) | 96 | 94 | 95 | 96 |
| Pedregulho (%) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C_u | 2 | 1,88 | 1,44 | 1,76 |
| C_c | 1,21 | 1,06 | 1,17 | 0,95 |
| HRB | A-3 (0) | A-3 (0) | A-3 (0) | A-3 (0) |
| SUCS | SW-SP | SW-SP | SW-SP | SP |
| γ_{nat} (kN/m ³) | 15,76 | 15,37 | 16,81 | 15,40 |
| w (%) | 9,16 | 2,36 | 8,43 | 3,52 |
| γ_d (kN/m ³) | 14,44 | 15,01 | 15,50 | 15,40 |
| γ_s (kN/m ³) | 25,91 | 26,15 | 25,93 | 25,95 |
| e_{campo} | 0,79 | 0,74 | 0,68 | 0,68 |
| $e_{mín}$ | 0,57 | 0,53 | 0,58 | 0,55 |
| $e_{máx}$ | 0,82 | 0,76 | 0,83 | 0,70 |
| Dr_{campo} | 0,09 | 0,07 | 0,63 | 0,08 |

A Figura 6 apresenta os resultados de N_{SPT} em termos médios, máximos e mínimos inventariados pelo trabalho de Retzlaff *et al.* (2022). Também são apresentados na Figura 6 estes resultados transformados para 60% da energia teórica. A partir destes resultados, foram estimados valores de Dr ao longo da profundidade para os diferentes locais, conforme apresentado na Figura 7. Observa-se que, em geral, a partir dos três metros de profundidade, estima-se que o solo, em campo, esteja muito próximo do $e_{mín}$, ou seja, da sua condição mais densa. Apesar disso, esta estimativa foi confirmada em campo apenas para o CIDEC.

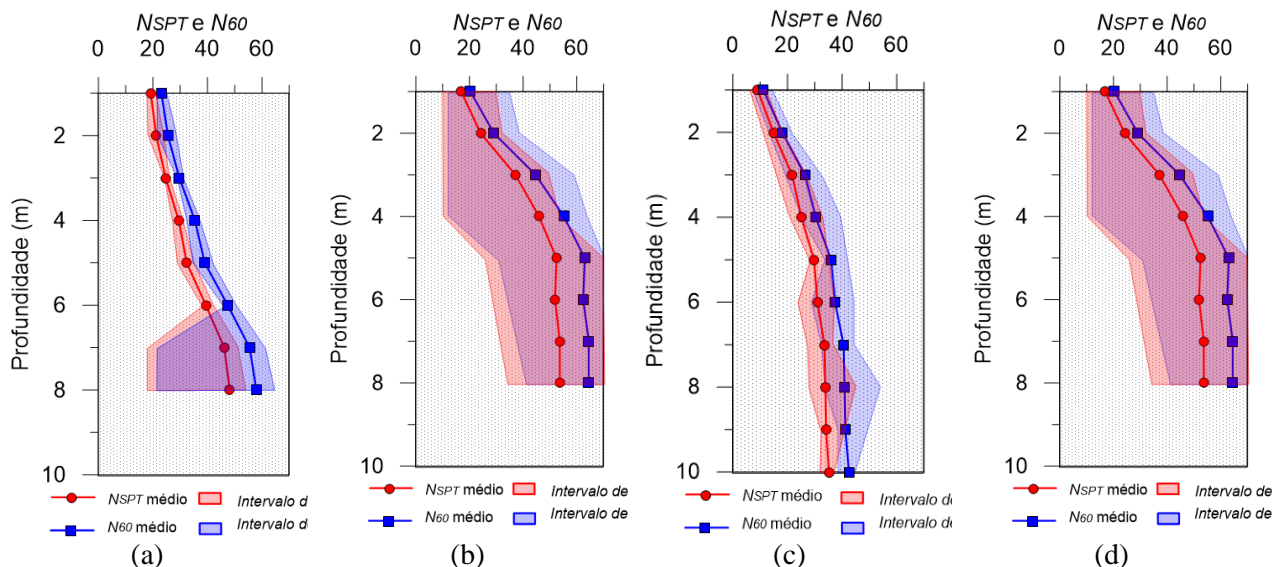


Figura 6. Resultados médios, mínimos e máximos ao longo da profundidade de N_{SPT} e N_{60} : (a) Pórtico; (b) Pav - 4; (c) CIDEC; (d) Pav - 6.

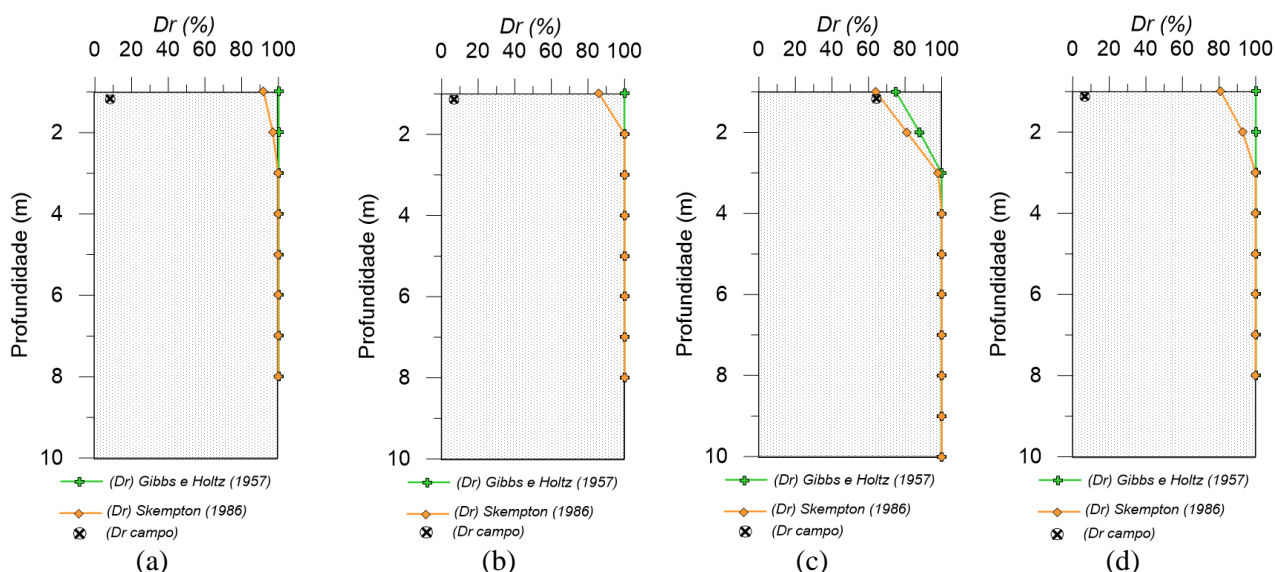


Figura 7. Densidade relativa estimada pelos dois métodos: (a) Pórtico; (b) Pav - 4; (c) CIDEC; (d) Pav - 6.

As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados estimados de distribuição do Dr para os perfis longitudinais A e B, respectivamente, e observa-se, mais uma vez, valores bastante discrepantes entre os estimados e os medidos. Entende-se que, provavelmente, os resultados de peso específico natural, por terem sido determinados a pequenas profundidades, onde a tensão efetiva atuante é pouco significativa, estão subestimados. Entende-se que estes baixos valores de peso específico determinados, repercutem, seguindo as formulações utilizadas, nas altas densidades relativas estimadas.

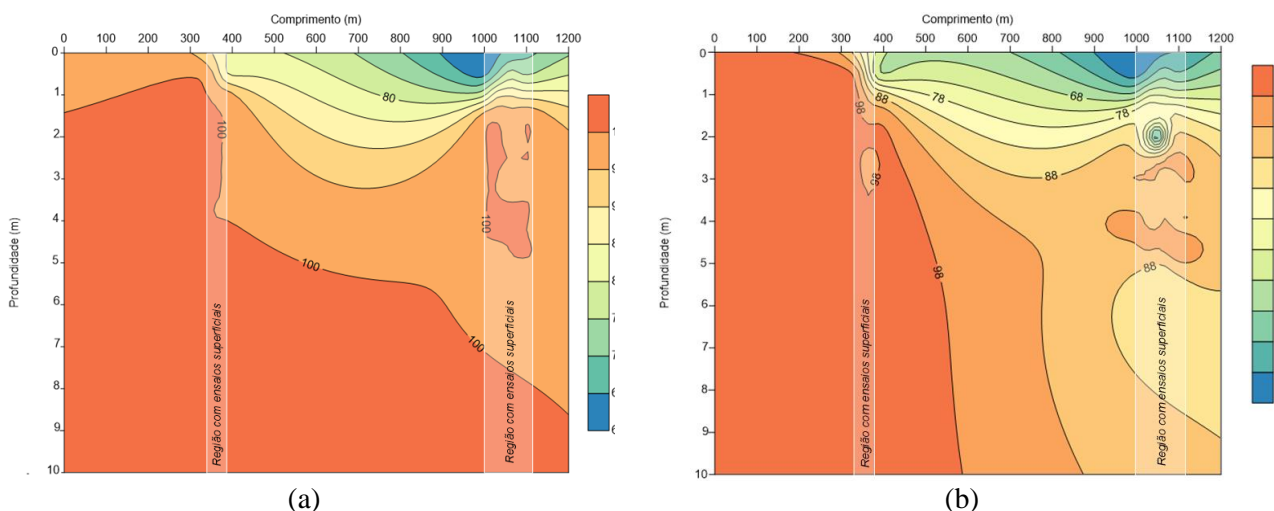


Figura 8. Estimativa da distribuição de D_r para o perfil longitudinal A: (a) Gibbs e Holtz (1957); (b) Skempton (1986).

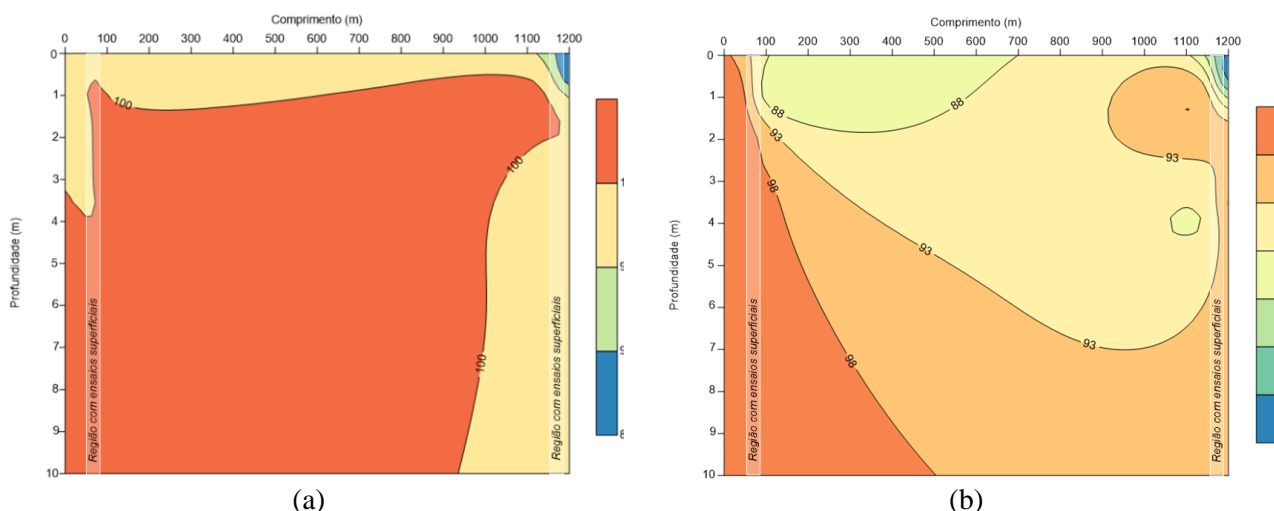


Figura 9. Estimativa da distribuição de D_r para o perfil longitudinal B: (a) Gibbs e Holtz (1957); (b) Skempton (1986).

4 CONCLUSÕES

O trabalho apresentado trata-se de uma continuação de um trabalho predecessor, o qual inventariou, em um ambiente SIG, resultados de sondagens SPT disponibilizadas pela PROINFRA-FURG. O presente trabalho utilizou os dados de sondagens e os dois perfis longitudinais apresentados para o Campus Carreiros da Universidade, o qual está localizado no município do Rio Grande, no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. Em quatro locais dos perfis longitudinais foram realizadas saídas a campo, para determinação do peso específico natural do solo, com ensaio de frasco de areia, e coleta de amostras para a realização de ensaios de caracterização geotécnica tradicional e determinação do índice de vazios máximo e mínimo.

A caracterização geotécnica demonstrou muita similaridade no comportamento geotécnico entre os solos avaliados, os quais são não plásticos e com predominância da fração granulométrica areia. A comparação entre a densidade relativa determinada em campo e a estimada por fórmulas tradicionais encontradas na literatura se mostrou adequada para apenas um dos quatro pontos avaliados. Em geral, atribui-se este comportamento à condição das amostras para determinação do peso específico natural do solo, as quais foram retiradas de regiões muito próximas à superfície. Entende-se que estes baixos valores de peso específico natural acabam elevando os valores das estimativas de densidade relativa. Assim, entende-se que uma das principais contribuições do trabalho é demonstrar que, para a adequada estimativa de parâmetros geotécnicos, é

imprescindível a determinação, com a adequação precisão, de outros parâmetros geotécnicos necessários à estimativa. Pretende-se dar continuidade ao trabalho através da realização de mais e mais profundos ensaios para a determinação do peso específico natural do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7185. *Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457. *Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo – Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6508. *Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Décourt, L. (1989) *The standard penetration test. State-of-the-art report*. Proceedings of the XII ICSMFE, Rio de Janeiro, v. 4, p. 2405-2416.
- Gibbs, H. J.; Holtz, W.G. (1957) *Research on determining the density of sands by spoon penetration testing*. Proceedings of the 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London, v. 1, p. 35-39.
- Odebrecht, E. (2003). *Medidas de energia no ensaio SPT*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 230 p.
- Pinto, C. S. (2006) *Curso básico de Mecânica dos Solos*. Volume 3. São Paulo: Oficina de texto, 367 p.
- Retzlaff, A. S.; Alonso, V. V.; Camargo, K. R.; Rocha, R. G.; Bastos, C. A. B. (2022) Construção e interpretação de um SIG de sondagens de simples reconhecimento com circulação de água realizadas junto a FURG. In: XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, Campinas/SP. *Anais...* São Paulo, 2022. v.1, p.1-8.
- Skempton, A. W. (1986) *Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation*. Géotechnique, v.36, n.3, p.425-447.
- Tomazelli, L. J., Villwock, J.A. (2005) *Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul*. Gravel, 3(1), p. 110-115.
- Velloso, D. de A.; Lopes, F. de R. (2010) *Fundações: critérios de projetos, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas*. Volume 1. São Paulo: Oficina de Textos.