

Caracterização geotécnica de solo residual de gabro com potencial expansivo

José Arthur do Nascimento Ramalho ¹

Estudante de mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, arthur.ramalho.094@ufrn.edu.br

Taís Moreira de Lisboa ²

Consultora independente, Natal, Brasil, taislisboa@yahoo.com.br

Ana Beatriz Stefany Santos Campos ³

Estudante de graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, abstefany23@gmail.com

Valteson da Silva Santos ⁴

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Patos, Brasil, valtesomdasilva3@gmail.com

Fagner Alexandre Nunes de França ⁵

Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, fagnerfranca@ufrn.edu.br

RESUMO:

Os solos expansivos, encontrados principalmente em regiões áridas e semiáridas, são um desafio global para a engenharia civil, devido aos problemas causados pela expansão e contração em resposta às variações de umidade. Apesar do vasto território semiárido no Rio Grande do Norte, há poucos estudos sobre solos expansivos no estado. Este artigo tem o objetivo de reduzir essa lacuna ao caracterizar geotecnicamente um solo residual de gabro, próximo ao Rio Ceará-Mirim, bem como analisar seu potencial expansivo e aplicabilidade em uma barragem de terra. Ensaios laboratoriais, incluindo análise granulométrica, limites de Atterberg, expansibilidade pelo Índice de Suporte Califórnia e ensaio de expansão livre, foram conduzidos. O solo foi classificado como argila silto-arenosa, com destaque para a fração argila (46,5%), foi identificado como CH, pela classificação unificada, indicando alta compressibilidade e plasticidade. Apesar do baixo índice de atividade (0,68), o ensaio de expansão unidimensional com carga constante de 10kPa demonstrou expansão de 15% que foi corroborado pelo Índice de Suporte Califórnia que revelou uma expansão de 7,06%, resultados que demonstram uma expansão expressiva no seu volume tornando-o inadequado a variadas aplicações em obras civis, caso não sejam tomadas medidas mitigadoras para a expansibilidade. Esses resultados destacam a importância de considerar a sazonalidade e variações climáticas ao lidar com solos expansivos, especialmente em regiões propensas a processos de expansão e contração que afetam a estabilidade de estruturas civis.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização geotécnica, Solo expansivo, Solo residual, Rio Grande do Norte.

ABSTRACT:

Expansive soils, primarily found in arid and semi-arid regions, pose a global challenge for civil engineering due to issues arising from their expansion and contraction in response to moisture variations. Despite the vast semi-arid territory in Rio Grande do Norte, there are few studies on expansive soils in the state. This paper aims to fill this gap by geotechnically characterizing residual soil from gabbro, near the Ceará-Mirim River, and analyzing its expansive potential and applicability in an earth dam. Laboratory tests, including grain size analysis, Atterberg limits, expansibility by the California Bearing Ratio, and free swell test, were conducted. The soil was classified as silty-sandy clay, with clay fraction predominating (46.5%), identified as CH according to unified classification, indicating high

compressibility and plasticity. Despite the low activity index (0.68), the one-dimensional expansion test with a constant load of 10kPa demonstrated an expansion of 15%, which was corroborated by the California Bearing Ratio, which revealed an expansion of 7.06%, results that demonstrate a significant expansion in its volume, making it unsuitable for various applications in civil works, if mitigating measures are not taken for expandability. These results underscore the importance of considering seasonality and climatic variations when dealing with expansive soils, especially in regions prone to expansion and contraction processes affecting the stability of civil structures.

KEYWORDS: Geotechnical characterization; Expansive soil; Residual soil; Rio Grande do Norte.

1 INTRODUÇÃO

Solos expansivos são caracterizados como solos argilosos não saturados que, no ambiente, devido a variações sazonais apresentam uma dinâmica cíclica de aumento de volume durante o período chuvoso seguido da redução durante o período seco. Essas variações de volume podem ocasionar graves problemas estruturais, à medida que provocam tensões indesejadas (Barbosa et al. 2022)

Essa instabilidade volumétrica observada nos solos expansivos resulta da interação complexa entre diversos fatores, tais como o tipo de solo, condições climáticas, estado de tensões, variação da umidade e a estrutura laminar dos argilominerais tipo 2:1, que compreendem as montmorilonitas ou vermiculitas (Silva et al. 2020).

Diversos tipos de solos estão sujeitos ao fenômeno de expansão. Essas categorias abrangem solos derivados de rochas ígneas, principalmente basalto, diabásio, gabro, piroxênio e feldspato, bem como solos originados de rochas sedimentares que contêm o mineral argiloso montmorilonita, como folhelhos, margas e calcários, que se desintegram facilmente. Essa ampla gama de solos sujeitos à expansão destaca a diversidade de fatores geológicos que contribuem para a manifestação desse fenômeno (Ferreira et al. 2013).

Solos expansivos são encontrados em várias partes do Brasil, como nos estados São Paulo, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, porém a região mais propensa a formação desse tipo de solo é a região nordeste, sendo bastante encontrado em vários estados como Pernambuco, Bahia, Ceará, Maranhão, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe (Ferreira et al. 2013).

Na literatura geotécnica, diversas abordagens são utilizadas para avaliar a expansividade do solo, incluindo métodos indiretos baseados em ensaios de granulometria e Índice de Plasticidade, e também métodos diretos como ensaios de pressão de expansão e expansão livre também são empregados para determinar o grau de expansividade do material (de Oliveira et al. 2006).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma caracterização geotécnica de um solo residual de gabro, localizado próximo ao Rio Ceará-Mirim, e investigar suas características expansivas. Pois, embora o estado no qual o solo foi coletado possua uma extensa área de clima semiárido, há uma escassez de estudos sobre solos expansivos neste estado, bem como a literatura carece de estudos sobre solos residuais de gabro. Sendo assim, pertinente a realização desse tipo de estudo para reduzir essa lacuna.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

As amostras de solo foram obtidas na região do município de Jardim de Angicos, localizado no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, próximo ao leito do Rio Ceará-Mirim, nas coordenadas geográficas: -5°38'44,692"S; -36°2'52,509"O (Figura 1). Essa área está inserida em uma região que apresenta as características climáticas típicas do semiárido brasileiro.

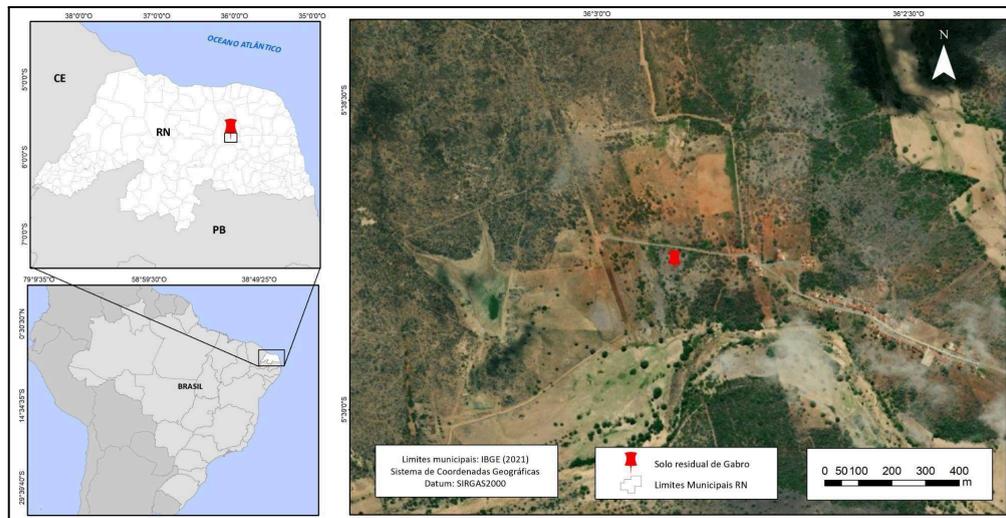


Figura 1. Mapa de localização do ponto de coleta da amostra de solo.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2001), o solo na área em estudo é classificado como planossolo hidromórfico. Além disso, a vegetação predominante é identificada como Estepe Arbóreo Aberto, característica do bioma Caatinga (RADAMBRASIL, 1992). Quanto à geologia local, os metassedimentos siltico-argilosos são a formação predominante, com ocorrências intercaladas de metagrauvacas. No entanto, também são encontradas outras formações geológicas, como Monzodiorito, Quartzo diorito, Quartzo monzodiorito, Gabronorito, Diorito e Gabro (Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2009).

2.2 Metodologia do ensaios de laboratório

Foram coletadas amostras de solo residual de Gabro no local da Figura 1 para a realização da caracterização geotécnica. Para isso, foram realizados ensaios em laboratório conforme os parâmetros e metodologias listadas na Tabela 1. Além disso, a partir dos resultados obtidos nos ensaios, foi calculado o Índice de atividade das argilas (IA) (Holtz & Kovacs, 1981) de acordo com a Equação 1, como também o potencial de expansão pelo Diagrama de Van der Merwe (Merwe, 1965).

Tabela 1. Ensaios e metodologias utilizadas para caracterização do solo.

Ensaio	Parâmetro	Metodologia
Peneiramento e Sedimentação	Granulometria	ABNT, 1984 e ABNT, 1989
Ensaio de Limites de Atterberg	Massa específica dos sólidos	ABNT, 2016b
	Limite de Liquidez	ABNT, 2016c
	Limite de Plasticidade	
Ensaio Proctor Normal	Massa específica aparente seca máxima, umidade ótima e compactação.	ABNT, 2016a
CBR	Expansão	NORMA DNIT 172/2016
Edométrico	Expansão	ASTM D4546/1996

$$Índice\ de\ atividade = \frac{Índice\ de\ plasticidade\ (IP)}{\%argila(menor\ que\ 0,002mm)}$$

(1)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Granulométrica

O solo apresenta um percentual de argila expressivo, sendo assim classificado como uma argila silto-arenosa. Além disso, pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos, este foi enquadrado como CH, por ter preponderância de partículas finas e o Limite de Liquidez superior a 50%, ou seja é uma argila inorgânica de alta compressibilidade. Na literatura existe uma grande diversidade de características para os solos residuais de gabro, a depender da sua gênese, localização ou da profundidade no qual foi coletado (Soares, 2012). Devido a essa grande variabilidade os resultados encontrados nesta amostragem (Tabela 2) não diferem de forma significativa dos solos encontrados na literatura (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo dos resultados de caracterização do solo residual de gabro estudado.

Parâmetro	Valor
Pedregulho (%)	0,71
Areia Grossa (%)	3,96
Areia Média (%)	10,14
Areia Fina (%)	13,47
Silte (%)	25,20
Argila (%)	46,5
L_L (%)	53,26
L_P (%)	21,50
I_P (%)	31,76
w (%)	11,54
ρ (g/cm ³)	2,80
pseca (g/cm ³)	1,55
IA	0,68
USCS	CH

Tabela 3. Caracterização de solos residuais de gabro encontrados na literatura.

Parâmetro	Soares, 2012		Soares, 2012	Alves, 2018	
	1	2	3	1	2
Pedregulho (%)	5	45,5	3,3	0,44	1,17
Areia Grossa (%)	42			3,97	1,91
Areia Média (%)		36,8	26,3	17,52	11,68
Areia Fina (%)	31,5			12,72	4,85
Silte (%)		11,6	29,8	52,75	64,36
Argila (%)	21,5	6,2	40,6	12,59	16,04
L_L (%)	30	32,9	45,9	49,34	49,48
L_P (%)	19	21,9	26,1	NP	47,37
I_P (%)	11	9	19,8	49,34	2,11
w (%)	-	4,8	15,5	42,23	31,78
ρ (g/cm ³)	-	-		2,68	2,66
pseca (g/cm ³)	2,3	-			1,72
IA	-	1,45	0,49	3,91	0,13
USCS	CH		CL, MH e SC	CL	ML

O índice de atividade (IA) de um solo refere-se à sua capacidade de reter água em relação à porcentagem de argila presente na amostra. Uma argila é considerada com atividade normal quando seu Índice de Atividade está entre 0,75 e 1,25. Quando o Índice de Atividade é inferior a 0,75, a argila é classificada como inativa, enquanto valores acima de 1,25 indicam que a argila é ativa (da Motta et al,

2022). Esse índice indiretamente oferece uma ideia do potencial expansivo do solo, o qual, no caso do solo em estudo, o resultado desse índice foi de 0,68 o que significa inatividade das argilas.

3.2 Análise da Compactação

No ensaio de compactação obteve-se como teor de umidade ótima 23,5%, neste ponto, a massa específica aparente seca foi de 1,56 g/cm³, como pode ser observado na Figura 2. Logo, esses são os parâmetros que aumentam a resistência e diminuem a deformabilidade e permeabilidade do solo. Além disso, o solo compactado na umidade ótima apresentou como resultado 44,30% de porosidade a um grau de saturação de 83,12% (Tabela 4).

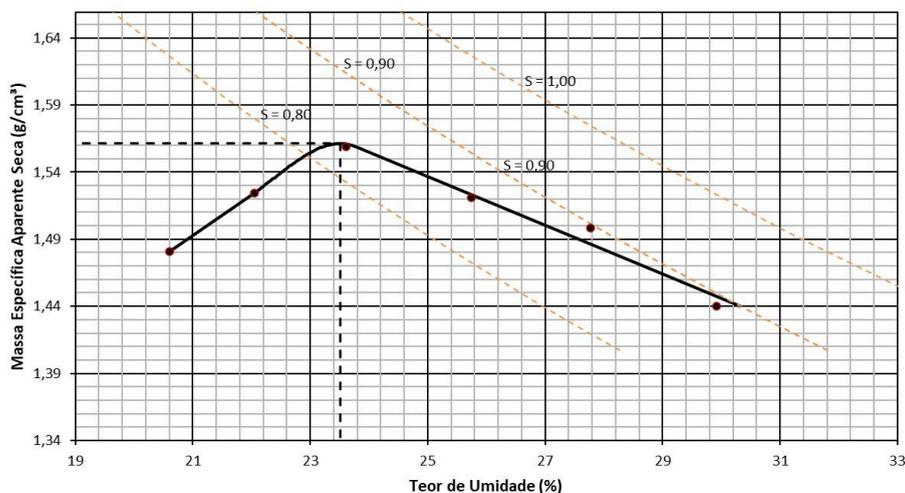


Figura 2: Curva de compactação do solo residual de gabro.

Tabela 4. resultados dos parâmetros de compactação no teor de umidade ótima.

Parâmetro	Valor
Teor de Umidade Médio (%)	23,6
Massa Específica Aparente Seca (g/cm ³):	1,56
Índice de Vazios	0,80
Porosidade (%)	44,30%
Grau de Saturação (%)	83,12%

3.3 Análise da Expansão

Mesmo com o índice de atividade da argila tendo como resultado uma argila inativa, os resultados da análise da expansão vão por outro caminho, ao utilizarmos a metodologia de Van de Merwe o resultado é que o solo tem um potencial de expansão muito alto (Figura 3).

Como métodos de determinação direta da expansão do solo foram realizados o ensaio de expansão unidimensional a 10kPa e a etapa de expansibilidade para a determinação do Índice de Suporte Califórnia. A realização do ensaio de expansão unidimensional com a utilização de uma pequena carga para controle do ensaio teve como resultado a expansão de 15%, como pode-se observar na Figura 4, no qual o índice de vazios antes da inundação era 0,8 e após o final do ensaio o índice de vazios passou para 1,07. Pelo critério de Vijayvergiya e Ghazzaly (1973), isto indica um grau de expansividade muito alto, o que corrobora com a determinação indireta pelo método de Van der Merwe. Esses resultados seguem na mesma linha do ensaio da expansão pelo método do CBR no qual obteve-se uma expansão ao final dos 4 dias de 7,06% (Figura 5).

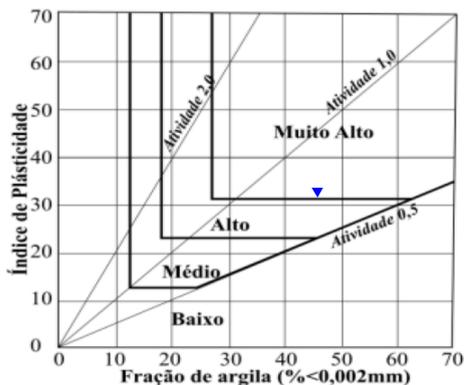


Figura 3: Diagrama de Van der Merwe com a indicação (triângulo azul) do potencial de expansão do solo em estudo.

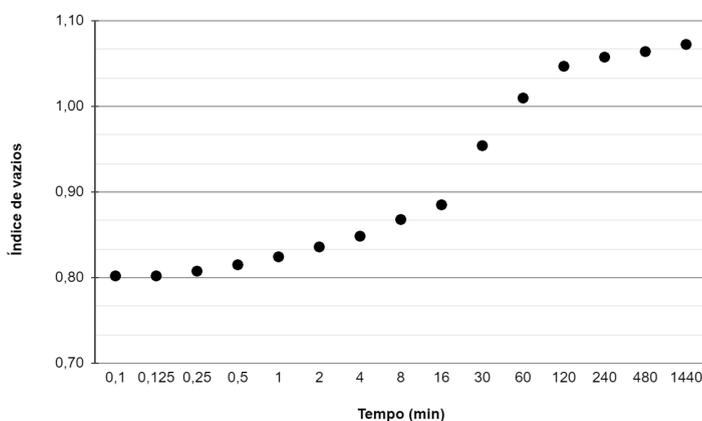


Figura 4. Ensaio de expansão unidimensional com carga de 10kPa.

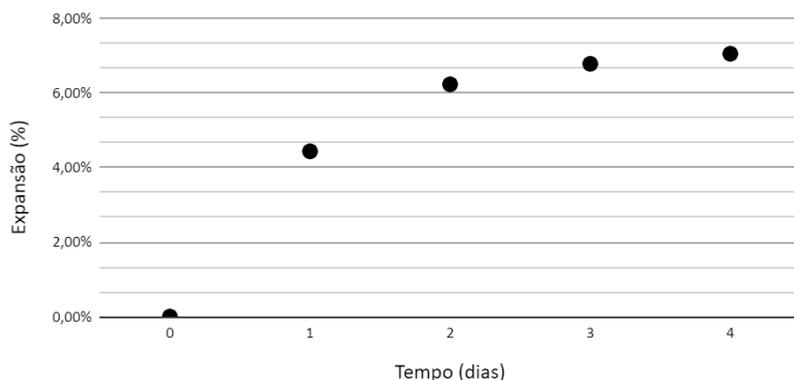


Figura 5. Curva de expansão do ensaio CBR.

Pode-se inferir, que mesmo com o resultado para IA desfavorável a expansão, a quantidade de argila no solo compensou a baixa atividade da argila, e dessa maneira o solo manifestou alto potencial de expansão.

3.4 Discussão e aplicação em obras

Solos com características de expansividade em geral apresentam problemas quando utilizados em taludes, devido a queda dos valores de coesão na condição saturada ocasionados pela perda de sucção (de Oliveira et al, 2006). Entretanto, em barramentos de terra, devido à extensão e ao peso da obra, as

características de expansibilidade são pouco expressivas, sendo preponderante observar a retenção de água neste tipo de solo, a qual pode ser relacionada ao índice de plasticidade, por expressar a adsorção de águas às partículas do solo (Bortolini, 2016). O índice de plasticidade desse solo é alto e portanto espera-se que a retenção desse solo seja alta.

A partir do resultado do ensaio da expansibilidade do CBR, ao confrontarmos com a norma de aplicação para estradas, este solo não é indicado para dada aplicação em nenhuma camada visto que, os solos indicados para a utilização em estradas seguem os seguintes limites: Sub-base: Expansão < 1%, Subleito: Expansão < 2%, e Reforço do subleito: Expansão < 2% (de Souza et al, 2019).

Além disso, as pressões de expansão atuam de forma diferencial ao longo de estruturas assentadas sobre o solo, no caso de edificações podem ocorrer levantamentos ou rebaixamentos diferenciais gerando como consequência fissuras na estrutura podendo levar até mesmo a falha caso a alteração do volume seja distribuída de forma desigual abaixo da fundação (Jones & Jefferson, 2012), portanto deve-se atentar a natureza expansiva desse solo ao utilizá-lo em edificação, tendo em vista que pode causar sérios danos às estruturas.

4 CONCLUSÃO

Como conclusão deste estudo, verifica-se que o solo residual de gábro analisado neste trabalho, trata-se de uma argila silto-arenosa, de alta compressibilidade, com índice de plasticidade alto, porém baixa atividade das argilas. Demonstrou expansão significativa, o que pode resultar em sérios problemas para as estruturas construídas sobre ele. Além disso, com relação à aplicação em obra de barramento ressalta-se a importância da medição da retenção de água no solo para indicar o potencial do solo para este tipo de construção. Com relação à utilização em rodovias, a expansibilidade pode causar problemas como deformações na pavimentação comprometendo a durabilidade e a segurança das estradas. Sendo fortemente contraindicada sua utilização como sub-base, subleito ou reforço do subleito.

Além disso, o índice de atividade não foi um bom indicador indireto da expansividade para o solo em estudo, que possui grande percentual de argila, visto que o IA resultou inativo para um solo expansivo. Por outro lado, o método indireto de Van der Merwe foi condizente com o resultado encontrado nos métodos diretos.

Dessa forma, esse trabalho destaca a importância de compreender e gerenciar adequadamente os desafios geotécnicos associados a esse tipo de solo, visando mitigar potenciais impactos adversos em obras civis e infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5734: *Peneiras para ensaio – Especificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457. *Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 2016a.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7181: Solo – *Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: *Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 2016b. 3 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459: *Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 2016c. 5 p.

ASTM D4546/1996. *Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils*. ASTM, 1996.

- Barbosa, V. H. R., Marques, M. E. S., Guimarães, A. C. R. (2022). Avaliação do Potencial expansivo de solos da Formação Solimões no Estado do Acre para uso em pavimentação. *Revista Matéria*, 27 (2).
- Bortolini, D. (2016). Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina. 2016. 239 f. (Doutorado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. 2009.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. NORMA DNIT 172/2016 - ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. DNIT, 2016.
- Ferreira, S.R.M., Costa, L.M., Guimarães, L.J.N., Pontes Filho, I.D.S. (2013). Volume Change Behavior due to Water Content Variation in an Expansive Soil from the Semiarid Region of Pernambuco - Brazil. *Soils and Rocks*, 36(2), p. 183-193.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. New Jersey: Prentice-Hall. 733p.
- IBGE, EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Escala 1:5.000.000.
- Jones, L D., Jefferson, I. Expansive soils. 2012. p. 413-441
- Merwe, D.H.V. (1965). “*The Prediction of Heave from the Plasticity index and percentage clay fraction of soils*”, *The British Journal of Psychiatry*, v. 111, n. 479, p. 1009-1010.
- Motta, F. D., Neto, P. P. C., da Silva, F., Pires, R. C. S. (2022). Geotecnia: Análise dos Solos: caracterização dos solos moles e técnicas de reforço para construção de aterros, com ênfase nos geotêxteis. Editora Epitaya, Rio de Janeiro, Brasil, p 46-65.
- Oliveira, A.G.S.; Jesus, A.C.; Miranda, S.B. (2006) Estudo Geológico – Geotécnico dos Solos Expansivos da Região do Recôncavo Baiano. In: *II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos Geojovem*. Rio de Janeiro.
- Projeto RADAMBRASIL. O Mapa de Vegetação do Brasil. 1992. Escala 1:250.000.
- Souza, W. M., Ribeiro, A. J. A., de Pontes Xavier, I. W., dos Santos, M. V. (2019). *Resíduos de cerâmica vermelha como um material ambientalmente sustentável para uso na pavimentação*. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 202, 19 dez. 2019. Universidade Federal da Bahia. <<http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v7i2.32540>> Acesso em: 18 mar. 2024
- Silva, J. A., Bello, M. I. M. C., Ferreira, S. R. M. (2020). Comportamento geotécnico de um solo expansivo estabilizado com cinza de casca de arroz e cal hidratada. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 5 (2), p. 232-256
- Soares, S. M. M. (2012). *Contribuição para o conhecimento das características geotécnicas dos gabros de Beja, faixa entre Beringel e Beja*. Tese de doutorado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 184 p.
- Vijayvergiya, V. N., Ghazzaly, O. I. (1973). *Prediction od Swelling Potencial for Natural Clays*. *Proceedings of the 3rd Intenational Conference on Expansive Soils, Hayfa*, Vol. 1, p. 227-236.