



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 11, nº 2 (2025)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2025v11n2ID39986>



## A influência da mineralogia secundária no comportamento mecânico de um solo residual granítico no semiárido brasileiro

### *The influence of secondary mineralogy on the mechanical behavior of a granitic residual soil in the semiarid region of Brazil*

Maria del Pilar Durante Ingunza<sup>1</sup>; Paula Peroba<sup>2</sup>; George Rolemberg<sup>3</sup>; Olavo Francisco dos Santos Júnior<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPCIVAM), Natal/RN, Brasil. Email: maria.ingunza@ufrn.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6994-7559>

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPCIVAM), Natal/RN, Brasil. Email: paula.peroba@ufrn.br  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6087-9639>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Discente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPCIVAM), Natal/RN, Brasil.. Email: georgerolemberg@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9969-3096>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPCIVAM), Natal/RN, Brasil.. Email: olavo.santos@ufrn.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7552-6646>

**Resumo:** Os processos geológicos externos de formação de solos têm um papel crucial no comportamento dos mesmos. No caso específico dos solos residuais maduros, a cimentação e não o histórico de tensões tem papel fundamental no seu comportamento mecânico. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da mineralogia presente em um perfil de alteração granítico no semiárido brasileiro, no comportamento mecânico do mesmo, especificamente quanto ao cisalhamento direto. O estudo foi realizado no solo de cobertura de afloramento de rochas graníticas. Realizou-se a coleta de amostras deformadas e indeformadas em três pontos. Foram realizadas análises de DRX nas frações de areia e finos para a caracterização mineralógica e análises de FRX para caracterização química dos pontos estudados. Os ensaios de caracterização geotécnica incluíram: análise granulométrica e limites de consistência. Para o estudo do comportamento mecânico realizaram-se ensaios de cisalhamento direto. Os resultados obtidos mostraram que, a composição mineralógica, a estrutura do solo e o papel cimentante dos minerais de ferro se configuram como os principais fatores causadores do comportamento mecânico do solo estudado. Variações locais quanto à capacidade de drenagem e ao grau de intemperismo do solo explicam a presença dos minerais secundários e o comportamento mecânico diferencial das amostras estudadas.

**Palavras-chave:** Mineralogia secundária; comportamento mecânico; solo residual granítico.

**Abstract:** The external geological processes that form soils play a crucial role in their behavior. In the specific case of mature residual soils, cementation rather than stress history plays a fundamental role in their mechanical behavior. The aim of this work is to assess the influence of mineralogy on the mechanical behavior of a granite alteration profile in the Brazilian semiarid region, specifically in terms of direct shear. The study was carried out on the topsoil of granitic rocks. Disturbed and undisturbed samples were taken at three points. XRD analyses were carried out on the sand and fines fractions for mineralogical characterization and XRF analyses for chemical characterization of the points studied. Geotechnical characterization tests included granulometric analysis and consistency limits. Direct shear tests were carried out to study the mechanical behavior. The results showed that the mineralogical composition, the soil structure, and the cementing role of iron minerals are the main factors causing the mechanical behavior of the soil studied. Local variations in the drainage capacity and the degree of soil weathering explain the presence of secondary minerals and the differential mechanical behavior of the samples studied.

**Keywords:** Secondary minerals; mechanical behavior; granitic residual soil.

Recebido: 25/04/2025; Aceito: 13/08/2025; Publicado: 29/09/2025.

## 1. Introdução

Os processos geológicos externos de formação de solos têm um papel crucial no comportamento dos mesmos. Os solos resultantes do processo de intemperismo, denominados solos residuais, apresentam um comportamento peculiar, do ponto de vista geotécnico, que frequentemente não obedece aos preceitos tradicionais da mecânica dos solos. A maioria dos achados deste campo de estudo provém de observações dos chamados solos sedimentares ou transportados, formados essencialmente através, dos processos de erosão, transporte e deposição. Assim, o comportamento de solos residuais, vem sendo destacado na literatura especializada, ressaltando que não há um padrão de comportamento único e que dito comportamento está influenciado por diversos fatores, tais como a rocha de origem, o grau de intemperismo, o ambiente local e o clima, dentre outros. Neste sentido, a influência da composição mineralógica do solo residual granítico no comportamento mecânico do mesmo tem sido comprovada (FONSECA *et al.*, 2006; SAMAR, 2022; SUN *et al.*, 2023).

Da mesma forma, aspectos estruturais, especificamente a presença de agregados (KÜHN *et al.*, 2022) e aspectos texturais, tais como porosidade, (DELCOURT, 2022) são fundamentais para a compreensão do comportamento mecânico dos solos.

Por último, nos perfis de alteração de rochas graníticas o tipo e grau de intemperismo são fundamentais na definição dos minerais secundários presentes e no comportamento específico do solo (DOLUI *et al.*, 2016; FANG, 2019; MENUNIER E VELDE, 1979). A caulinita se constitui como o principal mineral secundário procedente da alteração em granitos, mas, a composição mineralógica específica de cada solo é variável em função dos fatores anteriormente citados.

Quimicamente, o ferro apresenta um papel muito importante no comportamento dos solos, principalmente devido a sua função cimentante (MAHALINGA-IYER E WILLIAMS, 1991; SAMAR *et al.*, 2022; SHUI-SHENG *et al.*, 2016), explicando a agregação e a microestrutura dos solos (ZHANG, 2022). Mais especificamente, Lade e Overton (1989) comprovaram que aumento do teor de cimento nos solos produz um aumento da coesão e da resistência à tração, bem como um aumento do ângulo de atrito em baixas pressões de confinamento.

Geologicamente, a área de estudo se encontra inserida na denominada Suíte Intrusiva Dona Inês, constituída de acordo com o CPRM (2016) por horblenda-biotita granitos leucocráticos de granulação média a fina. Trata-se de corpos plutônicos isolados que quando submetidos a processo de intemperismo resultam em perfis residuais com espessuras não superiores a 1 metro (XAVIER, 2021)

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da mineralogia presente em um perfil de alteração granítico no comportamento mecânico do mesmo, especificamente quanto ao cisalhamento direto.

## 2. Materiais e Métodos

O estudo foi realizado no solo de cobertura de afloramento de rochas graníticas. Trata-se de solos rasos como no máximo 1,5 metros de espessura (Figura 1).



Figura 1 – Afloramento de rochas graníticas com perfil de alteração. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Realizou-se a coleta de amostras deformadas e indeformadas (Figuras 2 e 3) em três pontos (P1, P2, P3) correspondentes a perfis de alteração de rochas graníticas, distantes 400 m entre si.

Para a caracterização mineralógica foi realizado o DRX nas frações de areia e finos (passante na peneira #200) nos três pontos estudados. Para a caracterização química foi realizado FRX da amostra de solo nos três pontos de coleta.

Os ensaios de caracterização geotécnica incluíram: análise granulométrica e limites de consistência. Por último, para o estudo do comportamento mecânico realizaram-se ensaios de cisalhamento direto (Figuras 4 e 5).



Figura 2 – Coleta (a) e preparo das amostras indeformadas (b, c, d). Fonte: Elaboradas pelos autores (2024).

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização seguiu o procedimento recomendado pela norma NBR 6457/2016. Os ensaios seguiram as normas conforme indicado a seguir:

a) Análise granulométrica: NBR 7181/2016

b) Limites de consistência: NBR 6459/2016 e NBR 7186/2016



Figura 3 – Preparo da caracterização química e mineralógica das amostras deformadas. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).



Ensaio de cisalhamento direto foram conduzidos na condição inundada de acordo com os procedimentos recomendados pela ASTM D3080-04. As amostras foram esculpidas a partir dos blocos indeformados e colocadas na caixa de cisalhamento. Em seguida, foi aplicada a tensão normal prevista para cada corpo de prova. Em cada amostra foram realizados ensaios com tensões normais de 50, 100 e 200 kPa.



Figura 4 – Preparo do corpo de prova do ensaio de cisalhamento direto (a); e obtenção da umidade do solo antes do ensaio (b, c, d). Fonte: Elaborada pelos autores (2024).



Figura 5 – Ensaio de Cisalhamento direto: imagens dos corpos de prova após o cisalhamento. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Caracterização química e mineralógica do solo

A Tabela 1 mostra os diferentes teores de elementos na forma de óxidos dos três pontos estudados. As Figuras 6 a 8 mostram a composição mineralógica dos três pontos estudados para duas frações: fração fina (passante na peneira #200) e fração arenosa.

Quimicamente, as amostras estudadas estão compostas fundamentalmente por silício, alumínio e ferro como elementos principais. Os três pontos estudados apresentam pouca incidência ou ausência de elementos mais moveis tais como Na, Ca, K e Mg. Este fato indica condições de boa lixiviação. Por outro lado, os pontos estudados apresentam variações nas proporções relativas de alguns elementos tais como ferro, zircônio e titânio. Estas variações nos pontos estudados se explicam pela distribuição irregular no corpo de rocha original dos minerais primários.

Tabela 1 – Composição química (FRX) dos pontos estudados

| Oxides (%)                     | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 40,257  | 34,409  | 36,581  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 34,939  | 31,849  | 31,257  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,133  | 28,942  | 28,066  |
| ZrO <sub>2</sub>               | 4,855   | 1,360   | 1,925   |
| TiO <sub>2</sub>               | 3,244   | 1,314   | 1,877   |
| SrO                            | 0,179   | 0,421   | 0,168   |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,130   | 0,058   | -       |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,108   | 0,075   | 0,082   |
| CuO                            | 0,101   | -       | -       |
| SO <sub>3</sub>                | 0,053   | 0,076   | -       |
| MgO                            | -       | 0,894   | -       |
| K <sub>2</sub> O               | -       | 0,602   | -       |
| CaO                            | -       | -       | 0,045   |
| TOTAL                          | 100     | 100     | 100     |

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Mineralogicamente, destaca-se o processo de monossilização, processo comum em perfis de alteração de rochas graníticas constituindo perfis relativamente superficiais (Fang et al, 2019), explicado pelas condições climáticas e de boa drenagem do local de estudo. Assim, as fases mineralógicas presentes nos difratogramas refletem a composição original da rocha mãe, quanto a minerais primários herdados como o quartzo e minerais acessórios como o rutilo e a magnetita; e minerais secundários produzidos pelos processos de alteração da rocha e lixiviação dos elementos móveis do solo (K, Na, Ca e Mg) como a caulinita – originada a partir da alteração de feldspatos: microclínios e plagioclásios – e óxi-hidróxidos de ferro, como goethita e hematita – originados a partir da alteração de minerais ferrosos ou ferromagnesianos como a magnetita e a hornblenda. Apesar de não identificável nos difratogramas, atribuiu-se o zircônio à incidência de zircão, comumente encontrado como mineral acessório em rochas ígneas, seja isoladamente, ou como inclusões em minerais como a hornblenda.

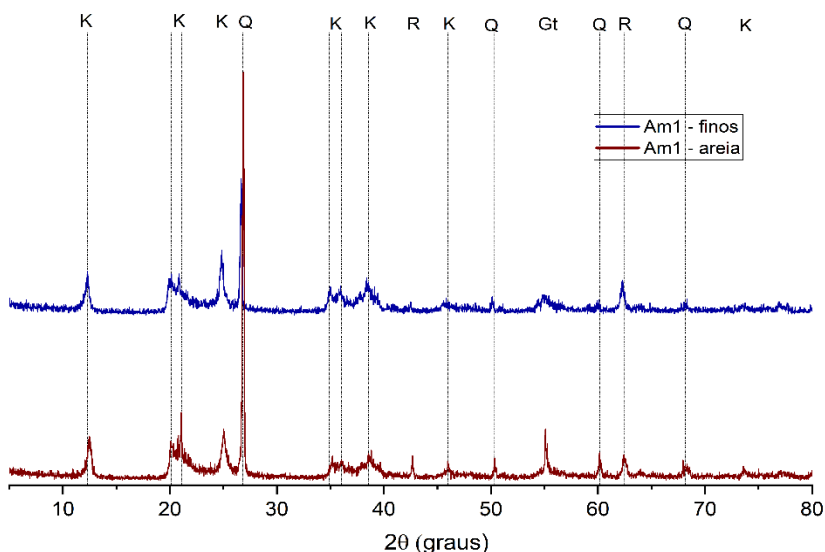


Figura 6 – Amostra 1 do DRX: finos e areia. Legenda: K=caulinita; Q=quartzo; R=rutilo; Gt=goethita. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

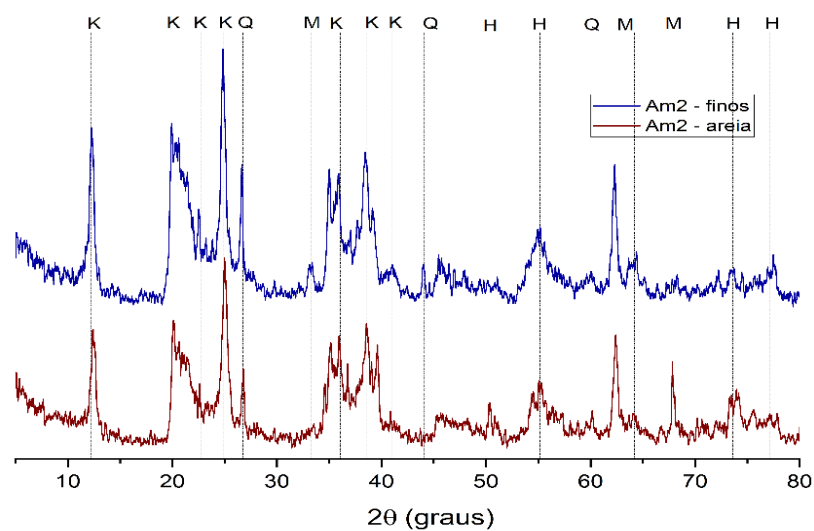


Figura 7 – Amostra 2 do DRX: finos e areia. Legenda: K=caulinita; Q=quartzo; R=rutilo; H=hematita; M=magnetita. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

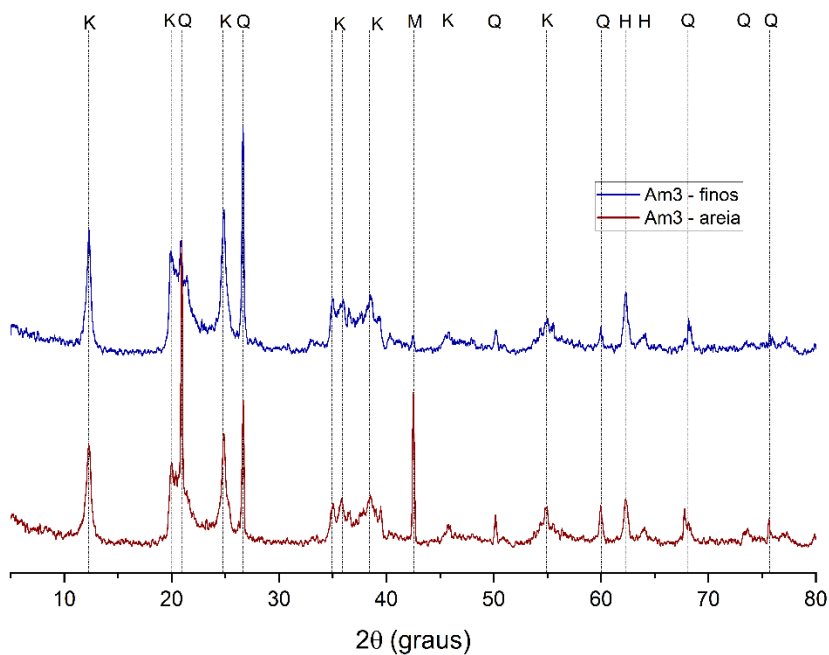


Figura 8 – Amostra 3 do DRX: finos e areia. Legenda: K = caulinita; Q = quartzo; H = hematita; M = magnetita.  
Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

3.2 Caracterização física

Os resultados dos ensaios de granulometria são mostrados nas Figuras 9 a 11, em termos de curvas granulométricas e na Tabela 2 onde são apresentadas as diversas frações que compõem os solos das amostras estudadas. As Tabelas 3 e 4 mostram, respectivamente, os índices de consistência e os valores da atividade das argilas e plasticidade dos solos estudados.

Tabela 2 – Frações granulométricas dos solos estudados.

| Amostra | Pedregulho (%) | Areia grossa (%) | Areia média (%) | Areia fina (%) | Silte (%) | Argila (%) |
|---------|----------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|------------|
| 01      | 14,25          | 14,43            | 12,93           | 23,79          | 8,56      | 26,04      |
| 02      | 2,72           | 8,43             | 7,26            | 13,46          | 8,04      | 60,09      |
| 03      | 10,35          | 6,96             | 11,35           | 25,91          | 7,49      | 37,94      |

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

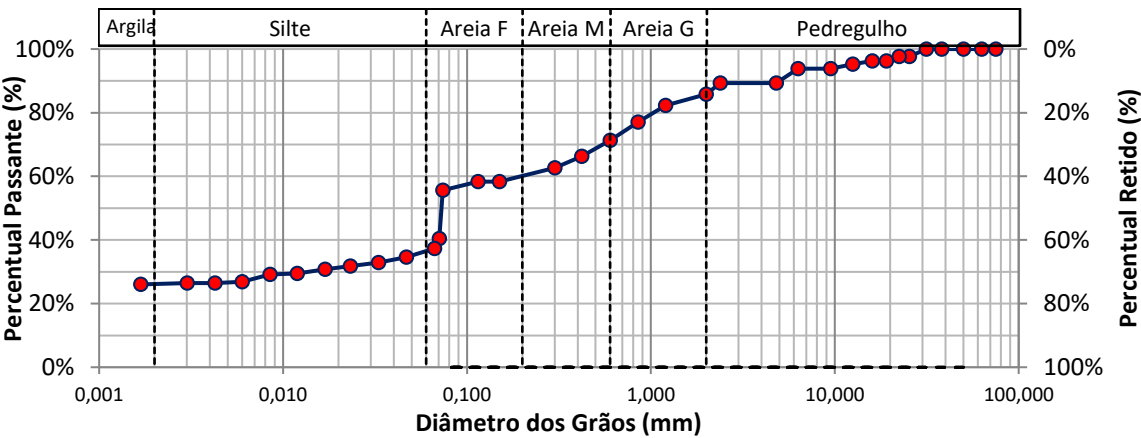


Figura 9 – Curva granulométrica da Amostra 1. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

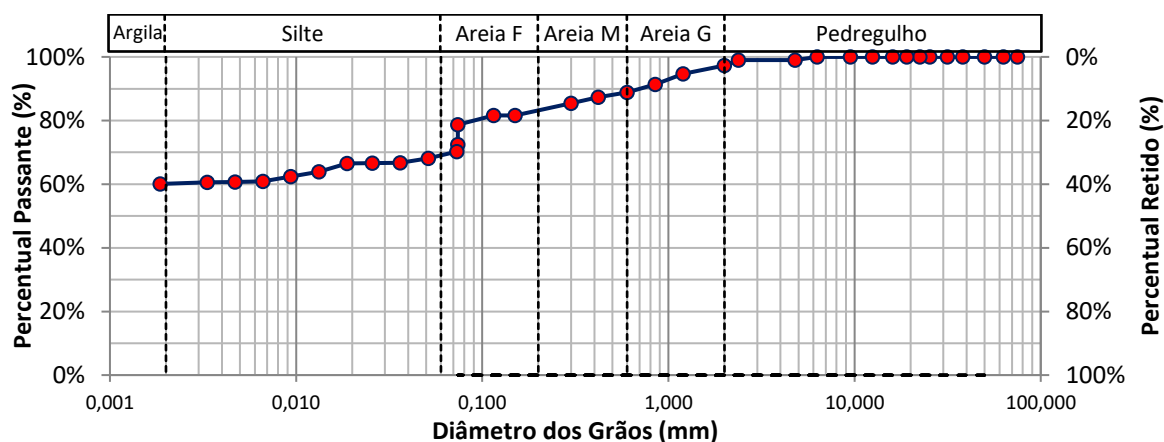


Figura 10 – Curva granulométrica da Amostra 2. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

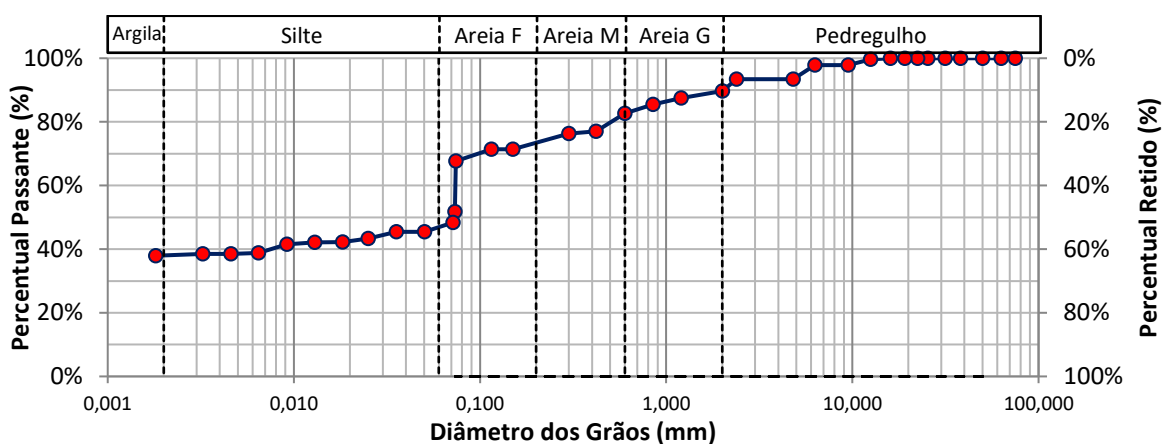


Figura 11 – Curva granulométrica da Amostra 3. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela 3 – Limites de consistência das amostras.

| Índices | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| LL (%)  | 38,5      | 51,5      | 43,9      |
| LP (%)  | 24,3      | 25,9      | 21,7      |
| IP (%)  | 14,2      | 25,6      | 22,2      |

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela 4 – Avaliação da plasticidade dos solos estudados.

| Amostras | IA   | Das e Sohan (2014) | Caputo (2017)          |
|----------|------|--------------------|------------------------|
| 1        | 0,55 | Plasticidade média | Medianamente plásticos |
| 2        | 0,43 | Plasticidade alta  | Altamente plásticos    |
| 3        | 0,59 | Plasticidade alta  | Altamente plásticos    |

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).



Os resultados sobre plasticidade e atividade das argilas são condizentes com a mineralogia do solo. Isto é, solos essencialmente cauliniticos, plásticos e com baixa atividade das argilas. A Tabela 5 mostra a classificação geotécnica das três amostras estudadas.

*Tabela 5 – Classificação geotécnica dos solos estudados.*

| Amostra | Classificação SUCS     | Classificação H.R.B     |
|---------|------------------------|-------------------------|
| 01      | CL – Sandy Lean Clay   | A-6 – Solos argilosos   |
| 02      | CH– Fat Clay with Sand | A-7-6 – Solos argilosos |
| 03      | CL – Sandy Lean Clay   | A-7-6 – Solos argilosos |

*Fonte: Elaborada pelos autores (2024).*

### 3.3 Caracterização mecânica e resistência ao cisalhamento

As Figuras 12 a 14 mostram o comportamento mecânico das amostras estudadas. A tabela 6 resume os valores do ensaio de cisalhamento direto obtidos.

Os dados do ensaio de cisalhamento direto da Amostra 1 originaram uma envoltória de ruptura de configuração curva, possível para condição de solos residuais, no qual o histórico de tensões não tem papel fundamental no seu comportamento, com a cimentação adquirindo essa função. Utilizando-se a regressão linear para a obtenção de uma envoltória retilínea, o índice  $R^2$  foi de apenas 0,794, o que indica uma baixa representatividade do real comportamento do material estudado. Desenhando a envoltória à mão, consegue-se obter um intercepto coesivo de aproximadamente 19 kPa, condizente com a porcentagem menor da fração argila. Para as tensões confinantes de 50 kPa e 100 kPa, os corpos de provas tiveram uma compressão e posteriormente uma expansão, apresentando um comportamento de solo sobre adensado. Já para a tensão de 200 kPa, visto que somente houve compressão da amostra, o material apresentou um comportamento de solo normalmente adensado. Para as amostras 2 e 3, foi possível obter uma envoltória de ruptura linear com um bom ajuste ( $R^2 = 0,9987$  e  $R^2 = 0,9973$ , respectivamente). No caso da Amostra 2, sendo o material mais plástico e com maior porcentagem de fração argila, o parâmetro de ângulo de atrito e intercepto coesivo foi inferior ao da Amostra 3. Pelas equações obtidas das retas das envoltórias, a Amostra 3 apresenta uma maior resistência ao cisalhamento do que a Amostra 2. Em relação à variação volumétrica, a Amostra 2 apresentou compressão para as três tensões estudadas, demonstrando um comportamento de solo normalmente adensado. Já a Amostra 3 apresentou expansão para a tensão confinante de 50 kPa, tendo um comportamento de solo sobre adensado, e compressão para as tensões de 100 kPa e 200 kPa, típico de solo normalmente adensado.

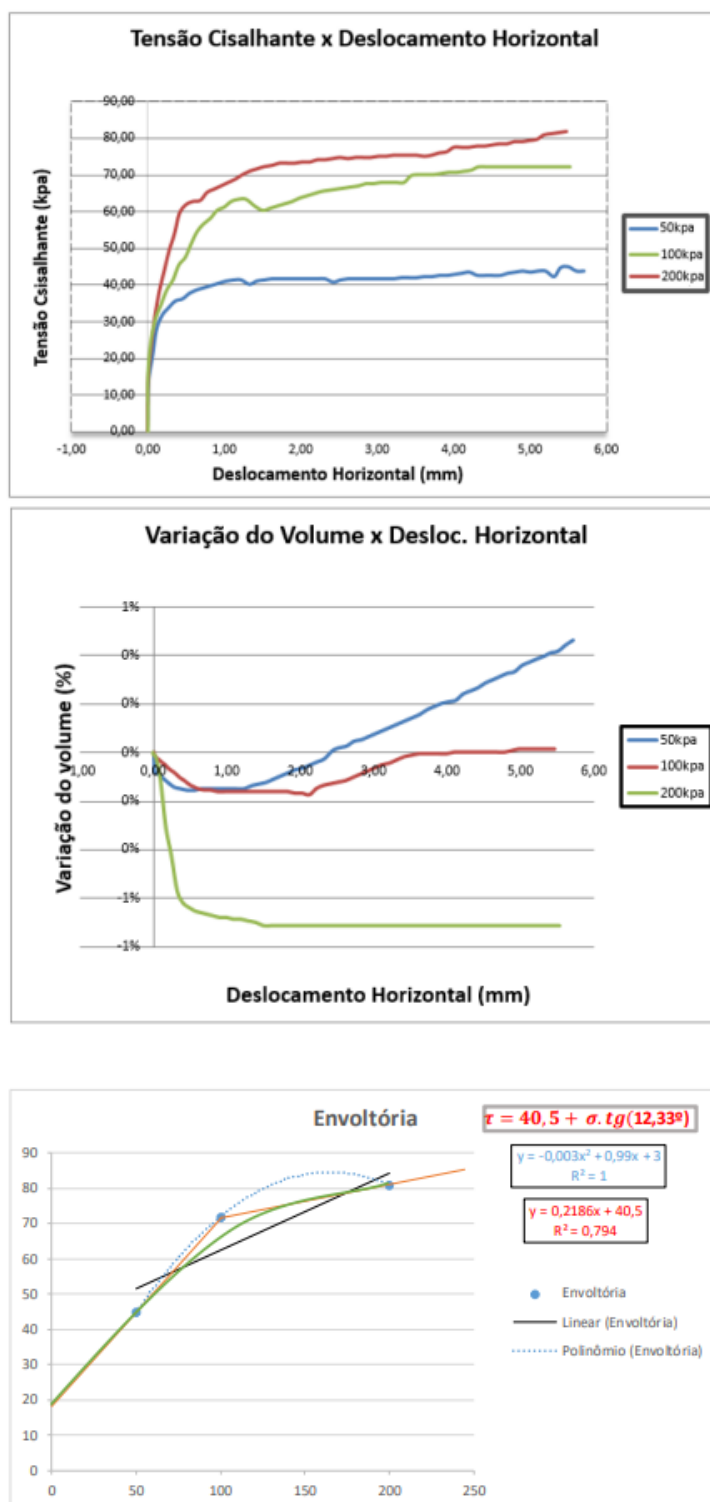


Figura 12 – Resultados do ensaio de cisalhamento direto da Amostra 1. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

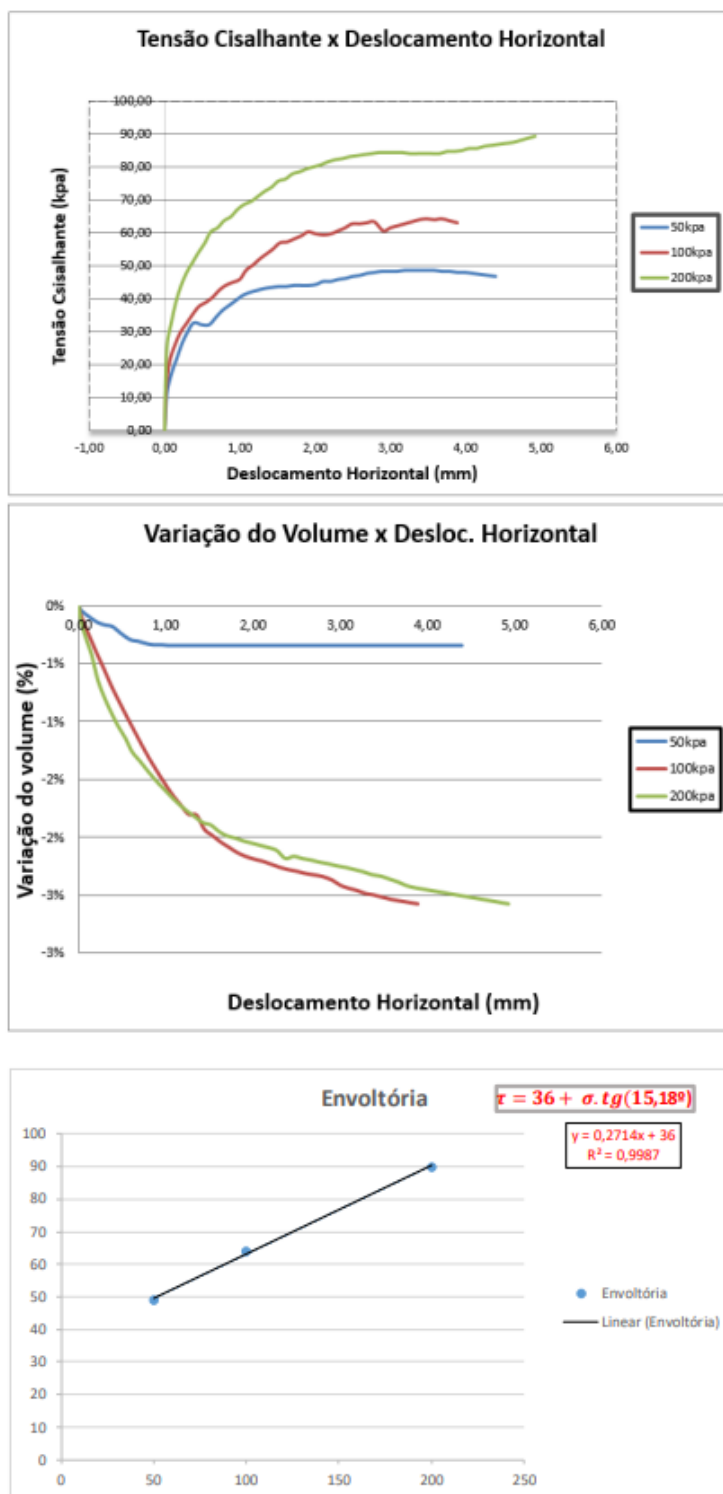
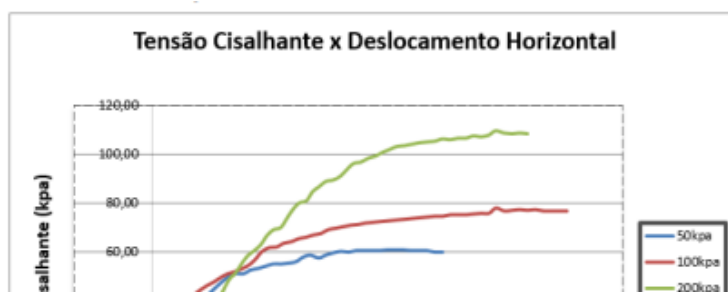


Figura 13 – Resultados do ensaio de cisalhamento direto da Amostra 2. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).



*Figura 14. Resultados do ensaio de cisalhamento direto da Amostra 3. Fonte: Elaborada pelos autores (2024).  
Tabela 6 – Valores do ensaio de cisalhamento direto.*

| <b>Amostra 1</b> |              |              |
|------------------|--------------|--------------|
| Confinante       | Cisalhamento | T envoltória |
| 50               | 45           | 51,43        |
| 100              | 72           | 62,36        |
| 200              | 81           | 84,22        |
| <b>Amostra 2</b> |              |              |
| Confinante       | Cisalhamento | T envoltória |
| 50               | 49           | 49,57        |
| 100              | 64           | 63,13        |
| 200              | 90           | 90,26        |
| <b>Amostra 3</b> |              |              |
| Confinante       | Cisalhamento | T envoltória |
| 50               | 60           | 61,00        |
| 100              | 79           | 77,49        |
| 200              | 110          | 110,49       |

*Fonte: Elaborada pelos autores (2024).*

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto são condizentes como o esperado para solos residuais maduros, nos quais o histórico de tensões não tem papel fundamental no seu comportamento, sendo essa função exercida pela cimentação. Nesse sentido, o comportamento mecânico do solo estudado se explica essencialmente através da sua estrutura, mais especificamente pela presença de agregados argilosos (KUHN *et al.*, 2022), sendo revestidos por compostos de ferro, constituindo típica configuração para solos residuais (GIDIGASU, 1976).

Assim, os minerais de ferro identificados no solo estudado: goethita, hematita e magnetita se enquadram dentro do grupo conhecido como FIO (*Free Iron Oxides*) cujo papel cimentante em solos residuais tem sido comprovado (MAHALINGA-IYER E WILLIAMS, 1990; ZHANG *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2022).

O comportamento mecânico da Amostra 1 pode ser explicado devido à presença exclusiva de goethita como óxido de ferro e ao menor teor de argila, comparando com as Amostras 2 e 3. Este comportamento se deve a uma diferença nas condições ambientais, já que a presença de goethita justifica uma maior umidade relativa dos solos. Neste sentido, de acordo com Gidigasú (1972) a desidratação no processo de intemperismo tem influência no comportamento geotécnico do solo, resultando na formação de agregados maiores que podem melhorar a resistência mecânica do solo.

#### 4. Considerações finais

Os estudos realizados corroboraram a influência da mineralogia no comportamento de solos residuais. O perfil de alteração superficial granítico aparece constituído por um material quartzoso com matriz de granulometria silto-argilosa de natureza caulinítica e presença variável de ferro indicando condições de boa lixiviação que favorecem os processos químicos intempéricos. Neste sentido, as variações composicionais, químicas e mineralógicas dos três pontos estudados podem ser explicadas a partir da distribuição irregular dos minerais primários no corpo rochoso original, principalmente magnetita e hornblenda, mostrando uma variação espacial composicional do maciço rochoso. No caso específico dos minerais de ferro, variações locais quanto à capacidade de drenagem do solo e ao grau de intemperismo do mesmo explicam a presença de óxidos e hidróxidos de ferro secundários, como goethita e hematita originados a partir de minerais primários-magnetita e a hornblenda. Cabe salientar que, a composição mineralógica, a estrutura do solo e o papel cimentante dos FIO (goethita, hematita e magnetita) se configuram como os principais fatores causadores do comportamento mecânico dos solos estudados. Assim, a presença de óxidos de ferro melhora a resistência mecânica do solo em relação à presença de hidróxidos de ferro. Por último, é importante destacar que, no caso de solos residuais maduros, a cimentação e não o histórico de tensões tem papel fundamental no seu comportamento mecânico.



## Referências

- ALBUQUERQUE XAVIER, R. Processos geomorfológicos e evolução da paisagem no semiárido brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 7, nº 1, pp. 59–69, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID20692>. Acesso em: 14/02/2025.
- ASTM D3080-04. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions, 2012.
- FONSECA, A. V. da; CARVALHO, J.; FERREIRA, C.; SANTOS, J. A.; ALMEIDA, F.; PEREIRA, E.; FELICIANO, J.; GRADE, J.; OLIVEIRA, A. Characterization of a profile of residual soil from granite combining geological, geophysical and mechanical testing techniques. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 24, pp. 1307-1348, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10706-005-2023-z>. Acesso em: 14/02/2025.
- DANG, J.; ZHOU, Y.; RYBACKI, E.; HE, C.; DRESEN, G. An experimental study on the brittle–plastic transition during deformation of granite. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 139, pp. 30-39, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.08.023>. Acesso em: 14/02/2025.
- DOLUI, G.; CHATTERJEE, S.; CHATTERJEE, N. D. Geophysical and geochemical alteration of rocks in granitic profiles during intense weathering in southern Purulia district, West Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 2, nº 132, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0188-5>. Acesso em: 14/02/2025.
- FAN, S. S.; CHANG, F. H.; HSUEH, H. T.; KO, T. H. Measurement of Total Free Iron in Soils by H<sub>2</sub>S Chemisorption and Comparison with the Citrate Bicarbonate Dithionite Method. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/7213542>. Acesso em: 14/02/2025.
- FANG, Q.; HONG, H.; FURNES, H.; CHOROVER, J.; LUO, Q.; ZHAO, L.; ALGEO, T.J. Surficial weathering of kaolin regolith in a subtropical climate: Implications for supergene pedogenesis and bedrock argillization. *Geoderma*, v. 337, pp. 225-237, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.020>. Acesso em: 14/02/2025.
- HASSAN, S. A.; SHITOTE, S. M.; THUO, J. N. Investigation of the Impact of Tropical Red Clay Soils' Mineralogical Composition on their Physical and Mechanical Properties – a Case Study Ruaka – Kenya. *The Open Civil Engineering Journal*, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2174/18741495-v16-e2209260>. Acesso em: 14/02/2025.
- KÜHN, V.; LOPES, B. C. F. L.; CAICEDO, B.; CORDÃO-NETO, M.P. Mechanical behaviour of bimodal kaolin clay with aggregates. *Engineering Geology*, v. 297, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106490>. Acesso em: 14/02/2025.
- LADE, P. V.; OVERTON, D. D. Cementation effects in frictional materials. *Journal of Geotechnical Engineering*, v.115, nº 10, pp. 1373-1387, 1989. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1989\)115:10\(1373\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1989)115:10(1373)). Acesso em: 14/02/2025.
- MAHALINGA-IYER, U.; WILLIAMS, D. J. Engineering properties of a lateritic soil profile. *Engineering Geology*, v. 31, nº 1, pp. 45-58, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(91\)90056-Q](https://doi.org/10.1016/0013-7952(91)90056-Q). Acesso em: 14/02/2025.
- MEUNIER, A.; VELDE, B. Weathering mineral facies in altered granites: The importance of local small-scale equilibria. *Mineralogical Magazine*, v. 43, nº 326, pp. 261 – 268, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1180/minmag.1979.043.326.08>. Acesso em: 14/02/2025.
- DOLUI, G.; CHATTERJEE, S.; CHATTERJEE, N. D. Geophysical and geochemical alteration of rocks in granitic profiles during intense weathering in southern Purulia district, West Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, v 2, 132, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0188-5>. Acesso em: 14/02/2025.

- 
- WANG, Z.; YAO, J.; TIAN, N.; ZHENG, J.; GAO, P. Mechanical Behavior and Damage Evolution for Granite Subjected to Cyclic Loading. *Advances in Materials Science and Engineering*, v 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/4312494>. Acesso em: 14/02/2025.
- XUE, B.; HUANG, L.; HUANG, Y.; YIN, Z.; LI, X.; LU, J. Effects of organic carbon and iron oxides on soil aggregate stability under different tillage systems in a rice–rape cropping system. *CATENA*, v. 177, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.01.035>. Acesso em: 14/02/2025.
- SUN, Y. L.; MA, S. T.; KUANG, Y. W.; XIE, J. B. Effect of mineral compositions on mechanical properties of granite residual soil. *Case Studies in Construction Materials*, v. 18, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02140>. Acesso em: 14/02/2025.
- ZHANG, X.; LIU, X.; KONG, L.; CHEN, C. Role of free iron oxides in the physicochemical and mechanical properties of natural clay. *Engineering Geology*, v. 303, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106665>. Acesso em 14/02/2025.
- ZHANG, X.; LIU, X.; CHENG, C.; KONG, L.; WANG, G. Engineering geology of residual soil derived from mudstone in Zimbabwe. *Engineering Geology*, v. 227, 2020. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105785>. Acesso em: 14/02/2025.