



SOLOS DESENVOLVIDOS A PARTIR DE GRANITÓIDES: comparação entre áreas de clima semiárido e subtropical

José Antonio Lemos Veronesi ¹
Diego Fernandes Terra Machado ²
Mayra Mac Alpine ³
Emily Suelen dos Santos ⁴
Francisco Sergio Bernardes Ladeira ⁵

RESUMO

O material de origem e o clima são fatores determinantes na gênese de perfis de alteração e solos, imprimindo características próprias aos regolitos. Neste trabalho, realizou-se uma análise comparativa entre perfis de solo desenvolvidos a partir rochas granitóides, sob diferentes condições climáticas: o semiárido e o subtropical brasileiros. Para isso, foram selecionados estudos conduzidos em ambos os contextos climáticos, resultando 18 perfis, totalizando 87 horizontes analisados, cujos resultados foram comparados com base em descrições morfológicas, análises físicas e químicas dos perfis. Foi observado uma maior tendência de formação de sequências de horizontes A-C na região semiárida, porém ainda com presença de horizontes Bt em alguns casos, já no subtropical foi visto uma maior variedade de horizontes e diferenciação entre eles. Quanto à expressão da coloração dos horizontes, há uma tendência de cores mais vermelhas na região subtropical, em virtude da presença dos óxidos de ferro, em contrapartida vemos cores mais amareladas e claras na região semiárida, causada pela presença de materiais claros, como quartzo e feldspatos. As texturas também se diferem entre as regiões, a maior parte dos horizontes do semiárido contam com texturas arenosas, diferentemente dos horizontes no subtropical, que apresentam relativamente, maior presença de argila e consequentemente texturas mais francas/argilosas. Do ponto de vista químico, observou-se uma maior influência das condições climáticas. Na região subtropical, os solos apresentam pH mais baixo e menor concentração de bases, resultando em valores reduzidos de saturação por bases (V%), como consequência de processos mais intensos de lixiviação e intemperismo químico. Por outro lado, na região semiárida, a menor intensidade desses processos favorece a retenção de bases, refletindo-se em pH mais elevado e maiores valores de V%. Com isso foi observado que, apesar de um material de origem similar, o fator clima ocasionou uma grande diferenciação, tanto nas análises morfológicas quanto físicas e químicas, entre os perfis de solo formados.

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, joseleamosveronesi@gmail.com;

² Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, diegoftmachado@gmail.com;

³ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, mayralpine@gmail.com;

⁴ Graduanda do Curso de Geologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, e260286@dac.unicamp.br;

⁵ Professor Orientador: Professor Associado do Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, ladeira@unicamp.com.



INTRODUÇÃO

O material de origem e o clima são fatores determinantes na gênese de perfis de alteração e solos, imprimindo características próprias aos regolitos, o que torna imprescindível considerá-los ao comparar solos formados em distintos contextos (Lepsch, 2011; Oliveira, 2005). Sendo assim, é necessário entender como um mesmo material de origem pode influenciar a formação de perfis de solo em diferentes tipos climáticos, gerando semelhanças ou não entre esses perfis.

Sabendo da importância de compreender a influência de ambos fatores de formação para a pedogênese de um perfil de solo, este estudo busca adentrar na lacuna da comparação entre perfis sobre um mesmo substrato, porém em diferentes tipos climáticos.

Estudos sobre as cores do solo e processos que a influenciam, como os de Sirisathitkul e Sirisathitkul (2025), Moristsuka *et al.*, (2019), Schulze *et al.*, (1993) e Schwertmann (1993) foram utilizados para entender as diferenças de cores encontradas nos perfis analisados. Oliveira (2005), Lepsch (2011) e White (2009) serviram de bases para as discussões acerca dos processos de alteração e intemperismo envolvendo os perfis e como as diferenças climáticas agiram sobre os materiais, ocasionando distinções entre os solos desenvolvidos em tipos climáticos diferentes.

Tomando por base rochas granitóides como material de origem, foram selecionadas áreas em dois tipos climáticos diferentes, o semiárido e o subtropical brasileiros. Nestes contextos, diversos estudos foram realizados e perfis de solo foram analisados e comparados, embora restritos a um único domínio climático por vez (Alpine, 2025, dados não publicados; Medeiros *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2010). Sendo assim, este trabalho propõe uma análise comparativa entre os resultados destes estudos, comparando os 18 perfis estudados, com objetivos de entender se há uma relação de zonalidade ou não dos perfis desenvolvidos a partir de rochas granitóides nas referidas condições, apoiado na comparação de atributos morfológicos e físico-químicos dos solos, com base em dados disponíveis na literatura.

METODOLOGIA



O trabalho foi desenvolvido a partir de uma análise comparativa entre os perfis de solo derivados de rochas granitóides, sob contextos climáticos distintos - semiárido e subtropical - no Brasil. Para isso foi feita análise de características morfológicas, físicas e químicas dos horizontes dos perfis, onde buscou relacioná-las aos fatores formadores dos solos, com o objetivo de identificar padrões associados às diferentes zonas climáticas.

Foram selecionados estudos já realizados nas regiões subtropical (Alpine, 2025, dados não publicados; Medeiros *et al.*, 2013;) e semiárida (Oliveira *et al.*, 2003; Santos *et al.* 2012; Santos *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2010), cujos resultados foram comparados, com o objetivo de compreender as possíveis relações entre os solos, o material de origem e o clima. A escolha desses trabalhos considerou, além do foco em solos derivados de granitóides sob diferentes condições climáticas, a disponibilidade de dados consistentes — morfológicos, físicos e químicos — que permitissem uma comparação adequada entre os perfis estudados.

Em um primeiro momento foram comparadas as características morfológicas, como as cores, além da horizonização dos perfis, para entender suas morfologias. Em seguida foram comparadas as características físicas, como granulometria, que foi utilizada para compreensão das texturas, para interpretação das cores dos horizontes e a relação da textura com o material de origem. Por fim, foram analisados dados químicos dos perfis, como o pH, o V% e carbono orgânico, dados fundamentais para entendimento da relação climática no solo, que influencia seu desenvolvimento. Após isto foi realizada uma síntese da análise dos dados, relacionando o clima e o material de origem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sequência dos horizontes

Os perfis analisados tendem a apresentar desde uma horizonização (Hartemink *et al.*, 2020) de sequências A-C (Neossolos) até perfis com maior grau de desenvolvimento, com horizontes Bt. No clima mais seco, são mais recorrentes perfis com sequência A-C, mas há alguns casos onde há maior diferenciação dos horizontes e concentração de argila, com presenças de Bt, como os perfis descritos por Oliveira *et al.* (2003), Santos *et al.* (2017) e Souza *et al.* (2010). Para o clima mais úmido houve uma

maior ocorrência de solos com maior grau de desenvolvimento, evidenciado pela presença de horizontes Bt e Bi, com menor ocorrência de Neossolos.

Granulometria

Embora ambas as condições apresentem tendência a texturas médias a arenosas, com amplitudes relativamente semelhantes, os solos do domínio subtropical exibem teores de argila relativamente mais elevados, variando entre 9,0 e 57 %, com média de 25%. Já nos solos de clima semiárido, os valores de argila são mais baixos, oscilando entre 3,4 e 53,1%, com média de 15,9%. Em contrapartida, os teores de areia apresentam comportamento inverso, sendo mais elevados nos solos semiáridos, com média de 66,9% (variação de 28,2 a 90,2%), enquanto nos solos subtropicais a média é de 54% (variação de 29,8 a 74,5%). Distribuição granulométrica da fração terra fina (<2 mm) para os horizontes dos perfis de solo analisados são apresentadas na figura 1.

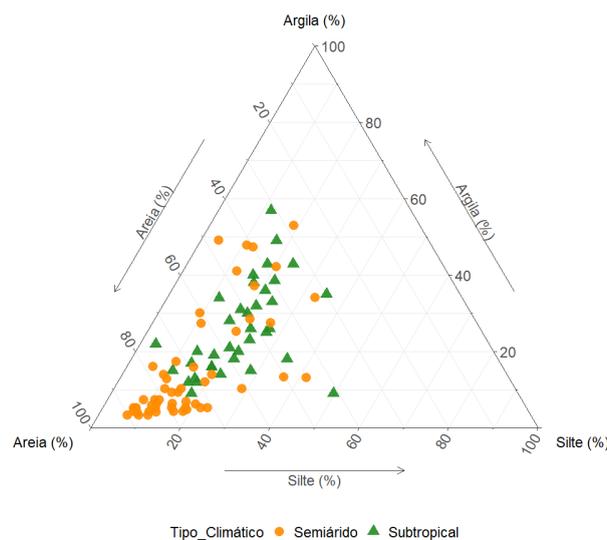


Figura 1: Distribuição granulométrica da fração terra fina dos horizontes.

A textura dos perfis influencia não apenas a coloração, mas também revela aspectos dos processos formadores dos solos em cada região. No clima subtropical, a maior disponibilidade de umidade favorece o intemperismo químico e a formação de argila (Oliveira, 2005; White, 2009). Já no semiárido, predominam as frações arenosas, reflexo da menor intensidade desses processos (Figura 1).

Carbono Orgânico

Os horizontes A do ambiente subtropical apresentaram valores significativamente mais altos de CO (≈ 11 g/kg) em relação ao semiárido ($\approx 7,7$ g/kg),



refletindo maior acúmulo de matéria orgânica em clima mais úmido. Nos horizontes B, essa diferença é ainda mais marcada: média de 6,3 g/kg no subtropical contra apenas 3,5 g/kg no semiárido. Com diversos perfis tratam-se de solos pouco desenvolvidos com contatos A-C, também avaliou-se as variações nesses. Nos horizontes mais profundos (C), as concentrações de CO foram baixas em ambos os ambientes, com média de 4,0 g/kg no subtropical e 2,1 g/kg no semiárido.

Cor do solo

Ao analisar as características morfológicas dos 87 horizontes avaliados, observa-se semelhanças nas cores dos perfis, tanto em regiões de clima semiárido quanto subtropical. As tonalidades predominantes são aquelas de matizes mais amareladas (10YR e 7.5YR), embora ocorram, em menor frequência, cores mais avermelhadas (5YR e 2.5YR). A figura 2 apresenta uma síntese da variação de cores observadas nos perfis analisados.

Para ambas as condições climáticas, os horizontes A apresentam cores escuras e brunadas, com valores entre 3 e 4 e cromas baixos (2 a 3) causadas pelo acúmulo de matéria orgânica nestes horizontes superficiais, tanto no subtropical quanto no semiárido. Mesmo em casos de horizontes com maior presença de areia, a coloração escura prevalece em virtude da, mesma que pouca, matéria orgânica presente.

Estudos como os de Sirisathitkul e Sirisathitkul (2025) e Schulze *et al.* (1993) mostram como a influência da matéria orgânica age sobre os horizontes e os colore. Moritsuka *et al.* (2019) expõe como os perfis tendem a ficar mais escuros com mínima presença de matéria orgânica, e em casos como os de perfis mais arenosos, onde há uma maior presença de minerais claros, como quartzo, uma pequena quantidade de matéria orgânica é capaz de escurecer os horizontes, como acontece nos horizontes superficiais dos perfis do semiárido. Oliveira (2005) relata a influência das texturas na coloração dos solos, onde solos mais arenosos tendem a precisar de uma menor quantidade de pigmento - óxidos ou matéria orgânica - para influenciar a cor dos horizontes.

Nos horizontes B, observa-se uma diferenciação entre os contextos climáticos: nas áreas subtropicais, os solos tendem a apresentar valores em torno de 3 e cromas entre 2 e 6, com predominância de cromas mais baixos, indicando cores menos saturadas e mais escuras. Já nas regiões semiáridas, os horizontes B apresentam valores

mais elevados (5 e 6) e cromas entre 2 e 8, com destaque para os mais saturados (6 e 8), revelando tonalidades mais claras.

Por fim, os horizontes C evidenciam maiores contrastes entre os ambientes. Em regiões semiáridas, prevalece o matiz 10YR, com valores mais elevados (6 a 7) e cromas menos saturados (2 a 3). Nos ambientes subtropicais, observa-se maior variabilidade, com ocorrência mais frequente de matizes avermelhados (2.5YR e 5YR), valores mais baixos (4 a 5) e cromas mais altos (6 a 8), o que denota cores mais intensas e saturadas.

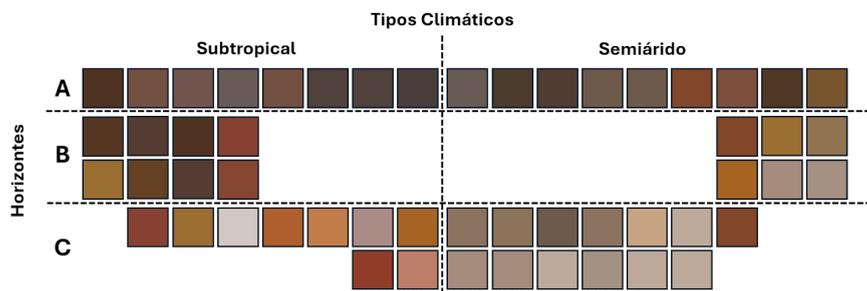


Figura 2: Distribuição das cores dos horizontes e perfis analisados.

A relação entre a presença de cores mais avermelhadas e saturadas nos perfis do clima subtropical e as cores mais amareladas e pálidas dos horizontes do semiárido é descrita por Sirisathitkul e Sirisathitkul (2025) e Schwertmann (1993), onde cores mais avermelhadas nos perfis estão ligadas à abundância de óxidos de ferro nos horizontes, assim como sua relação com a granulometria, visto que a presença destes óxidos é relacionada à fração argila, tanto seu teor, quanto seu tipo. Ou seja, em casos como os do subtropical, onde há horizontes mais argilosos, vemos uma coloração com tendência mais avermelhada (Figura 2), já no clima semiárido, onde há uma maior presença da fração areia, composta por minerais mais claros (e talvez menos oxidados) há a formação de cores mais amareladas e pálidas como exemplificadas na Figura 2.

Análise de parâmetros químicos: pH e saturação por bases (V%)

Os solos sob clima subtropical apresentam pH variando de 4,2 a 5,5, com média de 4,94, o que caracteriza uma acidez moderada a elevada. A baixa variabilidade entre os valores (desvio padrão de 0,32) indica relativa homogeneidade ao longo dos perfis. Já os solos sob clima semiárido exibem maior amplitude de variação, com pH entre 4,4 e 7,0 e média de 5,53, revelando desde condições levemente ácidas até próximas da

neutralidade ou levemente alcalinas, especialmente em horizontes profundos. O desvio padrão mais alto (0,59) evidencia maior heterogeneidade, possivelmente associada à presença de materiais de origem menos alterados. Nota-se, ainda, uma tendência de aumento de pH com a profundidade em alguns perfis, o que sugere processos de lixiviação menos intensos. A Figura 3 apresenta a variação dos valores de pH para os horizontes dos perfis analisados.

O clima tende a gerar uma diferença nos processos químicos dos solos (Lepsch, 2011; Oliveira, 2005), o que ocasiona diferenças no pH dos perfis, visto que na região subtropical os processos de alteração e intemperismo agem de forma mais ativa, ocasionando um pH mais ácido. Já no clima semiárido é visto um pH maior, em relação ao subtropical, em alguns casos chegando perto da neutralidade, causado pelo processos de alteração menos intensos.

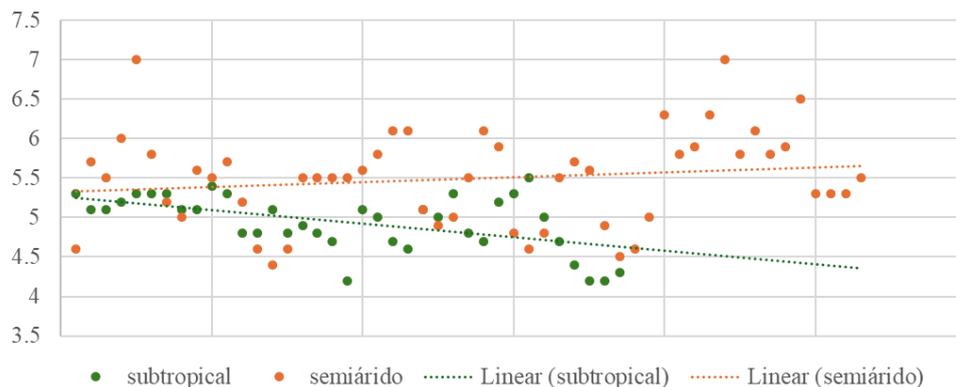


Figura 3: Variações do pH dos horizontes de solo.

Nos solos sob clima subtropical, os valores de V% tendem a ser mais baixos e apresentar maior variação ao longo dos horizontes. O horizonte A apresenta valores predominantemente baixos (\bar{x} 32%), indicando condições de maior lixiviação e perda de bases, típicas de ambientes mais úmidos. Embora ocorra um leve aumento da saturação nos horizontes B e C (\bar{x} 34 e 44% respectivamente), os valores ainda se mantêm relativamente reduzidos e com ampla dispersão, o que sugere variações locais nos processos de formação e nas características do material de origem (Figura 4).

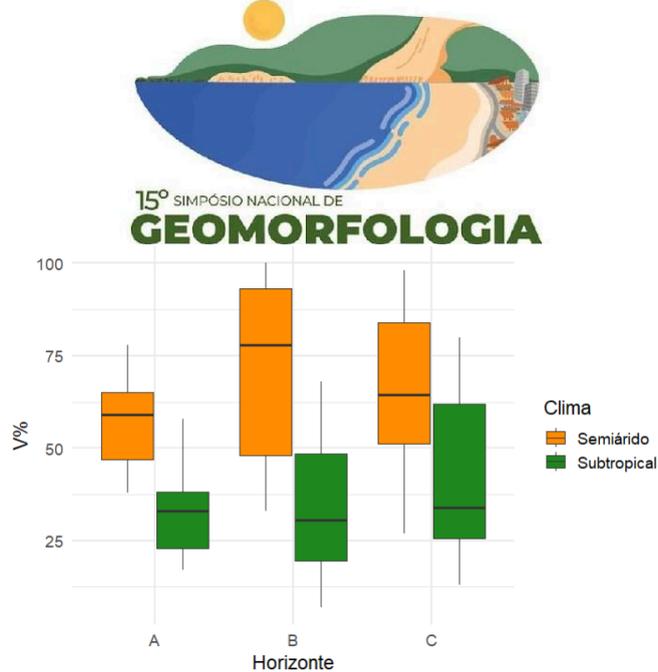


Figura 4: Variação do V% por horizontes nos 2 climas.

Em contraste, nos solos do semiárido, os valores de V% são consistentemente mais altos em todos os horizontes, com destaque para os horizontes B e C, onde predominam valores acima de 50% (\bar{x} 71 e 65% respectivamente). Essa condição reflete o menor grau de intemperismo químico e a baixa lixiviação, característica de climas secos, favorecendo a retenção de cátions nas posições de troca. O elevado V% nos horizontes mais profundos também sugere uma limitada mobilidade vertical de nutrientes, reforçando o caráter conservativo desses perfis.

A análise do V% demonstra como a diferença climática e dos processos intempéricos agem, uma vez que o V% tende a ser superior no clima semiárido. Isto é consequência dos processos citados anteriormente, menos intensos nessa região semiárida, em relação com a região subtropical, dado que as bases são diretamente afetadas e alteradas pela circulação de água no perfil (White, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou entender como os diferentes perfis de solo, desenvolvidos em rochas granitóides em diferentes contextos climáticos (semiárido e subtropical), apresentam ou não pontos em comuns, tanto em relação às suas características morfológicas quanto físicas e químicas.

Observou-se uma relação de zonalidade e azonalidade entre os perfis das duas regiões climáticas, ponto fundamental da comparação. A relação de zonalidade está nas zonas climáticas onde os perfis se encontram, explicitada a partir das análises químicas dos perfis, onde fatores como pH, teores das bases e V% foram afetados pelo clima e



pelos processos de alteração que agem sobre os solos. Na região subtropical, onde há uma maior influência da umidade, o pH é mais ácido e apresenta um menor V%, em virtude dos processos de lixiviação. Já no clima semiárido é notado um pH mais elevado e um maior V%, ocasionados pela menor ação climática/intempérica nos perfis.

A relação de azonalidade é entendida com a observação do material de origem e os comportamentos das granulometrias dos horizontes. Apesar de diferenças texturais notadas entre os perfis, há uma proximidade muito maior entre os resultados, onde as texturas tendem a ser mais francas no clima subtropical, não muito diferente das texturas franco-arenosas encontradas nos perfis semiáridos. É compreendido que essa desigualdade se dá pela diferença climática e dos processos de alteração, porém ainda há influência do material de origem para as texturas dos horizontes.

Palavras-chave: Material de origem, Regolito, Morfologia, Intemperismo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do Projeto de Iniciação Científica 2024/10042-7.

REFERÊNCIAS

- HARTEMINK, A.E.; ZHANG, Y.; BOCKHEIM, J.G.; CURI, N.; SILVA, S.H.G.; GRAUER-GRAY, J; LOWE, D.J.; KRASILNIKOV., P. Soil horizon variation: A review. In: Donald L. Sparks (ed.), *Advances in Agronomy*. **Academic Press**, v. 160, 2020, p. 125-185, ISSN 0065-2113, ISBN 9780128207635, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.003>. Acesso em: 02 jul. 2025
- LEPSCH, Igo F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2011.
- MEDEIROS, P. S. C. DE; NASCIMENTO, P. C. DO; INDA, A. V.; DA SILVA, D. S. Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v.43, n.7, jul, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000700011>. Acesso em: 15 mar. 2025
- MORITSUKA, N., MATSUOKA, K., KATSURA, K., YANAI, J. Farm-scale variations in soil color as influenced by organic matter and iron oxides in Japanese paddy fields. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 65, n.º2, p. 166–175, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1583542>. Acesso em: 25 jun. 2025.
- OLIVEIRA, J. B. Pedologia Aplicada. **Fealq**, 2005.



- OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; JACOMINE P. K. T. Classificação de solos planossólicos do Sertão do Araripe (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 685–693, jul. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400013>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- SCHULZE, D.G.; NAGAL, J.L.; VAN SCOYOC, G.E.; HENDERSON, T.L.; BAUMGARDNER, M.F., STOTT, D.E. Significance of organic matter in determining soil colors. *In: Soil Color*, Bigham, J.M.; Ciolkosz, E.J. (ed.), p. 71–90, 1993. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaspecpub31.c5>.
- SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. *In: Soil Color*, Bigham, J.M.; Ciolkosz, E.J. (ed.) Spec. Publ. 31, p. 51–70, 1993. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaspecpub31.c4>.
- SANTOS, J. C. B. DOS; SOUZA JÚNIOR, V. S. DE; CORRÊA, M. M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M. DA C. DE; BORGES, L. E. P. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 683–696, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300001>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- SANTOS, J. C. B. DOS; LE PERA, E.; SOUZA JÚNIOR, V. S. DE; CORRÊA, M. M.; AZEVEDO, A. C. DE. Gneiss saprolite weathering and soil genesis along an east-west regolith sequence (NE Brazil). **Catena**, v. 150, p. 279-290, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.031>. Acesso em: 16 dez. 2024.
- SANTOS, J. C. B. DOS; OLIVEIRA, C. S. DE; LE PERA, E.; SARTOR, L. R.; CORRÊA, M. M.; SILVA, A. H. N. DA; MÜLLER, C. R.; SANTOS, R. A.; AZEVEDO, A. C. DE. Saprolithology applied to pedology: integrated study of soil and saprolite derived from crystalline rocks to better understand properties of whole regoliths along a climate gradient (NE Brazil). **Geoderma**, v. 409, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115602>.
- SIRISATHITKUL, Y.; SIRISATHITKUL, C. Decoding Soil Color: Origins, Influences, and Methods of Analysis. **AgriEngineering**, v. 7, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030058>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- SOUZA, R. V. C. C. DE; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ALMEIDA, M. DA C. DE; CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SCHULZE, S. M. B. B. Caracterização de solos em uma topoclimosequência no maciço de triunfo - sertão de pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1259–1270, jul. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400024>. Acesso em: 03 mar. 2025.
- WHITE, R. Processos na Formação dos Solos. *In: White, R. Princípios e Práticas da Ciência do Solo*. **Andrei**, 2009, p. 215 - 241.