XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/88

Influência da estrutura reliquiar na resistência de solos saprolíticos: Revisão e Análise Conceitual

Vanessa de Souza Batista
Cargo, Afiliação, Cidade, País, E-mail

Matheus Natan Ferreira Alves De Sousa
Cargo, Afiliação, Cidade, País, E-mail

Olavo Francisco Dos Santos Junior
Cargo, Afiliação, Cidade, País, E-mail

RESUMO: Os solos saprolíticos constituem materiais de transição resultantes do intemperismo isovolumétrico da rocha matriz, preservando, em maior ou menor grau, a organização estrutural e a fábrica lítica original. Este estudo apresenta uma revisão e análise conceitual acerca da influência da estrutura reliquiar, incluindo foliações, xistosidades, planos de acamamento, juntas e fraturas, na resistência mecânica desses materiais. A metodologia compreendeu uma análise bibliométrica de 86 artigos científicos, seguida de revisão sistemática direcionada aos principais parâmetros geomecânicos associados à resistência e à rigidez. Os resultados evidenciam que o comportamento mecânico dos saprolitos é fortemente governado pela anisotropia estrutural herdada da rocha parental. A orientação dos planos reliquiares em relação ao estado de tensões aplicado pode provocar reduções expressivas na resistência ao cisalhamento, frequentemente superando a contribuição das ligações químicas e da cimentação residual. Conclui-se que a adequada caracterização da fábrica lítica é indispensável para a previsão de instabilidades, especialmente escorregamentos translacionais, e para o desenvolvimento de modelos geotécnicos mais representativos em regiões tropicais.

PALAVRAS-CHAVE: solos saprolíticos; estrutura reliquiar; anisotropia estrutural; resistência ao cisalhamento; intemperismo isovolumétrico.

ABSTRACT: Saprolitic soils constitute transitional geomaterials resulting from the isovolumetric weathering of the parent rock, preserving, to varying degrees, the original structural organization and lithological fabric. This study presents a conceptual review and analysis of the influence of relict structures, including foliation, schistosity, bedding planes, joints, and fractures, on the mechanical strength of these materials. The methodology comprised a bibliometric analysis of 86 scientific papers, followed by a systematic review focused on the principal geomechanical parameters associated with strength and stiffness. The results demonstrate that the mechanical behavior of saprolites is strongly governed by the structural anisotropy inherited from the parent rock. The orientation of relict planes relative to the applied stress state may lead to significant reductions in shear strength, often exceeding the contribution of chemical bonding and residual cementation. It is concluded that proper characterization of lithological fabric is essential for predicting instabilities, particularly translational landslides and for developing more representative geotechnical models in tropical regions.

KEYWORDS: Saprolitic soils; relict structure; structural anisotropy; shear strength; isovolumetric weathering.

1 INTRODUÇÃO

Em regiões tropicais úmidas, os mantos de intemperismo podem ultrapassar 50 m de espessura, sendo formados majoritariamente por solos residuais e saprolíticos (Zauyah et al., 2010; Le Pera et al., 2001). Os saprolitos (Grau V) distinguem-se dos solos residuais maduros (Grau VI) por preservarem a fábrica lítica da rocha parental, resultante de processos isoalteríticos com mínima variação volumétrica (Santos et al., 2019; Pineda et al., 2014; Wilson, 2004; Ren et al., 2017).

A manutenção de foliações, juntas e demais descontinuidades induz anisotropia física e mecânica significativa (Ogunsanwo, 1991; Pineda et al., 2014; Eppinger et al., 2021). Do ponto de vista geotécnico, essa anisotropia controla a resistência, a rigidez e a propagação de ondas, frequentemente subestimadas em análises simplificadas (Heidemann et al., 2021; Eppinger et al., 2025). As descontinuidades herdadas atuam como superfícies preferenciais de ruptura, influenciando escorregamentos translacionais e o regime de fluxo hídrico, com possível redução expressiva da resistência ao cisalhamento quando orientadas favoravelmente à ruptura (Ogunsanwo, 1991; Zauyah et al., 2010; Cerri et al., 2020; Eppinger et al., 2025).

Persistem, contudo, lacunas quanto à degradação temporal dessas estruturas e às dificuldades de obtenção de amostras indeformadas representativas, limitando sua adequada modelagem constitutiva (Rocchi & Coop, 2015; Heidemann et al., 2021; Zauyah et al., 2010). Nesse contexto, o artigo propõe sintetizar criticamente o papel da estrutura reliquiar na resistência e rigidez dos saprolitos, contribuindo para análises de estabilidade e modelagens geotécnicas em ambientes tropicais (Pineda et al., 2014; Heidemann et al., 2021).

2 Metodologia

2.1 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica foi desenvolvida com o objetivo de identificar tendências, lacunas e direcionamentos científicos acerca da preservação de estruturas herdadas da rocha-mãe em solos saprolíticos e seus reflexos no comportamento mecânico. Para isso, foram utilizadas as bases de dados Scopus e Web of Science – Core Collection, selecionadas pela ampla cobertura e relevância nas áreas de geotecnia, geologia de engenharia e ciência dos geomateriais. A estratégia de busca foi estruturada a partir da seguinte combinação de termos: (“saprolite” OR “saprolitic soil”) AND (“relict structure” OR “fabric” OR “microstructure”). Na base Scopus, a pesquisa foi aplicada aos campos título, resumo e palavras-chave (TITLE-ABSTRACT-KEYWORDS), enquanto na Web of Science foi utilizada a busca por Topic, que contempla título, resumo e palavras-chave.

Os registros recuperados em ambas as bases foram exportados em formato compatível e posteriormente integrados em uma única base de dados, sendo as duplicidades removidas por meio da verificação de DOI. Após essa etapa de consolidação, obteve-se um corpus final composto por 86 artigos científicos revisados por pares, sem delimitação de período inicial de publicação, permitindo a análise da evolução temporal da produção científica sobre o tema.

O processamento e a análise dos dados foram realizados no software VOSviewer (versão 1.6.20). Previamente à geração dos mapas bibliométricos, foi conduzida uma etapa de padronização terminológica, com a finalidade de unificar variações ortográficas e semânticas, como “micro-structure” e “microstructure”, bem como termos correlatos como “fabric” e “soil fabric”. A análise baseou-se no método de contagem integral (Full Counting) para a construção de mapas de coocorrência de palavras-chave, redes de relacionamento e mapas de densidade, possibilitando a identificação de clusters temáticos, intensidade de conexões entre termos e principais focos de investigação na literatura. Os resultados obtidos serviram de base para a interpretação do estado da arte e para a fundamentação das discussões técnicas desenvolvidas neste estudo.

2.2 Revisão Sistemática e Extração de Parâmetros

Complementarmente à análise bibliométrica, foi realizada uma revisão sistemática com o objetivo de identificar relações entre litologia de origem, grau de intemperismo e parâmetros de resistência efetiva (c' e ϕ'), com ênfase na influência da estrutura reliquiar.

A seleção dos estudos seguiu critérios de inclusão previamente definidos; (i) apresentação de resultados provenientes de ensaios laboratoriais de caracterização mecânica, tais como ensaios triaxiais, compressão simples ou cisalhamento direto; (ii) realização de caracterização microestrutural por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) ou análise petrográfica em lâminas delgadas; (iii) descrição explícita da orientação estrutural da amostra em relação aos planos reliquiares.

Estudos que não apresentavam dados quantitativos de resistência ou que não discriminavam a orientação estrutural das amostras foram excluídos da análise comparativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise bibliométrica demonstra que o estudo dos solos saprolíticos é interdisciplinar, articulando geotecnia, pedologia e geologia estrutural, e se organiza em cinco eixos: definição de saprolito/isoalterita, trama reliquiar, anisotropia geotécnica, porosidade secundária e grau de intemperismo.

O saprolito resulta do intemperismo in situ com preservação parcial da fábrica lítica da rocha matriz (Wilson, 2004; Zauyah et al., 2010; Ren et al., 2017). Quando a alteração ocorre sem variação volumétrica significativa, o material é classificado como isoalterita, mantendo feições estruturais herdadas (Wilson, 2004; Stolt & Baker, 1994; Ren et al., 2017). Essa herança, denominada trama reliquiar, inclui foliações e fraturas preservadas, distinguindo o saprolito de solos transportados e de solos altamente evoluídos, como latossolos (Zauyah et al., 2010; Pineda et al., 2014; Stolt et al., 1991; Schaefer, 2001).

A presença dessas descontinuidades confere anisotropia geotécnica, com variações significativas de resistência e rigidez conforme a orientação das tensões em relação aos planos reliquiares (Ogunsanwo, 1991; Pineda et al., 2014; Eppinger et al., 2025). Em campo, tais planos favorecem rupturas translacionais e influenciam a estabilidade de taludes (Ogunsanwo, 1991; Cerri et al., 2020; Eppinger et al., 2025).

O avanço do intemperismo gera porosidade secundária por dissolução mineral, mantendo temporariamente um esqueleto rígido, porém inserido em matriz enfraquecida, o que pode levar ao colapso estrutural sob determinadas tensões (Santos et al., 2019; Ren et al., 2017; Eppinger et al., 2025; Wilson, 2004). Classificado geralmente como Grau V de intemperismo, o saprolito apresenta comportamento intermediário entre rocha sã e solo residual maduro (Irfan & Dearman, 1978; Santos et al., 2019; Le Pera et al., 2001; Pineda et al., 2014; Rocchi & Coop, 2015).

3.1 Análise Bibliométrica

A análise bibliométrica e temporal das publicações relacionadas a solos saprolíticos com preservação de estruturas reliquiárias evidencia crescimento progressivo da produção científica, particularmente a partir da década de 2010 (Figura 1). O número reduzido de estudos nas décadas anteriores sugere que, por longo período, o comportamento geotécnico desses materiais foi abordado de maneira simplificada, frequentemente sem consideração explícita da influência da estrutura reliquiar nos parâmetros de resistência e deformabilidade. Tal cenário pode estar associado, ao menos em parte, à limitada disponibilidade de técnicas experimentais capazes de caracterizar adequadamente a microestrutura e a anisotropia desses materiais.

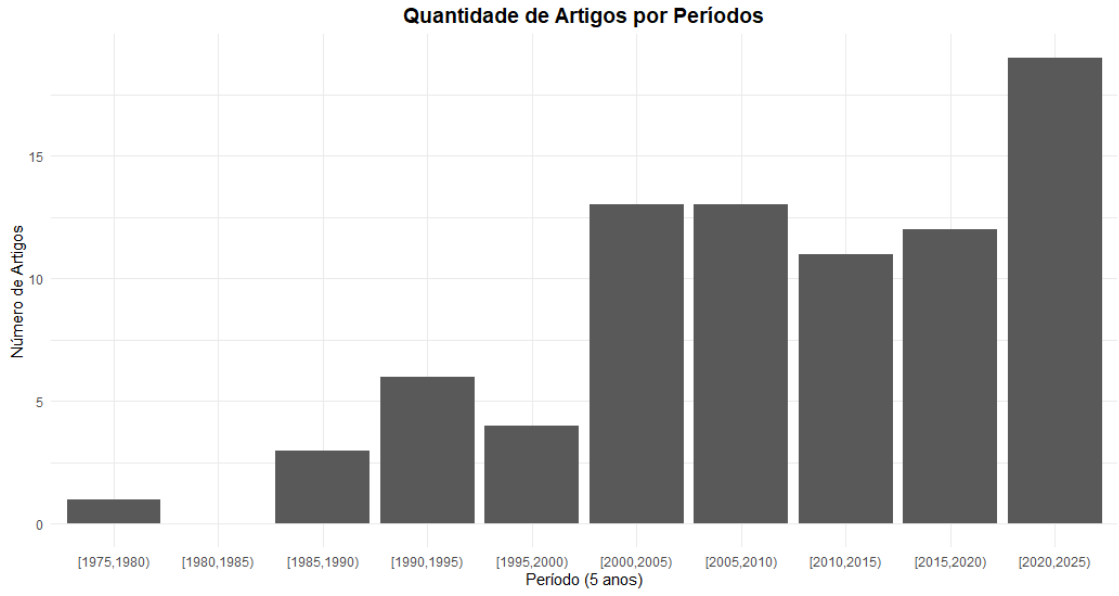


Figura 1: Distribuição temporal dos artigos.

O incremento mais recente das publicações parece refletir dois movimentos convergentes. De um lado, o reconhecimento crescente da relevância geotécnica dos saprolitos em obras de infraestrutura implantadas em regiões tropicais, onde perfis residuais espessos são predominantes. De outro, o avanço significativo das técnicas de investigação experimental e de caracterização microestrutural. O desenvolvimento e a maior acessibilidade de ensaios triaxiais com controle de sucção, análises por microscopia eletrônica de varredura e técnicas de imageamento digital de alta resolução têm permitido compreender com maior precisão a influência das estruturas reliquiárias nos mecanismos de ruptura e na resposta tensão–deformação.

Nesse contexto, a intensificação das publicações nas últimas décadas sinaliza uma transição de abordagens predominantemente descritivas, centradas na caracterização mineralógica e petrográfica, para análises mais mecanicistas e integradas, nas quais a fábrica lítica passa a ser incorporada como variável relevante na modelagem do comportamento geotécnico.

Os mapas de coocorrência gerados no VOSviewer evidenciaram a formação de clusters temáticos bem definidos (Figura 2). Um primeiro agrupamento concentrou termos associados à caracterização microestrutural e mineralógica, como “microstructure”, “fabric”, “weathering” e “mineralogy”, refletindo forte enfoque em análises petrográficas, microscopia eletrônica e descrição da organização interna do material. Um segundo cluster reuniu termos diretamente relacionados às propriedades geotécnicas, incluindo “shear strength”, “anisotropy”, “compressibility” e “deformation”, indicando estudos voltados à avaliação do comportamento mecânico e da resposta tensão–deformação. Um terceiro agrupamento esteve vinculado à evolução do perfil residual e aos processos de intemperismo, com destaque para “weathered rock”, “saprolite profile” e “degree of weathering”.

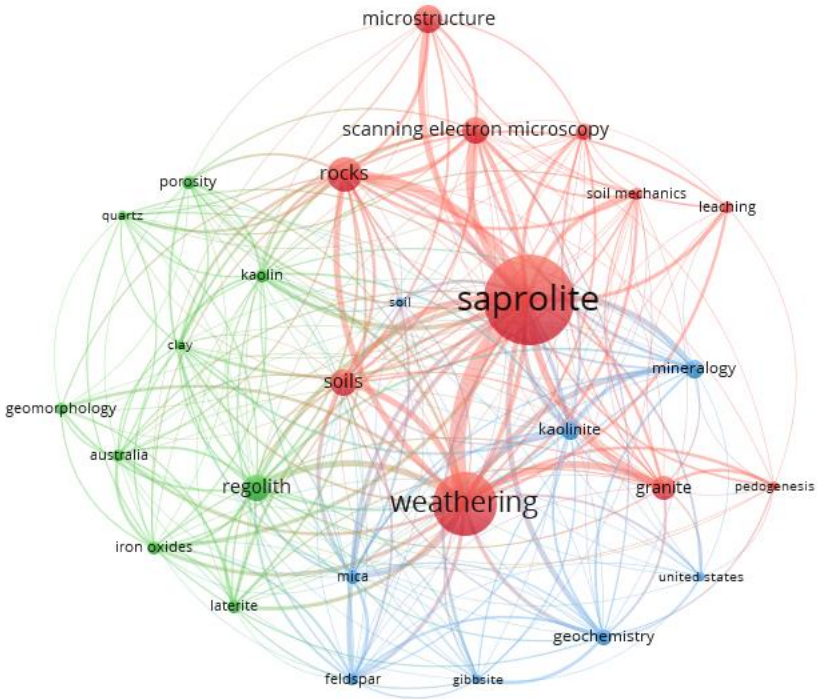


Figura 2: Mapa de densidade de palavras-chave nos estudos de solos saprolíticos e estruturas reliquiárias

Os mapas de rede indicam conexões entre os domínios microestrutural e mecânico, porém com menor intensidade do que as interações internas a cada cluster, evidenciando que a integração entre estrutura reliquiar e parâmetros geomecânicos ainda não constitui o foco central da maioria dos estudos. Predomina, portanto, uma abordagem compartimentalizada entre caracterização estrutural e avaliação mecânica. Observa-se concentração da produção científica em países tropicais, como Austrália, Indonésia, Brasil e China, e uma evolução temporal do enfoque estritamente mineralógico para análises que incorporam anisotropia estrutural e implicações hidromecânicas.

De modo geral, a literatura enfatiza a caracterização microestrutural e mineralógica, enquanto a correlação quantitativa entre fábrica reliquiar e comportamento mecânico permanece parcialmente fragmentada (Wilson, 2004; Zauyah et al., 2010; Rocchi & Coop, 2015; Ansari et al., 2021). A

separação entre microestrutura e propriedades mecânicas revela a carência de abordagens sistemáticas que relacionem parâmetros estruturais mensuráveis à resposta tensão–deformação, apesar de evidências de que a anisotropia controla resistência, condutividade hidráulica e planos preferenciais de ruptura (Ansari et al., 2021; Elkamhawy et al., 2020; Raj, 2020; Ogunsanwo, 1991).

Além disso, foliações e descontinuidades herdadas atuam como superfícies potenciais de fraqueza e influenciam tanto a resistência ao cisalhamento quanto o comportamento hidromecânico, sendo que processos de lixiviação e reorganização mineral aumentam a porosidade e modificam a resposta mecânica (Raj, 2020; Ren et al., 2017; Eppinger et al., 2025; Zhang et al., 2025).

Assim, as lacunas identificadas apontam para a necessidade de investigações integradas que correlacionem parâmetros micromorfométricos, preservação estrutural e propriedades mecânicas, contribuindo para modelos constitutivos mais representativos do comportamento de saprolitos, especialmente em análises de estabilidade de encostas e resposta a ciclos de umedecimento e secagem (Ansari et al., 2021; Zhang et al., 2025; Zauyah et al., 2010; Pineda et al., 2014).

3.2 Revisão Sistemática

3.2.1 Síntese Comparativa dos Parâmetros Geomecânicos Reportados na Literatura

A compilação dos estudos evidencia ampla variabilidade nos parâmetros de resistência de solos saprolíticos, em função da litologia de origem, grau de intemperismo, condição estrutural e método de ensaio (Pineda et al., 2014; Rocchi & Coop, 2015; Zhang et al., 2014; Zhao et al., 2005). O ângulo de atrito efetivo (ϕ') varia aproximadamente entre 13,6° e 37,5°, enquanto a coesão efetiva (c') pode assumir valores desde próximos a zero até superiores a 100 kPa, conforme o contexto geológico e o estado de alteração (Zhang et al., 2014; Rocchi & Coop, 2015).

Em saprolitos graníticos e granodioríticos, observam-se valores de ϕ' entre 26,4° e 36,0° e coesão entre 8,7 e 48 kPa, com redução da resistência friccional em materiais próximos a falhas, devido ao aumento da porosidade e da alteração (Pineda et al., 2014; Pineda-Jaimes, 2011; Heidemann et al., 2021; Bressani et al., 2021). Em materiais basálticos, a variabilidade também é expressiva, com ϕ' entre 13,6° e 31,1° e coesão podendo superar 100 kPa, evidenciando a influência das condições de drenagem e do tipo de ensaio (Zhang et al., 2014; Yang et al., 2017; Xu et al., 2017).

A influência da anisotropia estrutural é particularmente marcante em saprolitos derivados de micaxistos, nos quais a resistência à compressão simples varia de 176 a 441 kPa conforme a orientação da carga em relação aos planos de foliação, podendo superar 60% de diferença (Ogunsanwo, 1991; Pininska, 1977; Donath, 1961). Resultados sob a ótica do estado crítico indicam valores de M entre 1,28 e 1,53 ($\phi \approx 32°–37,5°$), demonstrando que a estrutura remanescente pode sustentar resistência friccional significativa mesmo sob elevado grau de intemperismo (Rocchi & Coop, 2015; Todisco et al., 2015; Coop et al., 2015).

Embora parte da literatura priorize caracterizações mineralógicas e geoquímicas, os estudos com parâmetros mecânicos confirmam que não há valores universais representativos de ϕ' ou c' para saprolitos (Santos et al., 2019; Adamou et al., 2021; Heidemann et al., 2021; Pineda et al., 2014). A resistência resulta da interação entre alteração química, preservação estrutural e contexto tectônico (Heidemann et al., 2021; Pineda et al., 2014; Eppinger et al., 2025).

De modo geral, as variações de resistência, rigidez e permeabilidade decorrem principalmente da preservação e orientação da estrutura reliquiar. A anisotropia influencia não apenas a resistência ao cisalhamento e à compressão, mas também propriedades elásticas, sísmicas e hidráulicas, com condutividade saturada até uma ordem de grandeza maior na direção paralela às descontinuidades herdadas (Ogunsanwo, 1991; Eppinger et al., 2021; Raj, 2020; Angerer et al., 2011; Eppinger et al., 2025; Zauyah et al., 2010; Cerri et al., 2020).

Em síntese, a revisão sistemática confirma que a estrutura reliquiar constitui variável dominante no controle do comportamento geomecânico e hidromecânico dos solos saprolíticos, tornando inadequada a adoção de parâmetros médios isotrópicos em análises e projetos geotécnicos (Pineda et al., 2014; Rocchi & Coop, 2015; Eppinger et al., 2025; Ogunsanwo, 1991; Heidemann et al., 2021).

3.2.2 Influência das estruturas reliquiares no comportamento mecânico

As investigações sobre solos saprolíticos utilizam abordagem integrada, combinando ensaios laboratoriais e métodos geofísicos in situ para caracterizar a influência da estrutura reliquiar no comportamento mecânico. Em laboratório, destacam-se ensaios dinâmicos, triaxiais e edométricos em amostras indeformadas e remoldadas, além de técnicas microestruturais que identificam esqueleto mineral, porosidade e ligações internas responsáveis pela resistência aparente. Em campo, métodos geofísicos, especialmente medições de anisotropia sísmica, permitem mapear a orientação estrutural e sua relação com a rigidez do maciço. Apesar dos avanços, ainda são limitadas as correlações diretas entre parâmetros microestruturais mensuráveis e propriedades mecânicas efetivas, indicando necessidade de estudos mais integrados.

3.2.3 Influência das estruturas reliquiares no comportamento mecânico

A revisão sistemática confirma que a estrutura reliquiar é o principal fator controlador do comportamento tensão–deformação dos solos saprolíticos, frequentemente mais relevante que a cimentação química secundária (Elkamhawy et al., 2020). A preservação de foliações, xistosidades e outras descontinuidades herdadas impõe anisotropia mecânica significativa, com variações direcionais de resistência, rigidez e velocidade de ondas (Ogunsanwo, 1991; Eppinger et al., 2021).

Diferentemente dos solos residuais maduros, a rigidez do saprolito está associada à organização da fábrica lítica parcialmente preservada, composta por minerais primários interligados por pontes de argila e contatos estruturais herdados, resultando em comportamento intermediário entre rocha fraturada e solo estruturado (Pineda et al., 2014).

Sob carregamento, pode ocorrer dilatância em baixas tensões de confinamento, mas a resistência reduz-se quando a orientação dos planos reliquiares favorece o cisalhamento, formando superfícies preferenciais de ruptura e explicando a suscetibilidade a escorregamentos translacionais (Elkamhawy et al., 2020; Pineda et al., 2014; Ogunsanwo, 1991; Zauyah et al., 2010; Cerri et al., 2020).

Assim, o comportamento mecânico do saprolito resulta da interação entre grau de alteração química e arquitetura estrutural preservada, sendo esta determinante para anisotropia, modos de ruptura e deformabilidade.

3.2.4 Divergências e limitações metodológicas

Persistem limitações metodológicas na investigação de solos saprolíticos, especialmente quanto à obtenção de amostras indeformadas em grandes profundidades (20–50 m), preservando a estrutura reliquiar, que é frágil e facilmente perturbada durante a extração (Zauyah et al., 2010; Stolt & Baker, 1994). Amostradores do tipo Mazier podem induzir perturbações significativas, enquanto a amostragem em blocos, embora mais adequada, é operacionalmente complexa e onerosa (Rocchi & Coop, 2015).

Há também divergências quanto à evolução do módulo de cisalhamento máximo (Gmax) com o intemperismo: alguns estudos indicam aumento da rigidez inicial por cimentação secundária, enquanto outros apontam redução devido à degradação estrutural e aumento da porosidade, sugerindo comportamento não linear controlado pelo balanço entre cimentação e desestruturação (Pineda et al., 2014; Pineda-Jaimes, 2008).

Além disso, a elevada heterogeneidade vertical e lateral dos saprolitos dificulta a extrapolação de parâmetros médios para projetos, reforçando a necessidade de investigações mais densas e abordagens probabilísticas na modelagem geotécnica (Heidemann et al., 2021; Pineda et al., 2014).

3.2.5 Lacunas e direções futuras

A revisão aponta como prioridade o desenvolvimento de um sistema de classificação unificado que integre abordagens pedológicas, geológicas e geotécnicas, visando padronização terminológica para materiais saprolíticos (Stolt & Baker, 1994; Juilleret et al., 2016).

Entre as lacunas identificadas, destacam-se a necessidade de investigar a possível ocorrência de coeficientes de Poisson negativos associados a microfissuras estruturais, com implicações para a modelagem

constitutiva (Eppinger et al., 2025; Trichandi et al., 2022), e o estudo dos efeitos cumulativos de ciclos de umedecimento e secagem na degradação da resistência e no aumento da permeabilidade (Zhang et al., 2025).

Também se observa potencial na integração entre anisotropia sísmica e de permeabilidade para compreender a influência da reorganização estrutural na estabilidade de encostas sob chuvas intensas (Eppinger et al., 2025; Harman & Cosans, 2019). Por fim, há predominância de estudos em saprolitos derivados de rochas ígneas e metamórficas, sendo necessária maior investigação em materiais de origem sedimentar para ampliar a compreensão comparativa dos mecanismos de controle estrutural (Eppinger et al., 2025; Hudson Rasmussen et al., 2023).

5 Conclusão

A revisão sistemática e a análise conceitual confirmam que a estrutura reliquiar é o principal fator de controle da resistência e do comportamento mecânico dos solos saprolíticos (Elkamhawy et al., 2020; Pineda et al., 2014). Mesmo em materiais Grau V, a preservação parcial da fábrica lítica mantém um arcabouço estrutural capaz de governar a resposta tensão–deformação, frequentemente superando os efeitos da cimentação secundária.

Foliações, juntas e xistosidades herdadas impõem anisotropia marcante, tornando inadequada a consideração de parâmetros como resistência ao cisalhamento, rigidez e condutividade hidráulica como isotrópicos (Ogunsanwo, 1991; Pineda et al., 2014; Eppinger et al., 2025). A orientação dessas estruturas em relação ao estado de tensões controla a mobilização de resistência e o modo de ruptura, influenciando diretamente a estabilidade de taludes (Ogunsanwo, 1991; Cerri et al., 2020; Eppinger et al., 2025).

Diferentemente dos solos residuais maduros (Grau VI), os saprolitos preservam organização mineral e contatos estruturais herdados, resultando em comportamento mecânico híbrido entre rocha alterada e solo estruturado (Pineda et al., 2014; Santos et al., 2019). A heterogeneidade e a fragilidade da fábrica reliquiar exigem cuidados na amostragem e ensaio, bem como integração entre dados geológicos, geofísicos e geotécnicos para obtenção de parâmetros representativos (Heidemann et al., 2021; Rocchi & Coop, 2015; Eppinger et al., 2025).

Em síntese, a incorporação explícita da estrutura reliquiar nas investigações e modelagens é indispensável para previsões mais realistas e projetos geotécnicos mais seguros em ambientes tropicais e subtropicais (Pineda et al., 2014; Zauyah et al., 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGERER, T.; GREILING, R. O.; AVIGAD, D. Fabric development in a weathering profile at a basement-cover interface, the sub-Cambrian peneplain, Israel: Implications for decollement tectonics. *Journal of Structural Geology*, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsg.2011.03.010

ANSARI, T. A.; KAINTHOLA, A.; SINGH, K. H.; SINGH, T. N.; SAZID, M. Geotechnical and micro-structural characteristics of phyllite derived soil; implications for slope stability, Lesser Himalaya, Uttarakhand, India. *Catena*, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104906.

CERRI, R. I.; ROSOLEN, V.; REIS, F. A. G. V.; PEREIRA FILHO, A. J.; VEMADO, F.; GIORDANO, L. do C.; GABELINI, B. M. The assessment of soil chemical, physical, and structural properties as landslide predisposing factors in the Serra do Mar mountain range (Caraguatatuba, Brazil). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-020-01791-1.

ELKAMHAWY, E.; ZHOU, B.; WANG, H. Experimental investigation of both the disturbed and undisturbed granitic saprolite soil. *Environmental Earth Sciences*, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-020-09026-y.

EPPINGER, B. J.; HAYES, J. L.; CARR, B. J.; MOON, S.; COSANS, C. L.; HOLBROOK, W. S.; HARMAN, C. J.; PLANTE, Z. T. Quantifying Depth-Dependent Seismic Anisotropy in the Critical Zone Enhanced by Weathering of a Piedmont Schist. *Journal of Geophysical Research-Earth Surface*, 2021. DOI: https://doi.org/10.1029/2021JF006289.

EPPINGER, B. J.; HOLBROOK, W. S.; FLINCHUM, B. A.; GRANA, D.; RICHTER, D. D. B.; HAYES, J. L.; RIEBE, C. S.; HARMAN, C. J.; CARR, B. J. On the role of inherited rock fabric in critical zone porosity development: Insights from seismic anisotropy measurements using surface waves. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/esp.70132.

HEIDEMANN, M.; BRESSANI, L. A.; FLORES, J. A. Influência de falhas na alteração, mineralogia e comportamento geotécnico de solos residuais graníticos. *Boletim de Geologia de Engenharia e Meio Ambiente (Bulletin of Engineering Geology and the Environment)*, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-021-02351-x.

LE PERA, E.; CRITELLI, S.; SORRISO-VALVO, M. Weathering of gneiss in Calabria, southern Italy. *Catena*, 2001. DOI: https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00117-X.

OGUNSANWO, O. Influence of schistosity on the strength and wave velocity characteristics of a mica schist saprolite. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1991. DOI: https://doi.org/10.1007/BF02590173.

PINEDA, J. A.; COLMENARES, J. E.; HOYOS, L. R. Effect of fabric and weathering intensity on dynamic properties of residual and saprolitic soils via resonant column testing. *Geotechnical Testing Journal*, 2014. DOI: https://doi.org/10.1520/GTJ20120132.

RAJ, J. K. Saturated hydraulic conductivity (Ks) of earth materials in the weathering profile over quartz-mica schists of the Seremban area Negeri Sembilan. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 2020. DOI: https://doi.org/10.7186/bgsm69202001.

REN, Z.; ZHANG, L.; XU, Z.; ZHANG, J.; CHEN, J. Study of physico-mechanical properties of Emeishan basalt saprolites in Yunnan, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10064-016-0959-2.

ROCCHI, I.; COOP, M. R. The effects of weathering on the physical and mechanical properties of a granitic saprolite. *Geotechnique*, 2015. DOI: https://doi.org/10.1680/geot.14.P.177.

SANTOS, J. C. B.; LE PERA, E.; OLIVEIRA, C. S. de; SOUZA JUNIOR, V. S.; PEDRON, F. de A.; CORRÊA, M. M.; AZEVEDO, A. C. de. Impact of weathering on REE distribution in soil-saprolite profiles developed on orthogneisses in Borborema Province, NE Brazil. *Geoderma*, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.040.

SCHAEFER, C. E. G. R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research*, 2001. DOI: https://doi.org/10.1071/SR00093.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C.; SIMPSON, T. W. Micromorphology of the soil-saprolite transition zone in Hapludults of Virginia. *Soil Science Society of America Journal*, 1991. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500040029x.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C. Strategies for studying saprolite and saprolite genesis. In: *Whole Regolith Pedology*, 2015. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaspecpub34.c1.

WILSON, M. J. Weathering of the primary rock-forming minerals: Processes, products and rates. *Clay Minerals*, 2004. DOI: https://doi.org/10.1180/0009855043930133.

YANG, J.; XU, Z.; ZHANG, R.; CHEN, J.; REN, Z.; LUO, R.; ZHANG, X. Formation and evolution of Emeishan basalt saprolite in vadose zones of Touzhai landslide source rockmass. *Journal of Mountain Science*, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11629-016-4169-y.

ZAUYAH, S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B. Saprolites. In: *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53156-8.00004-0.

ZHANG, X.; LIU, X.; WEI, G.; GAO, H.; LIANG, Z. Hydro-mechanical degradation of granitic saprolites due to capillary imbibition: Laboratory observations and implications for slope failure. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.09.053.