

Uma Proposta de Classificação de Lateritas Considerando Resultados de Ensaios de Deformação Permanente e Módulo de Resiliência

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães
Professor, IME, Rio de Janeiro, Brasil, guimaraes@ime.eb.br

Bárbara Drumond Almeida
M.Sc, DER/MG, Belo Horizonte

Jeferson Santos
Mestrando IME, Rio de Janeiro.

RESUMO: No presente trabalho é apresentada uma proposta de classificação de solos lateríticos pedregulhosos – lateritas – para fins de emprego em pavimentação e fundamentada na resposta dos materiais quando submetida a ensaios de cargas repetidas. Vários tipos de lateritas foram analisados sendo possível enquadrar os resultados em padrões de comportamento, de modo a tornar possível a proposição de classificação para este tipo de material, essencialmente fundamentada na norma existente DNIT-ES 098 (2007) Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico, em termos de características geotécnicas dos materiais, e no comportamento resiliente e quanto à deformação permanente. A nova proposta de classificação é justificada principalmente porque muitas lateritas não se enquadram na norma supracitada, mas apresentam excelente desempenho como material de pavimentação, enquanto as novas propostas de classificação publicadas ignoram o comportamento do material submetido a ensaios de cargas repetidas.

PALAVRAS-CHAVE: Lateritas, Sistemas de Classificação, Deformação Permanente.

ABSTRACT:

This work presents a proposal for the classification of gravelly laterite soils – laterites – for use in paving and based on the response of the materials when subjected to repeated load tests. Various types of laterites were analyzed and classified into behavior patterns for the purpose of proposing a classification system. The new classification proposal is justified because many laterites do not meet the standard but present excellent performance as a paving material, while the new published classification proposals ignore the behavior of the material subjected to repeated load tests.

KEYWORDS: Laterites, Soil Classification, Permanent Deformation

1 INTRODUÇÃO

Um sistema de classificação de solos tem grande importância para a prática geotécnica porque permite reunir solos em grupos, conforme suas características mais importantes, permitindo inferir seu comportamento a partir do demais. Na prática geotécnica mundial são consolidados o Sistema Universal de Classificação de Solos (SUCS) e o sistema do Transportation Research Board (TRB), mas aplicado em engenharia rodoviária.

Nogami e Villibor (1995) já demonstraram que para a prática rodoviária ambos não são adequados para classificação de solos tropicais, pois permitem que solos de comportamento geotécnico significativamente distinto sejam de uma mesma classificação, em ambos os grupos. Tal fato justificou o desenvolvimento de um sistema de classificação específico para solos tropicais – a chamada metodologia MCT – que se encontra

consagrado no meio prático nacional, sendo, inclusive atualmente adotado pelo método MeDiNa de dimensionamento de pavimentos.

Entretanto, tal sistema de classificação se restringe a solos finos, que são considerados como totalmente passante na peneira nº 10, ou seja, de abertura 2,0 mm. Há certa tolerância, a qual atinge até 10% de material retido na referida peneira, dependendo do normativo a ser considerado.

Porém, para os solos de granulometria pedregulhosa, em especial as lateritas ferruginosas, ainda não há um sistema totalmente consagrado, não obstante a recente normatização do DNIT - NORMA DNIT 444/2023 – CLA Classificação de solos tropicais de granulação grossa - o qual considera apenas a composição granulométrica e a classificação MCT da fração fina, sendo genérico para materiais granulares e não somente para lateritas, como o método que será proposto no presente trabalho.

Especificamente para classificação de lateritas destacam-se os estudos realizado por Santos (1998) e Rodrigues (2013), sendo o primeiro uma parte de tese de doutorado da COPPE/UFRJ e o segundo um trabalho de pós-doc no LCPC da França amplamente fundamentados em propriedades geotécnicas das lateritas.

Ambas as tentativas de classificação não incluíram uma avaliação do comportamento das lateritas à luz da ação de cargas repetidas, em especial no caso de ensaios de deformação permanente, situação na qual os corpos-de-prova são altamente solicitados pelo carregamento, em situação muito próxima do que efetivamente acontece no campo, e que constitui uma abordagem mais moderna com relação ao comportamento dos materiais granulares utilizados em pavimentos.

Considerando-se que as lateritas são historicamente bastante utilizadas em camadas de bases e sub-bases de pavimentos no Brasil, em especial nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, e que muitas jazidas deste tipo de material têm sido sumariamente rejeitadas por não atenderem a critérios clássicos de avaliação do comportamento dos materiais, tais como CBR, IP e faixas granulométricas, optou-se por propor um sistema de classificação específico para lateritas, fundamentado no seu comportamento quando submetido a ação de cargas repetidas, tal que utilizasse como referência a norma DNIT ES 098/2007.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lateritas

Na engenharia rodoviária brasileira o termo “laterita” refere-se, a rigor, aos pedregulhos lateríticos, que são solos com grande porcentagem retida na peneira de abertura 2 mm (nº 10) e constituídos de óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), sendo conhecidos na prática como piçarras ou, ainda, cascalhos (lateríticos), entre outros termos.

A associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica define lateritas, ou solos lateríticos pedregulhosos da seguinte forma:

Um material natural, típico da região tropical úmida que contém uma grande porcentagem de grãos na fração pedregulho na forma de concreções, nódulos, pisólitos, ou formas semelhantes, todas constituídas essencialmente de óxidos hidratados de ferro ou alumínio, também podendo conter outros grãos na fração pedregulho tais como quartzo, mas em pequenas quantidades.

Do ponto de vista da engenharia rodoviária, atualmente, o DNIT adota a Norma DNIT 098/2007 – ES onde prescreve a sistemática empregada na execução de camada de base de pavimento utilizando lateritas, a qual foi elaborada a partir de dados constantes do Boletim Técnico 09 da ABPv (1976), intitulado “Uso da Laterita em Pavimentação”, e que substituiu a norma DNER-ES-P 47/74, para bases granulares de solos lateríticos.

Na figura 1 ilustra-se o aspecto geral deste material em laboratório, na qual pode ser observado sua distribuição granulométrica predominantemente pedregulhosa, bem como sua coloração variável.



Figura 1: Vista Geral de Três Lateritas de Rondônia em Laboratório. (Guimarães, 2009).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho consistiu na pesquisa de publicações científicas contendo lateritas submetidas a ação de ensaios triaxiais de cargas repetidas, para determinação da deformação permanente e do módulo de resiliência. Outras lateritas ensaiadas e cujos resultados ainda não haviam sido publicados pelos autores foram adicionados ao grupo de solos analisados, e os solos foram submetidos ao fluxograma para classificação das lateritas mostrado na figura 2.

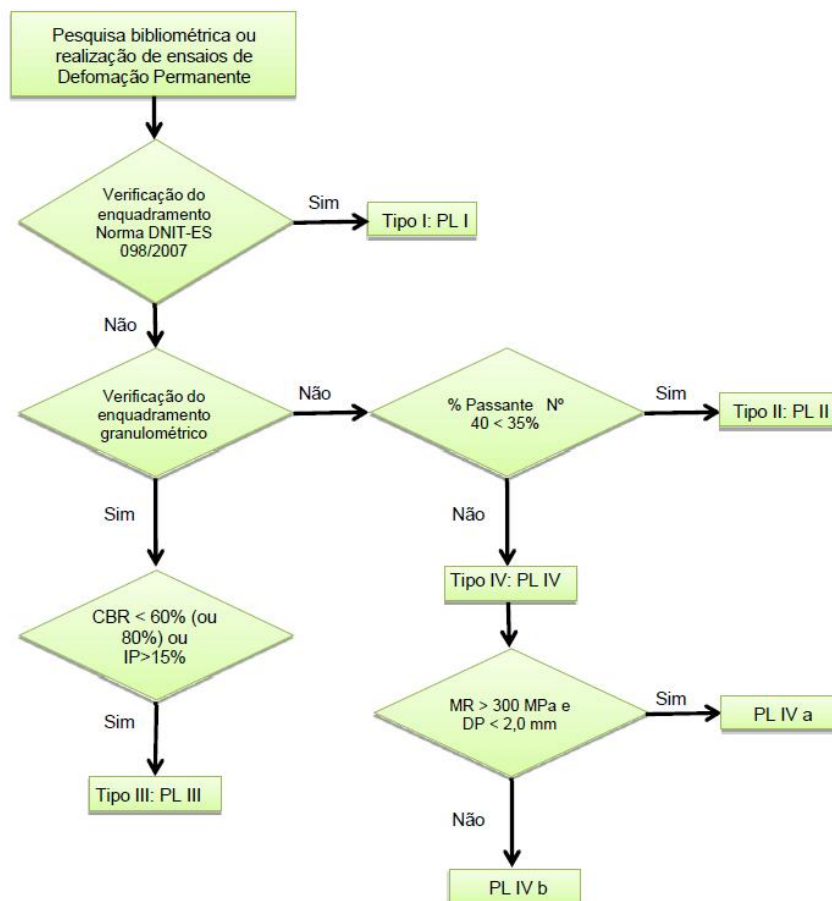


Figura 2: Fluxograma Utilizado no Presente Trabalho para Classificação das Lateritas a Partir da Norma DNIT 098/2007.

No total foram selecionadas 8 lateritas, conforme referências mostradas na tabela 1, na qual consta também uma contribuição original. Os referidos trabalhos contêm dados de caracterização geotécnica das lateritas e ensaios de módulo resiliente e deformação permanente.

Tabela 1: Relação de Trabalhos Existentes Incluindo Avaliação da Deformação Permanente de Lateritas.

Item	Material	Referência
1	Laterita Acre	Guimarães et al (2024)
2	Laterita de Porto Velho	Guimarães (2009)
3	Laterita do Pará (BR-163/MT)	Guimarães et al (2021)
4	Laterita Roraima	Almeida (2022)
5	Laterita Correntina/BA	Santos (2022)
6	Laterita Maranhão	Osten (2014)
7	Laterita Brasília	Guimarães e Motta (2008)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos variados tipos de lateritas analisados até o presente foi possível enquadrar os resultados em padrões de comportamento, de modo a tornar viável a proposição de classificação simplificada para este tipo de material, essencialmente fundamentada na norma DNIT-ES 098 (2007). Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico, bem como nos resultados de ensaios de módulo resiliente e deformação permanente.

Na tabela 2 são apresentados dados fundamentais de caracterização geotécnica das lateritas utilizadas no presente trabalho, e nos gráficos das figuras de 3 a 9 são apresentados os resultados de deformação permanente total, ou específica, conforme representado originalmente pelos autores.

Tabela 2: Caracterização Geotécnica das Lateritas Utilizadas no Presente Trabalho.

Item	Material	Hot (%)	MEAS Max (g/cm ³)	IP	Pedregulho > 4,8 mm	Areia 4,8 – 0,074 mm	(Silte + Argila) < 0,074 mm
1	Laterita Acre	11,0	1,975	20,9	30,0	40,0	30,0
2	Laterita de Porto Velho	12,7	2,070	NP	56,0	29,0	15,0
3	Laterita do Pará (BR-163/MT)	14,9	1,971	27,0	31,0	31,0	38,0
4	Laterita Roraima	13,1	1,990	NP	58,0	17,0	25,0
5	Laterita Correntina/BA	11,4	2,020	NP	52,0	28,0	20,0
6	Laterita Maranhão	22,0	1,630	NP	43,0	36,0	21,0
7	Laterita Brasília	17,5	1,915	NP	38,8	32,6	28,6

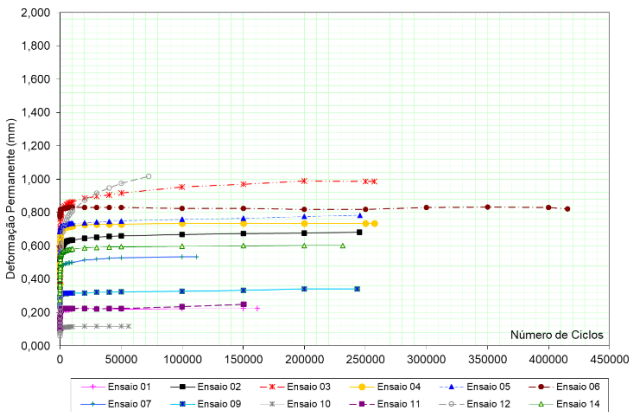


Figura 3: Deformação Permanente Total – Laterita Acre. Guimarães (2009).

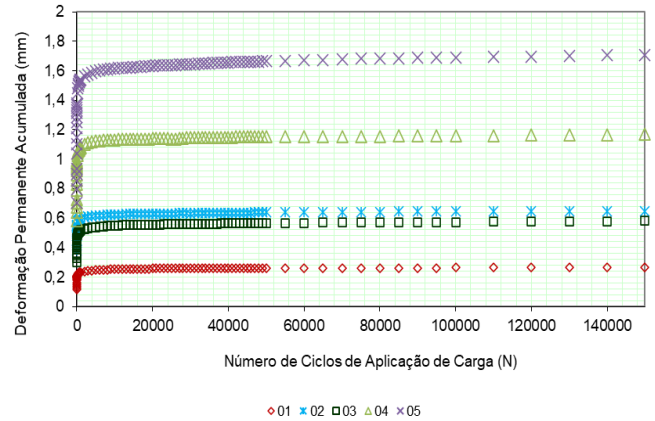


Figura 5: Deformação Permanente Total - Laterita Pará BR-163. Guimarães et al (2021).

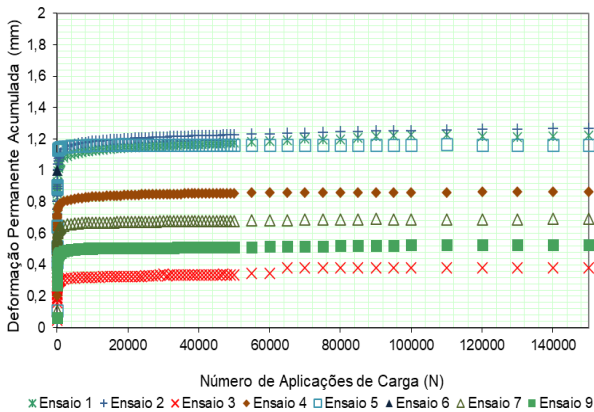


Figura 4: Deformação Permanente Total – Laterita Porto Velho. Guimarães (2009).

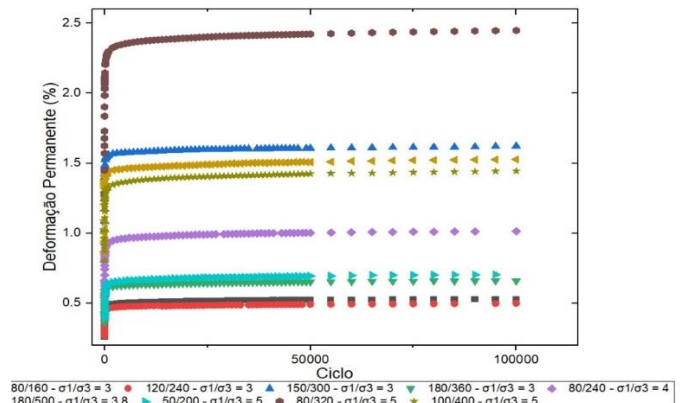


Figura 6: Deformação Permanente Específica – Laterita Roraima. Almeida (2022).

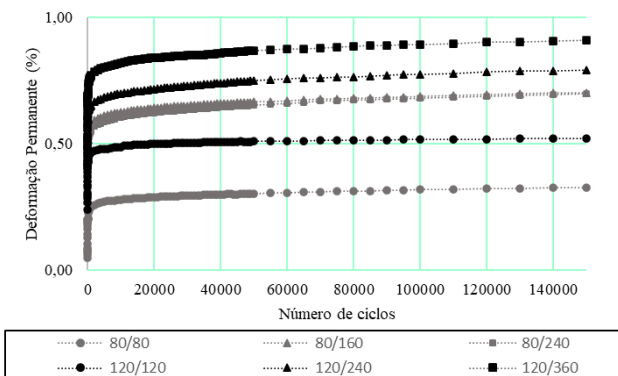


Figura 7: Deformação Permanente Específica – Laterita Correntina/BA. Santos (2022).

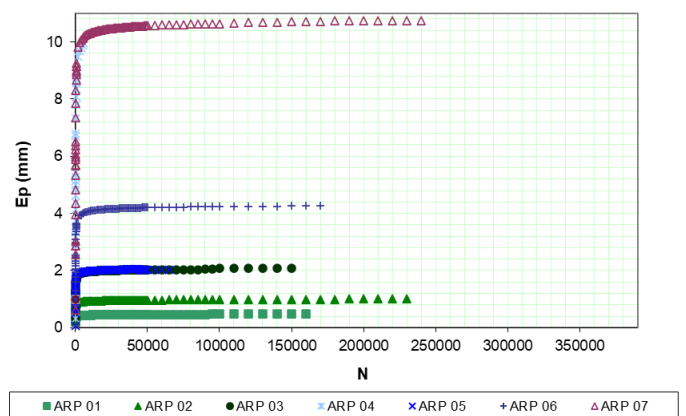


Figura 8: Deformação Permanente Total - Laterita Maranhão/Açailândia. Von Der Osten (2012).

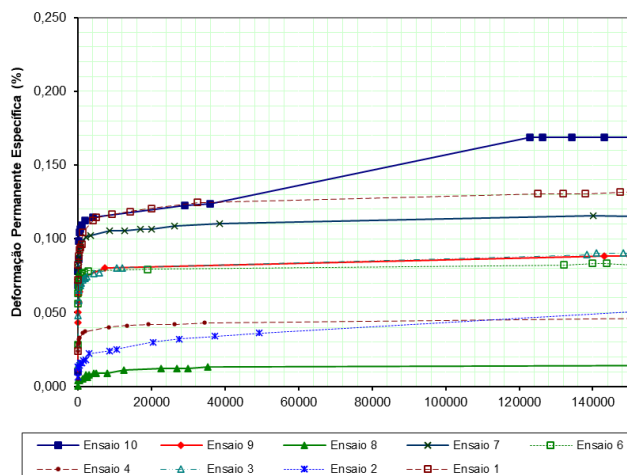


Figura 9: Deformação Permanente Específica – Laterita Brasília. Guimarães (2001).

Conforme pode ser observado nos gráficos das figuras de 3 a 9, as curvas de deformação permanente obtidas em quase todos os ensaios têm uma primeira fase tipo função de potência, na qual o crescimento da deformação permanente é muito rápido, seguida de uma fase linear, na qual a deformação tende ao acomodamento, ou apresenta pequena taxa de acréscimo. Exceto para o caso da Laterita Maranhão, as deformações totais são muito baixas, sendo inferiores a 2 mm, ou 0,1%.

Na tabela 3 são apresentadas as classificações das lateritas de acordo com o fluxograma da figura 1, na qual pode ser observado que os materiais apresentaram classificações bem distintas.

Tabela 3: Classificação das Lateritas Analisadas e Recomendações para Aplicações.

Item	Material	Classificação	Considerações
1	Laterita Acre	PL IVa	Não enquadra na granulometria, pois apresenta elevado teor de finos, mas alto MR e baixa DP
2	Laterita de Porto Velho	PL I	Laterita padrão: enquadra em todos os itens da Norma e apresenta alto MR e baixa DP
3	Laterita do Pará (BR-163/MT)	PL III	CBR abaixo do mínimo, mas elevado MR e baixa DP. Demais itens enquadram na Norma
4	Laterita Roraima	PL III	CBR abaixo do mínimo, mas elevado MR e baixa DP. Demais itens enquadram na Norma
5	Laterita Correntina/BA	PL II	Não enquadra nas faixas granulométricas, mas por ser heterogênea. Elevado MR e baixa DP
6	Laterita Maranhão	PL Vb	Apresenta elevado teor de finos, baixo MR e elevada DP para estados de tensões de médio a alto
7	Laterita Brasília	PL I	Laterita padrão: enquadra em todos os itens da Norma e apresenta alto MR e baixa DP
8	Laterita Mato Grosso	PL I	Laterita padrão: enquadra em todos os itens da Norma e apresenta alto MR e baixa DP

A origem principal desta proposta de classificação das lateritas é o fato de muitas lateritas de bom comportamento mecânico – elevado MR e baixa DP – não se enquadrarem na referida norma, podendo ser sumariamente rejeitas para emprego em camadas de pavimentos.

Em alguns destes casos citados uma sequência de estudos através de ensaios triaxiais de cargas repetidas foi realizada com o objetivo de se tentar evitar a rejeição do material de jazida, a qual resultaria em aumento de custos da obra.

Na maioria dos casos o parecer para utilização foi favorável, porém, com a adoção do método MeDiNa de dimensionamento de pavimentos tal conflito situacional – norma x ensaios de MR e DP – poderá ocorrer em maior escala. Então se entende que é relevante chamar a atenção para esta possibilidade, sugerindo uma flexibilização da norma a partir da classificação específica para lateritas.

Mais especificamente a classificação é fundamentada enquanto o material não adere à referida norma, a qual tem sido amplamente aplicada no Brasil há décadas, e considerando que as lateritas que efetivamente se enquadram nestes parâmetros (exceto o CBR) tem, de fato, apresentando excelente comportamento mecânico tanto na prática, quanto em laboratório, quando analisada à luz dos ensaios fundamentais da mecânica dos pavimentos.

Por este motivo, tais lateritas, ou pedregulhos lateríticos, têm classificação PLI. A classificação sugerida foi apresentada na figura 1, sendo resumida no seguinte.

Laterita Tipo I (PLI): enquadra em todos os critérios da norma DNIT

Laterita Tipo II (PLII): não enquadra => apenas por enquadramento granulométrico

Laterita Tipo III (PLIII): não enquadra => $60\% < \text{CBR} < 80\%$ ou $\text{IP} > 15\%$ e enquadra nas faixas granulométricas

Laterita Tipo IV (PLIV): não enquadra e $\% P_{n^{\circ}40} \geq 35\%$ (fora da faixa granulométrica na fração fina

- Tipo IVa (PLIVa): excelente comportamento: MR elevado e DP baixa
- Tipo IVb (PLIVb): comportamento médio ou ruim: MR baixo (Menor do que 300 MPa) e DP elevada

A divisão das lateritas em grupos é importante também para efeito de banco de dados de deformação permanente, o qual fica muito mais conciso, sendo uma importante ferramenta para fins de comparação com resultados em trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

O fluxograma apresentado para classificação das lateritas, a partir de características físicas e mecânicas constantes na Norma DNIT 098/2007, mostrou-se satisfatório para a distinção das lateritas em grupos de materiais com características similares, tratando-se de uma importante ferramenta para flexibilização do normativo supracitado, sem perda de propriedades para emprego como camadas de pavimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, B. D.; Santos., L. H. dos; Guimarães, A. C. R. Capítulo 10. In: Mariana Ramos Chrusciak; Luis Henrique Rambo; Flávio da Silva Ornelas. (Org.). Estudo da Deformação Permanente no Módulo Resiliente de Solos Lateríticos de Roraima. 1ed.Palmas: 2023, v. 1, p. 117-127
- Almeida, B. D. (2022). Estudo da Influência da Adição de Areia no Comportamento Mecânico de Base Composta por Solo Pedregulhoso Laterítico. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia.
- DNIT - NORMA DNIT 444/2023 – CLA Classificação de solos tropicais de granulação grossa
- DNIT ES 098/2007. Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico. Especificação de Serviço.
- Guimarães, A. C. R (2001). Estudo de Deformação Permanente em Solos e a Teoria do Shakedown Aplicada a Pavimentos Flexíveis. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Civil. COPPE/UFRJ.

- Guimarães, Antonio Carlos Rodrigues; Motta, Laura Maria Goretti da . A study on permanent deformation of lateritic soils including the shakedown concept. In: Ellis, Yu, McDowell, Dawson and Thom (org). (Org.). Advances in Transportation Geotechnics. 1ed.London UK: CRCPress/Balkema, 2008, v. 1, p. 88-94
- Guimarães, A.C R. (2009). Um Método Mecânico-Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil PEC COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.
- Guimarães, Antônio Carlos Rodrigues; Lima, C. D. A; Aragão, F. T. S; Motta, L. M. G.; Santos., J. T. A. dos (2024). Mechanical Characterization of an Alternative Laterite Gravel Used as Pavement Material. SOILS & ROCKS, v. 47, p. :e2024010622.
- Guimarães, A.C. R; Bona, A. C. D.; Castro, C. D . Avaliação da deformação permanente e resiliente de uma laterita alternativa utilizada em base de pavimento rodoviário. Transportes (Rio de Janeiro), v. 29, p. 1-13, 2021
- Osten, F. B. V. D.; Guimarães, A. C. R. Caracterização Geotécnica e Mecânica de Solos Tropicais Utilizados em Pavimento Ferroviário. Revista Pavimentação, v. 31/32, p. 56-60, 2014.
- Von der Osten, F. B. (2012). Avaliação de Quatro Solos Tropicais para Emprego em Sublastro da Estrada de Ferro Carajás. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia.
- Santos, J. D. G (1998). Contribuição ao Estudo de Solos Lateríticos Granulares como Camada de Pavimento. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.
- Santos, J. T dos (2022). Avaliação do comportamento mecânico de solos tropicais para uso em camada de sublastro ferroviário. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia.
- Rodrigues, J.K.G. Reiffsteck, P. Auriol, J.C. Ndiaye, M. (2013). Universal Classification for the Use of Lateritic Soils in Low Cost Durable Pavements. Soils and Rocks, São Paulo, 36(3): 241-249, September-December, 2013.