

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/582

## Análise das Dosagens de Cimento e Cal na Estabilização do Solo Saprólítico em Mato Grosso: Impacto no CBR.

Juliana Ritter

Discente, Universidade Federal de Mato Grosso, Várzea Grande, Brasil, julianaritter@sou.ufmt.br

Lucas Rodrigues Santos

Discente, Universidade Federal de Mato Grosso, Várzea Grande, Brasil, lucas.santos12@sou.ufmt.br

João Pedro de Oliveira Alves Neto

Discente, Universidade Federal de Mato Grosso, Várzea Grande, Brasil, joao.neto8@sou.ufmt.br

Fabiani Maria Dalla Rosa Barbosa

Docente, Universidade Federal de Mato Grosso, Várzea Grande, Brasil, fabiani.barbosa@ufmt.br

Marina Donato

Docente, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, Brasil, donato@ufsj.edu.br

**RESUMO:** O solo desempenha um papel crucial na construção civil, porém, nem sempre apresenta as características geotécnicas ideais. Logo, os solos tropicais brasileiros, como os saprolíticos, representam desafios devido às suas características granulométricas e mineralógica, assim como a capacidade de expandir. Para estabilizá-los, técnicas como a estabilização química são empregadas. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar CBR (*California Bearing Ratio*) de materiais compostos de solo saprolítico estabilizados quimicamente com adição de cimento CP II Z-32 e cal CH-I. Os ensaios para obtenção da proporção mínima para estabilizar o solo seguiram as normas DNIT 414/2019-ME para o cimento e DNIT 419/2019-ME para a cal, seguida do CBR. Os resultados obtidos indicaram que a dosagem de 2,5 a 3,5% de cal seria suficiente para alcançar o pH desejado de 12,4, enquanto a estabilização com cimento exigiria mais de 4,5%. A adição de 2,5% de cal ao solo elevou o CBR o suficiente para cumprir os critérios de subleito de pavimentação do IPR 719 (DNIT, 2006). Já a adição de 4,5% de cimento aumentou o CBR em 10 vezes, superando os valores da brita padrão e atendendo os requisitos para uso como base de pavimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Melhoramento de Solo; Estabilização de solo Saprolítico; Solo-cal; Solo-cimento; Dosagem de cal; Dosagem de cimento.

**ABSTRACT:** The soil plays a crucial role in civil construction; however, it does not always exhibit ideal geotechnical characteristics. Consequently, Brazilian tropical soils, such as saprolitic soils, pose challenges due to their granulometric and mineralogical characteristics, as well as their expansion capacity. To stabilize them, techniques like chemical stabilization are employed. Thus, the objective of this study is to evaluate the CBR (*California Bearing Ratio*) of saprolitic soil materials chemically stabilized with the addition of CP II Z-32 cement and CH-I lime. The tests to obtain the minimum proportion for soil stabilization followed DNIT 414/2019-ME standards for cement and DNIT 419/2019-ME standards for lime, followed by the CBR test. The results indicated that a dosage of 2.5 to 3.5% lime would be sufficient to achieve the desired pH of 12.4, while stabilization with cement would require more than 4.5%. The addition of 2.5% lime to the soil increased the CBR enough to meet the subgrade criteria for pavement as per IPR 719 (DNIT, 2006). In contrast, the addition of 4.5% cement increased the CBR by 10 times, surpassing the values of standard crushed stone and meeting the requirements for use as pavement base.

**KEYWORDS:** Soil Improvement; Saprolitic Soil Stabilization; Lime-soil; Cement-soil; Lime Dosage; Cement Dosage.

## 1 INTRODUÇÃO

Para a construção civil, o solo desempenha um papel fundamental, usado como material construtivo e de suporte. Portanto, é essencial compreendê-lo tanto em seu estado natural e quanto como componente construtivo. Embora tão essencial, nem todos os solos apresentam naturalmente as características geotécnicas adequadas para todos os tipos de obra (CAMAPUM DE CARVALHO, 2010; GUIMARÃES, 2002).

Os solos brasileiros, assim como em outros países de climas tropicais úmidos, apresentam características singulares, denominados solos tropicais. Nestas regiões, as altas temperaturas e elevada pluviosidade aceleram a decomposição das rochas locais, resultando em processos de lateralização que concentram óxidos de ferro e/ou alumínio, gerando comportamentos mecânicos e hidráulicos distintivos dos solos não tropicais (NOGAMI e VILLIBOR, 1995; SANTOS, 2006).

O manto de intemperização tropical é dividido em dois grandes grupos de acordo com suas características: os solos encontrados superficialmente, denominados solos lateríticos, e os solos resultantes da decomposição e desagregação *in loco* de rochas, denominados solos saprolíticos (CAMAPUM DE CARVALHO, 2010; NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Camapum de Carvalho et al. (2023) pontuam que as construções de infraestruturas viárias, como ferrovias ou pavimentação, enfrentam desafios significativos devido à movimentação de grandes volumes de solo para a construção das bases, sub-bases e lastros e sub-lastros. Essas obras, frequentemente, exigem o uso de solo de jazidas distantes, gerando custos substanciais. Logo, uma solução para tal ocorrência é a aplicação de técnicas de estabilização dos solos locais, como granulométricas, mecânicas ou químicas, para reduzir custos e garantir a durabilidade das estruturas, promovendo a eficiência e sustentabilidade dos projetos.

O objetivo deste estudo é analisar os valores de CBR, a partir dos teores de cal CH-I e cimento CP II Z-32 obtidos conforme as normas DNIT 414/2019-ME para adição de cimento e DNIT 419/2019-ME para adição de cal. Desse modo, ambas as normas determinam a quantidade de aglomerante necessária para estabilização química de solos. Assim, o solo em estudo é saprolítico e está localizado no estado de Mato Grosso, especificamente localizado no Câmpus Universitário de Várzea Grande da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

## 2 SOLO SAPROLÍTICO

De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2023) os solos saprolíticos possuem uma evolução recente, onde a alteração da rocha proporcionou a criação de um material pulverulento, inconsolidado, conservando a estrutura da rocha, porém com baixa coesão. Diante disso, como o padrão de precipitação dessas regiões é intenso, a erosão ocorre de modo mais acelerado em relação a alteração em locais de topografia mais acentuada e em regiões mais planas, os saprolitos se apresentam em profundidade

Camapum de Carvalho et al. (2023) constatou que os argilominerais primários, que contém nesse solo, possuem um potencial de expansão e, ao serem expostos às intempéries, esses solos liberam as pressões que continham as suas partículas, gerando tensões de expansão no solo.

Futai (1999) afirma que os horizontes que compõem este solo, subjacentes aos lateríticos, possuem grandes variações em relação a extensão da profundidade e variados comportamentos e cores. Desse modo, macroscopicamente são identificados pela presença de material laminado, vazios e características herdadas da rocha matriz. Além disso, pela herança a composição mineralógica também possui variedades, dependendo também do grau de alteração sofrido. Logo, subjacente à parcela saprolítica do solo, há uma transição gradual em diferentes níveis da rocha alterada até chegar à rocha matriz.

## 3 SOLO DE ESTUDO

O solo em estudo foi coletado no Câmpus Universitário de Várzea Grande da Universidade Federal de Mato Grosso (CUVG/UFMT). O solo pertence geologicamente, ao grupo Cuiabá, caracterizado predominantemente por filitos, com ocorrências intercaladas de quartzitos, metagrauvacas, metarenitos, metaparaconglomerados e, raramente, metacalcários e filitos calcíferos. Compõe a formação Miguel Sutil, correspondente à subunidade 5 do projeto Coxipó, pertencente ao conjunto litofácies pelítica com laminação plano-paralela e correspondendo a metargilitos ou filitos de cor cinza esverdeada a marrom avermelhada. Encontram-se intercalados com metapelitos maciços e camadas tabulares de arenitos finos a médios,

predominantemente quartzosos e de cor branca com tons róseos (MIGLIORINI, 2000).

De acordo com Luz et al. (2015), a área que compõe o campus Várzea Grande apresenta 5 compartimentos morfopedológicos, do qual o quinto, topo de colina, representa o compartimento morfopedológico do solo em questão. Assim, correspondendo a uma superfície aplainada de inclinação inferior a 6%, apresentando uma velocidade de escoamento baixa, resultando em uma moderada suscetibilidade à erosão. Sua constituição é predominante de Plintossolo Pétrico, além de Neossolo Litólico, e a camada superficial apresenta abundância de cascalho.

#### 4 ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO

A estabilização do solo pode ocorrer por meio de diversos métodos, como mecânico, granulométrico e químico. Em especial, a estabilização química envolve interações físicas e reações químicas dos agentes estabilizantes com as partículas do solo, que conduzem as partículas a uma condição de aglomeração (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2023)

Gondim (2008) complementa que essas reações químicas modificam as propriedades físicas, resultando na melhoria e estabilidade das propriedades mecânicas e hidráulicas do solo. Os agentes estabilizantes podem ser cimento, cal, produtos betuminosos, polímeros, entre outros.

De acordo com Bauer (2019), a estabilização química do solo com aglomerante hidráulico ocorre por meio da hidratação do aglomerante, resultando em uma alteração da carga elétrica das partículas argilosas devido à troca de cátions, promovendo a atração entre as partículas e levando à sua aglomeração em partículas maiores. Diante disso, resulta na perda da plasticidade da mistura. Logo, o resultado desse processo é a formação de estruturas em formato de cadeias hexagonais, que encapsulam partículas que não se aglutinam completamente, impedindo assim sua expansão devido à impermeabilidade.

#### 5 METODOLOGIA

Para esta pesquisa, foi coletada uma amostra representativa do solo no CUVG/UFMT, localizado na região do Chapéu do Sol, Várzea Grande, especificamente, nas coordenadas geográficas 15° 35' 4" S, 56° 11' 52" W no sistema Datum SIRGAS, obtidas a partir do aplicativo TimesTamp Camera Free, em uma altitude média de 170 m.

A amostra foi coletada, acondicionada, devidamente identificada e transportada para o Laboratório Multidisciplinar em Geotecnia e Infraestrutura de Transportes - GEOINFRA (UFMT) para análises subsequentes.

No desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados como estabilizantes químicos o Cimento Portland CP II Z-32 e Cal CH-I. Assim, a escolha fundamenta-se no fato de serem os tipos de cimento e cal produzidos no Estado de Mato Grosso, facilitando a aplicação em pavimentos devido à comercialização a granel, favorecendo a compra nas indústrias locais. Os ensaios realizados para caracterização do solo e definição da dosagem estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios realizados e suas respectivas normas técnicas/referências.

ABNT NBR 6457	Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização
ABNT NBR 7181	Análise granulométrica
ABNT NBR 6459	Determinação do limite de liquidez
ABNT NBR 7180	Determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos
EMBRAPA	Determinação do pH do solo
DNIT 414/2019-ME	Determinação do teor de cimento a fim de estabilizar o solo
DNIT 419/2019-ME	Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo
NBR 9895 (ABNT, 2017).	Determinação do valor do índice de suporte Califórnia e da expansão de solos

A granulometria foi realizada com o peneiramento da parcela grossa e a sedimentação da parcela fina.

A análise foi seguida de acordo com a NBR 7181 (ABNT, 2018). A sedimentação foi realizada com e sem defloculante. Para entender melhor as diferenças nos resultados apresentados pelos solos tropicais, é essencial conduzir ensaios granulométricos tanto com defloculante quanto sem, dada a ocorrência microagregados em seu estado natural, (BURGOS e CONCIANI, 2023).

Para determinar o pH do solo e das misturas de solo com cal, seguiram-se as especificações do Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 2017). Este manual objetiva a determinação do potencial hidrogeniônico (pH) por meio de um eletrodo combinado imerso em uma suspensão solo: líquido (água, KCl ou CaCl<sub>2</sub>), na proporção de 1:2,5. Para tal, foram utilizadas água e KCl, totalizando 4 amostras em cada solução.

Para a definição da dosagem do cimento Portland ao solo, adotou-se as especificações da norma DNIT 414/2019-ME, que tem como objetivo determinar o teor mínimo de cimento necessário para estabilizar físico-quimicamente um determinado tipo de solo. A norma foi elaborada conforme a proposta de Casanova et al. (1992), a qual indica uma quantidade mínima de cimento necessária para satisfazer físico-quimicamente as características mineralógicas do solo e possivelmente atingir 2,1 MPa de resistência à compressão simples, critério este imposto na época da publicação.

O objetivo do ensaio é identificar o ponto de máxima variação volumétrica associado ao teor mínimo de cimento necessário para atender ao equilíbrio físico-químico do solo, por meio da interação entre o cimento e as partículas argilosas. Assim, essa interação com os colóides carregados negativamente, juntamente com a hidratação do cimento, provoca mudanças físico-químicas rápidas no sistema, resultando em variações volumétricas significativas quando a mistura é suspensa em água (Casanova et al., 1992).

É notório destacar que foram testadas sete quantidades de cimento adicionadas ao solo: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5%, todas medidas em massa e comparadas com o solo sem adição de cimento. Logo, os ensaios foram realizados ao longo de um período de 72 horas.

Para a definição da dosagem de cal, seguiram-se as especificações da norma DNIT 419/2019-ME, que visa determinar o teor mínimo de cal para a estabilização físico-química do solo. Desse modo, este método baseia-se na abordagem proposta por Eades e Grim (1966), que mede o pH do solo com diferentes teores de cal, visando atingir um pH de 12,4. Assim, pode-se afirmar, que este método simplifica a determinação do teor mínimo de cal necessário para a realização das misturas, e posteriormente, a definição de outras características, como resistência, expansão, permeabilidade, entre outras. Além disso, foram avaliadas treze doses de cal, começando em 0,5% até 6,0%, com incrementos de 0,5%. A quantidade de cal foi medida em massa e comparada com o solo sem adição de cal.

Quanto ao ensaio de CBR, este foi conduzido de acordo com a norma NBR 9895 (ABNT, 2017). Esse ensaio avalia a capacidade de suporte do solo em relação a um valor padrão obtido a partir de uma mistura de britas padronizadas. Os resultados são expressos como uma porcentagem da capacidade de suporte da brita padrão.

Os pesquisadores Ribeiro et al. (2005) encontraram dificuldades para estimar valores semelhantes em ensaios de compactação quando reutilizado as amostras de solos da Baixada Cuiabana. Diante disto, visto que o Manual de Pavimentação DNIT (2006) sugere a utilização da energia intermediária para obras de pavimentação, os ensaios de CBR foram compactados na energia intermediária e sem reuso do material.

## 6 RESULTADOS

Após a realização dos ensaios de granulometria, traçou-se as curvas granulométricas do solo, sendo a sedimentação realizada com e sem o uso de defloculante, conforme exposto os resultados na Figura 1. A pequena diferença observada nas curvas granulométricas com e sem o uso de defloculante sugere que o solo seja saprolítico. Ainda, a caracterização geológica da área, juntamente com os resultados da granulometria, confirma essa classificação como saprolito.

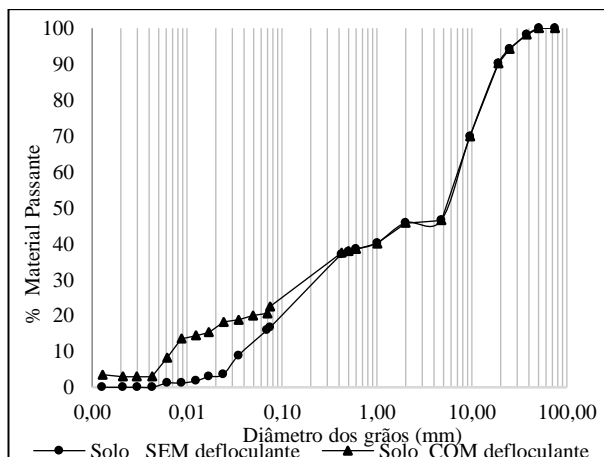


Figura 1: Curvas granulométricas do solo com e sem o uso de defloculante.

Quanto aos valores do limite de liquidez (LL), do limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP) do solo analisado, apresentaram 26%, 18% e 8% respectivamente. Assim, tratando-se de um material com baixa plasticidade. De acordo com a classificação TRB, o solo se enquadra na categoria A-2-4.

O solo apresenta um pH ácido de 5,8 quando testado com água e 4,4 quando testado com solução de KCl. Segundo os pesquisadores Camapum de Carvalho et al. (2023), em solos predominantemente compostos por minerais do tipo 2:1, os colóides têm a capacidade de trocar íons hidrogênio adsorvidos na superfície por íons de potássio. Desse modo, resultando em um pH medido menor quando utilizado KCl em comparação com água destilada.

A dosagem da quantidade de cimento seguiu a norma DNIT 414/2019-ME. Assim, os resultados estão demonstrados na Figura 2, onde se observa que a maior variação volumétrica ocorreu com a dosagem de 4,5% de cimento CP II Z-32.

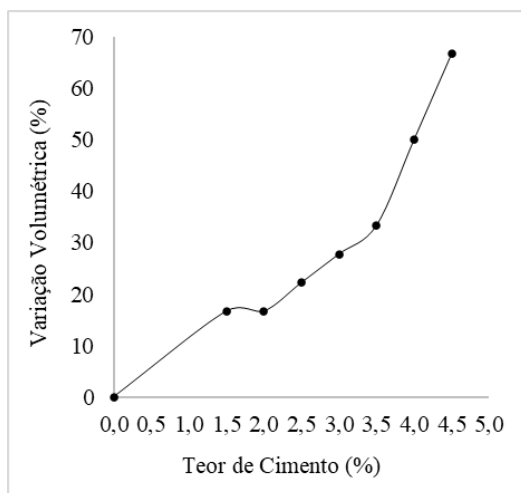


Figura 2: Estimativa da porcentagem de cimento CP II Z-32 para estabilizar o solo.

Contudo, não foi possível determinar um valor mínimo para a dosagem de cimento capaz de estabilizar o solo, pois a variação continuou aumentando conforme a quantidade testada. Cabe destacar que não houve redução na variação de volume, indicando que a porcentagem mínima de dosagem, de acordo com o critério estabelecido na norma DNIT 414/2019-ME, pode ser superior a 4,5%. De acordo com o IPR 719 (DNIT, 2006), em solos estabilizados com cimento, as dosagens variam de 2 a 4%, enquanto para solos-cimento convencionais, a faixa usual é de 6 a 10%. Logo, os resultados de CBR obtidos posteriormente demonstraram valores superiores aos encontrados para a brita padrão com 4,5% de cimento.

A dosagem de cal seguiu a norma DNIT 419/2019-ME, que estabelece o pH de 12,4 como ideal, conforme apresentados os resultados na Figura 3.

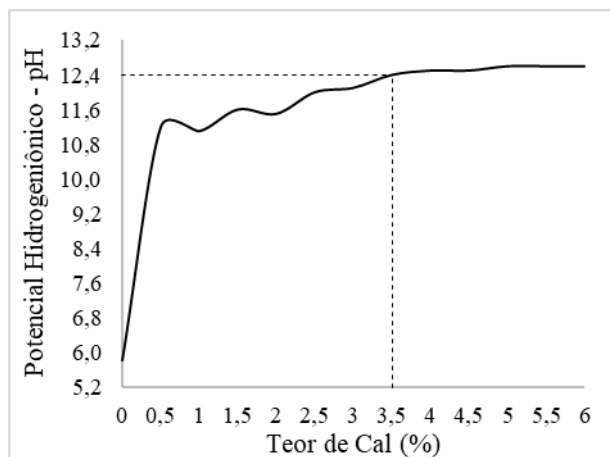


Figura 3: Estimativa da porcentagem de cal CH-I a ser adicionada ao solo.

O pH foi medido para várias dosagens de cal, variando de 0,0 a 6,0% de adição em massa ao solo. A menor adição de cal, de 0,5 %, elevou o pH do solo de 5,8 para 11,2. Após a adição de 3,5% de cal, observou-se uma tendência de estabilização dos valores medidos de pH, que se mantiveram entre 12,4 e 12,6 até a quantidade de 6% de cal. A Tabela 3 apresenta e resume os resultados dos valores de pH em relação às diversas dosagens de cal.

Os resultados do método de pH indicaram que, para estabilizar o solo da pesquisa, foram requeridos 3,5% de cal CH-I para atingir o pH de 12,4. Entretanto, é relevante salientar que a mistura contendo 2,5% de cal apresentou um pH de 12,1, valor próximo ao ideal proposto pelo método. Nesse cenário, seria viável explorar a possibilidade de reduzir a quantidade de cal em 1%, o que contribuiria conforme mencionado por Guimarães (2002) e Rezende (2003) para uma redução dos custos do transporte, indo de encontro com isso, foi realizado o ensaio de CBR com a mistura de solo com cal em uma proporção de 2,5% assim como Frezza (2016) optando por avaliar uma proporção distinta da encontrada pelo ensaio da norma DNIT 419/2019-ME com o intuito de verificar cientificamente o resultado.

Em seguida, a Tabela 2 apresenta os valores obtidos no ensaio de CBR para o solo adicionado de 4,5% de cimento e solo adicionado de 2,5% de cal.

Tabela 2: Resultado dos valores de expansão e CBR do solo e das misturas com cal e cimento

Amostras	Solo			Solo+4,5% de cimento			Solo+2,5% de cal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Expansão (%)	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,05	0,04	0,04
Expansão média (%)	0,17			0,07			0,04		
CBR (%)	11	17	19	220	173	186	21	35	23
CBR médio (%)	18			180			22		

Em relação ao CBR, observou-se pouca variação entre o valor obtido com a adição de 2,5% de cal e o solo natural. No entanto, conforme as diretrizes do IPR 719 (DNIT, 2006), para que um material seja utilizado como subleito, é necessário que o CBR seja igual ou superior a 20% e que a expansão seja igual ou inferior a 1%. Portanto, mesmo com uma variação de apenas 4%, essa diferença permite que o material seja empregado como subleito de pavimentação, caso seja necessário.

Com a adição de cimento, o valor de CBR aumentou em 10 vezes em relação ao solo natural, ultrapassando até mesmo o valor de CBR da brita padrão. Os resultados obtidos com a adição de 4,5% de cimento permitem que o material seja utilizado como base de pavimento, atendendo aos requisitos mínimos de CBR exigidos pelo IPR 719 (DNIT, 2006), que especifica um valor mínimo de 80% de CBR e uma expansão inferior a 0,5%.

## 8 CONCLUSÃO

A estabilização do solo com adição de cal e cimento mostrou-se eficaz. Com 2,5% de cal, o solo atingiu os critérios necessários para subleitos de pavimentação, enquanto 4,5% de cimento elevou o CBR a níveis

superiores aos da brita padrão, permitindo seu uso como base de pavimento. Estes resultados indicam que ambas as técnicas melhoram significativamente as propriedades geotécnicas do solo.

testar outras dosagens inferiores a 4,5% de cimento é uma alternativa valiosa, uma vez que o CBR excedeu o valor mínimo exigido. Além disso, os resultados de CBR e expansão das dosagens de 3,0% e 3,5% de adição de cal afim de comparar para determinar a eficiência relativa dessas proporções.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Mato Grosso por disponibilizar o laboratório durante a pesquisa, às professoras doutoras Fabiani Maria Dalla Rosa Barbosa e Marina Donato pela paciência e atenção dedicado à nossa pesquisa e aos colegas que colaboraram.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2016). NBR 6457: *Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2016). NBR 7180: *Solo - determinação do limite de plasticidade*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2017). NBR 6459: *Solo - determinação do limite de liquidez*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2018). NBR 7181: *Solo - análise granulométrica*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1017). NBR 9895: *Solo: índice de suporte Califórnia (ISC): método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- BAUER, L. A. F. (2019) *Materiais de construção*, v. 2. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC.
- BURGOS, P. C.; CONCIANI, W. (2023) *Índices físicos, textura, consistência e classificação de solos*. Capítulo 09. (p.265-294). Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G. de F. N., Machado, S. L., Mascarenha, M. M. dos A., Silva Filho, F. C. da, Rodrigues, R. A. (Organizadores). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 2 ed. – São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, São Paulo. <https://doi.org/10.4322/978-65-992098-3-3.cap09>
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. (org). (2023) *Estruturas de pavimento no contexto dos solos não saturados*. Capítulo 28. (p.970-1021). Camapum de Carvalho, J., Gitirana Junior, G. de F. N., Machado, S. L., Mascarenha, M. M. dos A., Silva Filho, F. C. da, Rodrigues, R. A. (Organizadores). *Solos não saturados no contexto geotécnico*. 2 ed. – São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS, São Paulo. <https://doi.org/10.4322/978-65-992098-3-3.cap28>
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2010) Solo como material de construção. In: ISAIA, G. C. (ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2 ed. v. 1. São Paulo: IBRACON.
- CASANOVA, F. J.; Ceratti, J. A. Rodrigues, M. G. M. (1992) *Procedimento para dosagem físico-química do solo cimento*. In: *Reunião Anual de Pavimentação*, 26<sup>a</sup>, Aracaju, Anais, Aracaju, ABPV, p. 82-86.
- DNIT IPR 719/2006. *Manual de Pavimentação*. 3. Ed. Rio de Janeiro.
- DNIT 414/2019 ME: *Pavimentação – Solo-Cal* – Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo – Método de ensaio. Brasília.
- DNIT 419/2019-ME: *Pavimentação – Solo-Cimento* – Dosagem físico-química de solo-cimento – Método de ensaio. Brasília.
- EADES, J. L.; GRIM, R. E. A quick test to determine lime requirements for lime stabilization. *Highway Research Record*, Washington, DC, n. 139, p. 61-72, 1966.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. 3. ed. rev., atual. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. Disponível

em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087312/1/Pt2Cap1pHdosolo.pdf>.  
Acesso em: 20 out. 2023.

- FREZZA, B. S. *Estabilização de solo arenoso com aditivo CON-AID® CBR-PLUS®*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.
- FUTAI, M. M. (1999) *Propriedades geotécnicas de solos saprolíticos e rochas alteradas de filito*. IX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia (CBGE).
- GONDIM, L. M. (2008) *Estudo experimental de misturas solo-emulsão aplicado às rodovias do agropólo do Baixo Jaguaribe*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Ceará.
- GUIMARÃES, J. E. P. (2002) *A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil*. 2. ed. São Paulo: PINI.
- LUZ, T. E. et al. (2015) *Morfopedologia aplicada à concepção de obras em microbacia do perímetro urbano de Várzea Grande-MT*. Rev. Ambient. Água, Taubaté, v. 10. 3.
- MIGLIORINI, R. B. (2000) *Hidrogeologia em meio urbano: região e Cuiabá e Várzea Grande-MT*. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Universidade de São Paulo. São Paulo.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: ed. Villibor.
- REZENDE, L. R. *Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis*. 2003. 372 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003
- RIBEIRO JÚNIOR, I. et al. (2005) Estudo do comportamento da curva de compactação e dos índices físicos do solo saprolítico de filito com adição de cal hidratada cálcica. In: *SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS EROSIVOS NO CENTRO-OESTE*. II., Goiás.
- SANTOS, E. F. (2006) *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificação geotécnicos aplicados aos solos tropicais*. São Carlos. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-29052007-163758/publico/EFS.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2023.