

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

KAROLAYNE PERES DE MELO
RENATA DE OLIVEIRA
THATIELLY MAYARA DIAS GONTIJO

ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SOLOS GOIANOS BASEADA NO
MÉTODO DE EADES E GRIM

TRINDADE

2022

KAROLAYNE PERES DE MELO
RENATA DE OLIVEIRA
THATIELLY MAYARA DIAS GONTIJO

**ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SOLOS GOIANOS BASEADA NO
MÉTODO DE EADES E GRIM**

Trabalho apresentado à disciplina TCC II do curso de Bacharelado em Engenharia Civil para obtenção de nota parcial.

Orientador(a): Me Geraldo Pereira da Silva Junior

TRINDADE

2022

KAROLAYNE PERES DE MELO
RENATA DE OLIVEIRA
THATIELLY MAYARA DIAS GONTIJO

**ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SOLOS GOIANOS BASEADA NO
MÉTODO DE EADES E GRIM**

Trabalho apresentado à disciplina TCC II do curso de Bacharelado em Engenharia Civil para obtenção de nota parcial.

Orientador: Me Geraldo Pereira da Silva Junior

Aprovado em 15 de dezembro de 2022

Geraldo Pereira da Silva Junior

Professor / Instituto Federal Goiano

Presidente / Orientador

Lara Batista Ferreira de Lima

Faculdade de Ciência e Tecnologia / Universidade Federal de Goiás

Membro externo

Bruna Andrade Ferreira

Engenharia Civil / Instituto Federal de Goiás

Membro externo

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

M528e Melo, Karolayne Peres de.

Estabilização Físico-Química de Solos Goianos Baseada No Método de Eades e Grim
[manuscrito] / Karolayne Peres de Melo; Renata de Oliveira; Thatielly Mayara Dias
Gontijo. . – 2022.
38 f.

Orientador Me. Geraldo Pereira da Silva Junior. Trabalho de Conclusão de
Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal Goiano, Campus
Trindade, 2022.
Bibliografia.

1. Pavimentação. 2. Solo-Cal. 3. pH. I. Junior, Geraldo Pereira da Silva, orient..
II. Instituto Federal Goiano, Campus Trindade. III. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado) Artigo científico
 Dissertação (mestrado) Capítulo de livro
 Monografia (especialização) Livro
 TCC (graduação) Trabalho apresentado em evento
 Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Karolayne Peres de Melo; Renata de Oliveira, Thatielly Mayara Dias Gontijo

Matrícula:

2020108206840345, 2018108200840326, 20181082040343

Título do trabalho:

Esta bilizcaõ o Físico-Química de Solos Goianos Basea da No Método de Eades e Grim

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIF Goiano: 27/01/2023

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade

26/01/2023

Local

Data

Karolayne Peres de Melo Renata de Oliveira Thatielly M. D. Gontijo

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Genalbo Pereira da Silva Júnior

Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

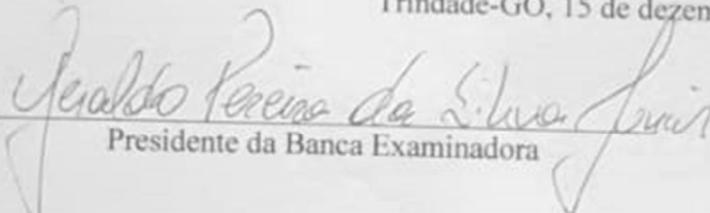
Aos quinze dias do mês de dezembro de 2022, às 17 horas e 17 minutos, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Me. Geraldo Pereira da Silva Junior e composta pelos avaliadores:

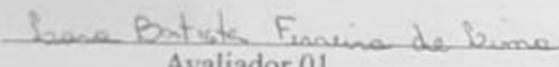
1. Me. Lara Batista Ferreira de Lima e
2. Me. Bruna Andrade Ferreira

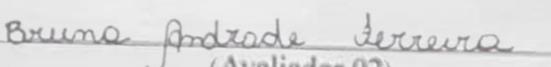
as alunas Karolayne Peres de Melo, Renata de Oliveira e Thatielly Mayara Dias Gontijo apresentaram o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SOLOS GOIANOS BASEADA NO MÉTODO DE EADES E GRIM, como requisito curricular indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano Campus Trindade.

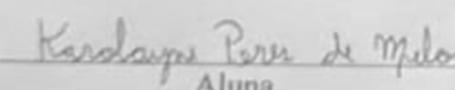
A Banca Examinadora deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO do referido trabalho, mediante correções sugeridas, divulgando o resultado formalmente as alunas e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelas alunas.

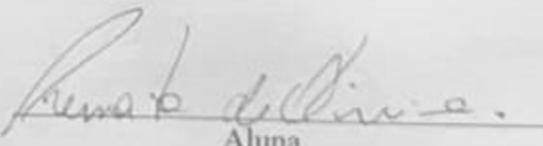
Trindade-GO, 15 de dezembro de 2022.

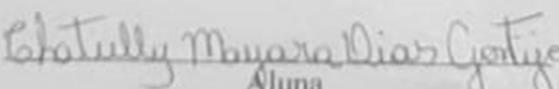

Presidente da Banca Examinadora


Avaliador 01


(Avaliador 02)


Aluna


Aluna


Aluna

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, que nos deu forças para alcançar nossos objetivos.

Agradecemos aos nossos familiares, que estiveram ao nosso lado e nos apoiaram constantemente.

Agradecemos aos nossos orientadores, professor Nelson Luis da Cunha por ter feito seu melhor ao nos orientar em nosso tempo juntos, e professor Geraldo Pereira da Silva Junior por assumir nossa orientação e ter nos ajudado nesse momento difícil.

Agradecemos a professora Lilian Ribeiro de Rezende por ser nossa colaboradora, pelo exemplo de profissional, integridade e dedicação.

Agradecemos também a professora Bruna Andrade Ferreira por todos os bons conselhos e cuidados amorosos e a professora Isabela Silva de Carvalho pelas contribuições ao nosso trabalho.

Agradecemos a Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás por ceder o Laboratório de Geotecnia e o corpo técnico do laboratório por ajudar nos ensaios, especialmente os técnicos João Júnior e Lara e o apoio técnico Marco Antonio.

Agradecemos a todos que, mesmo de forma indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Os solos predominantes na superfície do território brasileiro são os lateríticos argiloso e arenoso, sendo que tais solos podem ser utilizados na pavimentação nomeada por Nogami e Villibor (1995) como de baixo custo. Nessa linha, aproveita-se materiais locais e, se necessário, realiza-se mistura com outros componentes para alcançar estabilização mecânica ou química de forma a atingir a capacidade de suporte exigida de projeto. Dessa forma, objetivando estudar a estabilização química de solos lateríticos com cal baseada no método de Eades e Grim, o presente trabalho analisou cinco solos situados em diferentes municípios do estado de Goiás. O método utilizado estabelece que o teor mínimo de cal calcítica necessária para atingir o valor de pH de 12,4 corresponde ao teor ideal para estabilizar um solo. Os resultados obtidos apontaram um teor mínimo de 2% para dois dos cinco solos estudados e 4% para os três restantes. Assim, verifica-se que com baixo teor de cal é possível viabilizar o uso de solos lateríticos locais em camadas estruturais de pavimento.

Palavras-chave: Pavimentação, Solo-Cal, pH.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

The predominant soils on the surface of Brazilian territory are clayey and sandy laterites, which can be used in paving named by Nogami and Villibor (1995) as low cost. In this way, local materials are used and, if necessary, mixed with other components to achieve mechanical or chemical stabilization in order to achieve the required support capacity of the project. In this way, aiming to study the chemical stabilization of lateritic soils with lime based on the Eades and Grim method, this work analyzed five soils located in different municipalities in the state of Goiás. The method used establishes that the minimum content of calcite lime necessary to reach the pH value of 12.4 corresponds to the ideal content to stabilize a soil. The results obtained pointed to a minimum content of 2% for two of the five studied soils and 4% for the remaining three. Therefore, it is possible to use local lateritic soils in structural layers of paving with a low lime content.

Palavras-chave estrangeiras: Paving, Soil-Lime, pH.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrência de solos lateríticos e saprolíticos no território brasileiro (modificado de VILLIBOR <i>et al.</i> , 2009)	14
Figura 2 - Corte rodoviário, com camada laterítica sobrejacente a uma camada saprolítica de origem sedimentar, com as correspondentes micro-fábricas (VILLIBOR <i>et al.</i> , 2019).....	15
Figura 3 - Mapa de localização de coleta dos solos estudados.....	20
Figura 4 - Fluxograma de metodologia TCC II.....	21
Figura 5 - Amostras secas da mistura de solo e cal e de 2g de cal	23
Figura 6 - Amostras pós-agitação	23
Figura 7 - Aferição do pH da solução.....	24
Figura 8 - Ensaio de pHmetro solo A.....	26
Figura 9 - Ensaio de pHmetro para o solo B	27
Figura 10 - Ensaio de pHmetro solo C.....	29
Figura 11 - Ensaio de pHmetro solo laterítico D	30
Figura 12 - Ensaio de pHmetro solo E	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estabilização de solos	18
Tabela 2 - Relação dos solos	20
Tabela 3 - Ensaio e normas	22
Tabela 4 - Caracterização e classificação dos solos lateríticos anteriormente estudados.....	24
Tabela 5 - Caracterização e classificação do solo saprolítico anteriormente estudado	25
Tabela 6 - Ensaio de pHmetro solo A	26
Tabela 7 - Ensaio de pHmetro para o solo B	27
Tabela 8 - Ensaio de pHmetro solo C	28
Tabela 9 - Ensaio de pHmetro solo D	30
Tabela 10 - Caracterização solo E	31
Tabela 11 - Ensaio de pHmetro solo E.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

ATR – Afundamento de Trilha de Roda

CBR - California Bearing Ratio

CNT - Confederação Nacional dos Transportes

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EECA - Escola de Engenharia Civil e Ambiental

HRB - Highway Research Board

IFI - International Friction Index

IGG – Índice de Gravidade de Global

ISC - Índice de Suporte Califórnia

LA - Areia laterítica

LA' - Solo arenoso laterítico

LabGeo - Laboratório de Geotecnia

LG' - Solo argiloso laterítico

MCT - Miniatura, Compactado, Tropical

NA - Areia não laterítica

NA' - Solo arenoso não laterítico

NS - Silte não laterítico

SCA - Solo-cal

SUCS - Sistema Unificado de Classificação dos Solos

UFG – Universidade Federal de Goiás

USCS - Unified Soil Classification System

VSA - Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 CLASSIFICAÇÃO MCT DOS SOLOS.....	15
2.2 COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO.....	16
2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS.....	17
2.3.1 Estabilização Físico-Química Solo-Cal	18
3 METODOLOGIA	19
3.1 MATERIAIS.....	19
3.2 MÉTODOS.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	24
4.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR MÍNIMO DE CAL.....	25
4.2.1 Solo A	25
4.2.2 Solo B	27
4.2.3 Solo C	28
4.2.4 Solo D	29
4.2.5 Solo E	31
4.2.6 Síntese e considerações dos resultados de determinação de cal	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

As estradas são de grande relevância logística no Brasil. A pesquisa feita pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2022) aponta que 64,9% das mercadorias e 90,0% dos passageiros têm suas movimentações feitas pelo modal rodoviário. Além da importância logística, as rodovias dão suporte à cidadania, pois, por meio de estradas, tem-se acesso à educação, à saúde, ao lazer, à cultura e ao trabalho (BALBO, 2007).

Como características próprias desses modais estão a velocidade de cada veículo, acessibilidade da trajetória, tempo para locomoção e as consequências das atividades humanas na natureza. Com todos esses elementos, um bom desempenho de dimensionamento da estrutura de um pavimento é fundamental para manter uma infraestrutura moderna, planejada e que atenda às demandas do país (CNT, 2022).

Devido à importância do sistema modal rodoviário para o escoamento de produtos e deslocamentos de pessoas, a especificação do Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), normatiza a composição da estrutura de um pavimento no intuito de aprimorar todas as circunstâncias das pistas de rolamento para melhor segurança e comodidade, resistir e transmitir ao subleito as forças verticais devido ao tráfego e as forças horizontais que nela atuam, mantendo uma superfície de rolamento mais durável.

Isto posto, constata-se que o subleito é a fundação da estrutura do pavimento, determinado a conciliar o leito estradal, de forma a torna-lo equivalente às características geométricas das camadas subjacentes do pavimento e resistir às ações no qual o pavimento será submetido (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DNIT, 2006). Há a possibilidade de melhorias desses solos a partir das estabilizações mecânica (variação da energia de compactação), granulométrica (mistura de solos ou outros materiais de várias granulometrias) ou química (incorporação de aditivos). Essas melhorias possibilitam o dimensionamento da estrutura ou o uso de solos encontrados no próprio local da obra em camadas estruturais como sub-base e base. Este trabalho tem enfoque na estabilização química utilizando cal hidratada, já que os solos superficiais mais abundantes em Goiás são os argilosos lateríticos (GEOGOIÁS, 2022). Segundo Guimarães (2022), a escolha do uso da cal no solo depende da relação entre a argila e o quartzo que estão presentes no solo, da presença de compostos orgânicos, da temperatura, da água, do tipo e do teor da cal que vai ser utilizada.

No estado de Goiás são encontrados de forma predominante solos denominados como Latossolos ou Lateríticos (GEOGOIÁS, 2022), que, no seu estado natural podem apresentar capacidade de suporte baixa devido aos índices elevados de vazios (SOUZA PINTO, 2006), tendo, assim, capacidade geotécnica inferior à exigida por norma para as camadas granulares do pavimento. No entanto, ao ser compactado ou estabilizado quimicamente esses solos podem ter potencial de utilização em obras de pavimentação conforme demonstrado nos estudos de Nogami e Villibor (2009).

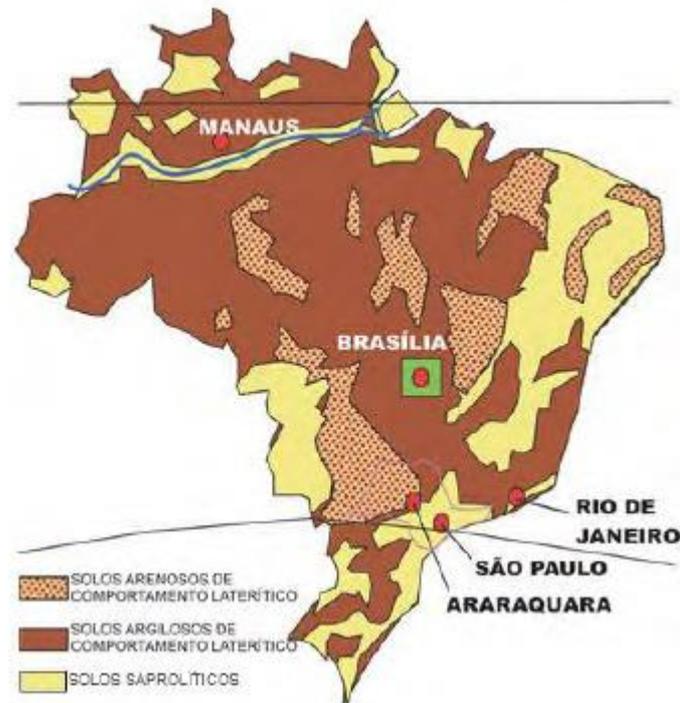
Buscando soluções financeiramente viáveis, tem-se como possibilidade para a estabilização química, a utilização da cal calcítica, que, em contato com o solo, promove reações químicas capazes de alterar certas propriedades do material, deixando-o trabalhável para a pavimentação. A pesquisa realizada tem relevância no cenário da pavimentação goiana, pois objetivou estabelecer uma relação solo-cal mínima para se estabilizar solos coletados em locais destinados a obras de pavimentação. Para isso, por meio do método de Eades e Grim (1966), foi determinado o teor mínimo de cal para estabilizar quimicamente cinco solos goianos, quatro deles previamente utilizados por outros autores e um coletado e caracterizado para esta pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018) o solo é categorizado como a coleção de corpos naturais, composta por matéria viva, partes tridimensionais, dinâmicas, sólidas, líquidas e gasosas, desenvolvida por meio de materiais orgânicos e minerais. No processo de formação do solo, os agentes do intemperismo são os mais importantes para sua criação, sendo eles: condições topográficas, ações de organismos vivos, estágio de desintegração ou decomposição, rocha de origem e o clima (CAPUTO, 1989).

Quanto à origem dos solos, eles podem ser sedimentares ou transportados, de formação orgânica e residual. Solos sedimentares ou transportados são solos que passaram por alguma ação de agentes transportadores. Solos de formação orgânica são os solos constituídos por decomposição orgânica. Logo, os solos residuais são provenientes da deterioração da rocha e permanecem no local da rocha-mãe, ou seja, na rocha de origem (CAPUTO, 1989). Dentre os solos residuais, no presente trabalho destaca-se os solos lateríticos e os solos saprolíticos, os quais foram estudados.

Figura 1 - Ocorrência de solos lateríticos e saprolíticos no território brasileiro (modificado de VILLIBOR *et al.*, 2009)



Os solos lateríticos são predominantes no território brasileiro (Figura 1) e oriundos de evolução de solos de clima quente, com regime de chuvas ponderadas a constantes (VILLIBOR e ALVES, 2019). Em sua constituição, os solos lateríticos contêm argila composta em sua maioria por minerais caulíníticos, apresentando cor avermelhada devido à elevada porção de alumínio e ferro. Conforme Pinto (2006), dentre as características dos solos lateríticos, após a compactação há ganho de capacidade de suporte, e em presença de água não há expansibilidade do solo e com a perda de umidade há retração do solo.

Os solos saprolíticos também estão presentes no território brasileiro (Figura 1) e são solos considerados jovens, que conservam a estrutura da rocha-mãe, mas não sua rigidez (PINTO, 2006). Um perfil com camadas laterítica e saprolítica pode ser visto na Figura 2. Com o intemperismo, a rocha se decompõe em solo e muda sua coloração, a depender do tipo de minerais presentes na rocha-mãe. A textura, a porosidade e a estrutura desse solo residual são definidas pela intensidade da alteração da composição mineralógica. A configuração do relevo tem grande importância na formação dos solos residuais, dado que o relevo pode contribuir para maiores taxas de infiltração de água (ANTUNES, 2015).

Figura 2 - Corte rodoviário, com camada laterítica sobrejacente a uma camada saprolítica de origem sedimentar, com as correspondentes micro-fábricas (VILLIBOR *et al.*, 2019)



2.1 CLASSIFICAÇÃO MCT DOS SOLOS

Para Nogami e Villibor (1995), dentre os solos tropicais, ou seja, solos que apontam propriedades específicas quanto aos solos não tropicais, os solos lateríticos e saprolíticos são os dois mais destacados. Esses solos tropicais não apresentavam um comportamento bom para base e sub-base de pavimentos pelas classificações de solos tradicionais por meio dos sistemas HBR - AASHTO (*Highway Research Board, American Association of State Highway and Transportation Officials*) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS, do inglês USCS - *Unified Soil Classification System*).

Como essas classificações de solos tradicionais foram oriundas dos Estados Unidos, em regiões que possuem climas temperados e frio, elas foram desenvolvidas para os solos provenientes dessas condições climáticas, não sendo representativas para os solos tropicais. Logo, Nogami e Villibor (1981) apresentaram o sistema de classificação de solos MCT, isto é, Miniatura, Compactado, Tropical.

A metodologia MCT baseia-se em ensaios que indicam as propriedades das miniaturas (50 mm de diâmetro) dos corpos-de-prova compactados, conforme a norma do DNER-CLA 258/94. Quanto ao comportamento dos solos quando compactados, a metodologia MCT

classifica-os como solo laterítico (símbolo L) ou solo não laterítico (ou seja, saprolítico, símbolo N).

A classificação MCT possui sete grupos de solos, sendo três com comportamento laterítico e quatro com comportamento não laterítico. Os que possuem comportamento laterítico são os solos argilosos lateríticos (LG'), solos arenosos lateríticos (LA') e as areias lateríticas (LA) e os que possuem comportamento não laterítico são os solos argilosos não lateríticos (NG'), solos siltosos não lateríticos (NS'), solos arenosos não lateríticos (NA') e as areias não lateríticas (NA), conforme a classificação da norma do DNER-CLA 259/96.

2.2 COMPOSIÇÃO DO PAVIMENTO

É inerente à pavimentação o conceito de melhoramento das características do tráfego, do conforto de rolamento, da segurança do motorista e o cuidado com a poluição sonora por promover pavimentos que amenizam ruídos causados pela ação do contato pneu-pavimento (BALBO, 2007). Pavimentos que não apresentam o desempenho esperado quando avaliados parâmetros como IGG (Índice de Gravidade Global), ATR (Afundamento de Trilha de Roda) ou IFI (*International Friction Index*) podem ultrapassar os limites de aceitabilidade e de trafegabilidade quando têm seu VSA (valor de serventia atual) aferido (DNIT, 2011).

De um ponto de vista técnico, o pavimento é construído por camadas de diferentes materiais, a espessura das camadas é dimensionada a depender das deformações que ela sofrerá devido às solicitações feitas, seja por clima, seja por tráfego ou pela geometria onde serão assentadas (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Para Balbo (2007) pavimento é constituído por camadas, acima do subleito, com diferentes materiais compactados, a fim de receber e distribuir as cargas solicitadas, de forma a suavizar pressões em estratos inferiores. Dentre essas têm-se a base e a sub-base, que podem ser constituídas de materiais estabilizados, seja de forma mecânica ou química.

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) designa os pavimentos como flexíveis, semirrígidos e rígidos. Os flexíveis, em decorrência da aplicação das cargas sofrem deformações elásticas, não apenas no revestimento, mas em todas as camadas. Os pavimentos semirrígidos são aqueles que apesar de ter revestimento asfáltico, tem sua base composta por material com maior rigidez. Por fim, tem-se a nomenclatura de pavimentos rígidos, onde o revestimento consegue dissipar uma parte significativa das tensões provocadas pelas cargas

atuantes nele. Um exemplo de pavimento rígido são os revestimentos compostos de cimento Portland.

O dimensionamento de pavimentos tem por objetivo, com tráfego predeterminado, estabelecer as espessuras e os tipos de materiais das camadas do pavimento, com observância no clima local. Existem métodos variados de dimensionamento de pavimento, e esses vários métodos podem ser atribuídos por inúmeras razões, mas a principal apontada por Balbo (2007), é a falta da concordância em descrever de forma quantitativa a ruptura de um pavimento. Dessa forma, o autor indica que há basicamente três tipos de rupturas de pavimentos que norteiam o dimensionamento de pavimentos, a ruptura plástica e estrutural ocorre quando o pavimento não resiste as cargas submetidas a ele, ocorrendo dessa forma deformabilidade plástica excessiva. O segundo tipo de ruptura tem cunho estrutural, acarretado por fadiga. Por último, tem-se a ruptura funcional ou operacional, que está relacionada a rolagem do pavimento, a segurança e o conforto transmitido ao condutor.

Para projetos de dimensionamento são utilizados três métodos: o empírico, que é traçado a partir da observação das condições dos pavimentos com os dados físicos medido em campo, (alguns exemplos são os estudos da AASHTO com suas pistas experimentais); o método semiempírico, que ultrapassa os resultados empíricos, por exemplo, com o uso do parâmetro ISC (Índice de Suporte Califórnia) – ou CBR (*California Bearing Ratio*); e o método empírico-mecanicista, que nasce a partir de modelo teórico com dados coletados em campo e em laboratório (BALBO, 2007).

2.3 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

Em obras de pavimentação o solo desempenha um relevante papel, por ser o material que tem impacto direto na qualidade do pavimento e no custo final da obra. Quando o solo disponível no local não possui capacidades geotécnicas exigidas para suportar as cargas atuantes, há duas opções: a troca desse material por um que atenda a necessidade da obra, o que envolve custos de transporte, ocasionando gasto elevado no valor da obra, ou fazer uso de alguma das muitas técnicas de estabilização de solos, o que pode ser economicamente favorável, e proporcionar melhora na capacidade mecânica do solo.

A estabilização de solos visa a melhoria das suas propriedades físicas, e pode ser feita por três métodos, segundo Kezdi (1979):

- i. Métodos mecânicos que estabilizam o solo sem necessidade de uso de aditivo, fazendo-se por drenagem e/ou pela mistura de solo distintos e quase sempre atrelados à compactação;
- ii. Métodos físicos que reagem fisicamente levando à estabilização, que englobam: mudança de temperatura, hidratação, evaporação e adsorção;
- iii. Métodos químicos, ou seja, reações químicas que estabilizam o solo por meio de trocas iônicas, por precipitação, polimerização ou a oxidação.

De forma geral, conforme Lima *et al.* (1993), a estabilização mecânica do solo reorganiza as partículas a partir da compactação e/ou por meio de adição de novas partículas para que seja corrigida a granulometria.

Segundo o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), o método de estabilização química dos solos ocorre por três processos:

- Alteração da plasticidade e sensibilidade à água;
- Por cimentação fraca, denominada carbonatação;
- Por cimentação forte, denominada pozolanização.

A Tabela 1 mostra os possíveis métodos de estabilizações de solos.

Tabela 1 - Estabilização de solos

Estabilização mecânica	Estabilização Química
Solo-brita	Solo cimento/Solo melhorado com cimento
Brita graduada	Solo cal/Solo melhorado com cal
Brita corrida	Solo betume/bases betuminosas
Outros	Outros

2.3.1 Estabilização Físico-Química Solo-Cal

A estabilização química, com o acréscimo de aditivo realiza reações químicas que aglutinam o solo (CRISTELO, 2001), e tais reações químicas alteram de forma permanente as propriedades do solo. Dentre os aditivos usados na estabilização química emprega-se a cal, e há registro de sua utilização há mais de 2000 anos (HERRIN; MITCHELL, 1961). Nos tempos atuais o método continua difundido não apenas em obras de pavimentação. A mistura SCA

(solo-cal) pode proporcionar ao solo menor suscetibilidade à água e maior resistência ao cisalhamento (BALBO, 2007). Cita-se, ainda, mudanças nas características do solo quanto à estabilidade volumétrica, durabilidade e tensão-deformação (CASTRO-FRESNO *et al.*, 2011).

As trocas catiônicas e floculação causadas pela cal, provocam mudanças na plasticidade do solo e as reações pozolânicas, que são cimentações, provocam o aumento de resistência do solo (LITTLE, 1999).

Rocha e Rezende (2017) observaram um aumento pequeno, mas perceptível, no valor de módulo de resiliência em misturas de solo com cal, enquanto Lima *et al.* (2022) constataram um aumento de 51,8% no CBR de um solo estabilizado com cinza do bagaço de cana de açúcar e 2% de cal hidratada.

Para se estimar o valor de cal necessário para estabilizar o solo, usa-se quantidades variadas de cal, que resultam em alteração de valor de pH. Para que ocorra no solo reações pozolânicas, o método proposto por Eades e Grim, determina que se deve alcançar um pH de 12,4 com a adição de cal ao solo, desta forma o solo tem suas propriedades mecânicas alteradas e ganho de resistência. Nos casos em que o pH alcançado é maior que 12,4, deve-se considerar o menor valor de pH acima de 12,4 obtido consecutivamente em dois teores de cal (EADES e GRIM, 1966; ASTM, 2006).

3 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os materiais e métodos utilizados neste estudo.

3.1 MATERIAIS

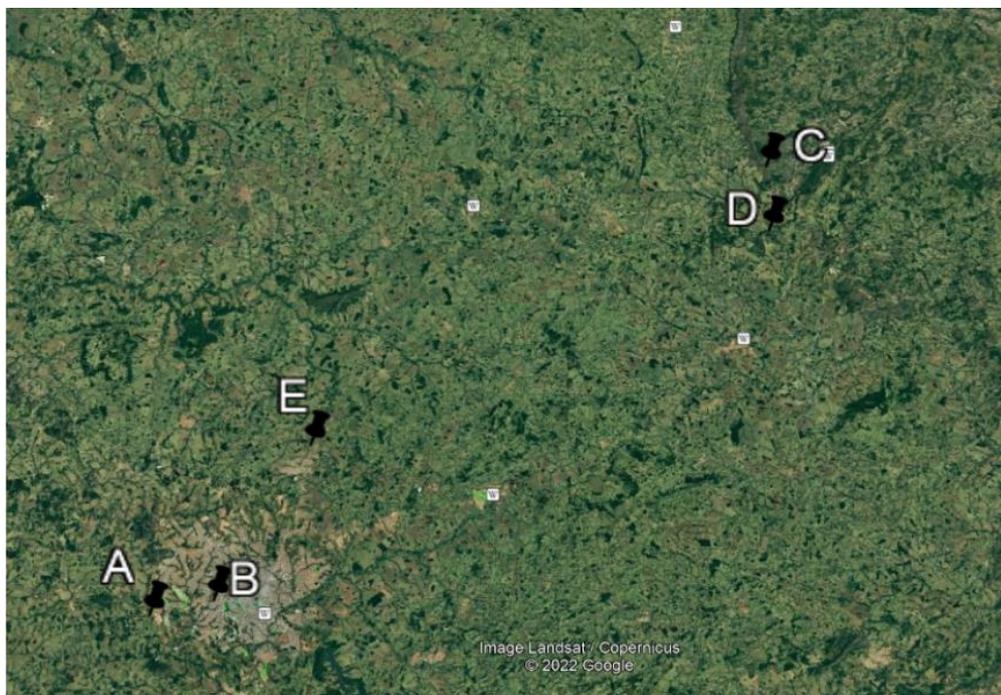
Dentre os solos estudados, o solo laterítico de Freitas (2019), o solo de Cavalcante (2022) e o solo coletado em Trindade-GO são classificados como solo argiloso laterítico (LG'), enquanto o solo saprolítico de Freitas (2019) é classificado como solo siltoso não laterítico (NS') e o solo de Pereira (2022) como solo arenoso laterítico (LA'). A classificação MCT, a localização dos solos e os códigos utilizados para nomeá-los são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação dos solos

Código	Autores	Localização	Classificação MCT
A	Pereira (2022)	Aparecida de Goiânia - GO	LA'
B	Cavalcante (2022)	Aparecida de Goiânia - GO	LG'
C	Saprolítico de Freitas (2019)	Trecho entre Mossâmedes - GO e Cidade de Goiás - GO	NS'
D	Laterítico de Freitas (2019)	Trecho entre Itaberaí - GO e Mossâmedes - GO	LG'
E	Próprios autores	Trindade - GO	LG'

O solo E foi coletado no município de Trindade - GO e caracterizado para esta pesquisa. A Figura 3 apresenta a localização de coleta dos cinco solos estudados.

Figura 3 - Mapa de localização de coleta dos solos estudados



As etapas adotadas para esse trabalho consistiram na definição dos materiais; no levantamento dos dados de caracterização, compactação e classificação dos solos A, B, C e D;

na coleta e caracterização do E; na preparação das amostras; e nos ensaios de determinação do teor mínimo de pH. O fluxograma das atividades está discriminado na Figura 4:

Figura 4 - Fluxograma de metodologia TCC II



3.2 MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Geotecnia (LabGeo) da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Para os procedimentos de secagem, destorroamento e quarteamento, as amostras foram preparadas de acordo com a norma do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), norma ME 041 (DNER, 1994). As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas com auxílio de almofariz e mão de gral emborrachada e repartidas com repartidor, separando o solo em quantidades representativas para cada ensaio.

Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, conforme estabelecido pela norma ME 051 (DNER, 1994), de massa específica dos grãos, preconizado na norma ME 093 (DNER, 1994), de limites de consistência orientados pela ME 122 (DNER, 1994) e pela ME 082 (DNER, 1994), de curva de compactação no cilindro tripartido, segundo o procedimento

REDE (2010) e de acordo com as determinações da norma ME 134 (DNIT, 2018). Em adição a isso, foi realizada a classificação MCT conforme instruções da norma ME 254 (DNER, 1997), com realização dos ensaios de compactação em equipamento miniatura ME 258 (DNER, 1994) e de perda de massa por imersão ME 256 (DNER, 1994). Por fim, todos os solos tiveram o teor mínimo de cal necessário para a estabilização determinados de acordo com a norma ME 419 (DNIT, 2019). Todos os ensaios normatizados realizados estão dispostos na Tabela 3.

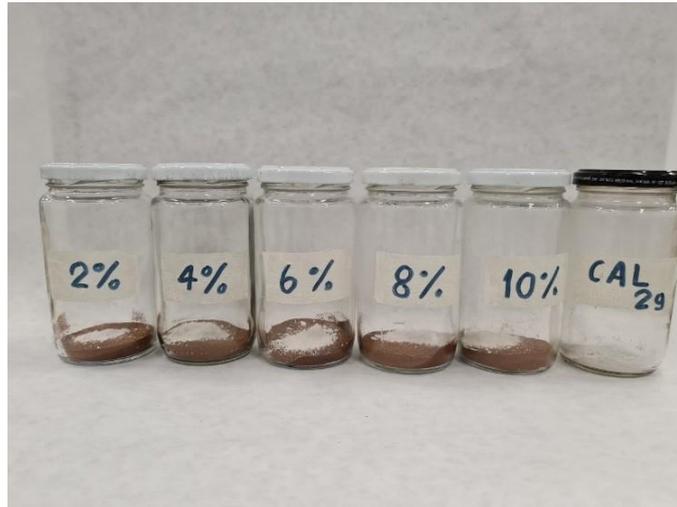
Tabela 3 - Ensaio e normas

Ensaio	Norma
Solos - Análise granulométrica	ME 051 (DNER, 1994)
Solos - Determinação de umidade real	ME 093 (DNER, 1994)
Solos - Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito	ME 122 (DNER, 1994)
Solos - determinação do limite de plasticidade	ME 082 (DNER, 1994)
Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV	ME 258 (DNER, 1994)
Solos compactados em equipamento miniatura – Determinação de perda de massa por imersão	ME 256 (DNER, 1994)
Pavimentação – Solo-Cal – Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo – Método de ensaio	ME 419 (DNIT, 2019)

O ensaio de determinação do teor de cal no solo foi realizado conforme a ME 419 (DNIT, 2019), baseada na norma internacional D 6276-99 (ASTM, 2006), que, por sua vez, é definida de acordo com o método proposto por Eades e Grim (1966). Para cada solo, foram feitas três determinações.

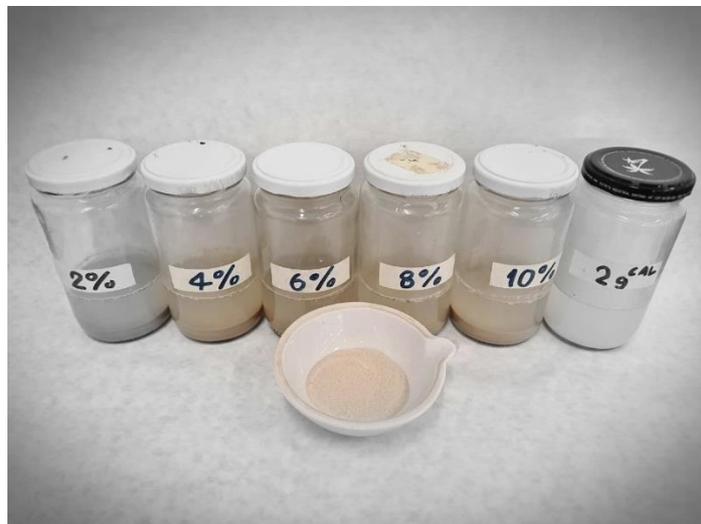
As amostras foram secas ao ar, destorroadas e a fração retida na peneira n° 40 foi desprezada. Foram utilizadas 5 porções de solo correspondentes a 25 g de solo seco em estufa, acrescidas de teores de cal que variavam de 2 a 10% da massa seca de solo, ou seja, de 0,5 g a 2,5 g. Além disso, foi separada uma amostra de cal de 2 g para referência (Figura 5).

Figura 5 - Amostras secas da mistura de solo e cal e de 2g de cal



As amostras secas de solo e cal foram homogeneizadas e, em sequência, 100 ml de água destilada foram adicionados a cada mistura solo-cal. As soluções foram agitadas por 30 segundos e colocadas em repouso (Figura 6).

Figura 6 - Amostras pós-agitação



Durante uma hora, cada frasco foi agitado por 30 segundos a cada 10 minutos, e, nos 15 minutos finais de agitação, foi registrada a leitura do pH da solução com o pHmetro digital (Figura 7).

Figura 7 - Aferição do pH da solução



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Na Tabela 4 e na Tabela 5 são apresentados os dados de caracterização e as classificações SUCS, TRB e MCT dos solos utilizados por outros autores.

Tabela 4 - Caracterização e classificação dos solos lateríticos anteriormente estudados

Propriedades	Pereira (2022) - A		Laterítico Freitas (2019) - D		Cavalcante (2022) - B	
	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante	Sem defloculante	Com defloculante
Fração Granulométrica						
Pedregulho (%)	58,26	58,26	4,13	4,13	4,11	4,11
Areia grossa (%)	5,89	6,11	57,85	60,86	32,1	26,86
Areia fina (%)	8,69	8,43				
Silte (%)	20,46	13,24	38,01	8,77	59,48	36,85
Argila (%)	6,7	13,95	0	26,23	4,31	32,19
ps (g/cm ³)	2,742		2,7		2,602	
Limite de liquidez (%)	37,9		34		40,85	
Limite de plasticidade (%)	23,7		18		24,74	
Índice de plasticidade (%)	14,1		16		16,11	
Classificação SUCS	GC		CL		CL	
Classificação TRB	A-2-6		A6		A-7-6	
Classificação MCT	LA'		LG'		LG'	

Tabela 5 - Caracterização e classificação do solo saprolítico anteriormente estudado

Propriedades	Saprolítico Freitas (2019) - C	
	Sem defloculante	Com defloculante
Fração Granulométrica		
Pedregulho (%)	8,87	8,87
Areia grossa (%)	69,93	60,4
Areia fina (%)		
Silte (%)	21,2	30,73
Argila (%)	0	0
ρ_s (g/cm ³)	2,66	
Limite de liquidez (%)	-	
Limite de plasticidade (%)	-	
Índice de plasticidade (%)	NP	
Classificação SUCS	SM	
Classificação TRB	A4	
Classificação MCT	NS'	

4.2 DETERMINAÇÃO DO TEOR MÍNIMO DE CAL

Neste tópico serão apresentados os resultados alcançados com o uso do método de Eades e Grim (1966) de teor mínimo de cal calcítica necessário para atingir o valor de pH de 12,4 ou a menor estabilização em duas leituras consecutivas acima desse valor nos cinco solos estudados. Para a realização dos ensaios foram utilizadas amostras de solo com teores de 2%, 4%, 6%, 8% e 10% de cal em solução de concentração.

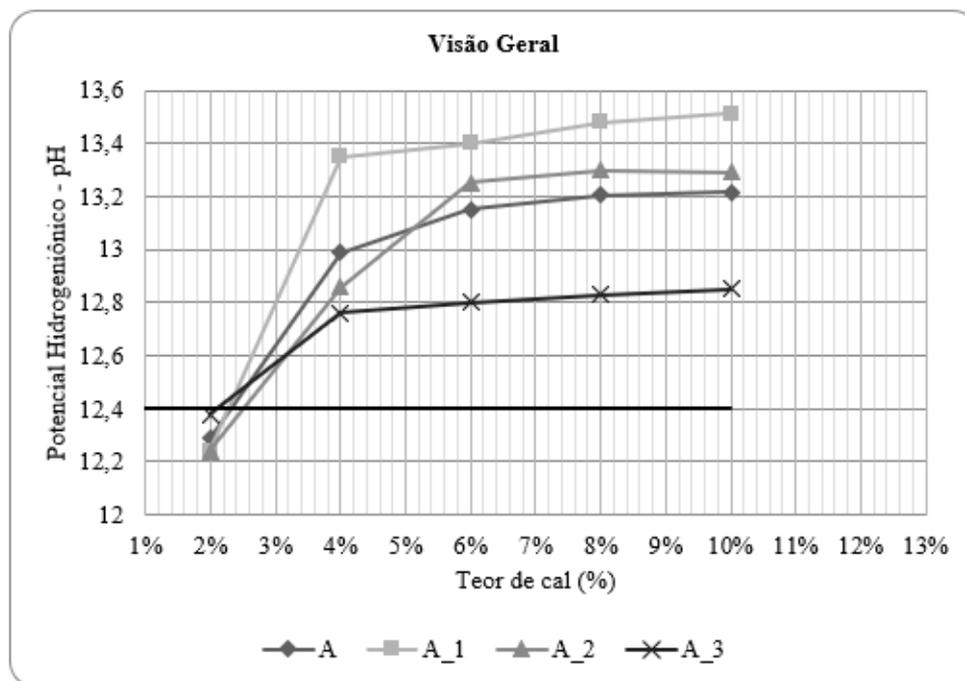
4.2.1 Solo A

A amostra de solo A contém massa de 26,16 g e umidade higroscópica de 4,64%. A Tabela 6 e o gráfico plotado na Figura 8 apresentam os resultados de cada ensaio de pHmetro realizado e a média.

Tabela 6 - Ensaio de pHmetro solo A

A							
	Cal	2%	4%	6%	8%	10%	2g
	Massa de cal	0,50 g	1,00 g	1,50 g	2,00 g	2,50g	2,00 g
Ensaio 1	Leitura de pH	12,24	13,35	13,4	13,48	13,51	13,49
Ensaio 2	Leitura de pH	12,24	12,86	13,25	13,30	13,29	13,31
Ensaio 3	Leitura de pH	12,38	12,76	12,80	12,83	12,85	12,87
Média	Leitura de pH	12,29	12,99	13,15	13,20	13,22	13,22

Figura 8 - Ensaio de pHmetro solo A



Os resultados constataam que o solo com 2% de cal não obteve estabilização, mas, com a adição de teores maiores, o pH teve aumento significativo, ultrapassando o valor de 12,4. Nota-se também que, o valor máximo alcançado de pH do solo, com teores de 8% e 10% de cal, é o mesmo pH encontrado na fração de cal de 2 g ensaiada. Assim, para este solo o teor mínimo de cal a ser considerado no processo de estabilização é 4%.

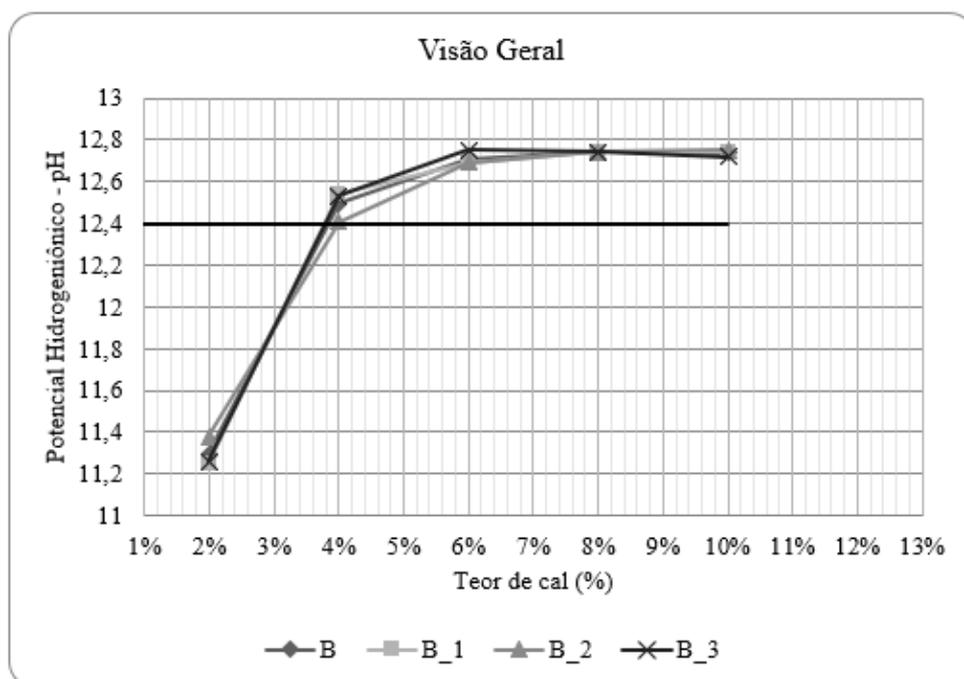
2.1.1 Solo B

Para o solo B foi utilizada amostra de 25,82 g e umidade higroscópica de 3,27%. Os três ensaios realizados e a média são apresentados na Tabela 7 e na Figura 9.

Tabela 7 - Ensaio de pHmetro para o solo B

B							
	Cal	2%	4%	6%	8%	10%	2g
	Massa de cal	0,50 g	1,00 g	1,50 g	2,00 g	2,50g	2,00 g
Ensaio 1	Leitura de pH	11,25	12,54	12,69	12,74	12,74	12,87
Ensaio 2	Leitura de pH	11,38	12,41	12,69	12,74	12,75	12,82
Ensaio 3	Leitura de pH	11,26	12,53	12,75	12,74	12,72	12,77
Média	Leitura de pH	11,30	12,49	12,71	12,74	12,74	12,82

Figura 9 - Ensaio de pHmetro para o solo B



Diferente dos resultados apresentados pelo solo A, o solo B demonstra resultados de pH mais próximos uns dos outros. Assim como o solo laterítico A, a estabilização do solo ocorreu no teor de cal de 4%, ultrapassando o valor de pH de 12,4. O solo B, ao receber teor de cal de 8% e 10% manteve a mesma média de pH. Por isso, o gráfico apresentado na Figura 9 apresenta curvas sobrepostas, dado que não houve grandes variações de resultados de pH entre teores de 6% a 8% de cal no solo.

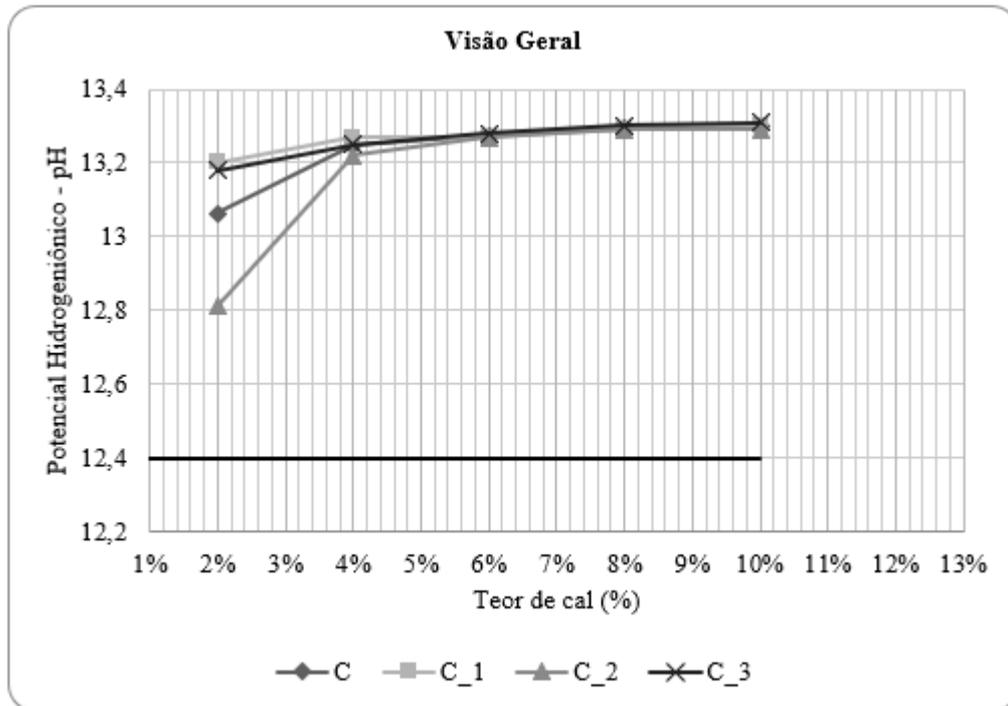
2.1.2 Solo C

O solo C apresentava umidade higroscópica de 0,57% e, por isso, a amostra de solo foi de 25,14 g. Na Tabela 8 e na Figura 10 são apresentados os resultados dos ensaios realizados.

Tabela 8 - Ensaio de pHmetro solo C

		C					
	Cal	2%	4%	6%	8%	10%	2g
	Massa de cal	0,50 g	1,00 g	1,50 g	2,00 g	2,50g	2,00 g
Ensaio 1	Leitura de pH	13,20	13,27	13,27	13,29	13,30	13,29
Ensaio 2	Leitura de pH	12,81	13,22	13,27	13,29	13,29	1315
Ensaio 3	Leitura de pH	13,18	13,25	13,28	13,30	13,31	13,28
Média	Leitura de pH	13,06	13,25	13,27	13,29	13,30	13,24

Figura 10 - Ensaio de pHmetro solo C



O gráfico da Figura 10 apresenta resultados notoriamente distantes no teor de cal de 2%, no entanto, com o acréscimo de cal, o pH das três soluções se aproximou. A estabilização do solo acontece a partir do teor de 4% de cal no solo e, distinguindo-se dos outros dois solos, o C apresentou pH ligeiramente maior com teor de 10% de cal no solo do que a amostra de 2 g de cal pura ensaiada.

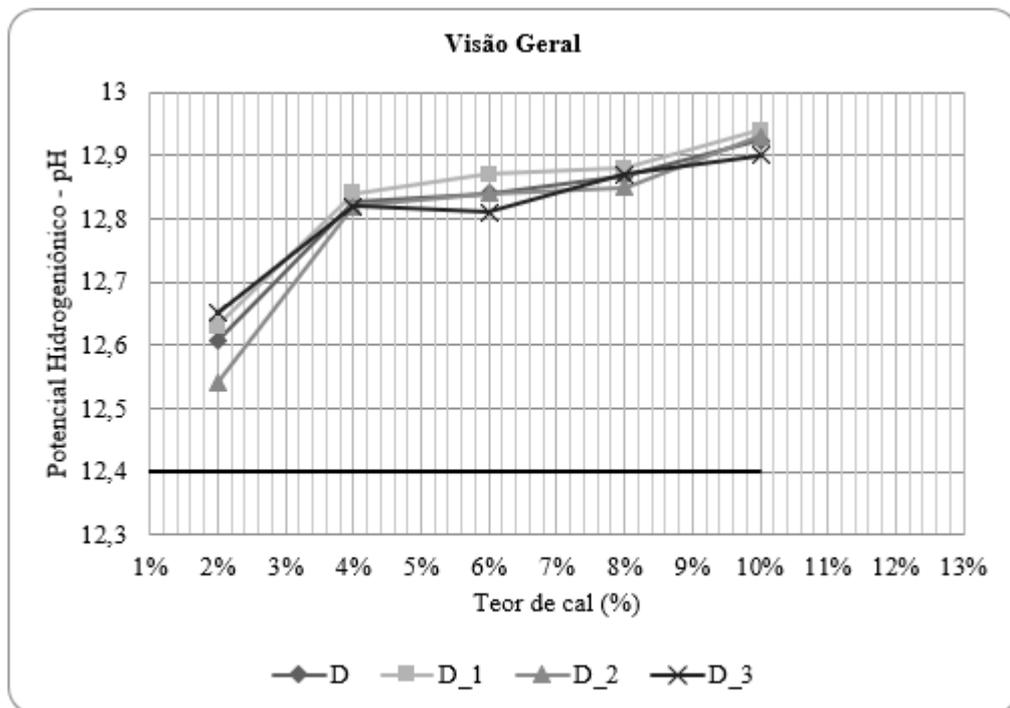
2.1.3 Solo D

Para o solo D, a amostra foi de 25,47 g, uma vez que a umidade era de 1,89%. A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de pHmetro realizados. O gráfico plotado é demonstrado na Figura 11 com as três determinações realizadas e sua média.

Tabela 9 - Ensaio de pHmetro solo D

D							
	Cal	2%	4%	6%	8%	10%	2g
	Massa de cal	0,50 g	1,00 g	1,50 g	2,00 g	2,50g	2,00 g
Ensaio 1	Leitura de pH	12,63	12,84	12,87	12,88	12,94	12,90
Ensaio 2	Leitura de pH	12,54	12,82	12,84	12,85	12,93	12,92
Ensaio 3	Leitura de pH	12,65	12,82	12,81	12,87	12,90	12,93
Média	Leitura de pH	12,61	12,83	12,84	12,87	12,92	12,92

Figura 11 - Ensaio de pHmetro solo D



O solo D obteve estabilização com teor de cal de 4%, com variação das leituras de pH dos teores de 2% e de 4% e estabilização entre 4% e 6%. O pH com teor de cal em 10% é o mesmo da amostra de cal pura que foi ensaiada, com valor de 12,92.

2.1.4 Solo E

No solo coletado no município de Trindade-GO foram realizados ensaios para a classificação MCT, de caracterização e a curva de compactação. A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios.

Tabela 10 - Caracterização solo E

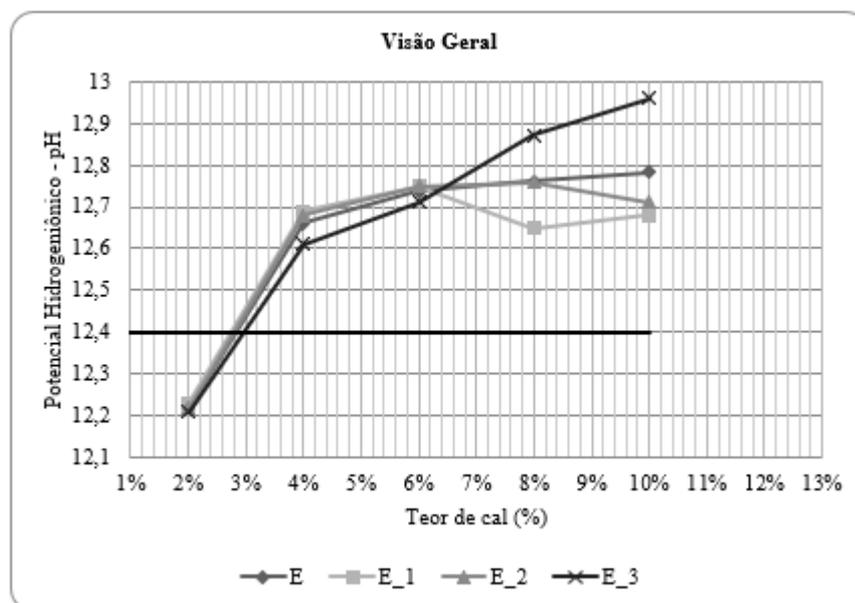
Propriedades	Solo E	
	Sem defloculante	Com defloculante
Fração Granulométrica		
Pedregulho (%)	0,3	0,3
Areia grossa (%)	10,9	10,7
Areia fina (%)	29,4	30
Silte (%)	47,64	11,75
Argila (%)	11,76	47,25
ρ_s (g/cm ³)	2,736	
Limite de liquidez (%)	49,2	
Limite de plasticidade (%)	23,8	
Classificação SUCS	CL	
Classificação TRB	A-7-6	
Classificação MCT	LG'	

O solo E tinha umidade de 1,75% e massa de 25,44 g. Na Tabela 11 e na Figura 12 são apresentados a média e os resultados de cada ensaio realizado.

Tabela 11 - Ensaio de pHmetro solo E

E							
Cal	2%	4%	6%	8%	10%	2g	
Massa de cal	0,50 g	1,00 g	1,50 g	2,00 g	2,50g	2,00 g	
Ensaio 1	Leitura de pH	12,23	12,69	12,75	12,65	12,68	12,74
Ensaio 2	Leitura de pH	12,22	12,68	12,75	12,76	12,71	12,17
Ensaio 3	Leitura de pH	12,21	12,61	12,71	12,87	12,96	13,12
Média	Leitura de pH	12,22	12,66	12,74	12,76	12,78	12,68

Figura 12 - Ensaio de pHmetro solo E



O solo E obteve estabilização com teor de cal em 4%, o mesmo teor que os solos A e B. Apresentou leituras próximas no teor de 2% e, em comparação com os outros solos, foi o que obteve leituras mais divergentes acima de 6%.

Conforme observado no gráfico da Figura 12, abaixo do teor de 6% as leituras nos três ensaios realizados estão próximas umas às outras, com as curvas se sobrepondo. Ao atingir 8%

e 10%, os resultados apresentam uma diferença significativa, principalmente por influência da terceira curva. Isso pode ser explicado por uma variação brusca de temperatura ocorrida no terceiro ensaio, o que pode ter influenciado nas leituras. Uma vez que a variação está acima do teor de cal necessário para a estabilização, e o pH das soluções com maior concentração de cal se manteve relativamente próximo à solução de controle, optou-se por não repetir esse ensaio.

2.1.5 Síntese e considerações dos resultados de determinação de cal

Todos os solos estudados alcançaram o pH de 12,4 ou a estabilização do pH com 4% de cal. Os resultados apresentados estão dentro da faixa encontrada por Kleinert (2021), que obteve, pelo mesmo método, teor de cal calcítica e dolomítica de 2% a 5% para estabilizar um latossolo, um argissolo e um luvisolo. Nos estudos de Kleinert, os materiais estudados apresentaram melhorias significativas após 90 dias de cura, principalmente na rigidez e na deformação elástica.

Além de Kleinert, que realizou ensaios de cargas repetidas, Malabarba (2021) utilizou as mesmas misturas solo-cal em ensaios de resistência à compressão simples depois de um processo de cura de 38 dias. A melhoria na resistência variou de 3% a 88%, mesmo com um tempo de cura reduzido. Ademais, ao submeter os corpos de prova a ciclos de molhagem e secagem para realizar ensaios de durabilidade, foi observado um aumento no número de ciclos resistidos pelas misturas em comparação ao solo natural.

Por isso, espera-se que os solos estudados apresentem melhorias nos parâmetros de resistência e de deformação quando submetidos a cargas axiais estáticas ou repetidas, mesmo que ensaios mecânicos não tenham sido realizados nesta pesquisa. Em adição a isso, há a expectativa de melhoria na durabilidade dos solos quando misturados à cal.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado teve como objetivo encontrar o valor mínimo de teor de cal para estabilização dos cinco solos estudados, com fins de pavimentação, usando o método de estimativa preconizado pela ME 419 (DNIT, 2019). Com a análise dos resultados dos ensaios feitos em laboratório e discutidos acima, têm-se as seguintes conclusões:

- O teor de cal necessário para a estabilização química do solo A foi de 4%, apresentando pH de 12,99;
- O solo B obteve estabilização com teor de cal de 4%, com leitura de pH de 12,49;
- O solo C obteve estabilização no teor de 4%;
- O solo D estabilizou com teor de 4% de cal;
- O solo proveniente do município de Trindade-GO (E) apresentou um comportamento similar à maioria dos outros solos estudados, com o teor de cal necessário para estabilização de 4%.

Desta forma, pode-se concluir que o teor mínimo de cal para estabilizar os solos estudados é de 4%, o que possibilita o alcance do valor de pH de 12,4 ou a estabilização do valor de pH nos solos que apresentaram leitura superior a 12,4 com o menor teor de cal utilizado. A adição de cal ao solo se mostra possível, o que oferta e torna economicamente viável a alternativa de aproveitamento dos materiais lindeiros à obra de pavimentação. Em consequência, há a mitigação de impactos ambientais provenientes da exploração de jazidas de outras localidades.

REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182. Solo – Ensaio de compactação. ABNT, 9p., 2020.
- American Society for Testing And Materials. ASTM D 6276-99a: Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization. Philadelphia, 2006.
- ANTUNES, F. S.; POLIVANOV, H.; PORTOCARRERO, H.; CAMPOS, T. M. P.. Soils: contribution for engineering geology studies. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 180, 24 ago. 2015. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_180_198.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2022. 750 p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011.
- CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 6ª edição, v. 1, 1989.
- CAVALCANTE, D. R. Aspectos que impactam no módulo de resiliência e na deformação permanente de solos., 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2022.
- CASTRO-FRESNO, D., MOVILLA-QUESADA, D., VEGA-ZAMANILLO, Á. & CALZADA-PÉREZ, M. A. Lime Stabilization of bentonite sludge from tunnel boring. Applied Clay Science, 51, 250-257, 2011.
- CNT. Confederação Nacional de Transportes. O Transporte Move o Brasil: Propostas da CNT ao País: O transporte move o Brasil: propostas da CNT ao país. Brasília, 2022. 144 p.
- CRISTELO, N. C. Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal. Dissertação. Portugal, 2001. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Portugal.
- DNER _____. NORMA DNER 041/94 - ME: Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 051/94 - ME: Solos - Análise granulométrica. Brasília, 1994.

- DNER _____. NORMA DNER 082/94 - ME: Solos - determinação do limite de plasticidade. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 093/94 - ME: Solos - determinação da densidade real. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 122/94 - ME: Solos - determinação do limite de liquidez- método de referência e método expedito. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 213/94 - ME: Solos – Determinação do teor de umidade – Método de Ensaio. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 258/94 - ME: Solos compactados em equipamento miniatura - Mini- MCV. Brasília, 1994.
- DNER _____. NORMA DNER 259/96 - CLA: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. Brasília, 1994.
- DNIT _____. NORMA DNIT 134/2019 - ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2018.
- DNIT _____. NORMA DNIT 418/2019 - ME: Pavimentação – Cal Virgem e Cal Hidratada – Especificação de material. Brasília, 2019.
- DNIT _____. NORMA DNIT 419/2019 – ME: Pavimentação – Solo-Cal – Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo – Método de ensaio. Brasília, 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).
- EADES, J.L., and GRIM, R.E., A Quick Test to Determine Lime Requirements for Lime Stabilization, *Highway Research Board*, National Research Council, Washington DC, No. 139, pp. 61-72, 1966.
- FREITAS, Jeferson Barbosa de. Análise de Parâmetros para Projetos Mecanísticos-Empíricos de Pavimentos Asfálticos em Goiás. 2019. 214 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.
- GALINKIN, Maurício. Agência Ambiental de Goiás: Fundação Cebrac: Pnuma:semarh (ed.). GEOGOIÁS 2022. Brasília, 2003. 272 p.
- GUIMARÃES, J. E. P. A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil. 2. ed. São Paulo: Pini, 341p. 2002.

HERRIN, M. & MTCHELL, H. Soil Lime Mixtures. Washington D. C., Highway Research Board, 1961. P99-138 (Bulletin H.R.R, 304).

KEZDI, A. Stabilized Earth Roads. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.

LIMA, D. C., BUENO; B. S., SILVA, C. H. C. Estabilização de Solo II – Técnicas e Aplicação a Solos da Microregião de Viçosa-MG. Viçosa-MG: UFV, 1993, 32p. (Publicação, 333).

LIMA, Ricardo Paganelli de; JACINTHO, Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila; FORTI, Nádia Cazarim da Silva; PIMENTEL, Lia Lorena. Estabilização de solo laterítico utilizando cinza do bagaço da cana de açúcar e cal hidratada. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 27, n. 1, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620220001.1343>.

KLEINERT, Thaís Radünz. **ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS TROPICAIS COM CAL E IMPACTOS NO DIMENSIONAMENTO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE PAVIMENTOS**. 2021. 284 f. Tese (Doutorado) - Curso de Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

Little, N. D. (1999). Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates. Volume 1: Summary of findings. National Lime Association. Estados Unidos da América.

MALABARBA, Lucas Marin. **EFEITO DO TEOR E DO TIPO DE CAL NA ESTABILIZAÇÃO DE DOIS SOLOS TROPICAIS**. 2021. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR D. F. Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Volume 1, 1981, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro - RJ: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos - ABMS, 1981. Páginas 30 - 41.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo-SP: Vilibor, 1995. 213p.

PEREIRA, L. B. F. Aplicação de material fresado em camadas granulares de pavimentos asfálticos, 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, p. 71, 2022.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

ROCHA, Mirella Talitha; REZENDE, Lilian Ribeiro de. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. **Matéria (Rio de Janeiro)**,

[S.L.], v. 22, n. 4, 2 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0229>.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, Df: Embrapa, 2018. 356 p.

VILLIBOR, Douglas Fadul; ALVES, Drielly Mariane Lancarovici. Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais: projeto e construção: novas considerações. Florianópolis: Tribo da Ilha, 2019. 544 p.