


ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO E CONTENÇÃO DE TALUDE

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-143>

Data de submissão: 14/02/2025

Data de publicação: 14/03/2025

José Geraldo da Silva

Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: geraldonem54@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9284-6374>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/0070487368695526>

Kleber Ramon Rodrigues

Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas com ênfase em Evolução Pedogeomorfológica

Universidade Federal de Viçosa

E-mail: kleber.rodrigues@unifaveni.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9122-8419>

LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1331439880318068>

RESUMO

Os acidentes causados pela instabilidade de taludes nas margens das rodovias é uma realidade do nosso país, pois possui regiões de clima subtropical e relevos montanhosos. Este transtorno é responsável por danos econômicos, ambientais e a sociedade. Diante deste problema este trabalho teve como objetivo de analisar um talude localizado as margens da Rodovia MG – 425 que liga a cidade de Caratinga a cidade de Entre Folhas. Sendo assim, este trabalho propôs técnicas de contenção de talude para garantir a segurança e a estabilidade do mesmo.

Palavras-chave: Estabilidade do talude. Revegetação. Retaludamento. Drenagem.

1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o estado de Minas Gerais tem a maior malha rodoviária do Brasil, sendo aproximadamente 270.000 quilômetros de estradas federais, estaduais e municipais. Tendo como influência o clima subtropical e geformas montanhosas, onde chuvas intensas acarretam erosões e movimentos gravitacionais, podendo muitas vezes trazer danos econômicos, ambientais e à vida.

Os taludes são superfícies inclinadas compostas por maciços terrosos, rochosos ou mistos, podendo ser classificados como naturais ou artificiais. Taludes naturais são aqueles formados pela ação geológica ou pelo intemperismo das rochas. Estes taludes estão constantemente sujeitos a problemas de instabilidade, uma vez que as forças gravitacionais atuam de forma contínua, contribuindo para o desencadeamento de movimentos de massa.

Há também aqueles que utilizam uma abordagem essencialmente físico-mecânica para a classificação do fenômeno, entre outras perspectivas (GERSCOVICH, 2012) e (GUIDICINI; NIEBLE, 2013). Quem circula pelas estradas da nossa região, em algum momento, já se deparou com trechos afetados por deslizamentos, escorregamentos de massa ou sólidos, ou até mesmo por tipos variados de erosão. Diante disso, o estudo dos processos de estabilização de taludes e das técnicas de contenção se torna imprescindível, considerando as graves consequências que os escorregamentos podem acarretar. A ocorrência desses eventos tende a aumentar, em virtude da intensificação da urbanização e do desenvolvimento de áreas suscetíveis a escorregamentos, do desmatamento contínuo dessas regiões e do aumento das taxas de precipitação causadas pelas mudanças climáticas (DYMISKI, 2016). Os custos de recuperação com essas rodovias geram anualmente grandes valores aos cofres públicos, e são gastos em torno de 150 milhões de reais todo ano em recuperação de rodovias (DNIT, 2017). Está se tornando mais difícil ignorar o crescimento desordenado que está ocorrendo em Caratinga MG, tanto na urbanização como no desmatamento para área de cultura agrícola e gado. Na rodovia MG-425, também conhecida como antiga rodovia do álcool pode ser encontrado trechos com escorregamentos de solos, sendo necessárias ações de estabilizações de encostas. Em decorrência disso, serão analisados diferentes tipos de intervenções com o objetivo de restabelecer o equilíbrio do talude, levando em consideração os dados obtidos nas investigações de campo, os ensaios laboratoriais, bem como os métodos recomendados para a execução da obra e sua posterior manutenção.

Conforme Santos, Oliveira e Martins (2021), é imprescindível uma compreensão aprofundada das características geológicas da região, alcançada por meio de estudos da pedogeomorfologia. Desta forma permite a adoção de soluções personalizadas para diferentes tipos de sistemas de contenção de

encostas. Conforme Santos et al. (2022) a movimentação de massa e taludes das estradas, por não ter nenhum procedimento de monitoramento e/ou controle tecnológico dessas massas de terra, poderá ocasionar transtornos para quem frequenta e trafega por esses locais, haja vista, qualquer alteração física altera sua estabilidade provocando quebra e queda.

Santa et al. (2022) propõem uma solução eficaz para a estabilização de encostas e taludes: a construção de gabiões com muros de arrimo. Essa abordagem se mostra particularmente vantajosa para ruas, estradas e canais escavados devido ao seu baixo custo e impacto ambiental reduzido. Essas estruturas emergem como soluções promissoras para mitigar a incidência de escorregamentos de solo, um desafio enfrentado em praticamente todas as regiões do Brasil. Ao adotar essa técnica, é possível não apenas fortalecer as estruturas vulneráveis, mas também promover a resiliência das comunidades e do meio ambiente diante de eventos adversos. Estudar a estabilidade de taludes, conforme (ZAMBIAZZI; ALEXANDRE NIENOV, 2023), é de fundamental importância no âmbito da engenharia civil, uma vez que os estudos podem reduzir significativamente o risco de danos resultantes do colapso de estruturas. Tal estudo desempenha um papel fundamental na prevenção de potenciais impactos adversos, que, caso ocorram, poderiam acarretar prejuízos substanciais e até mesmo acidentes graves na construção civil.

Salomão e Laure (2023) afirmam que a análise de estabilidade de um talude deve ter um conhecimento aprofundado dos fenômenos que podem levar a circunstâncias críticas, sendo imprescindível dimensionar as condicionantes referentes a estabilidade, sabendo-se que não é evidente e/ou plausível, destacam ainda que a movimentação de taludes em áreas urbanas tem resultado em tragédias e incidentes graves, especialmente devido à construção irregular em maciços de solos instáveis. A implementação dessas abordagens não apenas visa prevenir perdas materiais significativas, mas também salvar vidas e preservar o meio ambiente. Para Silva et al. (2023) os parâmetros morfológicos são cruciais nas investigações incorporadas de vulnerabilidade de terrenos a escorregamento translacional pouco elevados.

Segundo Araújo et al. (2023), a adoção de tecnologias digitais são ferramentas que oferecem uma abordagem inovadora e eficiente para a análise de riscos geotécnicos, permitindo uma avaliação mais precisa e abrangente das condições do terreno, atuando na prevenção, mapeamento e monitoramento de possíveis escorregamentos em declives naturais.

Os usos dessas ferramentas surgem como uma estratégia indispensável na gestão sustentável do ambiente natural e na redução dos impactos dos desastres relativos a deslizamentos de encostas. Em consequência disso, serão estudados diferentes tipos de intervenções para estabelecer o equilíbrio

do talude, levando em consideração os dados da investigação no campo, ensaios de laboratório e a forma de como deve ocorrer a execução da obra e a sua manutenção.

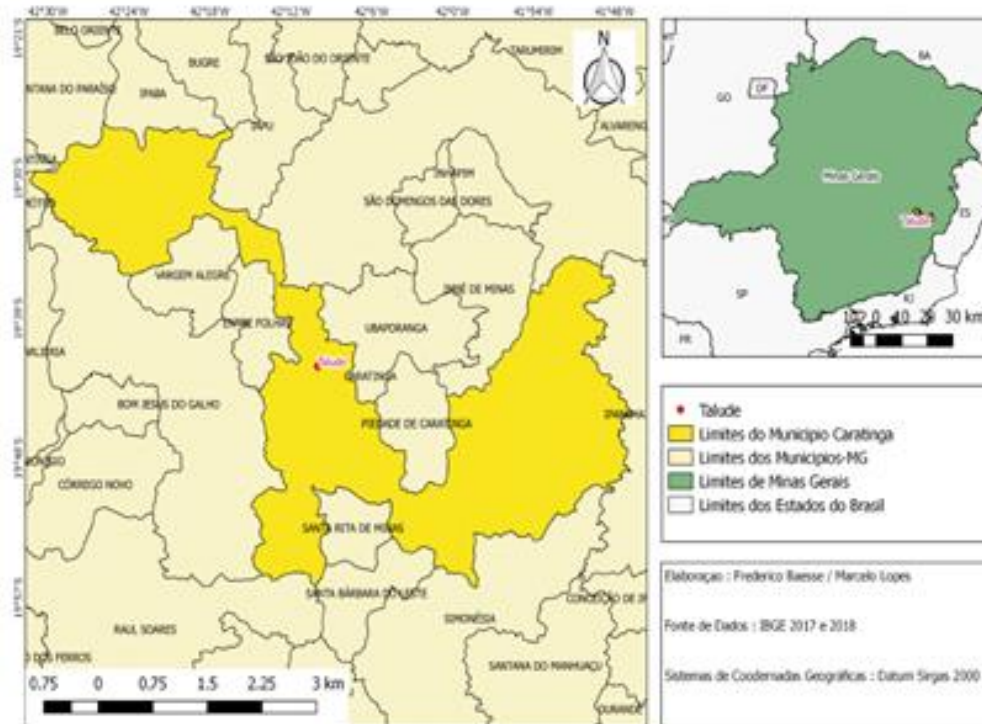
2 METODOLOGIA

2.1 METODOLOGIA

2.1.1 Localização da área de estudo

Para o presente trabalho foi estudado um talude localizado na rodovia MG-425 Latitude $19^{\circ}42'0.64''$ S e Longitude $42^{\circ}9'59''$ W, rodovia que liga Caratinga a cidade de Entre Folhas.

Figura 1 - Localização do talude em Caratinga-MG



Fonte: Adaptação Autores

Imagem do talude tirada do local visto na Figura 01 sentido Entre Folhas a Caratinga-MG

Figura 02 - Imagem do talude sentido Entre Folhas e Caratinga-MG



Fonte: Autores

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Tipos de estudos realizados

Os ensaios laboratoriais de caracterização mecânica dos solos são componentes essenciais na engenharia geotécnica. Estudos mais aprofundados sobre o comportamento tensão-deformação dos solos permitem um dimensionamento mais preciso e racional das obras a serem executadas. Para isso, utilizamos o teste de Granulometria, o teste de Limite de Liquidez e o teste de Limite de Plasticidade."

2.2.1.1 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria é utilizado para determinar a distribuição das partículas constituintes do solo em diferentes classes e tamanhos. Ele permite quantificar a porcentagem em peso de cada faixa de tamanho das partículas.

O principal objetivo desse ensaio é obter a curva granulométrica do solo. A partir dessa curva, é possível estimar as porcentagens (em relação ao peso seco total) de cada fração granulométrica do solo. O ensaio de granulometria é fundamental, pois fornece informações essenciais sobre o tipo de solo em que serão realizadas obras e intervenções, contribuindo assim para a segurança dos operários e usuários futuros (ABNT/NBR 7217, 2003)."

Moraes et al. (2021) demonstraram que a análise granulométrica é uma ferramenta eficaz para determinar as dimensões dos grãos do solo de uma superfície. Este estudo revela a viabilidade de utilizar métodos apropriados para tal análise.

Eli e Tsuchiya (2023) destacam que a análise granulométrica pode ser conduzida através de dois métodos principais: sedimentação em meio líquido e peneiramento. Essas abordagens permitem a determinação da proporção de argila e silte, além da separação de materiais como areia e pedregulhos, caracterizando suas granulometrias como grossa, média e fina.

Witiuk e Guimarães (2023) enfatizam que os sistemas de classificação de solos desempenham um papel fundamental como ferramentas preditivas para compreender o comportamento mecânico e físico dos materiais estudados. Esses sistemas possibilitam a análise de parâmetros relevantes, viabilizando a obtenção de resultados significativos sem a necessidade de investimentos excessivos de recursos."

Os principais equipamentos e utensílios usados para realizar o Ensaio de Granulometria foram: Jogo de peneiras, balança, cápsula de porcelana (Almofariz), pilão.

Para a realização deste ensaio foram coletadas 3 amostras de solos em diferentes pontos do talude. Através dessas amostras foi possível fazer a classificação, sendo uma amostra de Horizonte Cr e as outras amostras foram classificadas como Horizonte B.

Com o solo de amostragem, iniciou-se a pesagem tendo: Amostra 01: 2,018 KG; Amostra 02: 1,030 KG; Amostra 03: 1,172 KG. Após a pesagem iniciou-se o destorroamento e homogeneização das amostras. Esse processo foi executado utilizando o almofariz e o pilão.

As amostras foram transferidas para uma sequência de peneiras as quais possuíam aberturas de 2,00 mm, 0,84 mm, 0,42 mm, 0,149 mm e 0,074 mm como mostra a Figura 03.

Figura 03 - Peneiras e almofariz de porcelana



Fonte: Autores

Na Tabela 01 mostra as peneiras de serie normais em preto e da série intermediária em vermelho.

Tabela 01 - Peneiras Série normal / Série Intermediária

Número	Abertura (mm)	Número	Abertura (mm)
	76,20	18	1,00
	50,80	20	0,84
1.1/2"	38,10	25	0,71
	25,40	30	0,59
3/4"	19,00	35	0,50
1/2"	12,70	40	0,42
3/8"	9,50	45	0,35
4 ou 3/16"	4,76	50	0,297
5	4,00	60	0,250
6	3,36	70	0,210
7	2,83	80	0,177
8	2,38	100	0,149
10	2,00	120	0,125

12	1,68	140	0,105
14	1,41	200	0,074
16	1,19	270	0,037

Fonte: NBR 5734 de 08/1997

Limites das frações de solo Tabela 02 pelo tamanho dos grãos segundo a ABNT (PINTO, 2000).

Tabela 02 - Frações do solo

Fração	Limites
Matacão	De 25 cm á 1m
Pedra	De 7,6 cm á 25 cm
Brita	De 4,8 mm á 7,6 cm
Areia Grossa	De 1,2 mm á 4,8 mm
Areia Media	De 0,3 mm á 4,8 mm
Areia Fina	De 0,05 mm á 0,3 mm
Silte	De 0,005 mm á 0,05 mm
Argila	Inferior á 0,005 mm

Fonte: ABNT (PINTO, 2000)

2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Limite de liquidez (LL)

Este ensaio permite determinar o teor de umidade do solo, que está relacionado à quantidade de água que une as partículas. Quando aplicado a solos finos ou coesivos, a consistência do solo está diretamente vinculada ao teor de umidade presente, ou seja, à quantidade de água contida no solo.

Ribeiro e Souza (2018) argumentam que os limites de Atterberg estão intrinsecamente ligados ao limite de liquidez, à plasticidade e à contração do solo, sendo os valores de umidade determinantes na distinção entre diferentes estados de consistência do solo.

Seguindo o padrão de ensaio estabelecidos na norma NBR 6459/1984 para o cálculo do Limite de Liquidez utilizam-se: Aparelho de Casagrande; Cinzel; Balança com capacidade de 200g; Estufa capaz de manter uma temperatura de 105° a 110°; Cápsula de Porcelana (Almofariz); Cápsula de alumínio; Espátula Metálica; Água Destilada; Peseta e Solo peneirado na peneira 0,425 mm (n°40).

No processo padronizado, utiliza-se o aparelho de Casagrande, com o qual se aplicam golpes deixando a concha do aparelho cair de uma altura padrão até que a ranhura se feche em uma extensão convencional. (ABNT / NBR 6459, 1984).

Para a realização do Ensaio de Limite de Líquidos é necessário primeiramente ajustar o aparelho de Casa Grande, Figura 04 de modo que o contato da concha com a base (Ebonite) esteja 1 centímetro da base.

Figura 04 - Aparelho de Casa Grande e espátulas flexíveis



Fonte: Autores

Após a calibragem do aparelho foi posto na cápsula de porcelana (almofariz) aproximadamente 200 g do solo que passou pela peneira de N° 40. Em seguida, conforme a Figura 05, acrescentando água em pequena quantidade com ajuda da peseta e com uma espátula metálica foi efetuado uma mistura homogeneia da amostra.

Figura 05 - Preparação do material no almofariz



Fonte: Autores

Assim que, alcançado o ponto ideal da mistura o material foi transferido para concha do aparelho de Casa Grande, de modo que dois terços da concha sejam ocupados pelo solo e em seguida com o cinzel foi realizada uma ranhura no meio da amostra dividindo-a em duas partes, conforme Figura 06.

Figura 06 - Teste no aparelho de Casa Grande



Fonte: Autores

Em seguida, iniciou-se a aplicação dos golpes, realizados com giros na manivela a uma taxa de duas voltas por segundo. Os golpes são interrompidos quando a ranhura se fecha ao longo de 1,3 centímetros, sendo registrada a quantidade de golpes necessários para o fechamento da ranhura.

Posteriormente, uma pequena amostra do solo é retirada exatamente no ponto onde a ranhura se fecha e colocada em uma cápsula de alumínio, que é pesada antes de ser levada para uma estufa com temperatura entre 105°C e 110°C. A amostra permanece na estufa por 24 horas, e, após esse período, a umidade é verificada.

O restante da amostra, que permanece na concha, é transferido para uma cápsula de porcelana (almofariz), à qual é adicionada água. A mistura é realizada novamente para dar início a um novo teste.

2.4 METODOLOGIA

2.4.1 Limite de Plasticidade (LP)

O Limite de Plasticidade (LP) é definido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço. Ele representa a umidade de transição entre os estados plástico e semissólido do solo. Em laboratório, o LP é determinado ao se medir o teor de umidade no qual um cilindro de solo com 3 mm de diâmetro começa a apresentar fissuras.

De acordo com a (ABNT NBR 7250/1982), o limite de plasticidade é descrito como a propriedade dos solos finos, que, dentro de amplos limites de umidade, são capazes de sofrer grandes deformações permanentes sem apresentar ruptura, fissuramento ou variação apreciável (ABNT/NBR

7180, 2016). O teor de umidade é determinado quando um cilindro de solo, moldado com a palma da mão por meio de movimentos regulares de vaivém sobre uma placa de vidro fosco, começa a fissurar ao atingir as dimensões padrão de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento.

Bicalho et al. (2017) ressaltam que a plasticidade desempenha um papel crucial no comportamento do sistema argila-água, resultando em deformação sob a ação de forças finitas. Quando essas forças são removidas ou reduzidas, surge o conceito de plasticidade, amplamente aplicado em engenharia e ciências.

Para a execução do Ensaio de Limite de Plasticidade utiliza-se: Placa de Vidro Esmerilhada, com cerca de 30 centímetro de lado; Gabarito Cilíndrico, com 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento; Estufa; Capsulas de Porcelana; Cápsula de Alumínio; Espátula Metálica; Pisseta; Água Destilada; Balança;

Para a execução deste ensaio foi necessário adicionar na cápsula de porcelana (almofariz) uma quantidade de solo que passou na peneira N° 40 e com ajuda da pisseta foi acrescentando pequena quantidade de água e fazendo do material uma pasta homogênea. Em seguida, uma porção da amostra foi moldada e transformada em uma pequena bola, que foi rolada com as mãos sobre a placa de vidro esmerilhada até adquirir a forma de um cilindro.

As amostras devem atingir um diâmetro de 10 milímetros e um comprimento de 10 centímetros, conforme ilustrado na Figura 07. Caso não atinjam essas dimensões, devem ser retornadas à cápsula de porcelana, onde se adiciona mais água e a mistura é realizada novamente até que a amostra se torne homogênea."

Figura 07 - Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Autores

Quando as amostras atingem as medidas do gabarito, são divididas em pedaços semelhantes, que são colocados em uma cápsula de alumínio. A cápsula com os pedaços é então pesada e rapidamente levada para uma estufa com temperatura entre 105°C e 110°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos sistemas de classificação de solos divide as partículas sólidas com base em suas dimensões, agrupando-as nas categorias: matacão, pedra, pedregulho, silte, argila e areia, sendo esta última subdividida em areia grossa, média e fina. Por meio do ensaio de granulometria, é possível determinar a distribuição granulométrica do solo, representando-a graficamente através da curva granulométrica, o que permite a identificação de suas características físicas.

O objetivo do ensaio foi determinar a composição granulométrica dos grãos do solo, classificando-os em grãos ou miúdos. O procedimento seguiu as normas da NBR 7181/2016, que descrevem o método de análise granulométrica por peneiramento, permitindo a determinação das dimensões das partículas presentes na amostra.

A Amostra 01 foi inicialmente pesada, registrando 2,014 kg. Após a pesagem, iniciou-se o processo de destorroamento utilizando almofariz e pilão, com o objetivo de tornar o material o mais homogêneo possível. Em seguida, a amostra foi submetida ao peneiramento, e o peso de material retido em cada peneira foi registrado: Peneira 2,00 mm = 74 g; Peneira 0,84 mm = 240 g; Peneira 0,42 mm = 268 g; Peneira 0,149 mm = 990 g; Peneira 0,079 mm = 296 g; Fundo = 146 g.

Com base nos pesos obtidos em cada peneira, calcularam-se as porcentagens correspondentes, sendo os resultados apresentados na Tabela 01, que detalha a peneira utilizada, sua abertura e a massa retida."

Tabela 01. Amostra 1

Peneira (mesh)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
8	2,83	0	0,00	0,00	100,00
10	2,00	74	3,67	3,67	96,33
20	0,84	240	11,92	15,59	84,41
40	0,42	268	13,31	28,90	71,10
100	0,149	990	49,16	78,05	21,95
200	0,074	296	14,70	92,75	7,25
FUNDOS		146	7,25	100,00	0,00
TOTAL		2014	100,00	-	-

Fonte: Autores

A Amostra 02 foi pesada, registrando 1,024 kg. Após a pesagem, iniciou-se o processo de destorroamento utilizando almofariz e pilão, com o objetivo de homogeneizar o material. Em seguida, a amostra foi submetida ao peneiramento, e o peso do material retido em cada peneira foi registrado.

Os dados obtidos para o tipo de peneira e o peso das amostras retidas são apresentados a seguir: Peneira 2,00 mm = 48 g; Peneira 0,84 mm = 206 g; Peneira 0,42 mm = 240 g; Peneira 0,149 mm = 416 g; Peneira 0,079 mm = 92 g; Fundo = 22 g. Os resultados obtidos estão detalhados na Tabela 02."

Tabela 02. Amostra 2

Peneira (mesh)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
8	2,83	0	0,00	0,00	100,00
10	2,00	48	4,69	4,69	95,31
20	0,84	206	20,12	24,80	75,20
40	0,42	240	23,44	48,24	51,76
100	0,149	416	40,63	88,87	11,13
200	0,074	92	8,98	97,85	2,15
FUNDOS		22	2,15	100,00	0,00
TOTAL		1024	100,00	-	-

Fonte: Autores

A Amostra 03 foi colocada na balança e aferiu-se o peso de 1,112 kg. Após a pesagem, iniciou-se o processo de destorroamento, utilizando o almofariz e o pilão, procurando deixar o material o mais homogêneo possível. Depois deste processo, a amostra foi levada para o peneiramento, onde foi realizada a pesagem da amostra que ficou retida em cada peneira. O tipo de peneira e o peso das amostras retidas estão citados abaixo: Peneira 2,00 mm = 18 g; Peneira 0,84 mm = 270 g; Peneira 0,42 mm = 276 g; Peneira 0,149 mm = 444 g; Peneira 0,079 mm = 80 g; Fundo = 24 g.

Resultados obtidos das porcentagens realizada em cada peneira, Tabela 03 amostra 3, mostrando o tipo de peneira e sua abertura, a massa de material retido e as porcentagens referentes a cada amostra.

Tabela 03. Amostra 3

Peneira (mesh)	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
8	2,83	0	0,00	0,00	100,00
10	2,00	74	3,67	3,67	96,33
20	0,84	240	11,92	15,59	84,41
40	0,42	268	13,31	28,90	71,10
100	0,149	990	49,16	78,05	21,95
200	0,074	296	14,70	92,75	0,00
FUNDOS		146	7,25	100,00	0,00
TOTAL		2014	100,00	-	-

Fonte: Autores

3.1 ENSAIO DO LIMITE DE LIQUIDEZ (LL)

Para a realização do Ensaio de Limite de Liquidez, inicialmente foi necessário ajustar o aparelho de Casa Grande (Figura 07, página...), de modo que a concha ficasse a um centímetro de

distância da base de Ebonite. O ensaio foi conduzido conforme as diretrizes da NBR 6459/84, que descreve o método para a determinação do limite de liquidez dos solos. Para o preparo da amostra, seguiu-se a NBR 6457/2016, que estabelece os procedimentos para a preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização.

Em campo, foram coletadas três amostras do talude em análise. Após o preparo da amostra, utilizou-se o material retido na peneira de 0,149 mm. O material foi colocado no almofariz e, gradualmente, foi adicionada uma quantidade específica de água destilada até que se obteve uma pasta homogênea. Utilizando uma espátula, essa pasta foi transferida para a concha do aparelho de Casa Grande, procurando-se atingir uma espessura aproximada de 10 mm. Em seguida, foi realizada uma ranhura na pasta utilizando um cinzel, e iniciou-se o movimento da manivela para contar os golpes, até que as duas partes da ranhura se unissem.

Após esse procedimento, foi recolhida uma pequena amostra de massa no ponto de união das partes, que foi colocada em cápsulas de alumínio e levada para uma estufa previamente aquecida a temperaturas entre 105°C e 110°C. O restante da massa foi retornado ao almofariz de porcelana, e mais água destilada foi adicionada. A mistura foi realizada por 3 minutos e repetida quatro vezes, realizando o processo de teste completo para cada amostra.

Para cada amostra, foram realizados cinco testes de Limite de Liquidez, e o procedimento foi repetido com as três amostras coletadas do talude. Na Amostra 1, os testes foram realizados cinco vezes, e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04. Ensaio de liquidez Amostra 1

ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459/1984						
Operador:	José Geraldo/ Kleber Ramon	04/11/2019		Amostra:		1
NÚMERO CÁPSULA		1	2	3	4	5
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)		16,7	13,5	17,20	21,20	20,00
CÁPSULA + SOLO SECO (g)		14,10	11,70	14,30	16,60	15,60
CÁPSULA (g)		6,1	5,2	6,40	5,5	5,70
ÁGUA (g)		2,60	1,80	2,90	4,60	4,40
SOLO SECO (g)		8,00	6,50	7,90	11,10	9,90
UMIDADE (%)		32,5	27,7	36,7	41,4	44,4
NÚMERO DE GOLPES		37	30	26	24	19

Fonte: Autores

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4, foi elaborado um gráfico que permitiu determinar o teor de umidade correspondente a 25 golpes. De acordo com a (NBR 6459/84), o Limite de Liquidez do solo é definido pelo teor de umidade no qual ocorre a união das partes após 25 golpes. A partir da análise do Gráfico 4, observou-se que o Limite de Liquidez do solo foi de 38%.

Na Amostra 2, o teste

Tabela 05. Ensaio de liquidez Amostra 2

ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459/1984						
Operador:	José Geraldo/Kleber Ramon	04/11/2019		Amostra:		2
NÚMERO CÁPSULA	1	2	3	4	5	
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)	17,3	20	21,80	22,50	22,00	
CÁPSULA + SOLO SECO (g)	13,20	14,10	14,90	15,20	14,90	
CÁPSULA (g)	5,7	5,4	5,20	5,6	5,70	
ÁGUA (g)	4,10	5,90	6,90	7,30	7,10	
SOLO SECO (g)	7,50	8,70	9,70	9,60	9,20	
UMIDADE (%)	54,7	67,8	71,1	76,0	77,2	
NÚMERO DE GOLPES	37	27	20	18	17	

Fonte: Autores

A Amostra 3, o teste também foi feito cinco vezes, sendo os valores demonstrado na Tabela 06.

Tabela 06. Ensaio de liquidez Amostra 3

ENSAIO DE LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459/1984						
Operador:	José Geraldo/Kleber Ramon	04/11/2019		Amostra:		3
NÚMERO CÁPSULA	1	2	3	4	5	
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)	20,4	15,5	16,70	19,50	18,00	
CÁPSULA + SOLO SECO (g)	15,20	11,30	12,10	13,10	12,20	
CÁPSULA (g)	4	3,3	4,10	3,6	3,90	
ÁGUA (g)	5,20	4,20	4,60	6,40	5,80	
SOLO SECO (g)	11,20	8,00	8,00	9,50	8,30	
UMIDADE (%)	46,4	52,5	57,5	67,4	69,9	
NÚMERO DE GOLPES	36	30	25	19	15	

Fonte: Autores

3.2 ENSAIO DO LIMITE DE PLASTICIDADE (LP)

O Limite de Plasticidade (LP) é definido como o menor teor de umidade no qual é possível moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro, utilizando-se a palma da mão para rolamento do solo. O LP marca a transição entre os estados semi-plástico e plástico e é expresso em termos percentuais de umidade. O ensaio foi conduzido conforme os procedimentos estabelecidos pela (NBR 7180/2016), sendo realizados três testes para cada amostra.

Para a realização do teste, a amostra foi inicialmente colocada no almofariz, onde se adicionou água destilada. A mistura foi homogeneizada com uma espátula metálica até que atingisse uma consistência uniforme. Em seguida, uma pequena porção da mistura, aproximadamente 10 g, foi utilizada para formar o cilindro. O material foi rolado sobre uma placa de vidro, aplicando-se pressão suficiente com a palma da mão para obter um cilindro com 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, conforme o gabarito estabelecido. Após a quebra do cilindro, o material foi transferido para uma cápsula de alumínio, pesando-se a amostra, que foi então levada para a estufa. O processo de secagem durou 24 horas, com a temperatura controlada entre 105°C e 110°C. O procedimento foi repetido por mais duas vezes utilizando a mesma amostra.

No caso da Amostra 1, não foi possível determinar o Limite de Plasticidade, uma vez que a amostra não apresentou características plásticas. Para a Amostra 2, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 07.

Tabela 07. Limite de Plasticidade Amostra 2

Nº CÁPSULAS	1	2	3
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)	7,80	7,80	7,1
CÁPSULA + SOLO SECO (g)	7,2	7,3	6,50
PESO DA CÁPSULA (g)	6,00	6,1	5,4
MASSA DA ÁGUA (g)	0,60	0,50	0,60
MASSA DE SOLO SECO (g)	1,20	1,20	1,10
UMIDADE (%)	50,00	41,67	54,55
PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE			
UMIDADE MÉDIA PARCIAL		48,74	
VARIAÇÃO DA MÉDIA (+5%)		51,17	
VARIAÇÃO DA MÉDIA (-5%)		46,30	
NOVA UMIDADE MÉDIA		48,74	
LIMITE DE PLASTICIDADE (inteiro mais próximo) %		49	

Fonte: Autores

Na Amostra 3, os resultados foram expressos na Tabela 08.

Tabela 08. Limite de Plasticidade Amostra 3

Nº CÁPSULAS	1	2	3
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO (g)	6,10	5,40	5,8
CÁPSULA + SOLO SECO (g)	5,4	4,9	5,20
PESO DA CÁPSULA (g)	3,90	3,7	3,8
MASSA DA ÁGUA (g)	0,70	0,50	0,60
MASSA DE SOLO SECO (g)	1,50	1,20	1,40
UMIDADE (%)	46,67	41,67	42,86
PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE			
UMIDADE MÉDIA PARCIAL		43,73	
VARIAÇÃO DA MÉDIA (+5%)		45,92	
VARIAÇÃO DA MÉDIA (-5%)		41,54	
NOVA UMIDADE MÉDIA		43,73	
LIMITE DE PLASTICIDADE (inteiro mais próximo) %		44	

Fonte: Autores

3.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE PLASTICIDADE (IP)

Para a Amostra 1, o IP, o solo 1 não mostrou LP, sendo considerado um solo não plástico, a Amostra 2, o IP do solo foi de 17, sendo considerado um solo altamente plástico e a Amostra 3 IP foi de 13 sendo considerado um solo mediamente plástico.

3.4 RETALUDAMENTO

O processo de retaludamento visa a redução da altura e do ângulo de atrito do talude por meio de corte ou aterro. Embora seja a solução mais econômica para alcançar a estabilidade do talude, esse procedimento nem sempre é eficaz, uma vez que a diminuição da altura reduz a tensão normal, o que, por sua vez, pode diminuir a força de atrito.

Quanto às características físicas do talude estudado, os resultados obtidos indicam que o solo predominante é classificado como argila seca coesiva. Com base nessa classificação, o peso específico do solo é de 1,92 g/cm³, e o ângulo de atrito pode variar entre 10° e 20°, enquanto a coesão é de aproximadamente 1,50 kg/cm². Esses valores típicos de coesão e ângulo de atrito podem ser consultados na Tabela 09.

Tabela 09 - Valores típicos de coesão e ângulo de atrito

COESIVO	ARGILA	Material	Peso Específico g/cm ³	Ângulo de Atrito Grau		Material	Coesão Kg/cm ²
		Molhada	1,92	Argila Rija	10-20	Argila Rija	1,50

Fonte: Autores

3.5 REVEGETAÇÃO DO TALUDE

A revegetação desempenha um papel crucial na proteção dos taludes, uma vez que a cobertura vegetal reduz o impacto da chuva sobre o solo, dissipa a energia do escoamento superficial e contribui para a melhoria da estrutura do solo. Com base nas características ambientais do local, como clima, relevo, temperatura, umidade do ar, radiação, tipo de solo e precipitação pluvial, foi possível identificar as espécies vegetais mais adequadas para a estabilização do talude.

Uma das combinações vegetais mais indicadas para o talude é a associação de leguminosas com gramíneas. As leguminosas, em especial, possuem raízes profundas, um fator importante para a estabilização do talude. Além disso, essas plantas têm a capacidade de fixar nitrogênio no solo, promovendo seu enriquecimento. As gramíneas, por sua vez, têm raízes menos profundas, geralmente atingindo cerca de um metro de profundidade. Elas se destacam pelo bom desempenho fotossintético e pela alta eficiência na produção e dispersão de sementes, fatores fundamentais na recuperação de áreas degradadas.

Entre as leguminosas mais apropriadas para o talude estudado estão a alfafa, o feijão guandu e o feijão de porco. O feijão de porco, embora de crescimento lento, se desenvolve bem em solos de baixa fertilidade, é resistente a altas temperaturas e à seca. A alfafa, por sua vez, adapta-se facilmente a climas temperado, tropical e subtropical, sendo a leguminosa mais adaptável a solos neutros ou alcalinos. Além disso, é resistente à seca devido às suas raízes profundas e tolera quedas de

temperatura. O feijão guandu apresenta um sistema radicular profundo, um dos fatores mais importantes para a estabilização do talude. Essa planta desenvolve-se em solos pobres com pH baixo e se propaga por sementes.

Além dessas leguminosas, pode-se incluir a *Brachiaria decumbens* na revegetação do talude. Essa gramínea adapta-se facilmente a áreas de clima tropical e temperaturas elevadas, resiste em solos de baixa fertilidade, cresce bem no verão e proporciona uma boa cobertura ao solo, complementando a eficácia do sistema radicular das leguminosas.

4 CONCLUSÃO

Conforme estabelecido no objetivo principal deste estudo, foram investigados, por meio de pesquisa e ensaios laboratoriais, métodos de estabilização e contenção do talude localizado na rodovia MG-425 (Latitude 19°42'0.64" S e Longitude 42°9'59" W), que conecta as cidades de Caratinga e Entre Folhas.

Os resultados obtidos no teste de granulometria permitiram a divisão das partículas do solo em grupos com base em suas dimensões, identificando que a maior parte do solo é composta por argila rija. O ensaio de Limite de Liquidez, utilizado para determinar o teor de umidade do solo, indicou valores variando entre 57% e 66%. Quanto ao ensaio de Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade, os resultados revelaram que o solo se apresenta como medianamente plástico a altamente plástico.

Em relação às características físicas do talude, foi possível classificar o solo predominante como argila seca coesiva, com um peso específico de 1,92 g/cm³. Além disso, o solo apresentou um ângulo de atrito entre 10° e 20° e uma coesão de 1,50 kg/cm², dados fundamentais para a avaliação da estabilidade e dos métodos de estabilização propostos para a área.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5734: Peneiras para ensaios - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

_____. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

_____. NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. NBR 7181: Análise Granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. NBR 7217: Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. NBR 7250 – Identificação e Descrição de Amostras de Solo em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. NBR 11682 – Estabilidade de encostas. Informações de catálogo. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ARAÚJO, G.; CORSI, A.; MACEDO, E.; FUTAI, M. (2023). Application of digital technologies in landslide prediction, mapping, and monitoring. *Soils and Rocks*. 46. 2023. e2023005823. 10.28927/SR.2023.005823.

BICALHO, K.V.; GRAMELICH, J. C.; CUNHA, C.L.S.; Junior, R.G.S. (2017) “Estudo dos valores do limite de liquidez obtidos pelos métodos de Casagrande e cone para diferentes argilas”, *Geotecnia* 140, 63-72, 2017.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, Escopos Básicos/Instruções de Serviço, Publicação IPR - 726. 2017.

MORAIS, A. L. S. DE.; MARTINS, D. A.; ANDRADE, L. M.; PEREIRA, R. S. F.; OLIVEIRA, T. M. Análise granulométrica: uma revisão bibliográfica. *Journal Of Exact Sciences – Jes*, [s. l], v. 28, n. 1, p. 5-10. 2021. Disponível em: <http://www.mastereditora.com.br/jes>.

SANTOS, B. C. C.; DE ASSUNÇÃO, J. V.; ALMEIDA, E. L. S.; DE OLIVEIRA, C. B. (2022). Geotecnia aplicada a taludes : Geotechnics applied to slopes. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(4), 3607–3621. 2022. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n4-013>

ELL, S. M.; Da Silva, A. M.; Tsuchiya, L. H. Análise granulométrica do horizonte superficial e horizonte subsuperficial do solo de sorocaba-sp: subsídios para o planejamento geoambiental regional. 2023.

RIBEIRO, Kátia.; SOUZA, L. Limites de Atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos / correlation between granulometry and organic soil matters with limits of Atterberg. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. 2018. 12. 185. [10.18011/bioeng2018v12n2p185-196](https://doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p185-196).

SALOMÃO, P. E. A.; LAURE, C. T. S. Estudo da viabilidade de contenção de taludes com pneus inservíveis. *Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro*, 2(1). 2023. Recuperado de <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/782>

SANTA, L. DE O. R.; NETO, P. P. C.; FLÁVIA, DA S.; PIRES, R. C. S. Estabilidade de Encostas Utilizando Muro de Arrimo de Gabião. *Epitaya E-Books*, 1(15), 29-45. 2022. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2022540p29>

SANTOS, C. O.; OLIVEIRA, S. L.; MARTINS, T. R. O. Estabilização e contenção de encosta pelo método construtivo de cortina atirantada e solo grampeado verde. *Paramétrica*, 13(14), 2–17. 2021. Recuperado de <https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/265>

SILVA, R.; NETTO, A.; LACERDA, W. Hydro-geomorphological conditions for the classification of terrain susceptibility to shallow translational landslides: a geo-hydro ecological approach. *Soils and Rocks*. 2023.

WITIUK, R. L.; GUIMARÃES, A. C. R. Estudo do comportamento mecânico de solos de granulometria transicional. *Geo Tec Nia*, 204. 2023.

ZAMBIAZZI, B.; ALEXANDRE NIENOV, F. Estudo de condições de estabilidade de talude em solo situado na região meio oeste de Santa Catarina com o uso de software. *Conhecimento Em Construção*, 10, 145–162. 2023. <https://doi.org/10.18593/cc.v10.32642>

GERSCOVICH, D. Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos, São Paulo, 166 p. 2012.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Blucher, 2013.

DYMINSKI, A. S. Notas de Aula: Estabilidade de Taludes. UFPR. 2016. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019/TC019/Taludes.pdf>.