

## **ANÁLISE EXPERIMENTAL DO POTENCIAL EROSIVO EM SOLOS TROPICAIS SOB BASE NA R. JOSÉ BONIFÁCIO ANÁPOLIS-GO**

Amanda Angélica de Souza Mendes

*Bacharelanda do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (amandaangelica20@hotmail.com).*

Filipe Marinho Torres

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (filipe.torres.eng@hotmail.com)*

Guilherme Coqueiro dos Passos

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (guilherme.passos687@gmail.com)*

Aurélio Feliciano Caetano

*Professor Especialista do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (aureliocfeng@gmail.com)*

### **RESUMO**

As rodovias são um dos principais contribuintes para os impactos ambientais, principalmente devido à supressão da vegetação e à movimentação de terra necessária para realizar a sua implantação. Se não forem previstos e evitados, processos de erosão em grande escala podem levar ao colapso das estruturas rodoviárias. O solo é um material formado pelo intemperismo ou erosão de rochas por desgaste mecânico. A erosão é o resultado da ação do impacto das gotas da chuva e do escoamento superficial combinados com a erodibilidade do solo, caracterizada pelas fases de desagregação, transporte e deposição. Desagregação e o transporte são principalmente provocados pelo impacto pluvial e escoamento superficial, respectivamente, sobre a superfície do solo. O protocolo experimental para este estudo consistiu nos seguintes testes laboratoriais: NBR 7181 – Análise granulométrica: determinação do solo. NBR 7180 - Determinação do limite de plasticidade, e NBR 6459 - Determinação do limite de liquidez, que são utilizados na determinação dos limites de Atterberg. NBR 7181 – Ensaio de Compactação: método para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos, quando compactados e o ensaio de desagregação, proposto por SANTOS (1997). O presente trabalho faz uma análise da atual situação de um solo erosivo localizado na R. José Bonifácio na cidade de Anápolis Goiás, e através de ensaios e análises das amostras coletadas, propõe-se elucidar as causas do trecho que sofre erosão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão em solos, ensaios e caracterização, características de um solo erosivo.

# 1 INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural e presente na dinâmica dos solos. Esse fenômeno consiste no desgaste do solo e das rochas de áreas mais altas para áreas mais baixas, ocasionando a sedimentação dos detritos. Esse desgaste altera paisagens, cursos de rios, relevos, entre outros.

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formam-se os pedregulhos e areias (solos de partículas grossas) e até mesmo os siltes (partículas intermediárias), e, somente em condições especiais, as argilas (partículas finas). Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem. O principal agente é a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição. Normalmente esses processos atuam simultaneamente; em determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância sobre o outro. (CAPUTO, 2015).

Para antecipar a ocorrência dos processos erosivos ainda na etapa de projeto, há diversos modelos de previsão de risco de erosões, que impedem o surgimento de ravinas e voçorocas em quantidade e volume que coloque em risco o pavimento. (PIRES; CARMO JÚNIOR, 2018).

De acordo com (Guerra, 1996), os processos erosivos causados pela água do escoamento superficial começam a partir da saturação dos solos, bem como da formação de crostas na superfície, que dificultam a infiltração das águas. Dependendo das propriedades dos solos, das características das encostas, do regime das chuvas, bem como do uso da terra e das práticas de manejo.

Quanto aos impactos na sociedade, segundo Oliveira (2011) processos erosivos podem causar patologias nas redes elétricas, de água e esgoto, interdição e derrubada de imóveis, destruição de estradas, perda de solos férteis utilizados para a agricultura, interferindo assim na população que reside ou trafega próxima ao empreendimento. Molinero (2007) comenta dizendo que a falta de planejamento na ocupação do solo é um dos fatores responsáveis por causar patologias geotécnicas como a erosão, já que os devidos cuidados com o ambiente na construção de vias não são implantados como deveriam.

A erosão pode ocorrer por fenômenos naturais e por fenômenos antropogênicos. São esses os principais causadores: águas pluviais, mudança de temperatura, vento, mau planejamento, má execução, mau monitoramento das mudanças que ocorrem no solo (antes, durante e depois) na construção de uma rodovia. Portanto, torna-se necessário conhecer o comportamento de solos pavimentados.

O estudo de caso visa mostrar os fatores que afetam e contribuem para uma erosão, e suas possíveis consequências e impactos ambientais.

## 2 ANÁLISE EXPERIMENTAL

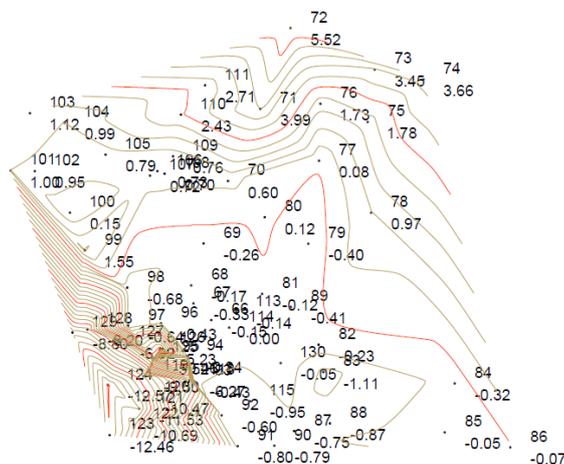
### 2.1 TOPOGRAFIA E CURVAS DE NÍVEL

As definições para a ciência topográfica na literatura estão direcionadas para explicar seu principal objetivo, que é a obtenção da planta topográfica. Para se obter a planta topográfica, executam-se os levantamentos topográficos. De acordo com a ABNT NBR 13133 Execução de levantamento topográfico - Procedimento (2021), o levantamento

topográfico é definido como: conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, impanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas, a estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando sua exata representação, planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistâncias predeterminadas e/ou pontos cotados. (ABNT , 2021)

Para melhor entender a erosão localizada na R. José Bonifácio, foi realizado o levantamento topográfico de toda sua área, obtendo as seguintes curvas de nível.

**Figura 1 - Curvas de Nível**

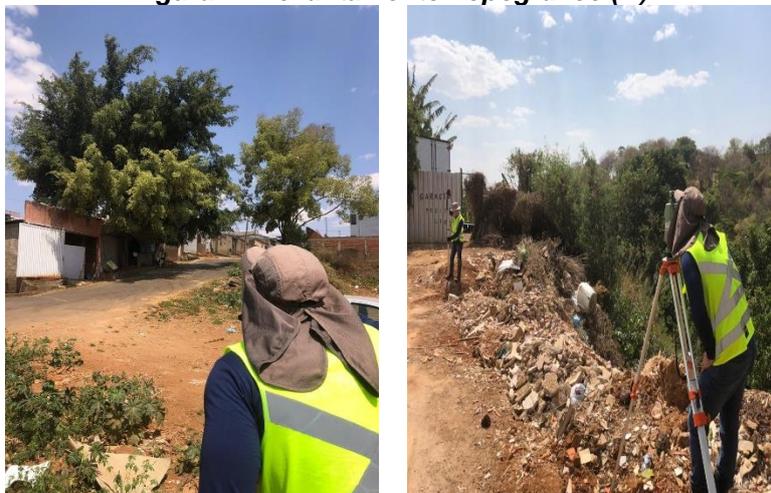


Fonte: Autores, 2022

O levantamento topográfico foi feito com o apoio de teodolito, e software civil 3d. As curvas de nível mostram a grande declividade do terreno, sendo o ponto mais alto com uma cota de 5,52 metros e a mais baixa onde ocorre a erosão é de -12,46 metros, uma diferença de altura de 17,98 metros de altura.

A seguir imagens da realização do levantamento topográfico.

**Figura 2 - Levantamento Topográfico (A)**



Fonte: Autores, 2022

**Figura 3 - Levantamento Topográfico (B)**



Fonte: Autores,2022

## 2.2 ABNT NBR 6459 SOLO – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

Conforme De Almeida (2005), o limite de liquidez foi concebido como o menor teor de umidade com que uma amostra de um solo pode ser capaz de fluir. Embora tal capacidade seja mais relacionada com o grau de saturação do solo do que com o teor de umidade, os ensaios para determinar o limite de liquidez de solos finos têm o teor de umidade como parâmetro, por causa da dificuldade de medir e controlar o grau de saturação. A suposição do processo é que com as pancadas, a água se encaminhe para essa região, aumentando o teor de umidade (o que diminui a resistência ao cisalhamento).

O Limite de Liquidez é o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico, esse limite é determinado com o auxílio do aparelho de casagrande, no qual se determina o teor de umidade com 25 golpes.

## 2.3 ABNT NBR 7180 SOLO – DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

A NBR 7180 (ABNT,2016), especifica o método para a determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos. Segundo De Almeida (2005), Atterberg convencionou que a condição para que uma amostra de solo esteja no estado plástico é a possibilidade de com ela ser possível moldar um cilindro de 10 cm de comprimento por 3 mm de diâmetro, por rolagem sobre uma placa de vidro. Na impossibilidade de se obter o cilindro com 3mm de diâmetro, considerar a amostra como não apresentando limite de plasticidade (NP). O Limite de Plasticidade é o teor de umidade em que o solo, estando do estado plástico, se perder umidade, passa para o estado semi-sólido.

Segundo Caputo (2015) denomina-se índice de plasticidade (IP) à diferença entre os limites de liquidez e de Plasticidade. Ele define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo, ou melhor, nulo para as areias, fornece um critério para se ajuizar do caráter argiloso de um solo; assim, quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. Quando um material não tem plasticidade (areia, por exemplo), considera-se o índice de plasticidade nulo. Sabe-se, ainda, que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o IP. Segundo Jenkins, os solos poderão ser classificados em: são fracamente plásticos ( $1 < IP < 7$ ), medianamente plásticos ( $7 < IP < 15$ ), e altamente plásticos ( $IP > 15$ ). (CAPUTO, 2015).

De acordo com Souza, Atterberg, citado por Renedo (1996) comprovou que, a medida em que aumenta o conteúdo de argila do solo, aumentam também os valores do

índice de plasticidade; desta forma, quanto maior é a relação da superfície total das partículas de argila em relação ao seu volume, maior número de moléculas de água é capaz de absorver e, por conseguinte, serão mais elevados os valores dos limites de Atterberg.

## 2.4 ABNT NBR 7181 SOLO — ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A ABNT NBR 7181: 2016 - Solo - Análise Granulométrica é a norma que estabelece o método para análise granulométrica de solos. O ensaio pode ser realizado de três maneiras diferentes: apenas o peneiramento para o material granular; sedimentação para solos finos; a análise granulométrica conjunta, que compreende tanto o peneiramento quanto a sedimentação (solos com partículas grossas e finas), realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. (ABNT, 2016).

Segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as "frações constituintes" os solos recebem designações próprias que se identificam com as acepções usuais dos termos. Essas frações, de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), são: pedregulho - conjunto de partículas cujas dimensões (diâmetros equivalentes) estão compreendidas entre 76 e 4,8 mm; areia, entre 4,8 e 0,075 mm; silte, entre 0,075 e 0,0075 mm; argila, inferiores a 0,0075 mm. (ABNT, 2016).

## 2.5 ABNT NBR 7182 SOLO – ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

De acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 2020), são moldados corpos de prova em cilindros metálicos pequenos de volume igual a 1000 cm<sup>3</sup>, com 3 camadas de 26 golpes cada uma e o resultado deve se expresso em coordenadas cartesianas normais, traçar a curva de compactação, marcando-se em abscissas os teores de umidade (w), e em ordenadas as massas específicas aparentes secas correspondentes. A curva resultante deve ter um formato aproximadamente parabólico. E ainda como aponta Caputo (2015), as curvas de compactação, embora difiram para cada tipo de solo, se assemelham quanto à forma.

Como afirma (Caputo, 2015), entende-se por compactação de um solo, o processo manual ou mecânico que visa reduzir o volume de seus vazios e, assim, aumentar sua resistência, tornando o mais estável. A ABNT NBR 7182: 2016 - Solo - Ensaio de Compactação é a norma que especifica um método para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos, quando compactados, de acordo com os procedimentos especificados. (ABNT NBR 7182, 2020). A norma chama energia ou esforço de compactação (E<sub>c</sub>) o trabalho realizado durante o processo de compactação de uma amostra de solo de volume final V.

## 2.6 ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO

Determinado por SANTOS (1997), os ensaios de desagregação foram realizados nos laboratórios da Empresa Fumas Centrais Elétricas S.A.. Utilizou-se para isto, amostras indeformadas obtidas a partir dos blocos retirados de erosões estudadas. Procurou-se nestes ensaios observar a existência de alguma correspondência entre os ensaios de desagregação e os ensaios de Inderbitzen. Ressalta-se, porém, que os ensaios de Inderbitzen são realizados integralmente sob condições saturadas ao passo que nos ensaios de desagregação, estas condições variam no decorrer de sua realização.

Os ensaios de desagregação consistem na colocação de amostras sobre papel filtro e pedra porosa dentro de uma bandeja com diferentes níveis de água, observando o que ocorre com o solo no processo de submersão. Os corpos de prova indeformados são

coletados em campo com auxílio de âneis biselados de PVC com 10,0 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Centro Tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás no departamento de engenharia, nos quais se analisaram amostras de solo erosivo indeformado e deformado coletado na R. José Bonifácio Anápolis-GO. As amostras de solos coletadas foram preparadas para cada ensaio de acordo com a ABNT NBR 6457.

Para a realização do ensaio do limite de liquidez foi utilizado o método de Casagrande padrão descrito na ABNT NBR 6459, com os seguintes equipamentos: aparelho de casagrande; estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e 105°C a 110°C; cápsula de porcelana; balança; bisnaga; cápsulas metálicas para determinação do teor de umidade; espátula de lâmina flexível; cinzel; balança; gabarito para verificação da altura de queda da concha. De acordo com a norma esse ensaio é realizado no mínimo 5 vezes, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes para fechar as arranhuras. (ABNT, 2016)

No ensaio de limite de plasticidade foi usado estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e 105°C a 110°C; cápsula de porcelana; espátula; placa de vidro; balança e gabarito cilíndrico para comparação com 3 mm de diâmetro e cerca de 100 mm de comprimento. O ensaio está descrito na ABNT NBR 7180, e deve ser realizado no mínimo 3 vezes. Logo com o ensaio de limite de liquidez e limite de plasticidade concluído, obtemos o índice de plasticidade utilizado a equação:  $IP=LL-LP$ . (ABNT, 2016)

Seguindo para o ensaio de granulometria (peneiramento e sedimentação) foi utilizado os seguintes aparelhos: estufa capaz de manter a temperatura de 60°C a 65°C e 105°C a 110°C; balanças de precisão com resoluções de (0,01 g, 0,1 g, 0,5 g e 1 g), respectivamente, e sensibilidades compatíveis; um aparelho de dispersão, proveta de vidro, com cerca de 450 mm de altura e 65 mm de diâmetro, com traço de referência indicado 1 000 cm<sup>3</sup> a 20 °C; densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20 °C e com resolução de 0,001 mm graduado de 0,995 a 1,050; termômetro graduado em 0,1°C (de 0°C a 5°C), crômetro; béquer de vidro, com capacidade de 250 cm<sup>3</sup>; peneiras para o peneiramento grosso e fino de acordo com as ABNT NBR NM ISO 3310-1 e ABNT NBR NM ISO 3310-2; escova com cerdas metálicas; bagueta de vidro; bisnaga; cápsulas metálicas para determinação do teor de umidade. O manuseio dos equipamentos e a realização do ensaio está descrita na norma ABNT NBR 7181.(ABNT, 2016)

No ensaio de compactação foi utilizado o cilindro metálico pequeno (cilindro de proctor), compreendendo o molde cilíndrico, sua base e o cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho); balanças que permitam pesar nominalmente 10kg e 200g, com resoluções de 1g e 0,01g, respectivamente e com sensibilidades compatíveis; estufa; cápsulas metálicas; bandejas metálicas; régua de aço biselada; espátula de lâmina flexível; soquete pequeno (consistindo em um soquete metálico com massa de  $(2500 \pm 10)$  g e dotado de dispositivo de controle de altura de queda (guia); que é de  $(305 \pm 2)$  mm; papel filtro; pincel para untar o cilindro metálico, óleo próprio para untar o cilindro metálico; extrator de corpo de prova. Foi realizado o ensaio de acordo com a ABT NBR 7182, por 5 vezes. (ABNT, 2016)

Para o ensaio de desagregação, foi utilizado os corpos de prova indeformados com solo (natural, seco ao ar por no mínimo 72 horas, inundada por no mínimo 30 minutos), pedra porosa, papel filtro, água destilada e bandeja de plástico. Primeiramente foi determinado o teor de umidade inicial do solo usando o speedy test, em seguida a amostra de solo foi colocada sobre um papel filtro e uma pedra porosa dentro de uma bandeja, sobre 4 condições: 1 - Com o nível d'água na base da amostra (por 30 minutos); 2 - Com o nível

d'água a 1/3 da amostra (por 15 minutos); 3 - Com o nível d'água a 2/3 da amostra (por 15 minutos); 3 - Com a amostra totalmente submersa ( por 24 horas). (SANTOS, 1997)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE GRANULOMETRICA

A curva granulometrica encontrada a partir dos resultados obtidos dos ensaios de peneiramento grosso e fino, nos indica primeiramente que pelo peneiramento grosso o solo é totalmento constituído por areia fina, pois nenhuma quantidade de solo fico retida nas peneiras. Como apresentado na tabela a seguir.

**Tabela 1 - Ensaio de Granulometria (Peneiramento Grosso)**

TIPO DE PENEIRAMENTO	ABERTURA (mm)	MATERIA RETIDO (g)	PERCENTUAL RETIDO PARCIAL (%)	PERCENTUAL RETIDO TOTAL (%)	PERCENTUAL RETIDO ACUMULADO (%)	PERCENTUAL PASSANTE TOTAL ACUMULADO (%)
FINO	50	0	0	0	0	0
	38	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0
	19	0	0	0	0	0
	9,5	0	0	0	0	0
	4,8	0	0	0	0	0
MASSA TOTAL DA AMOSTRA		49,10				

Fonte: Autores,2022

No peneiramento fino o solo começa a se mostrar passante na malha de 1,18mm, com 9,57% de solo retido, indicando que a abertura da malha é suficiente para passar a amostra de solo. Para as outras amostras malhas 0,60mm, 0,43mm, 0,25,mm 0,15mm, 0,08mm, o solo foi ficando gradualmente mais retido na malha, como aponta a tabela:

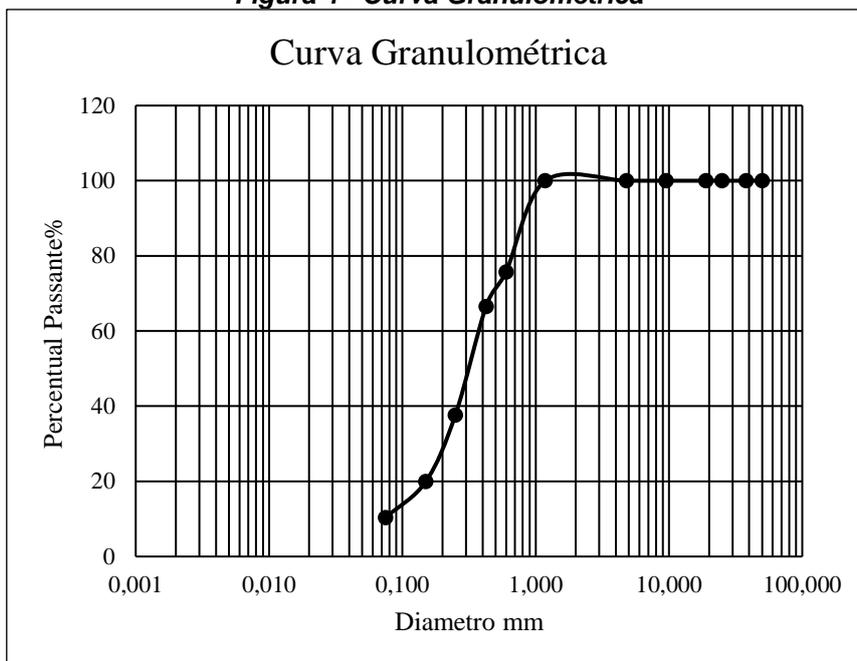
**Tabela 2 - Ensaio de Granulometria (Peneiramento Fino)**

TIPO DE PENEIRAMENTO	ABERTURA (mm)	MATERIA RETIDO (g)	PERCENTUAL RETIDO PARCIAL (%)	PERCENTUAL RETIDO TOTAL (%)	PERCENTUAL RETIDO ACUMULADO (%)	PERCENTUAL PASSANTE TOTAL ACUMULADO (%)
FINO	1,18	4,70	9,57	9,57	0	100
	0,6	11,90	24,24	24,24	24,24	75,76
	0,43	4,50	9,16	9,16	33,40	66,60
	0,25	14,20	28,92	28,92	62,32	37,68
	0,15	8,70	17,72	17,72	80,04	19,96
	0,08	4,70	9,57	9,57	89,61	10,39
	FUNDO	0,40	0,81	0,81	0,81	90,43
MASSA TOTAL DA AMOSTRA		49,10				

Fonte: Autores, 2022

Dessa forma, conseguimos determinar a curva granulométrica da amostra de solo em análise, representada a seguir.

**Figura 4 - Curva Granulométrica**

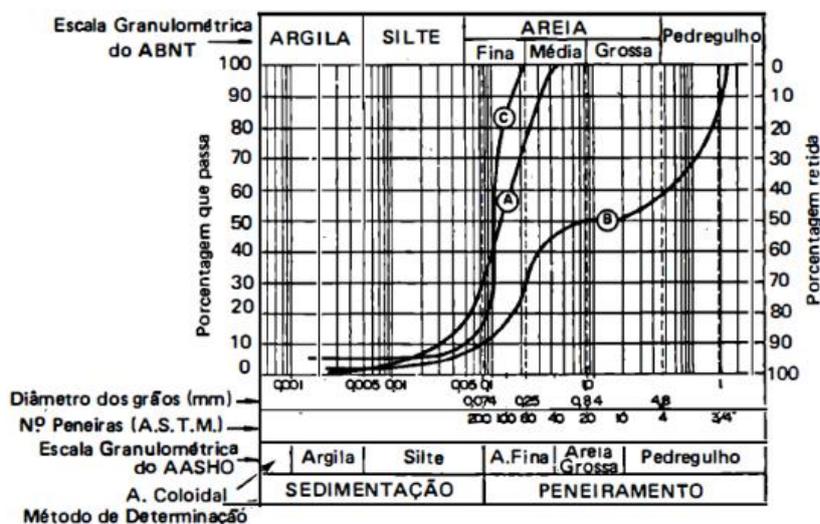


Fonte: Autores,2022

Segundo a forma da curva podemos distinguir os diferentes tipos de granulometria. Assim, teremos uma granulometria contínua (curva A) ou descontínua (curva B); uniforme (curva C); bem graduada (curva A) ou mal graduada, conforme apresente, ou não, um predomínio das frações grossas e suficiente porcentagem das frações finas. (CAPUTO, 2015).

Para o ensaio realizado a curva que mais se assemelha é à curva A com a presença de areia fina e grossa.

**Figura 5 - Escala Granulométrica**



Fonte: CAPUTO,2015.

Uma boa porcentagem de material passante se encontra entre os valores de 1,18mm e 0,15mm, do peneiramento fino. A curva granulometrica indica a constituição do solo, segundo a (ABNT NBR 7181: 2016), pedregulho - partículas cujas dimensões estão compreendidas entre 76 e 4,8 mm; areia, entre 4,8 e 0,05 mm; silte, entre 0,05 e 0,005 mm; argila, inferiores a 0,005 mm. Portanto a amostra de solo é classificada como areia.

## 4.2 LIMITE DE PLASTICIDADE

O limite plástico (LP) consiste basicamente em medir a umidade na qual o solo passa de um estado plástico para um estado semi-sólido, ponto em que o solo perde sua capacidade de formar e torna-se quebradiço. De acordo com Tullio (2019) O solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólidas, deixando entre si vazios que poderão estar parcial ou totalmente preenchidos pela água. Nos ensaios realizados o teor de umidade para as amostras foram de  $W=12,50\%$ ,  $W=20,00\%$ ,  $W=16,67\%$ . Como apresentado na tabela a seguir.

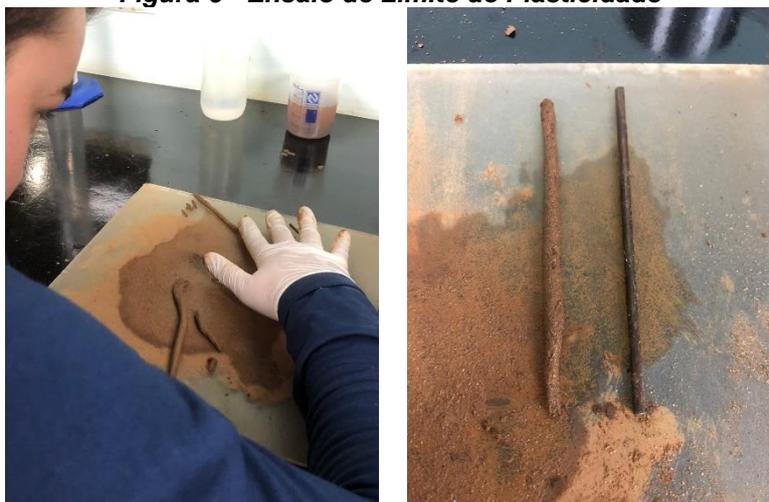
**Tabela 3 - Ensaio de Limite de Plasticidade**

LIMITE DE PLASTICIDADE			
Capsulas n°	1°	2°	3°
Capsulas + Solo Úmido (g)	15,2	16,5	16,3
Capsulas + Solo Seco (g)	15	16	15,9
Peso da Água (g)	0,2	0,5	0,4
Peso da Cápsula (g)	13,4	13,5	13,5
Peso Solo Seco (g)	1,6	2,5	2,4
Teor de Umidade (%)	12,5	20	16,67
Umidade Média (%)	16,39		

Fonte: AUTORES, 2022.

Valores mais próximos de 100% indicam um solo com pouca capacidade de absorver água, enquanto para valores mais próximos de 10% ou menor, indicam um solo com uma alta capacidade de absorver água. A média para o LP=16,39%. A seguir a realização do ensaio de limite de plasticidade.

**Figura 6 - Ensaio de Limite de Plasticidade**



Fonte: AUTORES, 2022.

## 4.3 LIMITE DE LIQUIDEZ

O limite de liquidez é o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. Esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, ou seja, a partir de teores de umidade abaixo do LL, o solo passa a ser plástico e a ter resistência a cisalhamento. Nos

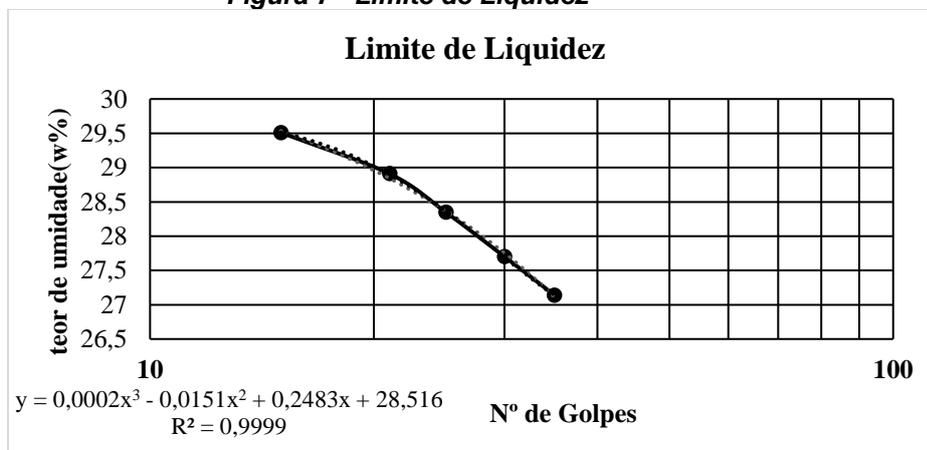
ensaios realizados o teor de umidade para cada uma das amostras foram de respectivamente W= 29,51%, W=28,91%, W=28,35%, W=27,70%, W=27,14% com os seguintes números de golpes: 15,00; 21,00; 25,00; 30,00; 35,00. Apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 4 - Ensaio de Limite de Liquidez**

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Capsulas n°	1°	2°	3°	4°	5°
Capsulas + Solo Úmido (g)	34,20	27,20	29,80	23,70	24,90
Capsula + Solo Seco (g)	30,46	24,80	26,91	22,01	21,07
Peso da Água (g)	3,74	2,40	2,89	1,69	3,83
Peso da Cápsula (g)	14,30	14,10	14,00	14,00	14,11
Peso Solo Seco (g)	12,70	8,30	10,20	6,10	7,00
Teor de Umidade (%)	29,51	28,91	28,35	27,70	27,14
N° Golpes	15	21	25	30	35

Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 7 - Limite de Liquidez**



Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 8 - Ensaio do Limite de Liquidez**



Fonte: AUTORES, 2022.

Apresentado os dados obtidos foi elaborado o gráfico exigido pela norma ABNT NBR 6459, ao qual se chegou em um resultado de LL=28,41% (Figura 7).

E conseqüentemente um índice de plasticidade de 12,02%. Sendo este solo classificado como medianamente plásticos, pouca presença de argila:  $7 < IP < 15$ . A seguir imagem do ensaio do Limite de Liquidez com o aparelho de casagrande.

#### 4.4 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

A curva de compactação pode ser explicado considerando que à medida que cresce o teor de umidade, até um certo valor, o solo torna-se mais trabalhável, daí resultando  $P_d(g/m^3)$  maiores e teores de ar menores. Foram realizados os seguintes corpos de prova.

**Figura 9 - Ensaio de Compactação (Corpos de Prova)**



Fonte: AUTORES, 2022.

Assim, com a realização do ensaio de compactação foi obtido os valores médios de umidade, apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 5 - Ensaio de Compactação (Valores Médios da Umidade)**

UMIDADE					
Nº	MASSA DA CAPSULA	MASSA ÚMIDA	MASSA SECA	UMIDADE	UMIDADE MÉDIA
1	14	44	43,5	1,695%	1,695%
	13,9	46,9	46,2	2,167%	
2	12,4	77,8	76,3	2,347%	2,278%
	14,5	46,9	46,2	2,208%	
3	13,6	66,7	65,2	2,907%	2,876%
	14,5	39,8	39,1	2,846%	
4	13,9	56	54,6	3,44%	3,468%
	14,4	44	43	3,497%	
5	13,5	59,8	57,9	4,279%	4,367%
	13,8	60,7	58,7	4,454%	

Fonte: AUTORES, 2022.

Conseqüentemente obtivemos os seguintes valores de massa das amostras secas e naturais.

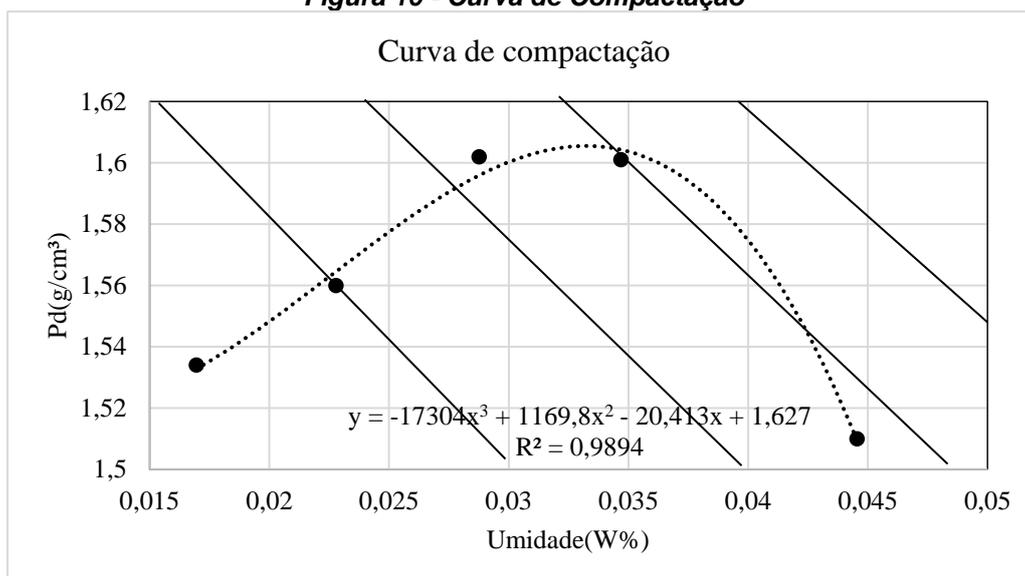
**Tabela 6 - Ensaio de Compactação (Massa da Amostra Seca e Natural)**

d	h	VOLUME	MASSA ÚMIDA	NATURA L	SECA
10	12	942,48	1470,00	1,56	1,53
10	12	942,48	1503,70	1,60	1,56
10	12	942,48	1552,80	1,65	1,60
10	12	942,48	1561,50	1,66	1,60
10	12	942,48	1489,12	1,58	1,51

Fonte: AUTORES, 2022.

A mostra de solo mostrou se mais trabalhavel com teor de umidade de  $W=0,034\%$  de água, com peso especifico seco de  $1,61 \text{ (g/m}^3\text{)}$ . Como representado no gráfico a seguir.

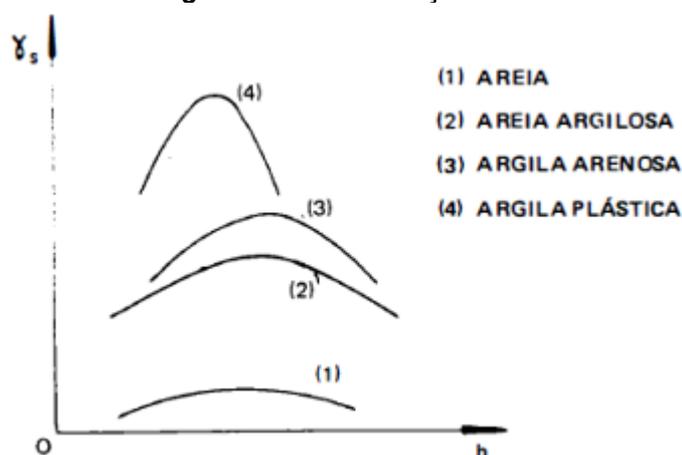
**Figura 10 - Curva de Compactação**



Fonte: AUTORES, 2022.

A curva de compactação encontrada nos ensaios realizados se assemelha a (3) da da imagem a baixo.

**Figura 11 - Classificação do Solo**



Fonte: CAPUTO, 2015.

#### 4.5 ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO

Os ensaios de desagregação foram realizados conforme proposto por Santos (1997), então foi realizadas as seguintes avaliações para cada corpo de prova: 1 - O abatimento e inchamento; 2 - Raio de influência das partículas de solo desagregadas; 3 - Velocidade de desagregação; 4 - Formação de fissuras no topo; 5 - Rupturas nas bordas da amostra. A seguir a coleta das amostras de solos para a realização dos ensaios.

**Figura 12 - Coleta de amostras para o Ensaio de Desagregação**



Fonte: AUTORES, 2022.

**Tabela 7 - Ensaio de Desagregação**

AMOSTRA	CONDIÇÃO DE UMIDADE	UMIDADE INICIAL	COMPORTAMENTO DA AMOSTRA
SOLO EROSIVO	NATURAL	3,1	Desagregação quase completa das partículas do solo, pouca presença de solo no centro da pedra.
	SECA AO AR	5,8	Rápida desagregação das partículas, desintegrando quase completamente
	INUNDADA	5,8	Desagregação praticamente completa das partículas do solo.

Fonte: AUTORES, 2022.

A seguir imagens dos resultados dos ensaios de desagregação.

**Figura 13 - Amostras dos Ensaios de Desagregação**



Fonte: AUTORES, 2022.

As amostras que mais se desagregam são aquelas que mais se mostram erodíveis nos ensaios, já para as amostras onde não ocorreu nenhuma reação ou pouca reação, os ensaios revelam um comportamento pouco erodível. Como apresenta a Tabela 7.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos solos e de seus perfis tanto quanto o potencial de risco à erosão exige um conhecimento detalhado das características do solo, suas propriedades físicas, geométricas e químicas e suas implicações na formação das camadas de terra. Tais características são o resultado de fatores que envolve a formação do solo em um determinado ponto da superfície. Os ensaios realizados mostram que o tipo de solo, (arenoso) encontrado na região, é propício a sofrer sedimentação devido ao relevo inclinado e por apresentar variações topográficas constantes. A precipitação pluvial é o fator determinante na erosão, visto que a composição do solo é majoritariamente composta por areia e em menor parte argila, sendo assim, com grande facilidade de escoamento de água e volumes de terra.

Em busca de encontrar uma melhor solução para conter a erosão localizada na R. José Bonifácio, primeiramente deverá ser realizado todos os ensaios necessários para a caracterização do solo, levantar a topografia da região em estudo para definir suas distâncias verticais e horizontais, inclinação. Assim, com os resultados obtidos, deverá ser realizado o projeto que irá determinar qual tipo de talude se encaixaria melhor na área, se há necessidade de drenagem ou não (superficial e profunda, tanto na rua quanto no talude), posição da drenagem no talude, valor que será investido na obra e entre outros fatores.

Alguns exemplos de soluções para estabilização de talude: Biomantas Anterosivas, Hidrossemeadura com adesivo fixador Ag-60, Geomanta, Malha de Aneis, Gabiões, entre outras. E assim com os ensaios, projetos e orçamentos realizados, traçar um planejamento para a execução da obra, visando sanar os problemas encontrados na região de maneira definitiva e sem que afete diretamente o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7181. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 2016

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7182. Solo - Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13133. Execução de levantamento topográfico – Procedimento, Rio de Janeiro, 2021.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 2015.

DE ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo. Caracterização física e classificação dos solos. Juiz de Fora, 2005.

GUERRA, Antônio José Teixeira; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, p. 93-114, 1996.

MOLINERO, G. R. **Modelagem de Previsão de Processos Erosivos**. 2007. 162f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

OLIVEIRA, B. E. N. **Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) - Ênfase nas Voçorocas**. 2011. 180 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 2011.

PIRES, Renan Rodrigues; JUNIOR, Gersina Nobre da Rocha Carmo. Processos erosivos em rodovias: uma revisão sistemática sobre os métodos de previsão e monitoramento. ES Engineering and Science, v. 7, n. 4, p. 2-23, 2018.

RENEDO, V.S.G. Dinámica y mecánica de suelos. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, S.L., 1996. 426p.

SANTOS, Roberto Márcio Macedo dos. Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia. 1997. Tese de Doutorado.

SOUZA, Cristiano Márcio Alves de; RAFUL, Leidy Zulys Leyva; VIEIRA, Luciano Baião. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 460-464, 2000.

TULLIO, LEONARDO, **Formação, classificação e cartografia dos solos [recurso eletrônico]**/ Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.