

*Análise do potencial de erosão de solos em taludes de aterro rodoviários – estudo de caso da ampliação da BR-135, no trecho do estado do Piauí, entre as cidades de Colônia do Gurguéia e Elizeu Martins*



**PAULO VITOR GUIMARÃES ROCHA**

Engenharia Civil, Centro Universitário UNINOVAFAPI

E-mail: paulo\_netcontrol@hotmail.com



**JOÃO MACEDO LIMA JUNIOR**

Professor do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNINOVAFAPI

E-mail: joaomacedo@uninovafapi.edu.br



**KEICYANE ALVES DE SOUSA**

Tecnóloga em Geoprocessamento, Engenheira Civil, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

E-mail: keicyane@ufpi.edu.br



**LAIANY COSTA FREITAS**

Engenharia Civil, Universidade Estadual do Piauí

E-mail: laianyteixeirac@gmail.com

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE EROSIÃO DE SOLOS EM TALUDES DE ATERRO  
RODOVIÁRIOS – ESTUDO DE CASO DA AMPLIAÇÃO DA BR – 135, NO TRECHO  
DO ESTADO DO PIAUÍ, ENTRE AS CIDADES DE COLÔNIA DO GURGUÉIA E  
ELIZEU MARTINS**

*Paulo Vitor Guimarães Rocha <sup>1</sup>; João Macedo Lima Junior<sup>2</sup>; Keicyane Alves de Sousa <sup>3</sup> &  
Laiany costa Freitas<sup>4</sup>*

**RESUMO**

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a erodibilidade de solos construídos em taludes de aterros rodoviários, a partir da amostra solos retirados de taludes que possuem erosão em sua estrutura. A obra na qual foi realizado o estudo, foi a ampliação da Br-135, em trecho do estado do Piauí, entre as cidade de Colônia do Gurguéia e Elizeu Martins. O objetivo principal desse trabalho é analisar o potencial de erosão dos taludes frente ao tipo de solo utilizado e aos aspectos construtivos da rodovia, como proteção superficial, elementos de drenagem e inclinação. A metodologia aplicada consistiu no levantamento bibliográfico, investigação de campo e na etapa de laboratório. Na investigação de campo foi realizado um *checklist* para caracterização dos taludes e de suas estruturas, e na etapa de laboratório foram realizados ensaios de caracterização física do solo e ensaios de erosão (ensaio de desagregação e ensaio de Inderbitzen). Com isso, foi possível correlacionar os estágios de erosão com o tipo de solo utilizado e as conformidades de suas estruturas. Como resultado, observou-se que o solo utilizado nos aterros em estudo é inapropriado, possuindo alto grau de erodibilidade e que os aspectos construtivos dos taludes que possuem os graus mais críticos de erosão, não estão em conformidade, o que potencializa ainda mais a tendência a erosão e coloca em risco iminente a estrutura rodoviária. Diante disso, foram propostas possíveis medidas mitigadoras afim de solucionar esse problema e evitar um agravamento da situação.

**Palavras-Chaves:** taludes; conformidades construtivas; erosão; erodibilidade.

---

1) Engenharia Civil, Centro universitário UNINOVAFAPI, R. Antônia Myrian Eduardo Pereira, 4935 - Campestre, Teresina - PI, 64053-740, (86) 995389673, [Paulo\\_netcontrol@hotmail.com](mailto:Paulo_netcontrol@hotmail.com)

2) Professor do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNINOVAFAPI, R. Profª. Diná Soares, 4165 - Morros Teresina - PI, 64062-150, (86) 9 9424-1932  
[joamacedo@uninovafapi.edu.br](mailto:joamacedo@uninovafapi.edu.br)

3) Tecnóloga em Geoprocessamento, Engenheira Civil, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Quadra 59 15 A Renascença 2, 64082 – 550, (86) 9 9910-3233, [keicyane@ufpi.edu.br](mailto:keicyane@ufpi.edu.br)

4) Engenharia Civil, Universidade Estadual do Piauí, Rua Olavo Bilac, 2223 Teresina - PI, (86) 9576-1024, [laianyteixeirac@gmail.com](mailto:laianyteixeirac@gmail.com)

## **1 INTRODUÇÃO**

A BR-135 trata-se, de uma rodovia longitudinal que cruza o país de norte a sul. No Piauí, é considerada a espinha dorsal dessa região, notadamente reconhecida pelo papel de grande produtora e exportadora de grãos, sendo fundamental ao agronegócio do estado. A rodovia destaca-se ainda por ligar o estado às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Contudo, no ano de 2017, de acordo com um levantamento realizado pelo Departamento Nacional de Transporte Terrestre (DNIT) sobre as rodovias federais, a BR-135, encontrava-se com o maior número de trechos classificados como péssimos do Brasil.

No final do ano de 2019, o alargamento da BR-135, no trecho de 140 quilômetros entre Eliseu Martins e Bom Jesus, proporcionou mais conforto e segurança para os usuários da rodovia (DNIT, 2019). Tal Rodovia, com dois anos após a sua inauguração, apresenta desgaste avançados de alguns taludes da rodovia. Por ser um trecho projetado para melhorar o trânsito de veículos pesados, há preocupações quanto as suas condições atuais. A possibilidade de paralisação do uso do mesmo para possíveis reparos, ou mesmo, de acidentes com o seu rompimento.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral analisar a potencialidade de erosão dos taludes de um pequeno trecho da BR – 135, onde passou pela obra de alargamento, por meio da análise do solo utilizado e dos aspectos construtivos da rodovia.

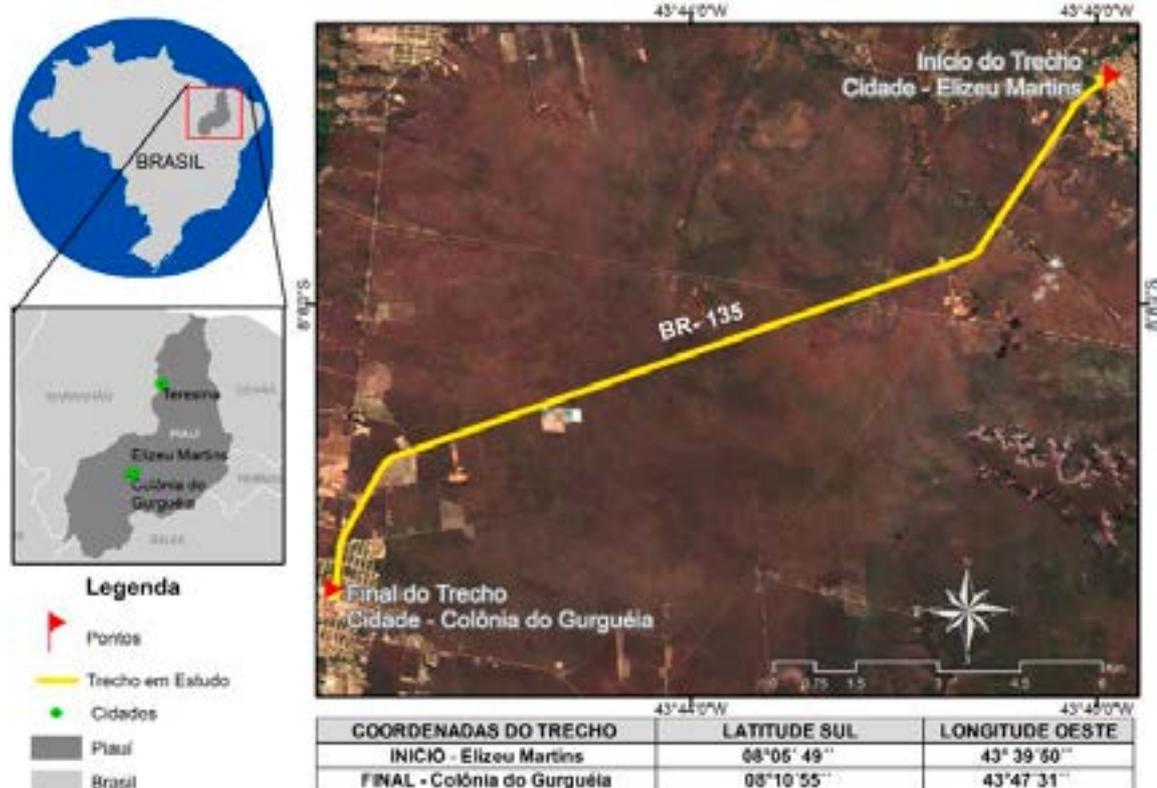
## **2 METODOLOGIA**

### **2.2 Caracterização da área em estudo**

A área delimitada para a realização do estudo localiza-se na região sul do estado Piauí, a uma distância inicial de 480,8 km da capital Teresina. O início do trecho, é referente a cidade de Elizeu Martins, em que sua sede possui altitude de 258 m acima do nível do mar, estando nas coordenadas 08°05' 49'' de latitude sul e 43° 39'50'' de longitude oeste.

O trecho a ser estudado, possui comprimento equivalente a 18,4 km, e é finalizado na cidade de Colônia do Gurguéia, no qual possui altitude de 216m acima do nível do mar, e coordenadas 08°10'55'' de latitude sul e 43°47'31'' de longitude oeste. A Figura 1 representa a imagem do trecho estudado.

Figura 1 – Localização do trecho em estudo



Fonte: Autor (2021).

### 2.3 Coleta dos dados Regionais - mapeamento dos taludes

Realizou inicialmente a coleta de 8 pontos de aterros em que foram analisados visualmente as características dos taludes e aspectos construtivos, para assim, fazer o mapa dos taludes com as respectivas coordenadas usando o receptor GPS (Sistema de posicionamento global) da marca GPSmap 76CS, conforme a Figura 2.

### 2.4 Análise visual das característica e aspectos construtivos dos taludes

Registros fotográficos foram usados para as análises das conformidades e patologias existentes. A análise comparativa dos taludes mais erodidos foi realizada por meio do checklist apresentado na Quadro 1, no qual foi caracterizado pelo número de referência do talude, verificando a ocorrência de conformidades e o estado de erosão hídrica.

Análise das conformidades foi baseada na verificação dos aspectos construtivos dos taludes de fundamental importância para a sua manutenção (sistema de drenagem e proteção superficial). Quanto a análise das erosões, levou-se em consideração a classificação quanto a grau de intensidade, citado por Guerra (2002).

Quadro 1 – Checklist de ocorrência de conformidades e erosões hídricas

<b>Análise Visual</b>		
<b>Nº de referência do talude: 8</b>	<b>Ocorrência</b>	
	SIM	NÃO
<b>1.0 Conformidades</b>		
Proteção superficial		
Sistema de drenagem		
<b>2.0 Erosões Hídricas</b>		
Erosão superficial ou laminar		
Erosão linear - Sulcos		
Erosão - Ravinas		
Erosão - voçorocas		

Fonte: Autor (2021).

## 2.5 Quantificação das patologias e não conformidades

Para realização da quantificação das conformidades e erosões, fez-se a contagem total das respectivas conformidades e patologias presentes nos 8 taludes analisados, os dados obtidos foram dispostos em uma ficha de quantificação de análise visual (Gráfico 1).

## 2.6 Coleta de amostras

Para a realização das coletas, foram escolhidos os taludes que apresentaram as características variadas, relacionadas aos aspectos construtivos e grau de erosão, para assim, poder correlacionar as patologias com os aspectos construtivos existentes.

Deste modo, foram escolhidos quatro taludes para análise geral dos elementos existentes (drenagem, proteção superficial, patologias e caracterização física dos solos) e desses, os dois mais críticos relacionados a erosão, foram escolhidos para fazer o estudo da erodibilidade do solo por meio do ensaio de Inderbitzen..

A coleta foi realizada conforme a NBR 9604 e para a identificação das amostras ocorreu o preenchimento da etiqueta de informação para identificar o solo como específica a NBR 9604 (1986), nesta estão descritos o local (Talude 02 ,03,05 e 06), a data da coleta e o nome do responsável pela coleta.

## 2.7 Ensaio de laboratório

O programa de ensaios realizado no laboratório de Mecânica dos solos do Centro Universitário UNINOVAFAPI constituiu dos seguintes ensaios, com as respectivas referências:

- Ensaio tátil visual (NBR 7250 – ABNT, 1982);
- Ensaio granulométrico (NBR 7217 - ABNT,1987);
- Ensaio de Consistência (NBR 6459 - ABNT,1984);

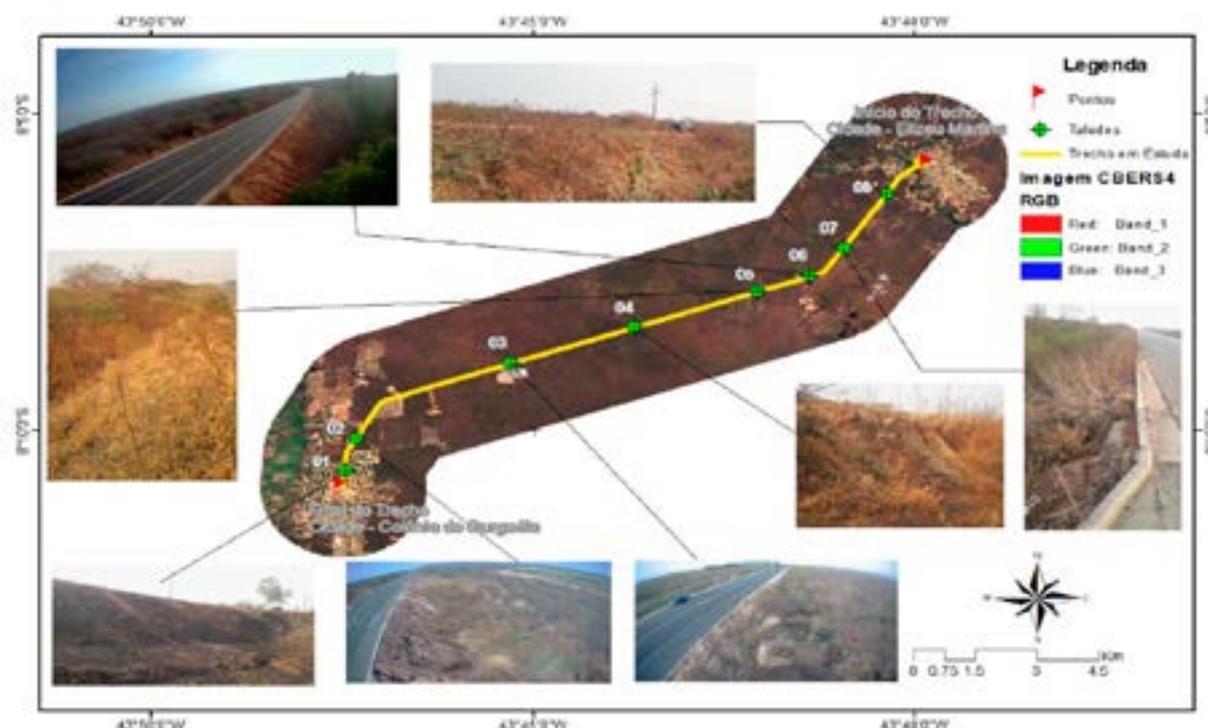
- Ensaio de desagregação (Bastos, 1999);
- Ensaio de Erosão (Inderbitzen – Bastos, 1999);

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Mapeamento dos Taludes com risco de Instabilidade e patologias no trecho em estudo.

De acordo com a mapeamento dos taludes, observa-se que não existe correlação direta entre as suas localizações e o estado de erosão. Os taludes 02 e 06, que são os que possuem mais gravidade em sua patologia, estão localizados respectivamente, no início e final do trecho como é possível visualizar na Figura 47.

**Figura 2** – Pontos de amostragem dos taludes



Fonte: Autor (2021)

#### 3.2 Identificação das Conformidades e Patologias

Pela análise do checklist, o talude 01 apresenta sistema de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a proteção superficial, observou-se que devido a ação antrópica, com a incidência de queimadas, ela não existe, estando o solo coberto por cinzas e exposto aos intempéries. Quanto a avaliação referente a erosão, o talude apresenta o estágio de erosão superficial.

O talude 02 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela não existe, estando o solo exposto a intempéries. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo apresenta erosão superficial, linear, ravinhas, podendo até ser considerado como voçoroca, conforme a Figura 3.

**Figura 3 – Talude 02**



Fonte: Autor (2021)

O talude 03 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim, em boa parte da sua composição. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo apresenta erosão superficial e sulcos, conforme a Figura 4.

**Figura 4 – Talude 3**



Fonte: Autor (2021).

O talude 04 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água e bueiro. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim, em boa parte da sua composição. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo apresenta erosão superficial e sulcos. O talude 05 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim, em toda sua estrutura. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo praticamente não apresenta erosão.

O talude 06 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim de forma parcial, falhada. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo apresenta erosão superficial, sulcos e ravinhas, que é quando o escoamento da água sobre os solos intensifica o seu desgaste a ponto de formar pequenas “linhas” ou cortes no talude. O talude 07 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim de forma parcial em sua estrutura. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo praticamente não apresenta erosão.

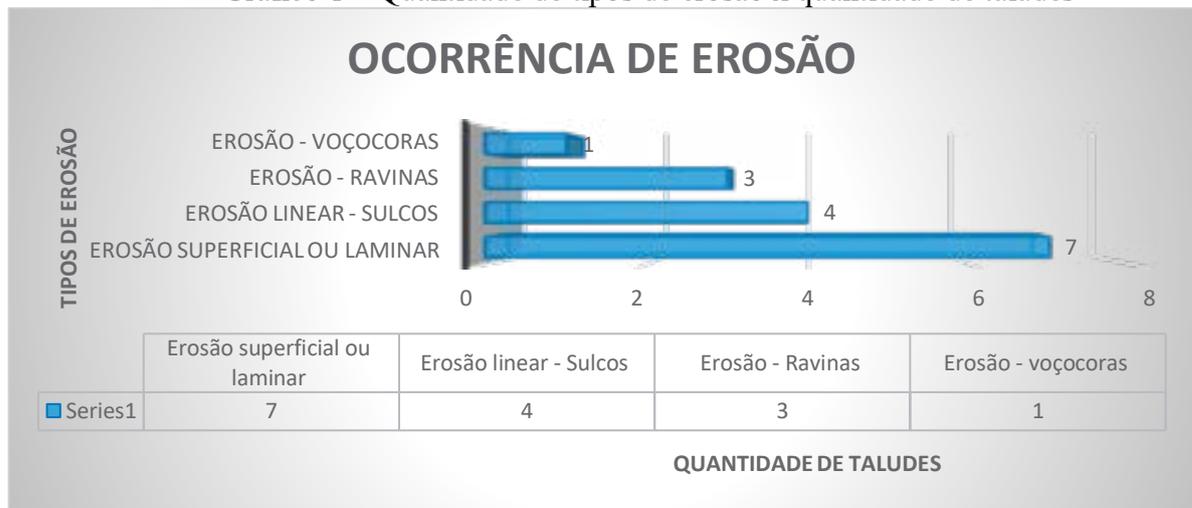
O talude 08 é composto por elementos de drenagem em condições normais, possuindo sarjetas, saídas e descida de d'água. Quanto a sua proteção superficial, ela é composta por capim, em toda sua estrutura. Quanto a avaliação referente a erosão, o solo apresenta erosão superficial e sulcos.

Segundo Maragon (2006) a erosão presente nos taludes estudados é ocasionada pela falta de proteção superficial adequada e sua ocorrência pode ser intensificada pela ausência de um sistema de drenagem eficiente. A desagregação superficial conforme Carrasco (2014) é uma patologia semelhante a erosão, é ocasionada pela exposição do solo a umidade provocando assim a remoção do material.

### **3.3 Quantificação das Conformidades e Patologias**

Após a realização da contagem das patologias elaborou-se o Gráfico 4 (quantidade de erosões hídras x tipo de erosão hídras) como mostrado a seguir onde pode-se observar que as maiores incidência de erosão hídras foram do tipo laminar e em forma de sulcos.

Gráfico 1 – Quantidade de tipos de erosão x quantidade de taludes



Fonte: Autor (2021).

### 3.4 Ensaios Táteis Visuais

Os ensaios táteis visuais são utilizados para determinar uma classificação inicial do tipo de solo, a partir de características de fácil percepção sem a necessidade de máquinas ou aparelhos específicos. As características obtidas no ensaio tátil visual servem para direcionar quais ensaios devem ser realizados posteriormente em laboratório.

Quadro 2 - Classificação tátil visual das amostras de solo

AMOSTRA TALUDE 1		AMOSTRA TALUDE 2	
Sensação ao tato	Areia/silte/argila	Sensação ao tato	Areia/silte/argila
Resistência a seco	Dura – Argila	Resistência a seco	Dura – Argila
Platicidade	Areia / silte	Platicidade	Areia / silte
Dispersão em água	Sedimentação em 12 min - (silte/argila)	Dispersão em água	Sedimentação em 8 min - (silte/argila)
Dilatância	Areia siltosa	Dilatância	Areia siltosa
Cor	Vermelho	Cor	Vermelho
Classificação final	Areia siltosa	Classificação final	Areia siltosa

AMOSTRA TALUDE 3		AMOSTRA TALUDE 4	
Sensação ao tato	Areia/silte/argila	Sensação ao tato	Areia/silte/argila
Resistência a seco	Dura – Argila	Resistência a seco	Dura – Argila
Platicidade	Areia / silte	Platicidade	Areia / silte
Dispersão em água	Sedimentação em 8 min - (silte/argila)	Dispersão em água	Sedimentação em 12 min - (silte/argila)
Dilatância	Areia siltosa	Dilatância	Areia siltosa
Cor	Vermelho	Cor	Vermelho
Classificação final	Areia siltosa	Classificação final	Areia siltosa

Fonte: Autor(2021).

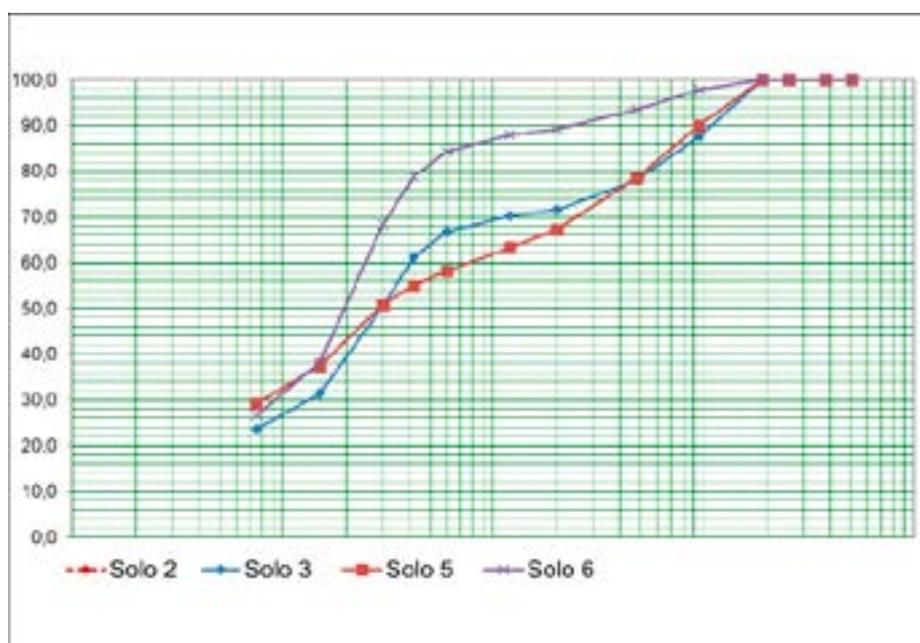
### 3.5 Ensaios Físicos

#### 3.5.1 Ensaio Granulométrico

Segundo Machado e Machado (1997) pode-se classificar as curvas granulométricas, em aberta, contínua ou uniforme. Analisando o gráfico abaixo (Gráfico 2) observa-se que as amostras de solos dos taludes 02,03 e 05 apresentam distribuição semelhante, de tal forma que podem ser considerados como solo bem graduados, tendo em vista que apresentam curva quase contínua, abrangendo uma extensa faixa de valores.

Já o solo do talude 06 diferencia-se um pouco dos demais, podendo ser classificado como solo mal graduado, tendo em vista que faltam partículas em certas dimensões e sua curva granulométrica apresenta trecho quase horizontal.

Gráfico 2 – Curvas Granulométricas das amostras



Fonte: Autor (2021).

#### 3.5.2 Limites de Atteberg

Segundo Reinert e Reichert (2006) a baixa retenção de água e baixa coesão são características de solos arenosos. Nessa linha ao realizar os ensaios das amostras dos solos dos taludes 02, 03, 05 e 06 por apresentar tais características, não foi possível realizar os ensaios de LL e LP, pois ao acrescentar água na amostra a mesma não apresentou comportamento plástico e uma consistência mínima necessária para realizar sulco no meio da amostra com o cinzel, impossibilitando assim a realização do ensaio, conforme Tabela 1.

Cabe relatar que os solos do talude 3, 5 e 6, ao iniciar os primeiros 15 ml, com menos de 5 golpes a canalura se fechou, concluindo-se que a predominância da amostra é arenosa e a

quantidade de argila é pequena. Durante o ensaio, observava-se ruído dos grãos com a passagem da espátula, como um demonstrativo dos grãos de areia.

O desenvolvimento do talude 2, foi o mais extenso entre as amostras, chegando a concluir 2 seções de 10 golpes, porém, na terceira ela se fechou com 4 golpes, assim tornando-se inviável a determinação do limite de liquidez e do limite de plasticidade. Assim, observa-se que todos os solos apresentam predominância de areia, e que o solo 2 dentre todos, é que possui uma maior quantidade de argila, sendo o mais compatível a ser utilizado.

Tabela 1 – Resultado do índice de plasticidade  
ENSAIO DE ATTENBERG

TALUDE	RESULTADO
2	NP
3	NP
5	NP
6	NP

Fonte: Autor (2021).

### 3.5.1.1 Classificação pelo SUCS

Pela classificação do Sistema Unificado (SUCS), o primeiro passo é considerar a porcentagem de solos finos presentes no solo, considerando-se solos finos o que passa na peneira nº200 (0,075mm). Para todas as amostras dos taludes a porcentagem de solo passante na peneira nº 200 é inferior a 50, logo, o solo é considerado de granulação grosseira (G ou S), observando então a porcentagem passante na peneira nº4 maior que 50, chegamos à conclusão que os solos são arenosos de classificação S. Devido a porcentagem passante na peneira #200 ser superior a 12, não foi necessário o cálculo dos coeficientes de não uniformidade (CNU) e de curvatura (CC), com a definição de sua segunda característica sendo feita pela análise dos índices LL e IP através da Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Classificação pelo sistema Unificado

Amostra	Classificação	Descrição
Talude 02	SM	Areia siltosa
Talude 03	SM	Areia siltosa
Talude 05	SM	Areia siltosa
Talude 06	SM	Areia siltosa

Fonte: autor (2021).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a erosão não é a mesma em todos os solos, pois as propriedades físicas e as características químicas, biológicas e mineralógicas do solo exercem diferentes influências na erosão.

Ao observar a Tabela 2, observa-se que o solo adotado para os taludes em estudo, possuem a susceptibilidade a erosão elevado, o que caracteriza-se como uma utilização inapropriada do material.

#### 3.5.4 Ensaio de Desagregação

O ensaio de desagregação permite uma análise qualitativa da erodibilidade dos solos. Para este ensaio utilizou-se amostras indeformadas na umidade natural por no mínimo 72 horas. O comportamento das amostras é avaliado visualmente, quando da inundação, descrevendo os efeito do avanço da frente de ascensão capilar.

O Quadro 3 apresenta a descrição do comportamento das amostras na condição de umidade e o resultado final do ensaio. Os resultados mostram interessantes aspectos do comportamento dos solos estudados frente ao umedecimento e posterior inundação.

Quadro 3 – Resultado dos ensaios de desagregação

<b>Talude</b>	<b>Comportamento apresentado durante o ensaio</b>	<b>Comportamento final</b>
<b>2</b>	Rápida ascensão capilar, nenhum inchamento na base, ruptura nas bordas e fissura no topo, amostra desagregou completamente.	Totalmente desagregada
<b>6</b>	Rápida ascensão capilar, nenhum inchamento na base, ruptura nas bordas e fissura no topo, amostra desagregou completamente.	Totalmente desagregada

Fonte: Autor (2021).

#### 3.5.5 Ensaio de Inderbitzen

Os resultados dos ensaios de Inderbitzen são apresentados em termos de perda de solo (desagregação) por unidade de área ( $g/cm^2$ ) pelo tempo de ensaio (min), conforme a apresentado no item x. Para cada condição específica de escoamento de água e inclinação de rampa determina-se a tensão hidráulica aplicada no ensaio (th).

**Figura 40** – Aparelho de inderbitzen



Fonte: Autor (2021).

A partir dos resultados de perda de solo por unidade de área da amostra, pelo tempo de ensaio plotados versus tensão hidráulica aplicada, determina-se a tensão cisalhante hidráulica crítica ( $\tau_{crit}$ ) e a taxa de erodibilidade ( $k$ ).

Na literatura sobre o tema, uma dúvida em relação à análise dos resultados de ensaios de inderbitzen é a determinação do tempo adequado para o ensaio. Este tempo é fundamental para o cálculo das taxas de erosão. Sobre este tempo padrão Bastos (1999) estabelece o tempo de 10 min cientes dos parciais efeitos da “onda de fluxo” inicial e da descaracterização das amostras dos solos mais erodíveis.

A Tabela 3 resume os resultados para os solos 02 e 06 para as três condições de umidade inicial da amostra: umidade natural, secas ao ar e pré-umedecidas .

Tabela 3- Resultado dos ensaios de Inderbitzen – Perda de solo ( $10^{-3}$  g/cm<sup>2</sup>/min), para diferentes condições de fluxo (Q = vazão e I = inclinação da rampa) e o teor de umidade das amostras, e parâmetros thcrit (Pa) e K ( $10^{-2}$  g/cm<sup>2</sup>/min/Pa)

Solo	Cond	Q = 3 l/min			Q= 6 l/min			Th(critPa)	k( $10^{-2}$ g/cm <sup>2</sup> /min/Pa)
		i=10°	i=26°	i=45°	i=10°	i=26°	i=45°		
		1,136	1,71	2,585	1,393	2,018	2,742		
2	Nat	3,401	4,441	3,194	7,889	7,401	17,65	0,45	40
	Sat	0,281	2,259	2,564	5,418	6,979	10,65	0,65	25
	Pu	0,375	-	2,907	5,038	-	13,51	1,1	34
6	Nat	1,152	5,484	-	6,741	-	-	0,65	28
	Sat	0,569	4,449	-	24,56	-	28,53	0,49	90
	Pu	1,007	-	-	1,432	5,012	6,386	0,65	9

Fonte: Autor (2021).

Obs.: - Valores discrepantes removidos para o ajuste da reta, de acordo com a análise dos *Outlier* disposto no apêndice E.

A Tabela 4 apresenta os resultados relativos aos ensaios de Inderbitzen para as amostras de solo dos taludes em estudo, através dos valores médios finais obtidos para a tensão hidráulica crítica e a taxa de erodibilidade dos solos. É possível, através desta análise, traçar um panorama geral dos ensaios realizados.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de Inderbitzen – Tensão hidráulica cisalhamento crítica thcrit (Pa) e taxa de erodibilidade K ( $10^{-2}$  g/cm<sup>2</sup>/min/Pa) médios

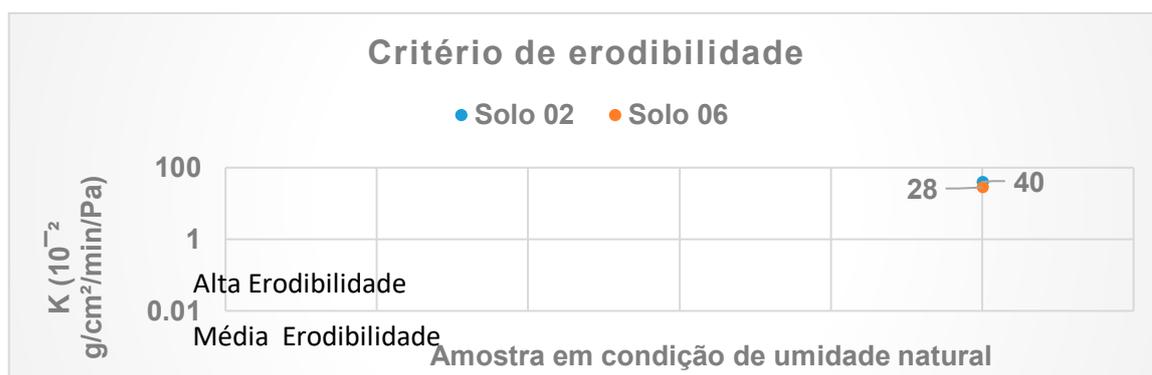
Solo	Tensão Hidráulica Crítica - thcrit (Pa)				Taxa de erodibilidade K ( $10^{-2}$ g/cm <sup>2</sup> /min/Pa)			
	Natural	Seca ar	Pré-um	Média	Natural	Seca ar	Pré-um	Média
<b>Solo 02</b>	0,45	0,65	1,1	0,7333333333	40	25	34	33
<b>Solo 06</b>	0,65	0,49	0,65	0,5966666667	28	90	9	42,33333333

Fonte: Autor (2021).

Nos solos estudados, analisando o coeficiente K médio, observa-se que em média eles apresentaram um valor aproximado, sendo o solo do talude 06 apresenta um valor mais elevado. Esses resultados foram condizentes com o comportamento observado em campo, visto que estes taludes apresentam solos da mesma classificação e de elevado grau de erosão. Em relação a tensão hidráulica crítica, é possível inferir que as tensões hidráulicas situaram-se entre 0,25 Pa e 1,25 Pa, que é o intervalo considerado por Bastos.

Na literatura técnica existem poucas referências sobre critérios estabelecidos na avaliação da erodibilidade. Bastos (1999), em seu trabalho, em uma primeira aproximação estabelece que os solos mais erodíveis apresentam valores de K, na condição de umidade natural, superiores a 0,1 g/cm<sup>2</sup>/min/Pa – sendo classificado como de alta erodibilidade. Sugere, Também, que solos de baixa erodibilidade apresentem valores de K inferiores a 0,001 g/cm<sup>2</sup>/min/Pa, na umidade referida, conforme Figura 5.

**Figura 5** – Critério de erodibilidade com base nos dados de taxa de erodibilidade obtidos nos ensaios de Figura 66 - Inderbitzen proposto por Bastos (1999).



Fonte: Autor (2021).

De acordo com a proposta de classificação de Bastos (1999) e analisando a figura, é possível constatar que os solos estudados situaram-se na faixa de solos de alta erodibilidade, possuindo um coeficiente de erodibilidade (k) superior a 0,1 g/cm<sup>2</sup>/min/Pa, indo ao encontro com situação apresentada em campo.

### 3.6 Inclinação de Taludes

Após a análise da inclinação dos taludes representados no quadro abaixo, notou-se dentre os valores dos ângulos de inclinação das respectivas amostras estudadas que apenas o talude 06 apresenta a condição de melhor estabilidade, dentro os parâmetros empíricos estabelecidos segundo Maragon (2006) que é a inclinação de 45° para melhor estabilidade demonstrado na figura.

Tabela 10 -Inclinação dos taludes

TALUDE	INCLINAÇÃO NO NÍVEL	INCLINAÇÃO DO TALUDE
2	35	55
3	40	50
5	40	50
6	43	47

Fonte: Autor (2021).

#### 4 CONCLUSÃO

Ao que se refere ao tipo de material utilizado, ao avaliar os parâmetros obtidos dos respectivos pontos, observou-se que o tipo de solo utilizado para construção dos taludes dos aterros é inapropriado, sendo classificado pelos limites de consistência como não plástico e pelo sistema unificado de classificação dos solos como areia siltosa (SM), o que de acordo com a tabela de susceptibilidade a erosão é tida como altamente erosiva, ou seja, não é um material considerado apropriado para tal finalidade.

Como forma de comprovar a tendência a erosão do solo desses taludes em estudo, foram realizados os ensaios de erodibilidade tanto o indireto (ensaio de desagregação) quanto o direto (ensaio de Inderbitzen), afim de ter mais precisão sobre as considerações observadas. Desse modo, o comportamento dos solos se deram como alto potencial de erosão, indo de encontro com as características físicas dos solos encontrados e com o estado de erosão dos taludes.

Assim, tendo em vista que o solo utilizado nos aterros têm as mesmas características, pelo fato de existirem diferentes níveis de erosões depreende-se que as inconformidades são relativas aos aspectos construtivos das estruturas, as quais são capazes de gerar tal situação de fragilidade. Nesse sentido, de forma geral, ao analisar o talude 05 observa-se que ele não possui, de forma expressiva, a manifestação de erosão, o que revela que apesar do solo não possuir as características indicadas para tal finalidade, as conformidades dos elementos de drenagem e proteção superficial mantiveram a conservação do mesmo.

Com isso, partindo para a análise dos Talude 02 e 06, que foram os que apresentaram o maior grau de erosão, aspecto semelhantes a ravinha e voçoroca, tem-se a inexistência do sistema de proteção superficial e a inclinação adequada, o que potencializa a intensidade do escoamento, influenciando na aceleração do processo de erosão. No que se refere aos aspectos de drenagem, verificou-se que esses elementos existem, porém acredita-se que pelo tamanho grau de erosão em relação aos outros observados, os mesmos não estejam funcionando com eficiência, sendo o potencial agravante da erosão no meio.

Deste modo, a análise final deste trabalho conclui que o solo utilizado tem elevada potencialidade a erosão, devido a sua composição, e também devido às inconformidades construtivas existentes na sua estrutura, como a ausência de proteção superficial, inclinação elevada e o sub dimensionamento dos elementos de drenagem, o que traz potencial de perigo iminente relacionado à estabilidade da rodovia.

## 5 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V.G.; ROMAO, P.A. **Proposta de mensuração de erodibilidade do solo em laboratório**. In: EREGEO – Simpósio Regional de Geografia. A geografia no centro-oeste brasileiro: passado, presente e futuro – UFG, 2009, Jatai-GO. **Anais...** Jatai, 2009. p. 752-763.
- ALCÂNTARA, M. A. T. **Aspectos geotécnicos da erodibilidade de solos**. 1997, 128p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1997.
- ALHEIROS, M. M., SOUZA, M. A. A., BITOUN, J., MEDEIROS, S. M. G. M., & AMORIM, W. M. JR. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**, 2003. Recuperado em 04 maio, 2018 de [https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm\\_source=manualde-ocupacao-de-morros](https://docgo.net/philosophy-of-money.html?utm_source=manualde-ocupacao-de-morros).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682 – Estabilidade de taludes**, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459**: Solo determinação do limite de liquidez. [S.l.], p. 6. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180**: solo determinação do limite de plasticidade. [S.l.], p. 3. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. [S.l.], p. 3. 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas. [S.l.], p. 9. 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181- Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.
- AVILA, L.O. **Erosão na microbacia do Arroio Sarandi: Voçoroca do Buraco Fundo, Santa Maria, RS**. 2009. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BASTOS, C. A. B.; DIAS, R. D. Aspectos sobre a erosão urbana na região metropolitana de Porto Alegre. In: **Simpósio Nacional De Controle De Erosão**, 5., 1995, Baurú. Anais..., Baurú: ABGE/P.M.Baurú/UNESP, 1995. p.149-152.

BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; GEHLING, W. Y. Y. A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico-pesquisas e tendências. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande/RS, v. 1, p. 17-26, 2000.

BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação dos solo**. São Paulo: Ícone, 1999.  
BRASIL. **Departamento nacional de infraestrutura de transportes (DNIT)**. Manual de vegetação rodoviária. Rio de Janeiro: 2009. 129p.

BRASIL. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de implantação básica de rodovia. – 3. ed. - Rio de Janeiro, 2010. 617p. (IPR. Publ. 742).

BRASÍLIA. Pesquisa Rodoviária – Relatório Gerencial: Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial> . Acesso em: 15 jun. 2021.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006a.p. 39-91.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações Fundamentais**. 6. ed. RIO DE JANEIRO: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. 1, 1988.

CARVALHO, P. A. S. **Manual de geotecnia**: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991. 388 p. (Publicação IPT; n.1843). Disponível em: . Acesso em 12 jan. 2021.

CHAYRDER da Silva Pereira; PEDRO Lucas Milanês de Sousa. **Análise da erodibilidade e caracterização física e mecânica dos taludes presentes no rodoanel da cidade de Teresina-PI** /– Teresina: Uninovafapi, 2019.

CRAIG, R. F. **Mecânica dos solos**, 7ed. LTC, Rio de Janeiro, 2007.

DEFLOR BIOENGENHARIA. (2007). **Guia de instalação de biomantas antierosivas, retentores de sedimentos e hidrossemeio**. Recuperado em 14 de maio, 2018 de <http://deflor.com.br/publicacoes-e-links/>.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO, site: [http://www.der.sp.gov.br/malha/historico\\_rodovias.aspx#castello\\_branco](http://www.der.sp.gov.br/malha/historico_rodovias.aspx#castello_branco).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA – ESTRUTURA DE TRANSPORTES, site: <http://www.dnit.gov.br/> (21 de janeiro de 2009).

DNIT – **Manual de Drenagem de Rodovias**, 2ª edição. Publicação IPR – 724 - Rio de Janeiro, 2006.

FENDRICH, R. et al. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 3. ed. São Paulo: IBRASA. Curitiba: Ed. Universitária Champagnat, 1991. 442 p.

FERNANDES, J.A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentin, RS**. 2011. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FIGUEIREDO, E. P. Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

FREIRE, E. P. Ensaio Inderbitzen modificado: um novo modelo para avaliação do grau de erodibilidade do solo. In: **Simpósio Nacional de Controle da Erosão**, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

FREITAS, F.J. et al. Erosão em entre sulcos sob caatinga e culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciencia dos Solos**, v.32, p. 1743-1751, 2008.

GALETI, P.A. **Praticas de controle a erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 278 p.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção Muros de Arrimo**. Faculdade de Engenharia Departamento de Estruturas e Fundações. [S.l.], p. 48. 2012.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007  
H Miranda Engenharia, 2011. Disponível em:  
<http://www.hmiranda.com.br/concretoprojetado.htm>. Acesso em 7 nov 2021.

HACHICH, W., FALCONI, F. F. SAES, J. L., FROTA, R. G. Q., CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed., Pini, São Paulo, 1998.

INDERBITZEN, A.L. **An erosion tests for soils**. Material reseach and standarts. Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1 july. 1961.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmica Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152.

INFRAESTRUTURA URBANA. São Paulo: Pini, dez/2011. Mensal. Disponível em:  
<http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/14/artigo256243-1.aspx>. Acesso em: 01 nov. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT, São Paulo –SP, **Manual de Geotecnia. Taludes de Rodovias – orientação para diagnóstico e soluções para os seus problemas**, 1991 DER SP.

JACINTHO, E. C. et al. Solos Tropicais e o Processo Erosivo. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO. M. T. S. (Org.). **Processos**

**erosivos no centro-oeste brasileiro.** Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. p. 93-156.

LOPES, A. P. R. **Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários usando SIG e seções geológico-geotécnicas de campo com aplicação na rodovia SP-310.** Dissertação. (Mestrado em geotecnia)- Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-04032008-213923/pt-br.php> Acesso em: 26 de Julho de 2021.

LUQUE, R.; LUQUE, O.; POSADA, G. Experiences in the stabilization of a large gully at springs area property from Agua Minalba - Venezuela. In: **International Conference On Vetiver**, 5., 2011, Lucknow. Proceeding... The Vetiver Network International, 2011. Disponível em: <http://www.vetiver.org/ICV5%20PROCEEDINGS-table.htm>.

MACHADO, S. L.; MACHADO, M. D. F. C. **Mecânica dos solos I.** Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais. Bahia, p. 114. 1997.

MARAGON, M. ESTABILIDADE DE TALUDES. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**, 2006.

MARAGON, Maurício. **Tópicos em geotecnia e obras de terra.** Juiz de Fora, 2006. Disponível em :<<http://www.ufjf.br/nugeo/pagina-do-aluno/notas-de-aula/topicosem-geotecnia-e-obras-de-terra/>>. Acesso em: 15 de Janeiro de 2020.

MARQUES, T. E. D., **Uso de gramíneas em consórcio com leguminosas para recuperação de voçorocas.** 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

MASSAD, F. **Obras de Terra - Curso Básico de Geotecnia. ED. Oficina de textos.** São Paulo, 2003.

MORAES, F.; BACELLAR, L.A.P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolíticos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 1055-1062, 2004.

NOGAMI, J. S. & VILLIBOR, D. F. (1979) – **Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area.** Bulletin of International Association of Engineering Geology. p. 196-199. 1979.

NUNES, M.C.M.; CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32 numero especial, p. 2839–2845, 2008.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 587 p.

OLIVEIRA, A. M., SOUZA, A., CARVALHO, J. B., & LIMA, C. G. DA R. (2016, outubro). **Biomanta de fibra de cana-de-açúcar para proteção de taludes**. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica do Solos e Engenharia Geotécnica. Recuperado em 14 maio, 2018, de <https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CB-05-0122.pdf>.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. 1999. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa-solos. 64p.

OLIVEIRA, L. E. e VERTAMATI, E., Análise de Pavimentos de Baixo Volume de Tráfego Executado Com Solos Transicionais. I **Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego - SINBATRA**, vol. 1, pág. 325 a 344, Rio de Janeiro, 1997.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 2.ed. Rio de Janeiro, **Livros Técnicos e Científicos**, 1995. 378p.

PEJON, O. J. (1992) – **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba–SP (Escala 1: 100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos**. Tese de Doutorado: EESC/USP. São Carlos – SP.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantar para áreas degradadas e controle de erosão**. São Paulo: Fapi. Pereira, L. A. G., & Lessa, S. N. O processo de planejamento e desenvolvimento rodoviário no Brasil. *Caminhos de Geografia*, 12(40), 2011, 26-46.

PINTO, C.S., GOBARA, W. PERES, J. E. E. P. & NADER, J. J. **Propriedades dos solos residuais**. Solos do Interior de São Paulo. São Carlos, 1993. Pág. 97 – 144.

ROCHA, Diego Daibert. **Avaliação do projeto de drenagem de transposição de talvegues da rodovia municipal que interliga a rodovia MG-457 ao município de Passa Vinte/Minas Gerais**. [Monografia] Colegiado do Curso de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora. 2013.

SANTOS, E.F. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. 2006. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; LIMA, L.M.; FERREIRA, M.M. **Avaliação de métodos indiretos e determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.6, p.1207-1220, 2000.