



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

ANDERSON MARCOS DO CARMO DE OLIVEIRA

EROSÃO EM TALUDES

BARBACENA/MG

2020

ANDERSON MARCOS DO CARMO DE OLIVEIRA

EROSÃO EM TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos de Barbacena como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda.

BARBACENA/MG

2020

Dedico a realização desde Trabalho de Conclusão de Curso aos meus pais, principalmente à minha mãe Edina que sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 Processo erosivo	9
2.2 Tipos de Erosões	10
2.2.1 Erosão por Embate	10
2.2.2 Erosão em Lençol ou Laminar	11
2.2.3 Erosão em Sulcos – Ravinas ou Dedos	12
2.2.4 Erosão em Voçoroca	12
2.3 Erosão Pluvial	13
2.4 Fatores que influenciam a erosão	13
2.4.1 Ativos: chuvas e ventos.	13
2.4.2 Passivos	14
2.4.3 Solos	16
2.5 Taludes	17
2.6 Fatores que influenciam na estabilidade de taludes	18
2.7 Reorganização do escoamento superficial	19
2.7.1 Canais escoadouros	20
2.7.2 Drenagem	21
2.7.3 Diques	21
2.8 Métodos de proteção e estabilidade	22
2.8.1 Geosintéticos (Geomantas e Geogrelhas)	23
2.8.2 Biomantas	23
2.8.3 Hidrossemeadura	24
2.8.4 Muros	25
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	28

RESUMO

Os taludes são estruturas onde se devem ser observados aspectos estruturais, ambientais e financeiros para serem considerados viáveis, além da necessidade de que sejam analisados os aspectos geotécnicos de sua estabilização. Um dos grandes desafios é o aparecimento dos processos de erosão ao longo do corpo dos taludes. Neste contexto, o trabalho tem por objetivo, através de uma revisão bibliográfica, levantar informações sobre diferentes métodos de proteção e contenção da erosão em taludes. As averiguações almejadas para cada modelo de proteção englobam, principalmente, a composição de cada tipo de solução, métodos de proteção, procedimentos executivos para instalação e execução das proteções, vantagens e desvantagens. A dificuldade muitas vezes é ligada a falta de instrumentação ou de ensaios técnicos. A erosão não é um problema novo, como não são novas as práticas de seu combate, as técnicas comumente usadas e que trazem resultados satisfatórios são a aplicação de geossintéticos como as geomantas e geogrelhas, as biomantas, hidrossemeadura e os muros de contenção.

Palavras-chave: Taludes . Estabilidade. Retaludamento.

ABSTRACT

Slopes are structures where structural, environmental and financial aspects must be observed to be considered viable, in addition to the need to analyze the geotechnical aspects of their stabilization. One of the great challenges is the appearance of erosion processes along the body of the slopes. In this context, the work aims, through a bibliographic review, to gather information on different methods of protection and containment of slope erosion. The investigations sought for each protection model mainly comprise the composition of each type of solution, protection methods, executive procedures for installing and executing the protections, advantages and disadvantages. The difficulty is often linked to a lack of instrumentation or technical tests. Erosion is not a new problem, as the practices of its combat are not new, the techniques commonly used and which bring satisfactory results are the application of geosynthetics such as geomantas and geogrids, biomantas, hydrosowing and retaining walls.

Keywords: Slopes. Stability. Retaludation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Agente erosivo a água	9
Figura 2- Agente erosivo vento	9
Figura 3- Erosão por embate	11
Figura 4- Erosão em Lençol ou Laminar	11
Figura 5- Erosão em Lençol ou Laminar	12
Figura 6- Erosão por Voçoroca	13
Figura 7- Deslizamento de encosta	14
Figura 8- Declive e comprimento de rampa	15
Figura 9- Área sem floresta	15
Figura 10- (a) Taludes naturais e (b) Taludes artificiais	17
Figura 11- Características de um Talude	18
Figura 12- Camalhão	20
Figura 13- Esquema de drenos (simples e mistos)	22
Figura 14- Biomanta em formato de placa grampeada	24
Figura 15- Aplicação de hidrossemeadura	25
Figura 16- Muros de Gabiões	26
Figura 17- Muros de contenção	26

1 INTRODUÇÃO

Existe uma defasagem quando se fala na Geotécnica em território nacional, tendo, como exemplo, pontos críticos que atormentam os taludes, principalmente encontrados nas rodovias e ferrovias, podendo levar a prejuízos ambientais, sociais e financeiros por falta de planejamento.

A erosão é um dos processos de dinâmica superficial responsável pela modelagem da superfície do planeta, sendo governada por agentes como clima, ação da água e vento, natureza do material, relevo e ação antrópica. Ela compreende também um conjunto de fenômenos naturais que envolvem a formação de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação das rochas e dos solos. A erosão dos solos tem várias origens e afeta a vida de muitas maneiras, daí ser um assunto multidisciplinar, envolvendo profissionais de várias áreas do conhecimento como Agronomia, Geologia, Geografia e Engenharia Civil. (BRITO, 2012)

Tais fatos são presentes em encostas das rodovias e ferrovias do Brasil, contudo a falta de estudo de caso especializado em cada ponto torna os trabalhos mais difíceis aos profissionais que tem competência em sanar de vez o problema. Por se tratar de diferentes materiais que compõe o solo, os combates às erosões devem ser minuciosos. Variadas maneiras de contenção de talude, como a própria plantação de gramíneas, jateamento de concreto, solução leve apenas de terraplenagem seguida de retaludamento, revegetação com bioengenharia e dispositivos de drenagem, execução de solo grampeado verde e execução de solo grampeado seguido de aplicação de concreto projetado.

Dessa forma, o trabalho tem por objetivo, através de uma revisão bibliográfica, levantar informações sobre diferentes métodos de proteção contra erosão para taludes, de modo aclarar alguns aspectos de proteção e contribuir na escolha da solução mais adequada para cada caso.

As averiguações almejadas para cada modelo de proteção englobam, principalmente, a composição de cada tipo de solução, métodos de proteção, procedimentos executivos para instalação e execução das proteções, vantagens e desvantagens.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Processo erosivo

A erosão é entendida como o processo de desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, causado pelos agentes erosivos (SANTOS, 2015). Os solos do mundo estão sofrendo com a erosão há muito tempo. Segundo Santos (2015), a erosão pode ser causada por diferentes agentes, sendo estes mais comumente relacionados aos efeitos da água da chuva e do vento. A primeira, pelas chuvas, denomina-se hídrica e a segunda, pelos ventos, eólica (FIG. 1 e FIG. 2) (AMARAL, 2014).

Figura 1- Agente erosivo a água.



Fonte: Amaral (2014, p.27)

Figura 2- Agente erosivo vento



Fonte: Felipe, 2019 ¹

¹ <https://www.minasjr.com.br/tudo-sobre-intemperismo/>

Segundo REVISTA BRASILEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (RBIC) (2018), cada agente erosivo atua de uma forma específica na natureza. As causas das erosões variam amplamente e são principalmente divididas em naturais e artificiais. Como o nome sugere, a natural é gerada pela ação da natureza, enquanto a artificial é causada pela ação humana (SANTOS, 2014). Segundo (SANTOS (2015), a erosão pode estar ligada aos efeitos de diferentes agentes: vento, gravidade, gelo, água.

O tipo de erosão que se destaca e necessita de uma visão mais atenta no Brasil é a do tipo causado pelas águas das chuvas. As chuvas, após caírem ao solo, fluem em forma de enxurradas, destruindo o terreno e até tomando-o estéril (AMARAL, 2014)

2.2 Tipos de Erosões

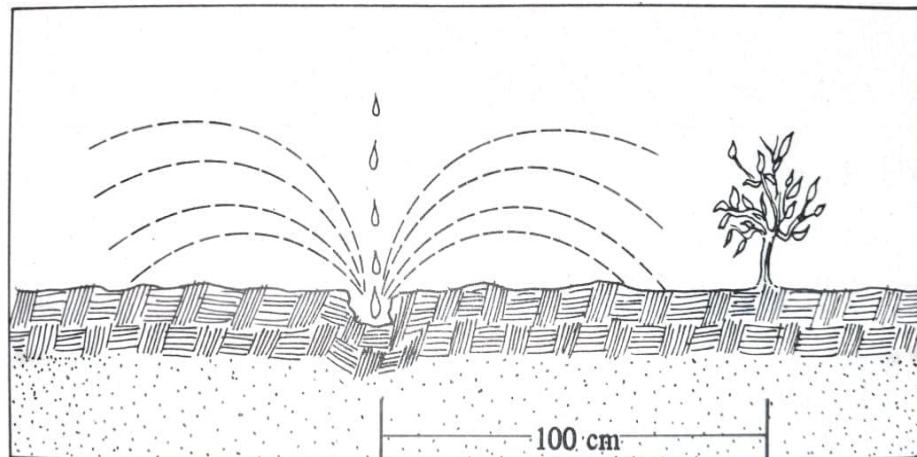
Segundo, Amaral (2014) existem quatros tipos de erosões: por embate; lençol ou laminar; sulcos e voçoroca, que irão depender dos seguintes fatores básicos:

- Comprimento de rampa ou declive, geralmente determinado em porcentagem (%);
- Tipos de solos ;
- Chuvas – observar principalmente a intensidade e duração.

2.2.1 Erosão por Embate

Este é o tipo de erosão causada pelas gotas de chuva. Ao entrar em contato com o solo, as gotas de chuva, além da decomposição parcial dos agregados naturais, também liberam partículas finas e as projetam a uma distância de um metro. Se a chuva persistir, causará erosão no solo (FIG. 3) (BOTELHO, 2015).

Figura 3- Erosão por embate

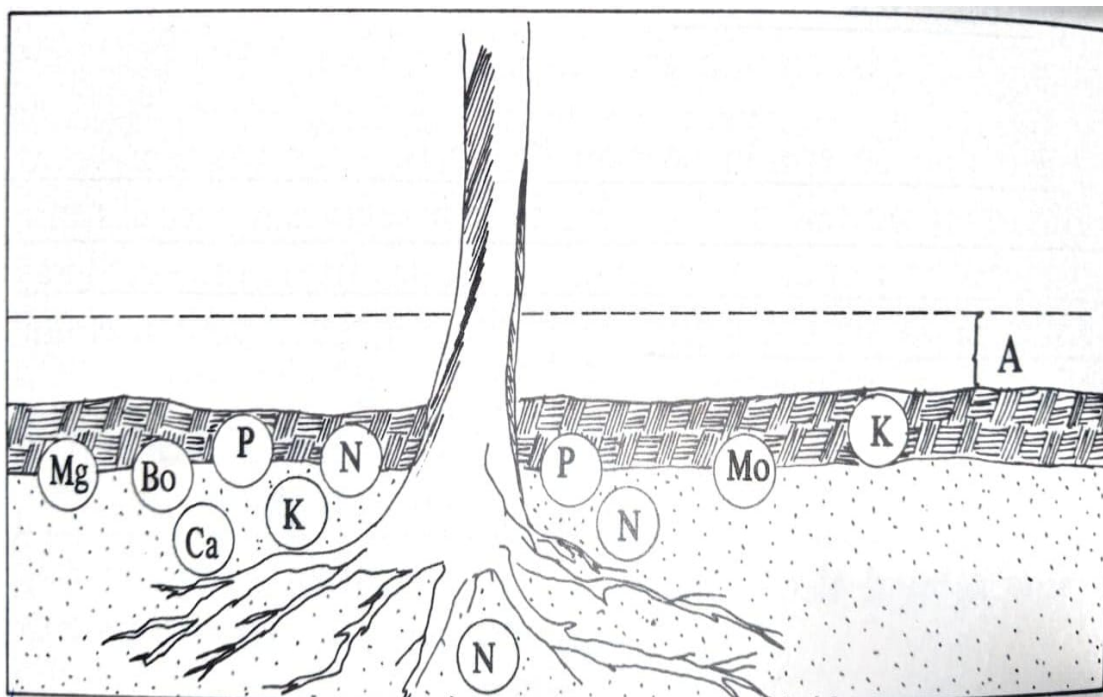


Fonte: Amaral (2014, p. 29)

2.2.2 Erosão em Lençol ou Laminar

Devido à textura irregular do solo, essa erosão pode ser causada pelo escoamento, que desliza como um lençol e se desgasta igualmente em todo o comprimento. É um tipo de erosão difícil de observar: às vezes dura muitos anos e seu fraco desempenho não chama atenção. (FIG. 4) (AMARAL, 2014).

Figura 4- Erosão em Lençol ou Laminar



Fonte: Amaral (2014, p. 30)

2.2.3 Erosão em Sulcos – Ravinas ou Dedos

Como uma grande quantidade de água fluindo sobre o solo, às vezes se formam depressões, e essas depressões vão aumentando podendo levar a formação de verdadeiros sulcos em poucos anos. Alguns autores chamam essa erosão de “sulcamento incipiente”, pois representa um estágio que fica entre a erosão laminar e a profunda (FIG. 5) (PIRES, 2020).

Figura 5- Erosão em sulcos



Fonte: (a) Amaral (2014, p. 31) / (b) Palavra Rural, S.d²

2.2.4 Erosão em Voçoroca

A voçoroca é o estágio mais avançado de erosão, acontece devido a um fluxo de água de longo prazo no mesmo canal (SANTOS, 2015). Tem, como característica, a formação de sulcos com profundidade superior a 30 cm e largura superior a 1m (PRUSK, 2009).

² <http://palavrarural.blogspot.com/2010/chuvas-aumentam-as-vocorocas>

Figura 6- Erosão por Voçoroca



Fonte: Nowatzki, 2020³

2.3 Erosão Pluvial

A erosão ocorre em duas etapas: remoção das partículas e transporte desse material pelos agentes erosivos (BARBOSA; PINTO; CASTRO, 2014). A erosão hídrica inicia-se com a precipitação, umedecendo o solo e provocando o enfraquecimento das forças coesivas e consequentemente o seu desprendimento. Com o aumento da chuva, inicia-se o escoamento superficial transportando as partículas de solo desagregadas de seu local de origem para outro. (PRUSK, 2009).

2.4 Fatores que influenciam a erosão

A erosão surge ocasionada principalmente pelos seguintes fatores ativos (*chuvas e ventos*) e passivos (AMARAL, 2014):

2.4.1 Ativos: *chuvas e ventos*.

A intensidade, quantidade e duração das chuvas têm grande influência nos fenômenos erosivos. Dependendo da chuva em um determinado período de tempo, a chuva pode ser considerada forte ou leve. Se chover forte (certa quantidade de precipitação) ocorrendo dentro

³ <https://profalexeinowatzki.wordpress.com/processos-erosivos/> /

de duas horas, causará grandes danos ao solo (FIG. 7). Por exemplo, se a mesma precipitação (mesma quantidade de água) cair dentro de oito horas, a terra irá encharcar gradualmente sem atingir a saturação total (AMARAL, 2014).

Figura 7- Deslizamento de encosta



Fonte: Moreira, 2020⁴

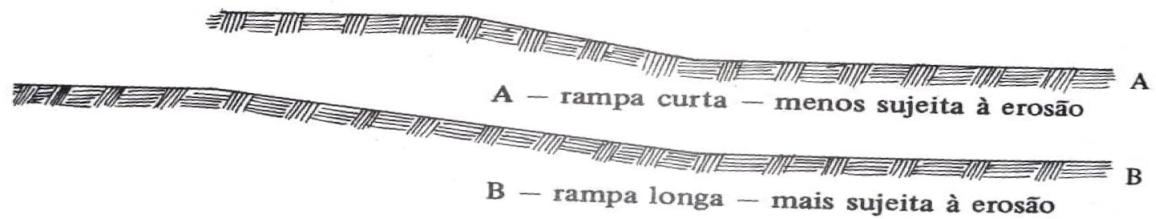
2.4.2 Passivos

Os principais fatores passivos são: topografia – declive e comprimento de rampa; tipo de solo – textura e estrutura; cobertura vegetal e práticas gerais realizados pelo homem.

Ao começar a conservação do solo, é muito importante observar a inclinação do terreno ou o comprimento da inclinação (FIG. 8). Em terreno plano, a erosão é quase nula, ou seja, não há escoamento de água. Em terreno inclinado, a água da chuva flui tão rápido que não infiltra, fazendo com que as partículas da superfície do solo sejam carregadas e comece a ocorrer a erosão (BOTELHO, 2015).

⁴ <https://fotografia.folha.uol.com.br/galerias/1658190255344586-morro-do-soco>

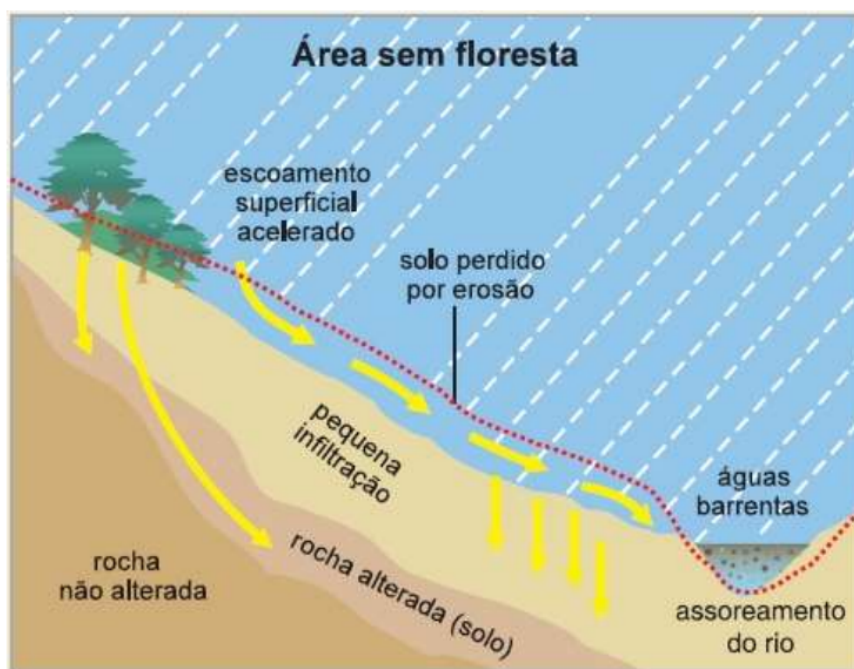
Figura 8- Declive e comprimento de rampa



Fonte: (a) Amaral (2014, p. 34)

A superfície fértil do solo é muito rasa. A erosão e até mesmo as pessoas podem causar danos incomensuráveis ao solo. Ao falar sobre a conservação do solo, deve-se não só abordar as práticas relacionadas à retenção da água, mas também a proteção ambiental, ao uso racional de fertilizantes e corretivos e ao uso mais completo e intensivo da rotação de culturas, bem como evitar queimadas (FIG. 9) (PIRES, 2020).

Figura 9- Área sem floresta



Fonte: Ross, 2011.⁵

A suavização dos barrancos ou retaludamento tem a finalidade diminuir o declive, facilitar o enraizamento da vegetação e reduzir a susceptibilidade de queda ou desmoronamento de materiais provenientes dos taludes (VERDUM, 2016).

⁵ <https://www.cp2.g12.br/blog/re2/files/2017/02/Geomorfologia.pdf>

2.4.3 Solos

O tipo de solo, nas formações superficiais, é muito variável e representa uma grande importância na erosão. As rochas sofrem erosão muito lenta, mas os solos podem ter uma grande erosão dependendo da sua textura e estrutura. A textura representa o tamanho das partículas, enquanto a estrutura representa o arranjo e o agrupamento dessas mesmas partículas, influenciando esses aspectos na permeabilidade (AHMED, 2009)

De acordo com Mota (1997), as características do solo têm influência no processo de erosão. Dependendo de sua estrutura e da sua textura, será maior ou menor a quantidade de solo arrastado. A permeabilidade é outro fator importante, pois, quanto maior for a mesma, mais elevada será a infiltração e menor será o escoamento superficial e, por consequência, menor será a erosão. A profundidade do solo também influencia, pois, quanto maior for a camada de solo, mais água ele acumulará, reduzindo assim o escoamento superficial.

Os solos, no entendimento de Balbo (2015, p.14), “são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química”.

No entendimento de Bernucci (2006), o solo pode ser determinado como um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquidos e gás nos espaços vazios entre as partículas sólidas. Ressalta ainda que o conhecimento de propriedades como origem, distribuição dos grãos, capacidade de drenagem, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de carga são de suma importância para que os engenheiros civis possam aplicar os conceitos de Mecânica dos Solos em obras.

De acordo com Balbo (2015), os solos são constituídos por partículas sólidas com água (ou outro líquido) e ar nos espaços intermediários. Dessa forma, as partículas se encontram livres para descolamentos entre si. Em várias situações, o comportamento do solo pode ser compreendido pela consideração das forças transmitidas diretamente nos contatos entre as partículas, embora estas forças não sejam utilizadas nos cálculos e modelos de fundações. Nesta linha, não é raro, por exemplo, que as partículas de solo se quebrem quando o solo é solicitado, alterando-se o próprio solo, com consequente influência no seu desempenho.

Nesse sentido, se o solo for uma argila dura ou uma areia compacta, os recalques decorrem essencialmente de deformações, função da carga atuante e do módulo e deformação

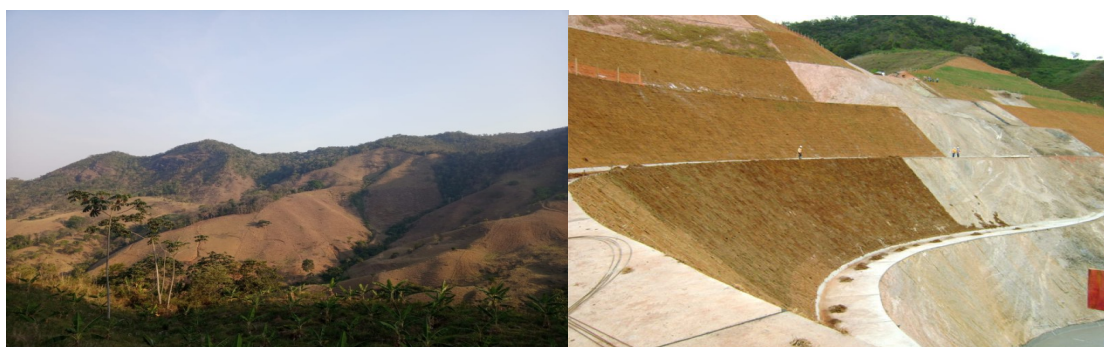
do solo. No caso de solos fofos e moles os recalques são basicamente provenientes da sua redução de volume, já que a água presente no bulbo de tensões das fundações tenderá a percolar para regiões sujeitas a pressões menores. (AHMED, 2009)

2.5 Taludes

“Podemos entender como talude, qualquer tipo de terreno natural, artificial ou inclinado” (NARESI JÚNIOR, 2015)⁶. De acordo com Santos (2015, p. 35) “É bastante comum o aparecimento de taludes artificiais em obras de estradas, barragens de água ou implantação de construções em terrenos aclives ou declives” (FIG. 10).

Os taludes artificiais são divididos em taludes de corte e taludes de aterro. A divisão baseia-se na formação do talude, seja por retirada de material (talude de corte) ou por deposição, terraplenagem ou bota-fora (talude de aterro) (SANTOS, 2015).

Figura 10- (a) Taludes naturais e (b) Taludes artificiais



(a)

(b)

Fonte: (a) Arquivo próprio / (b) Biboca Ambiental, S.d⁷

Segundo Naresi júnior, (2015)⁸, os principais componentes dos taludes são divididas em (FIG. 11):

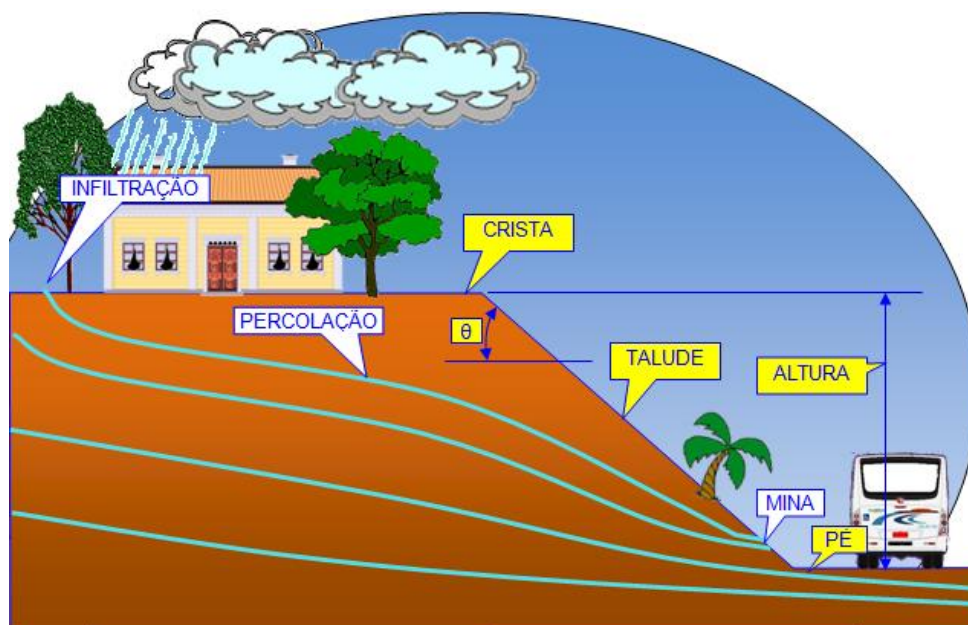
- A. Crista, é a parte mais alta do talude;
- B. Pé, é a parte mais baixa do talude;
- C. Altura do talude (H) é a diferença de cota entre a crista e o pé;
- D. Ângulo ou inclinação do talude é o ângulo, em graus, entre a horizontal; e
- E. A reta média entre a crista e o pé é representada pela letra grega teta (Θ)

⁶ <http://www.naresi.com>

⁷ <https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/estabilidade-de-taludes-tipos-de-talude/>

⁸ <http://www.naresi.com>

Figura 11- Características de um Talude



Fonte: Watanabe, 2015 ⁹

2.6 Fatores que influenciam na estabilidade de taludes

Segundo (BITTENCOURT, p.7, 2009) “a análise da estabilidade de taludes é feita avaliando-se as condições de equilíbrio da massa de solo num estado de ruptura iminente”. É difícil analisar a estabilidade do talude, avaliar variáveis, como estratificação do solo e parâmetros de resistência ao cisalhamento no local. A percolação através do talude e a escolha de possíveis superfícies de deslizamento aumentam a complexidade do problema (DAS, 2019).

A instabilidade dos taludes está geralmente ligada a interferência da água intersticial e atividades antrópicas, como relatado a seguir:

- A. Água Intersticial pode influenciar pois contribui para aumento do peso específico do solo pela (i) retenção parcial das águas de infiltração, (ii) pelo desenvolvimento de poro pressões no terreno, com conseqüente redução das tensões efetivas, (iii) pela eliminação de coesão aparente (sucção) em solos não saturados, (iv) pela perda da cimentação existente entre as partículas de solo e (v) pela introdução de uma força de

⁹ <http://www.ebanataw.com.br/talude/oquee.htm>

percolação na direção do fluxo, que tende a arrastar as partículas do solo. (AHMED, 2009)

B. Ações Antrópicas podem ser exemplificadas como: execução de cortes com geometria incorreta, execução deficiente de aterros (geometria, compactação e fundação, lançamento de lixo e entulho nas encostas ou nos taludes, remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, vibrações produzidas por tráfego pesado e explosões (BITTENCOURT, 2009).

Nos casos em que há deslizamentos ou barreiras (também chamados de escorregamento de terras) na encosta do lado da via expressa, no qual o solo invade a faixa de rodagem ou bloqueia uma ferrovia, as possíveis causas e soluções do acidente podem ser estudadas. Segundo Naresi Júnior (2015), as principais soluções de contenção de taludes são:

- A. Solução de terraplenagem suave seguida de retaludamento;
- B. Utilizar equipamentos de engenharia biológica e drenagem para a restauração da vegetação;
- C. Execução de solo grampeado verde;
- D. Execução de solo grampeado seguido pulverização de concreto projetado;
- E. Em casos extremos, quando não há área disponível para suavizar os taludes, é feito usando as chamadas cortinas atirantadas ou ancorando a estrutura ao solo, de preferência na rocha fora da cunha de ruptura ou deslizamento, para recompor tal parâmetro, talude ou barranco, etc.

2.7 Reorganização do escoamento superficial

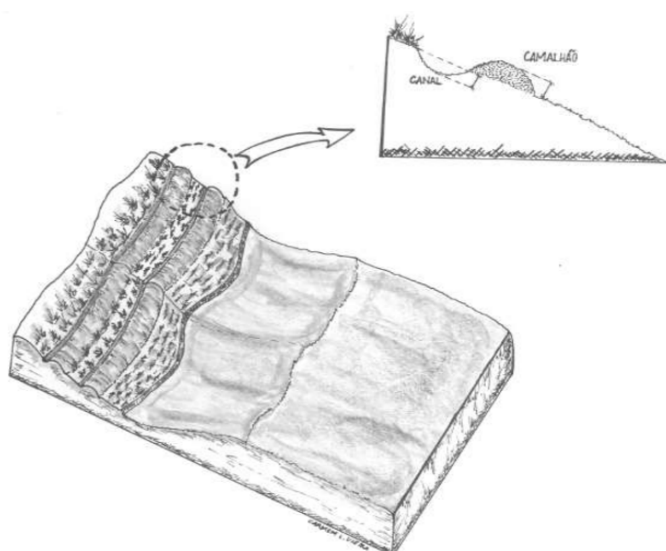
A sistematização e proteção da área com suavização da encosta, redução do comprimento da encosta e aumento da rugosidade superficial são os princípios básicos relacionados ao processo de controle da erosão do agente hídrico. A primeira medida tomada é a de regular o escoamento através da drenagem de enxurradas, formando assim uma estrutura de escoamento, pois este é o principal mecanismo que promove o desencadeamento do processo erosivo (NOWATZKI, 2011; VERDUM, 2016).

A principal estrutura para atingir este objetivo são os terraços, que são uma estrutura protetora composta por camalhão (diques) (FIG. 12) e um canal (ou um conjunto destes componentes), construída horizontalmente em relação à inclinação do terreno. A construção

de terraços promove a redução do declive, reduzindo assim a velocidade do fluxo e aumentando a penetração da água no solo (BITTENCOURT, 2009).

Além de atuarem diretamente sobre as águas escoadas da superfície do solo, os terraços também permitem que a sedimentação de materiais erodidos e o transporte pela água da chuva sejam reduzidos, diminuindo a perda de solo e o assoreamento dos corpos d'água. Essas barreiras físicas utilizadas para controlar as enxurradas podem apresentar adaptações diferentes, dependendo das características da área de uso (NOWATZKI, 2011).

Figura 12- Camalhão



Fonte: Verdum (2016, p.10)

2.7.1 Canais escoadouros

Uma tecnologia normalmente associada aos terraços é o sistema de escoadouros vinculados ou não a pequenas barraginhas, o qual pode captar o excesso de água e controlar a erosão hídrica, evitando a formação de ravinas e voçorocas. São canais de drenagem rasos, geralmente estabilizados por vegetação nativa (canais naturais) ou implantes (canais artificiais). Sua localização é para aproveitar as depressões naturais do terreno. São construídos em formas e declives convenientes, com formato trapezoidal ou seção transversal parabólica (VERDUM, 2016) .

No entanto, esses canais não devem ser usados para fluxo contínuo, pois a presença contínua de água afetará o crescimento das plantas, prejudicando a estabilidade dos canais. A vegetação utilizada deve ser capaz de resistir às mudanças locais de temperatura, secas de longo prazo e não ser afetada por inundações periódicas. Às vezes, áreas de vegetação

permanente (pastagens, florestas, etc.) podem ser usadas para construir canais escoadouros. Se isso não acontecer, deve ser projetado. Portanto, além do tipo de vegetação a ser utilizada, deve-se levar em consideração a vazão a ser transportada, a forma e a capacidade do canal (PIRES, 2020).

Considerando-se as espécies de gramíneas que apresentam bons resultados para revestimento de canais escoadouros, tem-se como destaque a grama forquilha (*Paspalum notatum*), a grama missioneira (*Axonopus jesuiticus*), a grama tapete (*Axonopus affinis*), a grama-são-carlos (*Axonopus compressus*) e a grama inglesa (*Stenotaphrum secundatum* Kuntze), assim como os capins pangola (*Digitaria decumbens* L.), capim-bermuda “Tifton 85” (*Cynodon* spp.), pensacola (*Paspalum sauriae*), festuca (*Festuca elatior* var. *arundinácea*), capim melador (*Paspalum dilatatum*) e o capim de Rhodes (*Chloris gayana*) (VERDUM, 2016, p. 12).

Os canais escoadouros não devem descarregar a água captada diretamente em limites de estradas, cursos de água, taludes, açudes e pequenos cursos de água, de forma a não desencadear o processo de erosão e agravar a instabilidade das áreas adjacentes. Pelo mesmo motivo, os terraços devem descarregar a água no interior dos canais, e não rente aos mesmos (NOWATZKI, 2011).

2.7.2 Drenagem

Para reduzir o fluxo de água ao longo do leito do canal e para a retenção de água e sedimentação, uma série de obstáculos, como barragens, paliçadas e muros de pedra, devem ser levadas em consideração. No caso das voçorocas que apresentam pequenas dimensões poderá ser feita a terraplenagem da feição erosiva e a água corrente deve ser retida ou transferida. O custo é maior, porém os resultados são obtidos em menor tempo (AHMED, 2009).

Para voçorocas grandes, que não podem ser aplicadas com tecnologias anteriores, a solução é lentamente forçá-las a se encherem de sedimentos e serem colonizadas por espécies de plantas nativas ou implantadas. A colocação de drenos nos leitos das voçorocas é utilizada quando há erosão é subterrânea, devido ao fluxo de água em subsuperfície.

2.7.3 Diques

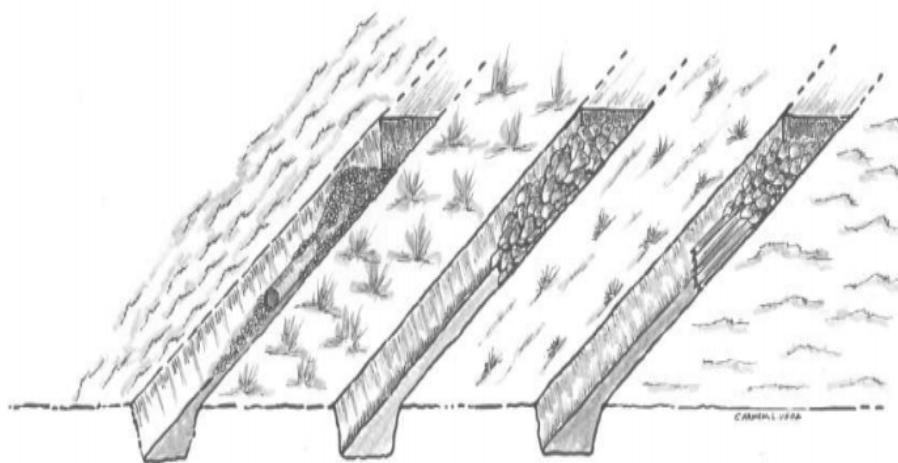
Outra medida para controlar os taludes é a construção de uma série de pequenas barragens ou diques. Para que esta técnica seja eficaz, é necessário construir diques

corretamente e seguir as regras dos taludes: a montante é 3: 1 e a jusante é 2: 1 (PIRES, 2020).

Os diques de madeira são construídos de estruturas feitas de estacas e amarradas com corda ou arame. Essas estruturas são ancoradas por meio de pedras pesadas e cabos, por exemplo. Como qualquer trabalho de estabilização de áreas instáveis, devem ser dimensionados e selecionados materiais adequados para que as forças de deformação (tração, flexão, cisalhamento, compressão etc.) não sejam maiores que as forças de resistência da estrutura, dadas em função de suas dimensões, material e forma de construção da obra (NOWATZKI, 2011).

Já os enrocamentos ou diques de pedra são construídos em arranjo de pilha ou muro, a partir da deposição de material rochoso fragmentado. Essas barreiras são transversais ao fluxo de água ou sedimento na superfície. No canal de uma voçoroca, por exemplo, onde a água flui do nível do lençol freático, eles agem como barreiras permeáveis, permitindo que a matéria suspensa se assente e se encha uma feição erosiva (FIG. 13) (PIRES, 2020).

Figura 13- Esquema de drenos (simples e mistos)



Fonte: Verdum (2016, p.18)

2.8 Métodos de proteção e estabilidade

2.8.1 Geosintéticos (*Geomantas e Geogrelhas*)

De acordo com Maia (2016), são classificados como geossintéticos os produtos industrializados nos quais sua fabricação é feita com pelo menos um componente polímero sintético ou natural. Podem ser apresentados na forma de manta, de tira ou de estrutura tridimensional e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental.

Geofoco (2014) cita algumas vantagens do produto, tais como (i) a forma fácil de instalação, quando comparado ao uso de agregados naturais, (ii) controle de qualidade e (iii) também a preservação de recursos naturais, uma vez que por serem produtos alternativos aos materiais naturais, os geossintéticos favorecem a preservação destes recursos.

Talude é um terreno inclinado que serve como base de sustentação ao solo. Quando a água atinge o talude, ela fluirá por sua superfície em velocidades extremamente altas, podendo levar a formação de erosões ao longo do seu corpo (BOTELHO, 2015).

A técnica proposta por Farias (2005 *apud* BITTENCOURT, 2009) consiste na instalação de barramentos transversais ao eixo longitudinal da erosão, com o objetivo de que partículas de sedimentos carregadas pela água da chuva possam ser retidas nos mesmos e, desta maneira, promovam a auto cicatrização da erosão.

Segundo Farias (2005 *apud* BITTENCOURT, 2009), neste tipo de sistema de contenção de erosão, “o geotêxtil desempenha duas funções básicas: contenção do solo erodido, ou sujeito a possível erosão e filtração/drenagem, permitindo o escoamento das águas de infiltração ou retidas”. Segundo o mesmo autor “são de grande destaque a boa deformabilidade e a baixíssima degradabilidade do geotêxtil.” (Ibid. p. 23)

2.8.2 Biomantas

Este método consiste na aplicação de uma manta biodegradável (geralmente composta por fibras naturais) sobre a superfície dos taludes, a fim de promover proteção contra processos erosivos. A biomanta deve ser escolhida conforme as necessidades do solo. Estas são dispostas em rolos com largura média de 40 cm, que são desenrolados sobre talude, conforme a Figura 14. A colocação de grampos entre as biomantas proporciona melhor ancoragem ao solo, sendo os tipos mais usuais de aço, bambu e madeira (DEFLOR BIOENGENHARIA, 2007).

Usualmente, as biomantas são compostas por fibras de coco em que se coloca telas sobre as fibras. Desse modo, pode-se considerá-la como uma técnica de baixo custo e de baixo impacto ambiental (OLIVEIRA, 2016).

A grama pode ser colocada de várias maneiras (ex.: placas) cresce ao longo do talude, revestindo-o. Quando a água cai em um talude coberto de grama, parte dela se infiltra e o excesso não causa mais erosão, porque a velocidade da água escoada superficial não será muito grande e a grama impede o ataque físico de carregamento do solo pela água (FIG. 14) (BOTELHO, 2015).

Figura 14- Biomanta em formato de placa grampeada



Fonte: Solotrat, 2020¹⁰

A aplicação de biomantas devolve a vegetação de segurança para o talude, proporcionando uma nova condição e dificultando novos processos erosivos (DEFLORE BIOENGENHARIA, 2007).

2.8.3 Hidrossemeadura

Em taludes de cortes geralmente são usados como forma de contenção, o plantio de gramíneas aplicando hidrossemeadura (FIG.15), que é uma técnica de jateamento de sementes, tem por objetivo a contenção do talude. Acontece, porém, que muitas vezes esses processos são feitos de forma irregular e/ou errada e, por consequência, transcorre escorregamento e erosão. (NOWATZKI, 2011).

¹⁰ <http://www.solotrat.com.br/solo-grampeado-ecologico>

Figura 15- Aplicação de hidrossemeadura

Fonte: Solotrat, 2020¹¹

Após a germinação e desenvolvimento do material vegetal um enraizamento das estacas e então a estrutura será ancorada no talude, barranco ou encosta, o que proporcionará maior resistência estrutural ao processo de erosão. Dessa forma, a vegetação funcionará como um pilar de sustentação da parede. O uso de materiais vivos nessas estruturas é particularmente interessante quando há umidade suficiente na área a ser implantada para garantir a sobrevivência e germinação das mudas (VERDUM, 2016).

2.8.4 Muros

Uma técnica muito utilizada para contenção de taludes são os muros de gabiões, os quais apresentam paredes formadas por caixas de pedra construídas em formato quadrado, onde fragmentos de rocha são circundados por telas de arame (FIG.16). Eles fornecem uma boa drenagem e resistem eficazmente ao movimento do solo. Há a possibilidade de se compor gabiões intercalando estacas vivas às pedras quando do preenchimento das redes de arame, posicionando as estacas de modo a atravessar o gabião, com uma extremidade fixada ao talude e a outra saindo à frente do gabião. (NOWATZKI, 2011).

¹¹ <http://www.solotrat.com.br/solo-grampeado-ecologico>

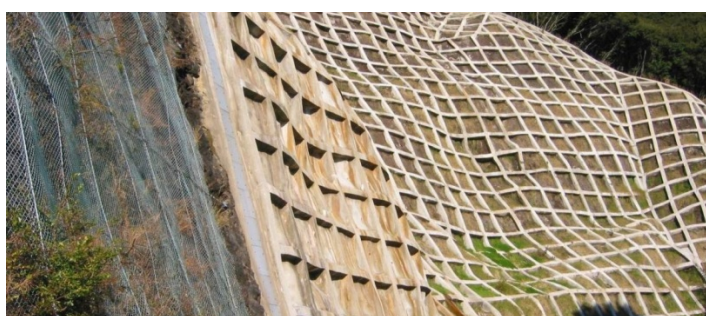
Figura 16 - Muros de Gabiões



Fonte: Arquivo próprio (2020)

Os muros de contenção são estruturas construídas com grades de madeira, preenchidas com materiais de granulação maior (fragmentos de rocha), projetadas para resistir ao cisalhamento, tombamento e deslizamento de materiais em talude instáveis. Eles geralmente são construídos como caixas, com tábuas de madeira dispostas em um padrão "Jogo da velha" e enterradas a certa profundidade de forma que a superfície mais instável não possa ser derrubada (FIG. 17). É necessário supervisionar profissionais qualificados para projetar e implantar essas estruturas, como engenheiros civis e geotécnicos, e realizar o gerenciamento da drenagem de toda a estrutura. (VERDUM, 2016).

Figura 17- Muros de contenção



Fonte: Avila, 2020¹²

Essa barreira física, como o próprio nome já indica, tem a função exclusiva de conter a encosta ou talude, servindo como suporte para aguentar as tensões que são exercidas sobre ele. (VERDUM, 2016).

¹² <https://www.totalconstrucao.com.br/muro-de-contencao/>

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Geotecnia tem apresentado um grande avanço no que se refere ao número de técnicas para aplicação de contenção de taludes ou retaludamento no setor da construção civil. Conforme foi possível analisar na presente pesquisa, este setor é um dos segmentos que fazem parte da economia mundial e também apresenta elevado índice de acidentes por ser uma atividade que exige estudo de solo e outros ensaios para decisão de qual técnica aplicar.

É possível afirmar que a evolução na engenharia civil ocorreu em uma diversidade de fatores, não somente por terem sido criadas normas, legislações ou decretos sobre o assunto. Estes apenas serviram para concretizar e documentar uma necessidade já existente há muito tempo.

Baseando-se na pesquisa realizada, é possível verificar que o desenvolvimento de erosões nos taludes está quase sempre relacionado a cálculos errôneos, má execução ou escolha errada de método. Conclui-se também que o preparo do profissional que lida com os taludes é de extrema importância para o êxito das técnicas.

A erosão não é um problema novo, como não são novas as práticas de seu combate. As técnicas comumente usadas e que trazem resultados satisfatórios são a aplicação de geossintéticos como as geomantas e geogrelhas, as biomantas, hidrossemeadura e os muros de contenção.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Nautir David, 1939. **Noções de Conservação do solo** / Nautir David Amaral. São Paulo : Nobel, 2ª Ed. Atualizado em 2014.

AHMED, Clarissa Regina Masiero. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério** / Campos dos Goytacazes, 2009. xiii, 103 f. : il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2009.

BARBOSA, J. M. C.; PINTO, M. R. ; CASTRO, M. A. H. . **EROSÃO E ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS**. In: XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2014, Natal. Água e Desenvolvimento. Porto Alegre: ABRH, 2014. Disponível em: <<http://eventos.abrh.org.br/xiisrhn/anais/papers/PAP018506.pdf>>. Acessado em 19 de setembro de 2020.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração**. Oficina de Textos, 2015.

BERNUCCI, Liedi Bariani et all. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2006

BITTENCOURT, D. M. A.; Vargas, Carlos Alberto Lauro . **Fatores Intervenientes na aplicação de uma proposta de barreiras de contenção de erosões e análise de estabilidade de taludes**. In: I GEOCENTRO - I Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região do Centro-Oeste, 2009, Goiânia. Anais, 2009. v. 1. p. 100-104. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/GeoCENTRO%202009/Anais%20GEOCENTRO%202009.pdf>>. Acessado em 19 de setembro de 2020.

BOTELHO, MANOEL HENRIQUE CAMPOS, 1942 – **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades** / Manoel Henrique Campos Botelho; ilustrações técnicas Luiz Carlos Renzetti Júnior; colaboração especial Ângelo S. Filardo Júnior – 2ª edição – São Paulo: Edgar Blucher, 1998 – 3ª reimpressão, 2005.

BRITO. Annarery de Oliveira. **Estudo da Erosão em Ambiente Urbano, Visando Planejamento e Controle Ambiental no DF**. Dissertação de Mestrado Engenharia Florestal. 2012. Distrito Federal, 2012.

DAS, BRAJA M. **Fundamentos da engenharia geotécnica** / Braja M. Das e Khaled Sobhan ; tradutoras: Livia Koepl e Priscilla Rodrigues Lopes ; revisora técnica : Roberta Boszczowski. – São Paulo, SP : Cengage, 2019.

DEFLORE BIOENGENHARIA. (2007). **Guia de instalação de biomantas antierosivas, retentores de sedimentos e hidrossemeio**.

GEOFOCO. **Transformação de Lixão em Aterro Sanitário Usando Geossintéticos**. Disponível em:< <http://geofoco.com.br/blog/>>. Acesso em: 05 de Jun de 2020

KIEHL, EDMAR JOSÉ. **Práticas de Combate à Erosão**. São Paulo, 1967.

NARESI JÚNIOR, L. A.; AGUIAR, M. F. P. ; MAGALHAES, T. A. ; AZEVEDO, C. P. B. . **Análise Técnica e Econômica de Soluções para Estabilização de Taludes**. REVISTA FUNDACOES & OBRAS GEOTECNICAS, v. 1, p. 50-57, 2015. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi>>. Acessado em 02 de setembro de 2020.

LEINZ, Viktor, 1904-1983. **Geologia geral** / Viktor Leinz, Sérgio Estanislau do Amaral. – 14. Ed. Ver. – São Paulo : Companhia Editora Nacional, 2005. – (Biblioteca universitária. Série 3, Ciências puras ; v. 1)

MAIA, Nathália Do Prado. **O Uso De Materiais Geossintéticos Em Aterros Sanitários**. Monografia de Especialização em Engenharia Civil- João Pessoa, 2016. Disponível em: <<file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/O%20uso%20de%20materiais%20geossintéticos%20em%20aterros%20sanitários.pdf>>. Acesso em: 12 de Jun de 2020.

MOTA, S. (1997) **Introdução a engenharia ambiental**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental ± ABES, Rio de Janeiro - RJ, p 81-88.

NOWATZKI, A.. Professor Alexei Nowatzki. 2011; Tema: Prof. Dr. Alexei Nowatzki de Geografia. (Site). Disponível em: < <https://profalexeinowatzki.wordpress.com/> >. Acessado em 06 de outubro de 2020.

OLIVEIRA, A. M., **Biomanta de fibra de cana-de-açúcar para proteção de taludes**. XVII Congresso Brasileiro de Mecânica do Solos e Engenharia Geotécnica. 2016. São Paulo.
PAULA, TATHIANA CARAM S. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação** / Tathiana Caram S. Paula - GGU-Stability : Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2008/resumos/ctc/civ/civ_tathianacsp.pdf>. Acessado em 20 de setembro de 2020.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, D, S, R. **Caracterização e Manejo de Solos Urbanos**. Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2002.

PIRES, PLÍNIO FERREIRA. **Engenharia e Geotecnia: princípios fundamentais** / Plínio Ferreira Pires. – Piracanjuba-GO Editora Conhecimento Livre, 2020

PLACE, Mariam T. **Nossa terra: geologia e geólogos**. São Paulo: Fundo d Cultura 1963. 152p.

REVISTA BRASILEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (RBIC), Itapetininga, v. 5, n.3, p. 60-83, abr./jun., 2018. Disponível em: <<file:///C:/Users/Admt/Downloads/699-4502-1-PB.pdf>>. Acessado em 02 de setembro de 2020.

PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

ROSS, Jurandyr L. Sanches (org). Geografia do Brasil. São Paulo: **EDUSP**. 6. Ed., 1. Reimp. 2011.

SANTOS, Luana Maria dos. **Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização**. 2015. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/124253>>. Acessado em 01 de setembro de 2020.

SANTOS, Palloma Ribeiro Cuba dos. **Análise dos solos : formação, classificação e conservação do meio ambiente** / Palloma Ribeiro Cuba dos Santos, João Dalton Daibert. – 1. Ed. – São Paulo: Érica, 2014.

VERDUM, ROBERTO. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. / Roberto Verdum, Carmem Lucas Vieira e Jean Carlo Gessi Caneppele. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.