

## **ANÁLISE DO POTENCIAL EROSIVO DE UM SOLO TROPICAL NA REGIÃO DE ANÁPOLIS-GO**

Rafael Rodrigues da Silva

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (rrs1226@gmail.com)*

João Paulo Oliveira Silva

*Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (joapaulo-da-silva@hotmail.com)*

Larissa Borges Silva

*Bacharelada do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (larissaborgestim@gmail.com)*

Vanessa Honorato Domingos

*Professora Mestra do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (vhdomingos@gmail.com)*

### **RESUMO**

A erosão é o processo de desgaste, transporte e deposição dos solos, sendo por meio desse fenômeno que os diversos agentes da erosão modificam os relevos. No entanto, por falta de planejamento urbano e uso inadequado do solo, pode ocorrer em meios urbanos causando prejuízos a população, como: deterioração de rodovias, instabilidade e desmoronamento de taludes, destruição de casas e obras públicas. Isso tem provocado o surgimento de pesquisas que estudam os mecanismos causadores desse fenômeno. Um dos mecanismos mais importantes é a erodibilidade do solo que pode ser analisada, dentre outras formas, por meio do ensaio de Inderbitzen. Esse método foi utilizado por diversos autores, como Fácio (1991), Santos (1997), Lima (1999), Bastos (1999) e Motta (2001), cada um fazendo pequenas alterações no aparelho do ensaio, buscando simular mais precisamente o fenômeno do escoamento superficial sobre o solo. Este trabalho visou fazer a análise da erodibilidade do solo tropical de um processo erosivo das margens do córrego Água Fria, localizado no bairro Anápolis City. Para essa análise foi feita a construção de um aparelho de Inderbitzen baseado no trabalho de Bastos (1999) seguida da realização do ensaio. Além da análise direta feita por meio do ensaio de Inderbitzen, foram feitas análises indiretas partindo de correlações com os parâmetros físicos do solo. Após a execução dos ensaios e feitas as análises diretas e indiretas, foi concluído que o solo em questão apresenta média erodibilidade, fato sustentado por ambos tipos de verificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inderbitzen; erosão; geotecnia; solos tropicais.

## 1 INTRODUÇÃO

As erosões são definidas como o fenômeno pelo qual os agentes da erosão desgastam, transportam e depositam os solos. Refere-se a um processo que naturalmente ocorre de forma lenta, no entanto o ser humano tem a capacidade de acelerar esse ciclo, fazendo com que haja a perda de solo mais rapidamente. Esse de erosão se chama acelerada ou antrópica, sendo a causadora de danos financeiros e ao meio ambiente, como: deterioração de rodovias, assoreamento dos corpos d'água, alagamentos, instabilidade e desmoronamento de taludes, destruição de propriedade privada e pública (SANTOS, 1997).

Nos Estados Unidos, a erosão do solo é responsável por custos anuais de aproximadamente 37 bilhões de dólares (URI, 2001). Na União Europeia, os gastos foram superiores, estando na casa dos 38 bilhões de euros (MONTANARELLA, 2007). No Brasil, há falta de pesquisas que analisem os gastos com a erosão em toda a extensão do País, existindo apenas estudos localizados, tal qual o caso do trabalho de Rodrigues (2005) tratando do solo do Cerrado goiano, que teria gastos entre 38,39 e 165,73 dólares/hectare.

O aparecimento de processos erosivos nos meios urbanos e no seu entorno é atribuído à falta de planejamento de uso do solo (CARVALHO *et al.*, 2006). Segundo Lacerda *et al.* (2004a), o uso do solo na região urbana de Anápolis é feito de forma que propicia a ocorrência de erosões, podendo ser citado: o excesso de impermeabilização do solo juntamente da carência de um sistema adequado de drenagem, além de tentativas falhas de conter processo erosivos existentes.

Lacerda *et al.* (2004a) compilou uma lista das áreas de risco da cidade de Anápolis, dividindo as erosões em pequeno (área <1000m<sup>2</sup>), médio (área de 1000 a 5000m<sup>2</sup>) e grande porte (área >5000m<sup>2</sup>). Foram definidas cinco áreas de risco por conta erosão acelerada, localizadas no Catingueiro, São Carlos, Itamaraty, Leopoldo de Bulhões e Jardim Alexandrina. Essas regiões contam com onze sulcos, sendo nove de pequeno e dois de médio porte; vinte e três ravinas e voçorocas, sendo quatorze de pequeno, cinco de médio e quatro de grande porte.

A intensidade da evolução dos processos erosivos dependem de uma gama de fatores que atuam em conjunto, sendo a erodibilidade um dos mais importantes e que tem sido foco de interesse de pesquisas no campo geotécnico, podendo ser descrita como a facilidade que um solo tem de sofrer erosão. Com intuito de evitar gastos elevados pode conta da erosão, se faz necessário a adoção de medidas preventivas ou corretivas da maneira mais eficiente e econômica possível. Para isso é preciso conhecer a gravidade da situação do solo quanto a erodibilidade.

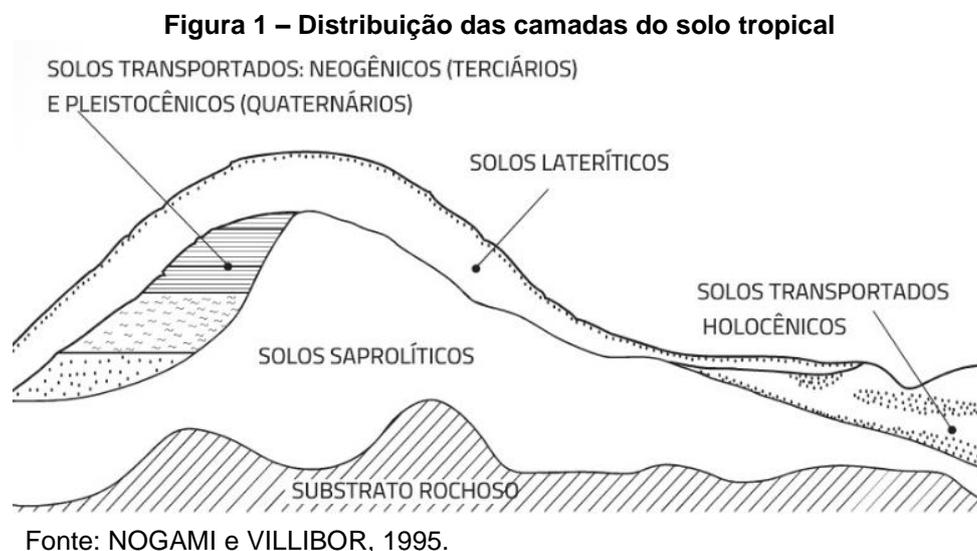
Logo, o objetivo desse trabalho é montar e utilizar o aparelho de Inderbitzen para realizar a análise da erodibilidade e dos mecanismos por trás do processo erosivo que ocorre nas margens do córrego Água Fria. Durante o processo dos ensaios de caracterização do solo também será feita uma tentativa de relacionar os seus aspectos físicos com a sua erodibilidade, utilizando os parâmetros estabelecidos por autores como Grey e Leiser (1989), Bastos (1999), Santos (2001) e Mannigel *et al.*(2002).

## 2 SOLOS TROPICAIS

Os solos presentes em regiões de clima tropical se diferenciam dos demais por apresentar uma gama de peculiaridades tanto na sua composição quanto no seu comportamento (COMMITTE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE, 1985). Essas diferenças inerentes dos solos tropicais fazem com que sejam de difícil classificação por métodos tradicionais. Por conta disso, Nogami e Villibor criaram uma metodologia

específica a esse tipo de solo, recebendo o nome de metodologia MCT de classificação de solos tropicais, na qual é feita a distinção entre solos de comportamento não laterítico e laterítico (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

As principais camadas que compõem os solos tropicais são: os solos lateríticos, saprolíticos e transportados. De maneira geral, a camada mais superficial do perfil do solo é a laterítica, abaixo dela sendo encontrada a camada saprolítica, que é localizada entre o substrato rochoso e o solo laterítico ou transportado, conforme a Figura 1 (VILLIBOR; ALVES, 2019).



Os solos lateríticos têm sua origem no processo de laterização, que ocorre em regiões de clima tropical úmido em solos de boa drenagem. São conhecidos como solos maduros e bem intemperizados, tendo como uma de suas características a presença quase exclusiva da caulinita em sua composição. A caulinita é um argilomineral estável cuja microestrutura, nos solos lateríticos, apresenta um aspecto similar a pipoca. Isso se dá pela alta concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e/ou alumínio nos solos lateríticos. Esses elementos atribuem colorações características desse tipo de solo, como o vermelho, alaranjado, amarelo e marrom (VILLIBOR; ALVES, 2019). Outras características desses solos são a sua estrutura porosa, devido a presença de micro e macro poros, e a sua estabilidade quando submetidos a energia mecânica e variação de umidade, por isso são solos relativamente resistentes a processo erosivos (CARVALHO *et al.*, 2006).

Já os solos saprolíticos surgem pelo fenômeno da desagregação e/ou decomposição da rocha matriz, conservando a sua estrutura. São tidos como solos residuais jovens e sua composição mineralógica é diversificada, dando ênfase ao quartzo, que é comumente achado nesse tipo de solo. Os solos saprolíticos são normalmente encontrados abaixo dos solos lateríticos, surgindo na superfície apenas por meio de erosões ou da ação do homem (VILLIBOR; ALVES, 2019).

Os aspectos físicos desse tipo de solo, como a sua plasticidade, mineralogia e granulometria, dependem muito da sua rocha matriz e de que processo de intemperismo agiu na sua formação. Nesse tipo de solo há diferenciação de estrutura a depender da sua profundidade, as camadas mais baixas são apoiadas na rocha inalterada e apresentam característica de rocha pouco alterada, acima dela existe a rocha muito alterada que transiciona para um solo nas camadas mais altas. Isso se deve ao fato de que as camadas superiores são mais intemperizadas que as inferiores (CASTRO, 2014).

A cadeia evolutiva do saprolitos se dá da seguinte forma, primeiramente há uma prevalência dos minerais primários que, ao serem submetidos ao processo do

intemperismo, dão origem a argilominerais 2:1. Conforme a ação do intemperismo evolui, há a alteração completa dos minerais primários, com exceção do quartzo, em argilominerais 2:1 e em quantidade reduzida, argilominerais 1:1. O resultado final é a existência de oxihidróxidos de ferro e alumínio, quartzo e argilominerais da família das caulitas. Dessa forma, esse tipo de solo é predominantemente composto de minerais primários inertes e argilominerais expansivos (2:1) ativos, que conferem a susceptibilidade a erosão dessa camada (CARVALHO *et al.*, 2006).

### 3 EROSÃO

A palavra "erosão" é utilizada para definir o fenômeno pelo qual ocorre o desgaste do solo por influência dos agentes causadores desse processo. Alguns desses agentes são: o gelo, o vento, a água e também os seres vivos, incluindo os seres humanos (SANTOS, 1997). A intensidade na qual os processos erosivos se desenvolvem depende de diversos fatores, que podem ser divididos em externos e internos. Os fatores internos são os relacionados aos aspectos físicos do solo, como a sua desagregabilidade e erodibilidade. Já os fatores externos são relacionados a aspectos como a geometria de um talude, as condições de escoamento superficial, infiltração e erosividade das chuvas (CARVALHO *et al.*, 2006).

#### 3.1 EROSÃO PLUVIAL

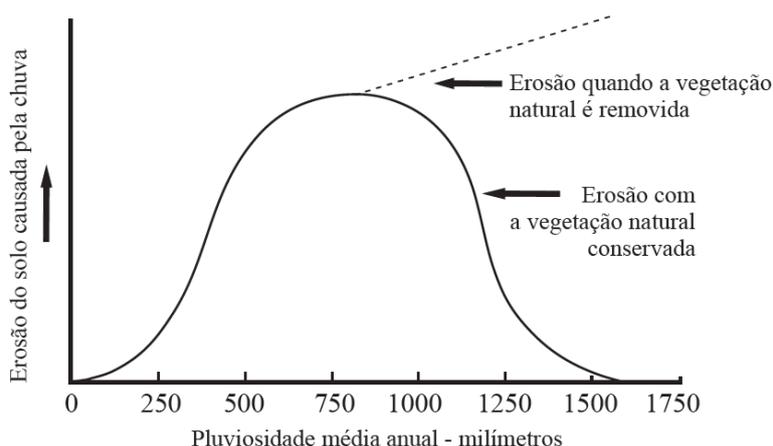
A erosão que surge por conta da água das chuvas é chamada de erosão pluvial. Esse tipo de erosão é causada pelo impacto das gotas e pelo escoamento da água da chuva, que desagrega os grãos do solo e os transporta (SANTOS, 1997). A água é considerada o principal agente erosivo, sendo a ela atribuída 56% da degradação do solo em áreas ocupadas pelo ser humano.

A pluviosidade anual média é o dado de maior importância ao se observar a gravidade da erosão causada pela água. As regiões com baixos índices de pluviosidade, são naturalmente pouco afetadas pelos processos erosivos causados pela chuva. No entanto, as áreas com altos índices de pluviosidade possuem uma tendência de apresentar vegetação densa, o cobrimento vegetal sendo um dos principais mitigadores do surgimento das erosões. Logo, os maiores danos causados pela chuva estarão localizados em locais entre essas duas faixas de pluviosidade. Essa regra só não vale para os casos em que a cobertura vegetal foi retirada, ocorrência comum nos meios urbanos, nesses locais os danos causados pela chuva crescem conforme aumenta a pluviosidade, como mostra a Figura 2 (HUDSON, 1995).

O processo de erosão pluvial pode ser separado em quatro partes, que podem acontecer ao mesmo tempo ou não, são elas: desagregação das partículas do solo pelo choque direto das gotas de chuva, espalhamento por conta do salpicar, desagregação e transporte promovido pelo escoamento superficial (FOSTER; MEYER, 1975). Quando expostos a esses fenômenos, cada solo se comporta de uma forma distinta. Os solos arenosos são de desagregação mais fácil do que os argilosos, por serem menos coesivos, em contrapartida, os solos argilosos são mais propícios a serem transportados, pelo fato da alta infiltração da areia dificultar o surgimento de escoamento superficial. Dessa forma, quanto ao processo de erosão pluvial, os solos argilosos são classificados como majoritariamente transportados e os solos arenosos como majoritariamente desagregados (HUDSON, 1995).

**Figura 2 – Relação entre pluviosidade e erosão do solo**

Erosão Hídrica



Fonte: Adaptado de HUDSON, 1995.

### 3.1.1 Erosão Superficial

A erosão superficial é caracterizada pelo escoamento da água que não adentrou o solo. Esse fluxo uniformemente distribuído transporta as partículas desagregadas do solo, tendo como principais influenciadores de seu potencial erosivo fatores como o volume e a velocidade da lâmina d'água, além da declividade e infiltrabilidade do solo do terreno. Esse último tende a decrescer conforme a chuva cai, saturando o solo (CARVALHO *et al.*, 2006). Outro fenômeno que aumenta o potencial erosivo do escoamento é a ação das gotas de chuva sobre a lâmina d'água, causando turbulência. A turbulência também faz com que a retirada do solo não seja totalmente uniforme, promovendo o surgimento de sulcos, ravinas e voçorocas (HUDSON, 1995).

Não há uma separação clara que marque o limite entre erosão superficial e erosão em sulcos, as duas podendo ocorrer simultaneamente. Por isso alguns autores classificam sulcos como erosões superficiais e outros os consideram como o primeiro estágio de uma erosão linear (CARVALHO *et al.*, 2006). Mesmo em um local onde há sulcos, a erosão superficial continua ocorrendo no espaço entre eles. Dessa forma, há a divisão do fenômeno em erosão em sulcos e entressulcos, de maneira que o impacto das gotas e o escoamento agem distintamente em cada um. Na erosão entressulcos existe uma combinação do impacto das gotas e do escoamento superficial na desagregação dos grãos, que são transportados pelo fluxo até os sulcos. Os sedimentos das partes entressulcos são então descarregados nos sulcos, onde há predominantemente a ação do escoamento superficial concentrado (NUNES, 2006).

### 3.1.2 Erosão Linear

As erosões lineares surgem a partir da concentração do fluxo da água, que tem como consequência um aumento no poder erosivo, fazendo com que apareçam formações lineares no terreno. A evolução dos processos erosivos lineares se dá na seguinte ordem: sulcos, ravinas e voçorocas, que é a mais profunda das três, como mostra a Figura 3 (SANTOS, 1997).

Os sulcos são pequenos canais de no máximo 10 cm de profundidade e surgem por causa de filetes concentrados de água do escoamento superficial. Com o progresso do processo erosivo ocasionado pelo aumento da concentração do fluxo, os sulcos podem se transformar em ravinas. As ravinas são canais com profundidade entre 10 e 50 cm, ou na

profundidade em que o talude perde sua estabilidade por coesão real. Até cerca de 50 cm de profundidade a matéria orgânica e as raízes concedem certa estabilidade ao talude, por isso é tido como um limite. Os canais com profundidades superiores a 50 cm são chamados de voçorocas (CARVALHO; LIMA; MORTARI, 2001).

Figura 3 – Tipos de erosão linear



Fonte: (a) CARVALHO *et al.*, 2006; (b) PENA, s.d.; (c) CARVALHO *et al.*, 2006.

Sendo o estado mais avançado das erosões, as voçorocas também são o mais complexo, nelas há a influência de uma ampla diversidade de processos erosivos que atuam ao mesmo tempo ou não, tornando-as num tipo de erosão destrutivo e de rápida evolução. Alguns dos exemplo de processos que podem agir nas voçorocas há: erosão superficial e interna, desabamentos, queda de blocos, solapamentos e deslizamento de taludes. A principal causa do seu surgimento em meios urbanos é o descarte inadequado do que foi coletado pelo sistema de drenagem da água das chuvas, por ser um volume muito grande com um potencial erosivo muito elevado (CARVALHO *et al.*, 2006).

As voçorocas se diferenciam das demais formações erosivas pelo fato de poder sofrer da influência das águas subterrâneas. Não são todas as voçorocas que são atingidas por esse fator, talvez por um período de estiagem ou pela profundidade insuficiente para chegar no lençol freático. No entanto, nos casos onde há influência das águas subterrâneas acontece um agravamento do processo erosivo, já que favorece a manifestação de erosões internas (SANTOS, 1997).

### 3.1.3 Erosão Interna

O fenômeno pelo qual a percolação de água forma tubos no interior do solo recebe o nome de erosão interna ou *piping*. Nesse tipo de processo erosivo a água desloca as partículas do solo, gerando vazios que podem chegar a extensão de centenas de metros. Surge quando as forças do gradiente hidráulico superam o que o solo suporta por meio de seus mecanismos de resistência. Alguns desses mecanismos que podem ser citados são: a coesão, o atrito e o imbricamento dos grãos, assim como a cimentação e a aglutinação causada pelas raízes. Alguns tipos de terrenos são mais sujeitos a esse fenômeno, como é o caso dos terrenos estratificados, em que o fluxo da água se concentra entre as camadas do solo (HARGERTY, 1991a).

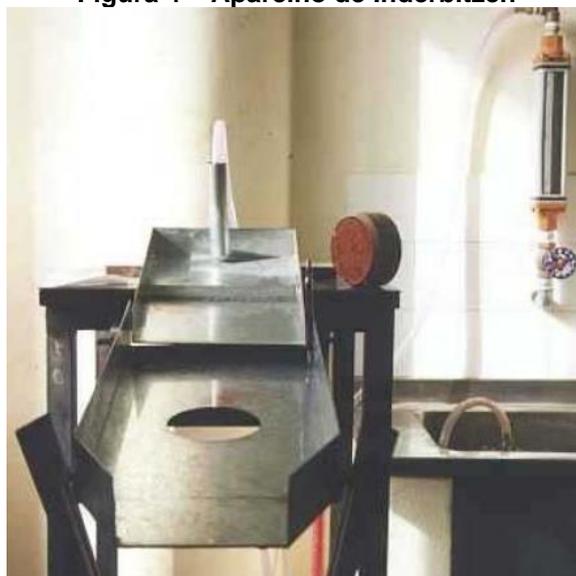
Nas voçorocas com influência de águas subterrâneas é muito comum o surgimento das erosões internas, ocasionando um acréscimo dos esforços de percolação e, por conta disso, da instabilidade e deslocamento de partículas do solo (CARVALHO *et al.*, 2006). Essa retirada de material fica ainda mais intensa quando o fluxo é turbulento, e o volume de água aumenta cada vez mais conforme ocorre a remoção do solo, indicando a tendência de agravamento do processo erosivo. Além disto, por conta das erosões internas serem um evento subterrâneo, são de difícil identificação e comumente disfarçadas por outros tipos de processo erosivo (SANTOS, 1997).

Hargerty (1991b), estabelece formas de identificação dos processo da erosão interna, dividindo-as entre evidências diretas e indiretas. As evidências diretas são as mais definitivas, marcadas pelo aparecimento de água turva por conta da presença de partículas do solo. Já as indiretas são separadas em primárias, secundárias e terciárias, de acordo com a sua utilidade como evidência. As primárias são fenômenos causados majoritariamente pelo piping, as secundárias talvez sejam indicativos do piping e terciárias estão relacionadas a processos causados pela erosão interna.

#### 4 ENSAIO DE INDERBITZEN

Idealizado por Inderbitzen em 1961, o ensaio que leva o seu nome tem o intuito de verificar a erodibilidade dos solos. O aparelho utilizado na realização do ensaio (Figura 4) é formado por uma rampa, com dimensões e inclinação pré-definidas, onde há uma abertura pela qual é introduzida uma amostra de solo. Sobre a rampa é liberado um fluxo de água de vazão conhecida, simulando o escoamento superficial sobre a amostra e quantificando a perda de solos em intervalos de tempo definidos (CARVALHO *et al.*, 2006).

Figura 4 – Aparelho de Inderbitzen



Fonte: BASTOS, 1999.

Após a introdução do ensaio no Brasil, diversos autores desenvolveram suas próprias versões do equipamento na busca de chegar o mais próximo possível de uma condição real de erosão. O aparelho de Fácio (1991) possui três rampas independentes, tornando possível a realização de vários ensaios ao mesmo tempo. Em seu trabalho ele definiu condições de vazão, inclinação, tempo de ensaio e umedecimento prévio do solo, todas consideradas como ideais pelo autor. Os valores selecionados foram uma vazão de 50 ml/s, inclinação da rampa de 10°, tempo de ensaio de 20 minutos e tempo de umedecimento de 15 minutos.

Santos (1997) usou o trabalho de Fácio (1991) como referência, utilizando o mesmo aparelho e aumentando a duração do ensaio para 30 minutos, com o intuito de observar mais facilmente o processo da perda de solo. A largura da rampa foi reduzida para se igualar ao diâmetro do corpo de prova, dessa forma todo o fluxo d'água passaria sobre a amostra. Para que não houvesse mudança nas condições da vazão, foi reduzida proporcionalmente à largura da rampa, obtendo o novo valor de 17,5 ml/s. No estudo de

Lima (1999) foram utilizados os mesmos valores, com exceção das condições das amostras, que foram empregadas nas umidades natural e saturada.

Na tese de Bastos (1999) foi montado um equipamento com rampa articulada, tornando possível utilizar inclinações da rampa de 10 a 50 graus. As suas amostras de solo foram submetidas ao ensaio em diversas condições de vazão, inclinação e umidade das amostras, chegando a resultados satisfatórios na tentativa de definir o fator de erodibilidade. Adotou valores de vazão de 50 e 100 ml/s; inclinação de 10°, 26°, 45° e 54°; amostras pré-umedecidas, secas ao ar e na umidade natural.

Motta (2001) utilizou inclinações entre 5° e 40°, vazões entre 25 e 75 ml/s, seguindo a largura da rampa e tempo de ensaio estabelecidos por Santos (1997). Tentou também analisar o impacto das gotas sobre o solo, que normalmente não é considerado no ensaio de Inderbitzen. Para isso foi fixado um chuveiro acima da amostra, distante de 38 cm, a rampa teve inclinação igual a 10° e o ensaio durou 20 minutos sem atuação do escoamento superficial. Esse experimento mostrou uma perda de solo de quatro a sete vezes menor que a encontrada pelo escoamento superficial.

Foi observado que a perda de solo durante os ensaios de Inderbitzen tende a aumentar a medida que se alteram alguns parâmetros, como: aumento da vazão, inclinações de rampa maiores e diminuição no grau de saturação. Essa perda de solo costuma ser mais expressiva nos primeiros cinco minutos do ensaio (FÁCIO, 1991).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 ANÁPOLIS

Apesar de se tratar de uma região urbanizada, na qual é comum que a intervenção antrópica faça com que surjam processos erosivos independentemente das características do solo da área, é importante conhecer os aspectos físicos que influenciam nesse fenômeno de forma a entender os mecanismos de sua evolução. O desenvolvimento desses processos está relacionado com a geologia, a geomorfologia, ao solo e aos fatores climáticos (SANTOS, 1997).

Quanto à geologia, na área urbana de Anápolis é predominante a presença de rochas do Complexo Granulítico Anápolis-Itaúçu, composto principalmente de rochas vulcânicas, tanto básicas quanto ultrabásicas do período neoproterozóico (IANHEZ *et al.*, 1983). Do ponto de vista da geomorfologia, a cidade está incluída no Planalto Central Goiano, mais especificamente na subunidade geomorfológica do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba (MAMEDES *et al.*, 1983). O solo característico é classificado em dois tipos principais, os Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos Concrecionários e os Latossolos Vermelho-Escuro Distrófico. O primeiro solo sendo chamado de plintossolo, recebe esse nome por ser composto de plintita, que é um material rico em óxido de ferro encontrado em forma de nódulos e que ao ser exposto ao sol endurece e forma a Cobertura Detrito-Laterítica (NOVAES *et al.*, 1983).

Anápolis possui pluviosidade média anual de aproximadamente 1586 mm, com chuvas concentradas na época do verão e estiagem no inverno (CLIMATE-DATA, 2022). Baseando na Figura 2, a chuva em Anápolis tende a causar bastante erosão em regiões sem a presença de cobertura vegetal, sendo muitas vezes esse o caso nos meios urbanos. Porém não é apenas a quantidade de chuva que contribui para a sua erosividade, também há de se levar em conta o tipo da chuva. As pancadas de chuva, muito comuns nos trópicos, apresentam um efeito muito mais prejudicial do que as chuvas dos climas temperados. A área aproximada de onde acontecem as chuvas mais destrutivas estão entre as latitudes

de 40° Norte e 40° Sul, área na qual a cidade de Anápolis, com sua latitude de 16°19'43"S, está incluída (HUDSON, 1995).

## 5.2 EROÇÃO ANALISADA

A área escolhida está situada nas margens do Córrego Água Fria, na beira da Av. Perimetral Oeste, Quadra 106, no bairro Anápolis City, nas coordenadas 16°19'48.77"S 48°55'57.96"O (Figura 5a). Trata-se de um trecho não pavimentado, com a presença de diversas nascentes e processos erosivos (Figura 5b), esses últimos trazem riscos para os moradores da área, já que sua evolução se dá em direção às casas. A Avenida Perimetral Oeste vem sofrendo com problemas de erosão e de acordo com Lacerda *et al.* (2004b), em sua extensão houve perda total de três casas, além da destruição da Rua Pedro de Martins. Já no trecho da via analisado, indicado na Figura 5c, a avenida chegou a ter sua largura reduzida em cerca de metade de sua extensão, o que levou a serem realizadas tentativas de combater a evolução dessa erosão por meio de aterramento. Porém o aterramento é apenas uma solução temporária, uma vez que as condições que levaram ao surgimento do fenômeno ainda estão presentes.

**Figura 5 – Região do estudo**



(a) Vista de satélite

Fonte: Autoria própria, 2022.



(b) Processo erosivo estudada



(c) Trecho da via

**Figura 6 – Amostra de solo retirado do local**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Com o intuito de realizar os ensaios, foi retirada uma amostra de um ponto da camada superficial do solo da voçoroca e realizada uma análise inicial por meio da identificação tátil-visual. De acordo com as observações feitas, o solo apresenta coloração

marrom-alaranjada com presença de raízes, aparentando ser em sua maioria composto de silte e argila. Os grãos do solo mostrados na Figura 6, se encontram em grande parte aglomerados, sendo essa uma das características dos solos tropicais. A erosão encontra-se com uma inclinação de aproximadamente 45°, sendo esse o ângulo que será utilizado para simular o relevo durante o ensaio de Inderbitzen.

### 5.3 ENSAIOS EMPREGADOS

Ao se estudar um solo do ponto de vista geotécnico, as propriedades físicas de maior interesse são a sua textura, a sua plasticidade e a sua estrutura. Essas propriedades são satisfatórias para realizar uma identificação do solo, mas ainda não são o bastante para prever o seu comportamento, pois depende de diversos outros fatores das condições em que o solo se encontra (VARGAS, 1977).

Portanto, foram realizados os ensaios de caracterização, buscando conhecer as propriedades físicas do solo e as relacionar indiretamente com a sua erodibilidade, e o ensaio de erodibilidade conhecido como ensaio de Inderbitzen, com o intuito de analisar diretamente o comportamento erosivo do solo frente a um fluxo superficial de água. Os ensaios foram realizados no Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA – Universidade Evangélica de Goiás.

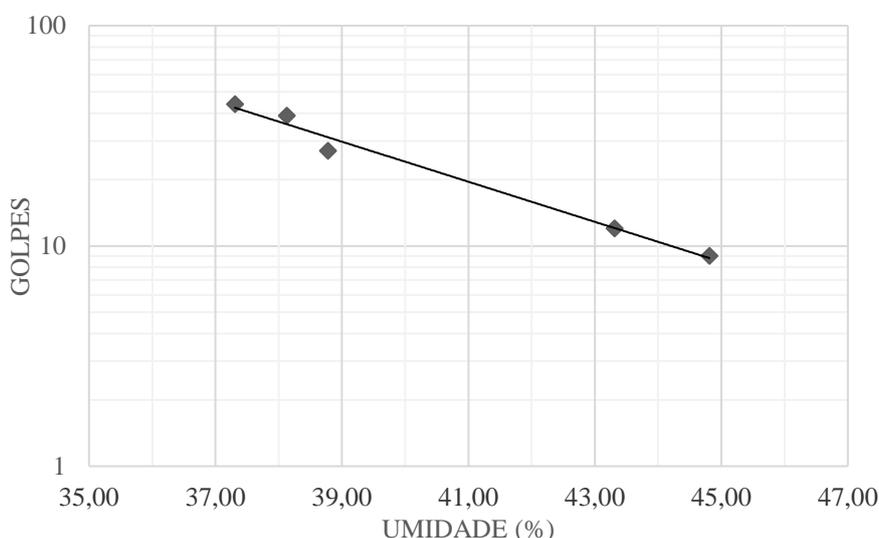
Os ensaios realizados e as metodologias adotadas são citadas a seguir:

- Limite de liquidez, determinado de acordo com a NBR 6459/2016;
- Limite de plasticidade, determinado de acordo com a NBR 7180/2016;
- Massa específica dos grãos, realizado de acordo com a NBR 6508/1984;
- Granulometria, seguindo as determinações da NBR 7181/2016;
- Inderbitzen, de acordo com a tese de Bastos (1999).

#### 5.3.1 Ensaios de limites de Atterberg

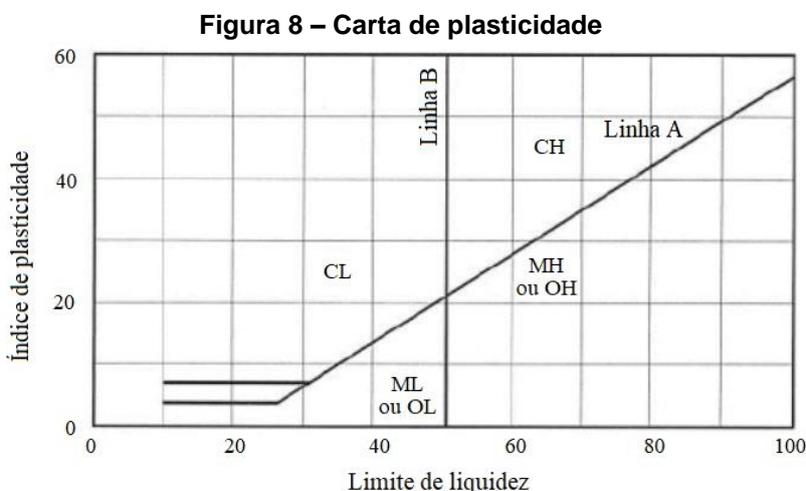
A metodologia empregada para os ensaios foi primeiramente a determinação do limite de liquidez por meio do Método de Casagrande. Logo após, a mesma amostra foi seca em placa de vidro e utilizada para a realização do ensaio de limite de plasticidade. Depois de descobertos esses dois valores, é possível calcular o índice de plasticidade do solo por meio da diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade.

Figura 7 – Gráfico de limite de liquidez



Fonte: Autoria própria, 2022.

O limite de liquidez é definido como a umidade correspondente ao número de vinte e cinco golpes do aparelho de Casagrande, que no caso do solo estudado equivale a um valor de aproximadamente 40%, assim como é mostrado na Figura 7. Já o limite de plasticidade é calculado pela média dos resultados do ensaio, esse valor foi igual a aproximadamente 30%. Com esses resultados podemos descobrir que o índice de plasticidade (IP) equivale a 10%, e baseando-se na Figura 8, esse solo seria classificado como um silte de baixa compressibilidade (ML). Segundo Gray e Leiser (1989), os solos classificados como ML seriam os mais susceptíveis a sofrer processos erosivos.



A plasticidade de um solo tem uma relação indireta com o valor da sua erodibilidade, de forma que solos com baixos índices de plasticidade tendem a ser mais erosíveis. Na pesquisa de Bastos (1999), foi realizada uma tentativa de relacionar os parâmetros de índice de plasticidade e de teor de finos com o comportamento erosivo de um solo. De acordo com seus estudos, solos que apresentam baixa erodibilidade possuem valores de IP maiores ou iguais a 10% e solos de alta erodibilidade possuem valores de IP menores ou iguais a 5%. Essa relação foi confirmada quando comparada aos resultados de solos tropicais africanos estudados por Meireles (1967), porém foi considerada insatisfatória quando comparada a outros estudos de solos tropicais brasileiros, como o de Fácio (1991) e Santos (1997). A conclusão foi de que essa diferença pode ser atribuída as características estruturais e mineralógicas diversas dos solos, e que não pode ser feita uma previsão definitiva da erodibilidade apenas observando essa relação. Porém, utilizando essa relação como uma referência, o solo em questão teria média erodibilidade. Essa informação é reforçada pelos critérios estabelecidos por Santos (2001), que afirmam que solos com IP entre 15% e 6% apresentam resistência média a erosão.

Outra característica que podemos interpretar a partir dos valores de limite de liquidez e de plasticidade é o mineral de argila presente no solo, ou pelo menos conseguir uma noção de qual mineral pode ser encontrado em maior quantidade. De acordo com Villibor e Alves (2019), os solos lateríticos possuem, em sua composição, quase que exclusivamente a presença da caulinita. Observando a Tabela 1 podemos ver que os dados de limite de liquidez e de plasticidade encontrados nos ensaios de laboratório, coincidem com os valores tabelados para este argilomineral.

**Tabela 1 – Limites de Atterberg para os minerais de argila**

Mineral	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)
Montmorilonita	100 - 900	50 - 100
Nontronita	37 - 72	19 - 27
Illita	60 - 120	35 - 60
Caulinita	30 - 110	25 - 40
Haloisita hidratada	50 - 70	47 - 60
Haloisita desidratada	35 - 55	30 - 45
Atapulgota	160 - 230	100 - 120
Clorite	44 - 47	36 - 40

Fonte: Adaptado de MITCHELL e SOGA, 2005.

### 5.3.2 Ensaio de massa específica dos grãos

Esse dado está relacionado aos tipos de minerais e da quantidade de compostos orgânicos presentes no solo. Utilizando o ensaio de determinação da massa específica dos grãos na amostra do solo, foi descoberto o valor de  $2,34 \text{ g/cm}^3$ , indicando a presença de argilominerais. Partindo do pressuposto de que os solos lateríticos são ricos em caulinita, a densidade encontrada está bem abaixo do valor tabelado para este mineral, indicado na Tabela 2. No entanto, esta diminuição pode ser devido a presença de matéria orgânica, que possui densidades entre  $0,6$  e  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , que é o caso mais provável já que a amostra foi retirada da camada superficial do solo.

**Tabela 2 – Densidade real de alguns minerais constituintes dos solos tropicais**

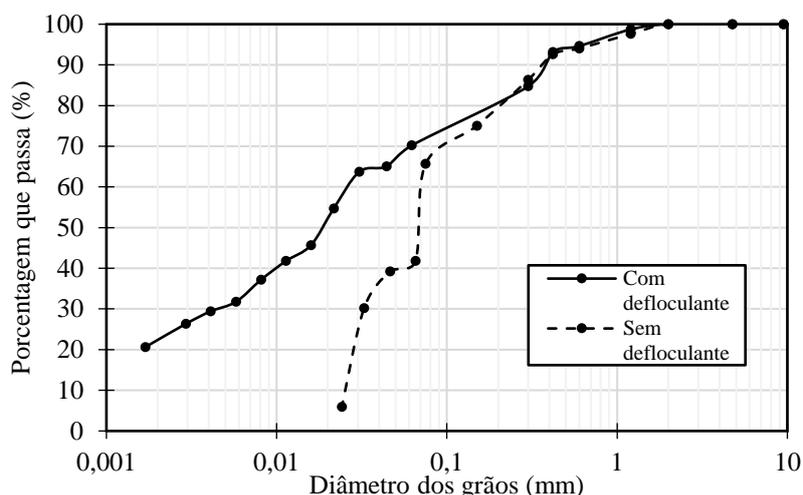
Mineral	Densidade Real ( $\text{g/cm}^3$ )	Mineral	Densidade Real ( $\text{g/cm}^3$ )
Caulinita	2,60 - 2,68	Goethita	4,37
Illita	2,60 - 2,68	Hematita	4,90 - 5,30
Montmorillonita	2,20 - 2,70	Magnetita	5,18
Quartzo	2,65 - 2,66	Rutilo	4,18 - 4,25
Gibbsita	2,30 - 2,40	Zircão	4,68 - 4,70

Fonte: CARVALHO *et al.*, 2006.

### 5.3.3 Ensaio de granulometria

A textura de um solo tropical é um dos aspectos físicos que o diferenciam de outros solos. Nos solos tropicais, ao contrário do que ocorre nos demais, raramente as partículas individuais que compõem o solo se comportam como deveria refletir a sua individualidade. Isso se dá pelo fato das partículas se apresentarem na forma de grupamentos, recebendo o nome de macro e micro agregados. Portanto, o comportamento do solo é definido pelos agregados e não pelas partículas individuais, tornando relevante a análise considerando o material defloculado e não defloculado (CARVALHO *et al.*, 2006).

**Figura 9 – Granulometria do solo estudado**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados do ensaio de granulometria com e sem o uso de defloculante foram organizados no gráfico da Figura 9. Como pode ser observado pelo gráfico e pela divisão do tamanho das partículas na Tabela 3, a curva com defloculante, que representa a granulometria real do solo, mostra que a composição da amostra é de aproximadamente 23% argila, 47% silte e 30% areia, sendo classificado como um silte areno argiloso. Porém, a curva sem o defloculante, que é mais representativa do comportamento do solo na realidade, mostra que a amostra é composta por 40% silte e 60% areia, recebendo a classificação de uma areia siltosa.

**Tabela 3 – Tamanho das partículas do solo**

Fração	Limites
Pedregulho	de 2,00 mm a 60 mm
Areia Grossa	de 0,60 mm a 2,00 mm
Areia Média	de 0,20 mm a 0,60 mm
Areia Fina	de 0,06 mm a 0,20 mm
Silte	de 0,002 mm a 0,06 mm
Argila	inferior a 0,002 mm

Fonte: NBR 6502, 1995.

No estudo de Mannigel *et al.* (2002), é proposto uma forma de calcular o fator de erodibilidade (K) do solo a partir das suas frações de areia, silte e argila. A base para a elaboração da proposta foi a equação elaborada por Bouyoucos (1935), na qual a erodibilidade do solo é relacionada com essas mesmas frações. Essa equação surge da ideia que a argila age como um ligante e dificulta o desprendimento das partículas, prevenindo o fenômeno da erosão, e que a areia seria a parte mais grossa que poderia ser destacada. Mannigel *et al.* (2002) classificaram os valores de fator de erodibilidade em três grupos, baixos (valores entre 0,01 e 0,03), médios (valores entre 0,03 e 0,06) e altos (valores superiores a 0,06). Esses valores podem ser obtidos pela equação a seguir:

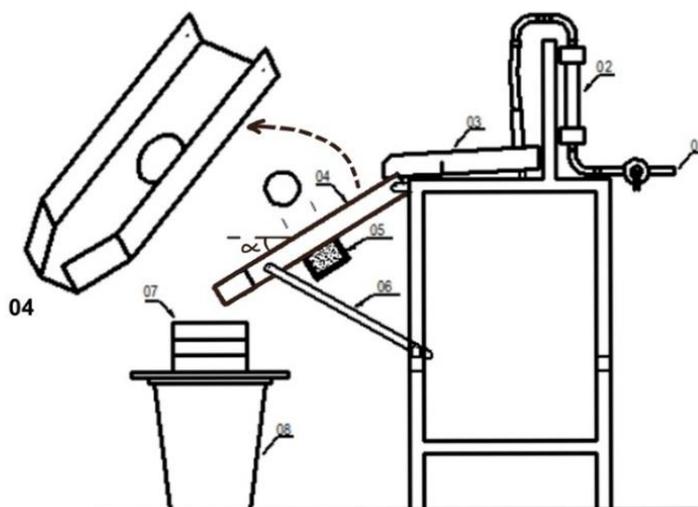
$$K = \frac{\%areia + \%silte}{\%argila} / 100 \quad (1)$$

Baseando-se nessa equação a amostra do solo estudado teria um valor de K igual a 0,033, recebendo a classificação de médio fator de erodibilidade. Esse resultado confirma mais uma vez a característica média desse solo quanto aos processos erosivos.

### 5.3.4 Ensaio de Inderbitzen

O equipamento utilizado para o ensaio (Figura 10 e Figura 11) teve sua montagem baseada no modelo de Bastos (1999). O aparelho consiste em uma rampa feita em chapa de aço galvanizado (possuindo 25 cm de largura por 60 cm de comprimento), no seu centro há um orifício onde é introduzida a amostra do solo contida em um cano de PVC (com 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura) com uma de suas extremidades selada. A rampa é regulável para se adequar à inclinação do relevo do local onde está ocorrendo o processo erosivo analisado. O fluxo d'água sobre a rampa é alimentado pela rede hidráulica do laboratório por meio de mangueira e é controlado com o uso de um registro. Além do registro há também um rotâmetro (com capacidade de medição de 100 a 1000 l/h), para que seja possível realizar a regulagem da vazão no ensaio. Todo o sistema foi montado sobre uma bancada feita com perfis soldados de metalon 2x3 cm e com um tampo de chapa de MDF.

Figura 10 – Projeto do aparelho de Inderbitzen



**LEGENDAS:**

- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| 01 - FORNECIMENTO DE ÁGUA | 05 - AMOSTRA DO SOLO             |
| 02 - ROTÂMETRO            | 06 - BARRA DE AJUSTE DOS ÂNGULOS |
| 03 - CANALETA INICIAL     | 07 - CONJUNTO DE PENEIRAS        |
| 04 - CANALETA PRINCIPAL   | 08 - BALDE PLÁSTICO              |

Fonte: Autoria própria, 2022.

Quanto a execução do ensaio, algumas decisões e precauções foram tomadas. A inclinação adotada foi a de 45°, tendo o intuito de se aproximar o máximo da situação em campo do processo erosivo estudado. A amostra utilizada no solo foi colhida de modo que fosse indeformada e utilizada na condição de umidade natural, essa decisão foi tomada para tentar simular as condições reais do local. O solo foi submetido a duas intensidades de escoamento diferente, as vazões (Q) escolhidas tiveram o valor de 3 e 4,5 l/min. Antes da realização do ensaio a amostra de solo contida no cano de PVC foi rasada para coincidir com o fundo da canaleta, esse processo foi feito com cuidado para que não houvesse desagregação do material. Também foi feito um umedecimento prévio da rampa, para evitar qualquer resistência ao fluxo devido a tensão superficial da água. Nos tempos de 1 min, 5

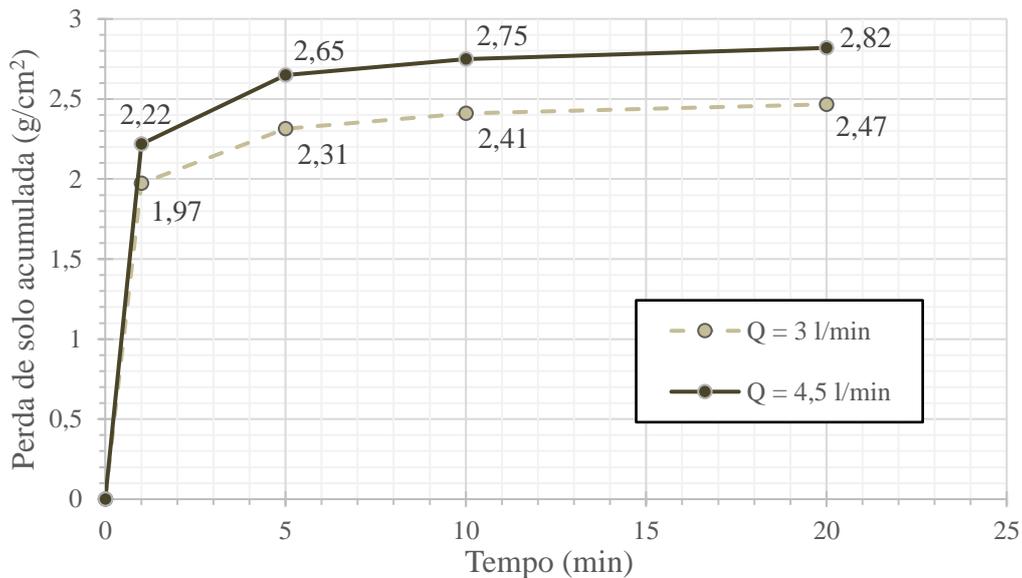
min, 10 min e 20 min de ensaio os baldes usados para coleta dos sedimentos foram substituídos, isso foi feito para individualizar os resultados durante esses períodos. O encerramento do ensaio é feito aos 20 min, pois o fluxo superficial na amostra é comprometido pela perda de solo dentro do cano de PVC, além do fato de que a perda de solo é maior nos primeiros minutos e tende a se estabilizar durante os últimos minutos do ensaio.

Figura 11 – Aparelho de Inderbitzen utilizado durante o ensaio



Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 12 – Curva típica da perda de solo para o ensaio de Inderbitzen

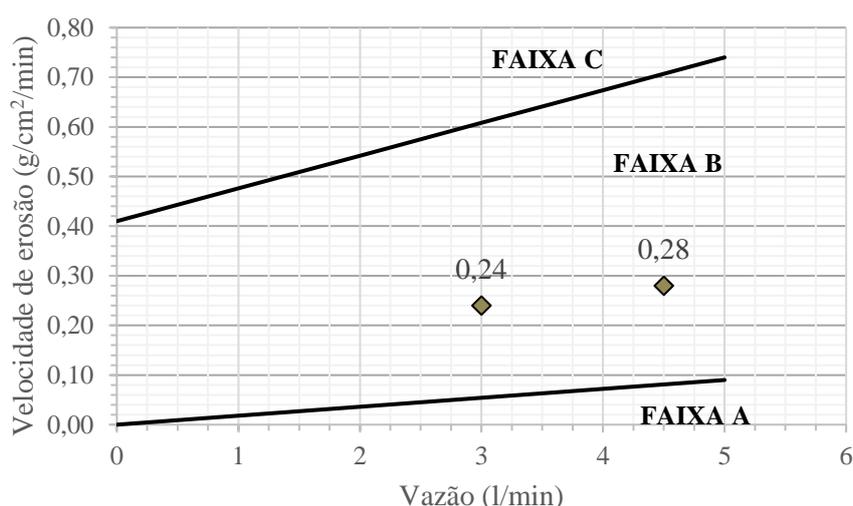


Fonte: Autoria própria, 2022.

Os resultados de perda de solo de cada intervalo do ensaio foram encontrados pela soma de duas parcelas. Para a primeira parcela, foi passado o material contido dos baldes na peneira #200, o solo retido foi então levado para a estufa e pesado após a secagem.

Para a segunda parcela, o material que passou na peneira #200 foi recolhido em recipiente e homogeneizado, desse recipiente foi retirada uma amostra representativa do líquido e levada até a estufa. A massa de solo seco presente na amostra representativa foi utilizada para calcular uma estimativa da massa total do balde. Os valores de perda de solo foram então compilados no gráfico da Figura 12, os valores são expressos em razão do peso seco acumulado do solo erodido por unidade de área da amostra em relação ao tempo decorrido do ensaio. A partir das curvas do gráfico é possível observar que durante o primeiro minuto do ensaio há um valor de perda de solo expressivamente maior que no resto do ensaio e que em cerca de 10 minutos do início do experimento há uma estabilização dos valores. Com o valor da perda de solo é possível calcular a velocidade de erosão, esse dado é encontrado ao dividir a perda de solo pelo tempo decorrido. Para esse cálculo no ensaio realizado foi utilizada a perda de solo acumulada aos 10 minutos, exatamente por se tratar do ponto onde a perda de solo se estabiliza, sendo encontrado os valores aproximados de 0,24 g/cm<sup>2</sup>/min (para a vazão de 3 l/min) e de 0,28 g/cm<sup>2</sup>/min (para a vazão de 4,5 l/min).

**Figura 13 – Critério de erodibilidade da IPR/COPPE/TRAFECON**



Fonte: Adaptado de FONSECA e FERREIRA, 1981.

No trabalho de Fonseca e Ferreira (1981), foi realizada uma análise dos dados referentes a pesquisa IPR/COPPE/TRAFECON (1975-1978), responsável pela introdução do ensaio de Inderbitzen no Brasil. A partir dessa análise foram organizados gráficos que relacionam a velocidade de erosão e a vazão empregada no ensaio com a erodibilidade do solo. Dentro de cada um desses gráficos foram definidas três faixas, a Faixa A abrangendo solos de baixa erodibilidade, a Faixa B os solos de média e a Faixa C os de alta. Dessa forma, seguindo o critério estabelecido para o ensaio realizado a 45° de inclinação da rampa e a condição de umidade natural do solo (Figura 13), podemos observar que as amostras foram incluídas na Faixa B, referente aos solos de média erodibilidade.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante esse trabalho foi feita uma tentativa de determinar a erodibilidade do solo de duas formas distintas: por meio de análises indiretas, utilizando a relação dos parâmetros físicos do solo com sua erodibilidade; e da análise direta com a aplicação do ensaio de Inderbitzen. Foi possível observar que os critérios utilizados para determinar a erodibilidade de maneira indireta apontaram para o fato de que esse solo possui uma erodibilidade média. Porém, esses métodos ainda não são considerados como conclusivos,

sendo realizado o ensaio de Inderbitzen para uma confirmação dos resultados. O ensaio de Inderbitzen reforçou o que os métodos indiretos já indicavam, que o solo em questão possui uma erodibilidade média. Isso mostra que nesse caso os métodos indiretos utilizados apresentaram resultados confiáveis para a determinação desse parâmetro.

Outro aspecto desse artigo foi a montagem do aparelho do ensaio de Inderbitzen. Utilizando como base o trabalho de Bastos (1999) foi alcançado um desempenho satisfatório do aparelho, havendo apenas algumas sugestões para trabalhos futuros. No caso da execução do ensaio, uma inclinação mais acentuada da rampa causa uma maior perda de solo, prejudicando a visualização do fluxo superficial sobre a amostra de solo. Portanto, talvez seja mais adequado realizar o ensaio com uma inclinação menor, mesmo que não seja a mesma da situação de campo, e utilizar a perda de solo para fazer o cálculo do fator de erodibilidade do solo. Outra melhoria que poderia ser adotada para uma análise mais completa, é fazer a retirada de amostras de diferentes profundidades, de modo a verificar o comportamento de vários horizontes do perfil do solo.

Por fim, nesse artigo foram mostradas diversas formas de realizar uma análise da erodibilidade do solo. A importância desse tipo de estudo está no fato da erodibilidade ser um indicativo da intensidade em que os processos erosivos podem se desenvolver no solo de determinado local. Ao se conhecer o valor da erodibilidade é possível decidir como serão abordadas as ações de intervenção e/ou prevenção, assim como a urgência dessa tomada de decisão, fazendo com que o trabalho seja mais econômico e simples do que o necessário para recuperar uma área em estado avançado de erosão.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

BASTOS, C. A. B. **Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 269 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 1999.

BOUYOCOS, G. W. *The clay ration as a criterion of susceptibility of soils to erosion*. J. Amer. Soc. Agron., Madison, 1935, p. 738-741.

CARVALHO, José Camapum de; LIMA, Marisaides Cruz; MORTARI, Diógenes. Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: ABGE, 2001.

CARVALHO, J.C.; SALES, M.M.; SOUZA, Newton Moreira de; MELO, M.T.S. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. 464p.

CASTRO, Michele Alves de. **Utilização de solos saprolíticos na construção de pequenas barragens de terra**. 2014. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CLIMA Anápolis (Brasil). **Climate-Data**, 2022. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/anapolis-3192/> >. Acesso em 21 jul. 2022.

COMMITTEE ON TROPICAL SOILS OF THE ISSMFE. **Progress report, chapter 4.2.4: lateritic gravels**. São Paulo: publicado pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solo (ABMS), 1985.

FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal**. 1991. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 1991.

FONSECA, A.M.M.C.C.; FERREIRA, C.S.M.. Metodologia para determinação de um índice de erodibilidade de solos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS, 1., 1981, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Coppe/Abms, 1981. p. 646-667.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. *Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics*. In: SEDIMENT-YIELD WORKSHOP, 1972, Oxford. **Proceedings [...]**. Washington: USDA, 1975. p. 190-207.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. 1989. *Biotechnical slope protection and erosion control*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

HARGERTY, D. J. *Piping/Sapping Erosion. I: Basic Considerations*. In: JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, 117(8), 1991a, New York. **Proceedings [...]**. New York: ASCE, 1991a. p. 991-1008.

HARGERTY, D. J. *Piping/Sapping Erosion. II: Identification and Diagnosis*. In: JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING, 117(8), 1991b, New York. **Proceedings [...]**. New York: ASCE, 1991b. p. 991-1008.

HUDSON, Norman. **Soil Conservation**. 3. ed. London: B T Batsford Ltd., 1995. 387 p.

IANHEZ, Afonso Celso *et al*. Levantamento de recursos naturais: geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, 31. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: MME/SG, 1983. p. 28-348.

LACERDA, H.; JESUS, Andreilisa Santos de; SANTOS, Lidiane Ribeiro dos; TEIXEIRA, Leide Laura Francisca da Mota; OLIVEIRA, Sandro Nunes de. **Riscos Geológicos e Uso da Terra em Anápolis (GO)**. Educação & Mudança, Anápolis, n.13/14, 2004a.

LACERDA, Homero *et al*. Erosão acelerada, assoreamento e inundações na área central de Anápolis (GO). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 3., 2004b, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: UFU, 2004b. p. 519-530.

LIMA, M.C. **Contribuição ao estudo do processo erosivo de boçorocas na área urbana de Manaus**. 1999. 150 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

MANNINGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. 2002. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340.

MAMEDES, Lindinalva *et al.* Levantamento de recursos naturais: geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, 31. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: MME/SG, 1983. p. 349-412.

MEIRELES, J.M.F. Erosão de taludes de estradas. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2., 1967, Rio de Janeiro/São Paulo. **Anais [...]**. Rio de Janeiro/São Paulo, 1967. p. 204-211.

MITCHELL, James K.; SOGA, Kenichi. **Fundamentals of soil behavior**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 559 p.

MONTANARELLA, L. Trends in Land Degradation in Europe. In: SIVAKUMAR, M.V.K; NDIANG'UI, N. (eds.). **Climate and Land Degradation**. New York, Springer, 2007.

MOTTA, N. O. **Caracterização geotécnica e dos processos erosivos na cidade de Campo Grande – MS**. 2001. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

NOVAES, Antonio Santos Silva *et al.* Levantamento de recursos naturais: pedologia. In: PROJETO RADAMBRASIL, 31. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: MME/SG, 1983. p. 413-576.

NUNES, Maria Cândida Moitinho. **Erosão hídrica em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul**. 2006. 160 p. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PENA, Rodolfo Alves. **Tipos de erosão**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-erosao.htm>. Acesso em: 7 jun. 2022.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

RODRIGUES, W. **Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em Região de Cerrados**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 43, n. 1, p. 135-153. 2005.

SANTOS, C.A.. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erosão dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto - Minas Gerais**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SANTOS, Roberto Márcio Macedo dos. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no município de Goiânia**. 1997. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

URI, N.D. **The environmental implications of soil erosion in the United States**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 66, n. 3, 2001.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw Hill Brasil, 1977. 509 p.

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

VILLIBOR, Douglas Fadul; NOGAMI, Job Shuji. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009. 291p.