

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JEAN CARLOS ROSA DA SILVA**

**LEONARDO FILLIPE GOMES MONTEIRO**

**CONSTRUÇÃO DO APARELHO DE INDERBITZEN PARA  
AVALIAR A ERODIBILIDADE DOS SOLOS: APLICAÇÃO  
NAS MARGENS DO RIO DAS ANTAS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**JEAN CARLOS ROSA DA SILVA  
LEONARDO FILLIPE GOMES MONTEIRO**

**CONSTRUÇÃO DO APARELHO DE INDERBITZEN PARA  
AVALIAR A ERODIBILIDADE DOS SOLOS: APLICAÇÃO  
NAS MARGENS DO RIO DAS ANTAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: VANESSA HONORATO DOMINGOS**

**ANÁPOLIS / GO: 2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, JEAN CARLOS ROSA DA/ MONTEIRO, LEONARDO FILLIPE GOMES

Construção do aparelho de Inderbitzen para avaliar a erodibilidade dos solos: aplicação nas margens do rio das Antas.

51P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1. Erosão      | 2. Ensaios         |
| 3. Inderbitzen | 4. Análise         |
| I. ENC/UNI     | II. Título (Série) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Jean Carlos Rosa; MONTEIRO, Leonardo Fillipe Gomes. Construção do aparelho de Inderbitzen para avaliar a erodibilidade dos solos: aplicação nas margens do rio das Antas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 51p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jean Carlos Rosa da Silva

Leonardo Fillipe Gomes Monteiro

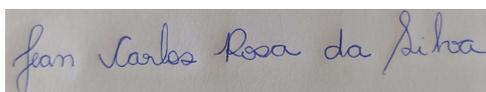
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Construção do aparelho de Inderbitzen para avaliar a erodibilidade dos solos: aplicação nas margens do rio das Antas

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

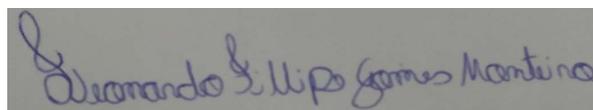
ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Jean Carlos Rosa da Silva

E-mail: jcrdsjeancarlos@hotmail.com



Leonardo Fillipe Gomes Monteiro

E-mail: leonardofilhipe@hotmail.com

## **RESUMO**

A erosão consiste num conjunto de fenômenos naturais que age continuamente na superfície terrestre, modificando-a através da desagregação e decomposição de rochas e solos. Entretanto, pode se tornar um grave problema ambiental quando ocorre de forma desordenada, sendo afetada pela ação antrópica, e causando prejuízos à sociedade como redução da fertilidade dos solos, assoreamento de cursos d'água e destruição de obras de Engenharia Civil. A erodibilidade de um solo é uma das propriedades condicionantes dos processos erosivos que pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que o solo é erodido. Considerando os possíveis danos provocados pela erosão, o objetivo geral desse trabalho é construir o aparelho de Inderbitzen e analisar com o uso do ensaio uma alternativa de avaliação da erodibilidade. Os resultados foram obtidos através de amostras de solos coletadas em perfis de solo próximo as margens do Rio das Antas, situado no Bairro Parque Primavera, Anápolis – GO. Houve boa relação entre a taxa média de erodibilidade no ensaio, com o que foi observado em campo. O ensaio de Inderbitzen mostra uma boa alternativa na avaliação da erodibilidade dos solos na região.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Inderbitzen; Erosão; Erodibilidade; Ensaio; Erosão Hídrica.

## **ABSTRACT**

Erosion consists of a set of natural phenomena that continuously acts on the Earth's surface, modifying it through the breakdown and decomposition of rocks and soils. However, it can become a serious environmental problem when it occurs in a disorderly manner, being affected by anthropic action, and causing damage to society such as reducing soil fertility, silting up water courses and destruction of Civil Engineering works. The erodibility of a soil is one of the conditioning properties of erosive processes that can be defined as the greater or lesser ease with which the soil is eroded. Considering the possible damage caused by erosion, the general objective of this work is to build the Inderbitzen apparatus and to analyze with the use of the test an alternative to assess erodibility. The results were obtained through soil samples collected in soil profiles near the banks of the Rio das Antas, located in Bairro Parque Primavera, Anápolis - GO. There was a good relationship between the average erodibility rate in the test, with what was observed in the field. The Inderbitzen test shows a good alternative for assessing soil erodibility in the region.

### **KEYWORDS:**

Inderbitzen; Erosion; Erodibility; Test; Water erosion.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Aparelho de Inderbitzen.....  | 16 |
| Figura 2 - Processos e formas erosivas.....                                    | 17 |
| Figura 3 - Erosão eólica Parque Estadual Vila Velha (ES).....                  | 18 |
| Figura 4 - Erosão causada pela cristalização de sais e pela ação do vento..... | 18 |
| Figura 5 – Erosão subterrânea ou <i>piping</i> .....                           | 20 |
| Figura 6 - Erosão em sulcos .....  | 21 |
| Figura 7 - Erosão em ravinas.....  | 22 |
| Figura 8 - Erosão tipo voçoroca .....  | 23 |
| Figura 9 - Tipo de voçorocas.....  | 24 |
| Figura 10 – Ensaio de desagregação por imersão total .....                     | 25 |
| Figura 11 – Ensaio de desagregação por imersão da base das amostras.....       | 26 |
| Figura 12 - Ensaio de desagregação imersão de 1/3 da altura da amostra .....   | 26 |
| Figura 13 – Ensaio desagregação imersão de 2/3 da altura da amostra .....      | 27 |
| Figura 14 – Esquema do equipamento de Inderbitzen elaborado por Bastos.....    | 29 |
| Figura 15 – Vista superior .....   | 31 |
| Figura 16 – Vista lateral .....  | 32 |
| Figura 17 – Erosão próxima ao Rio das Antas .....                              | 32 |
| Figura 18 – Delimitação do Bairro Parque das Primaveras.....                   | 33 |
| Figura 19 – Inclinação extremidade direita .....                               | 34 |
| Figura 20 – Inclinação extremidade central .....                               | 35 |
| Figura 21 – Inclinação extremidade esquerda .....                              | 35 |
| Figura 22 – Rampa hidráulica fixada na barra metálica.....                     | 37 |
| Figura 23 – Desenho de um triângulo .....                                      | 37 |
| Figura 24 – Base montada e pintada.....  | 38 |
| Figura 25 – Registro para o controle da vazão .....                            | 39 |
| Figura 26 – Cano de PVC com furos instalado a prancha.....                     | 40 |
| Figura 27 – Mangueira conectada ao aparelho.....                               | 40 |
| Figura 28 – Mapa do local de extração.....                                     | 41 |
| Figura 29 – Extração da amostra .....  | 42 |
| Figura 30 – Modelo de um cap.....  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 31 – Execução do ensaio .....                       | 44 |
| Figura 32 – Material sendo coletado em baldes .....        | 44 |
| Figura 33 – Peneiramento do material.....                  | 45 |
| Figura 34 – Perda de solo acumulado x tempo de ensaio..... | 46 |
| Figura 35 – Gráfico velocidade de erosão .....             | 47 |

## LISTA DE TABELA

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Iclinações e comprimento das extremidades .....                  | 34 |
| Tabela 2 – Resultados dos ensaios .....                                     | 46 |
| Tabela 3 – Classificação de perda de solos proposta por Campos (2014) ..... | 47 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|       |                   |
|-------|-------------------|
| cm    | Centímetros       |
| l/min | Litros por minuto |
| m     | Metros            |
| ml    | Mililitro         |
| mm    | Milímetro         |

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

|         |   |
|---------|---|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas técnicas        |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária     |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| NBR     | Normas Brasileiras                              |
| S       | Sul   |
| W       | Oeste   |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA.....  | 14        |
| 1.2 OBJETIVOS .....   | 14        |
| <b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>                         | <b>15</b> |
| 1.3 METODOLOGIA .....   | 15        |
| <br>  |           |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                            | <b>17</b> |
| 2.1 EROÇÃO CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES.....                      | 17        |
| <b>2.1.1 Erosão eólica .....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>2.1.2 Erosão hídrica.....</b>                                | <b>19</b> |
| 2.1.2.1 Erosão subterrânea ou <i>piping</i> .....               | 19        |
| 2.1.2.2 Sulcos.....   | 21        |
| 2.1.2.3 Ravinas.....  | 22        |
| 2.1.2.4 Voçorocas .....   | 23        |
| 2.2 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS .....     | 24        |
| <b>2.2.1 Ensaio de desegregação.....</b>                        | <b>24</b> |
| <b>2.2.2 Ensaio furo de agulha ou <i>pinhole test</i> .....</b> | <b>27</b> |
| <b>2.2.3 Ensaio do torrão - <i>crumb test</i>.....</b>          | <b>27</b> |
| <b>2.2.4 Ensaio de inderbitzen.....</b>                         | <b>28</b> |
| <br>  |           |
| <b>3 RESULTADOS .....</b>                                       | <b>30</b> |
| 3.1 ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO APARELHO .....                       | 30        |
| <b>3.1.1 Rampa hidráulica.....</b>                              | <b>30</b> |
| <b>3.1.2 Inclinação .....</b>                                   | <b>32</b> |
| <b>3.1.3 Base da rampa hidráulica.....</b>                      | <b>36</b> |
| <b>3.1.4 Vazão .....</b>  | <b>38</b> |
| 3.2 ETAPA DE CAMPO .....  | 41        |
| 3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO .....                                  | 43        |
| <br>  |           |
| <b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                              | <b>48</b> |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS .....</b> | <b>49</b> |
|--------------------------|-----------|

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Anápolis possui uma área de 933,156 km<sup>2</sup> e de acordo com o censo demográfico (IBGE, 2010), possuía em 2010 uma população de 334.613 habitantes. A cidade de Anápolis limita-se ao norte com os municípios de Pirenópolis e Abadiânia, a leste com o município de Silvânia, ao sul com o município de Leopoldo de Bulhões e Goianápolis e a oeste com os municípios de Nerópolis e Ouro Verde de Goiás. Possui uma bacia hidrográfica composta pelos ribeirões João Leite, Antas, Piancó e Padre Sousa.

De acordo com Corrêa (2005), o relevo de Anápolis é caracterizado por apresentar uma superfície suavemente ondulada, com cotas variando de 800m a 1160m, onde se destaca alguns morros com cotas superiores a 1100m. O clima da região é tropical úmido, caracterizado por duas estações bem definidas. Uma estação seca que vai de maio a setembro e uma estação úmida que vai de outubro a abril. A precipitação média durante a estação seca fica abaixo de 10mm mensais e 250mm durante a úmida, quando a média anual é de 1300mm concentrando nos meses de dezembro a março.

A erosão é um grave problema ambiental que causa vários tipos de danos à sociedade devido ao seu alto poder destrutivo, provoca situações de risco à população, causando prejuízos em diversas áreas das relações humanas, como assoreamentos dos reservatórios e cursos d'água com consequente perda da capacidade de armazenamento, ocasionando em inundações nos períodos de chuvas intensas. Além desses efeitos, a erosão pode ainda suscitar deslizamentos de encostas, redução das áreas disponíveis para agricultura ou urbanização, entre outros (SANT'ANA, 2012).

Para Tomasi (2015), a ação antrópica manifestada através de obras de engenharia executadas sem planejamento e preocupação ambiental, potencializa o processo de erosão e causa grandes prejuízos em áreas urbanas e rurais, tais como: a retirada da proteção do solo e o aumento do volume de enxurradas. O volume de solo erodido geralmente acaba sedimentando em cursos d'água como rios, lagos e reservatórios resultando no assoreamento dos mesmos.

A eliminação de terra férteis, a destruição de estradas e obras de engenharia, o risco de desmoronamentos de casas, o assoreamento de rios e reservatórios, o rebaixamento do lençol freático com a secagem de nascentes, a dificuldade de acesso em determinadas áreas, são algumas das consequências mais graves das erosões intensas. A prevenção é a melhor

maneira para se evitar o problema de erosão interna, pois sua eliminação quase sempre torna inviável após a sua instauração, restando apenas a estabilização como alternativa para evitar a intensificação do problema (MORAIS, *et al.* 2018).

Em uma forma de demonstrar como a erosão afeta a qualidade de vida dos moradores, Jesus e Camapum de Carvalho (2012) realizaram entrevistas com 264 moradores que residem entorno das erosões do tipo voçoroca, próximo a bacia do rio das Antas em Anápolis – GO. Concluíram com a pesquisa que a erosão foi citada por 72% das vezes como elemento que interfere negativamente no cotidiano de quem habita no local.

O equipamento de Inderbitzen, é um aparelho que consiste em uma rampa hidráulica produzida em chapa metálica e com um orifício central, o aparelho permite a verificação do comportamento erosivo diante de uma determinada declividade da rampa, também é utilizada uma vazão, assim simulando escoamentos provocados por precipitações.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O crescimento acelerado e pouco planejado das cidades vem trazendo graves problemas de ordem ambiental nos grandes centros urbanos, a construção civil é o principal agente modificador do meio ambiente, que após o término das obras tem dever de combater o impacto ambiental, utilizando métodos corretivos e expandindo técnicas, com o objetivo de favorecer o controle da erosão.

O laboratório de solos do Centro Tecnológico da UniEvangélica Anápolis – GO, ainda não possui um aparelho que determine o potencial erosivo do solo, com isso será construído o aparelho de Inderbitzen, no qual vai permanecer no laboratório de solos. Sua construção vai favorecer nas aulas de geotecnia da UniEvangélica, ajudar em pesquisas para elaboração de artigos e dissertações, já que a cidade de Anápolis possui alto potencial erosivo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Construir um equipamento de Inderbitzen para analisar a erodibilidade do solo e utilizando a ocorrência dos processos erosivos nas margens do Rio Antas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos :

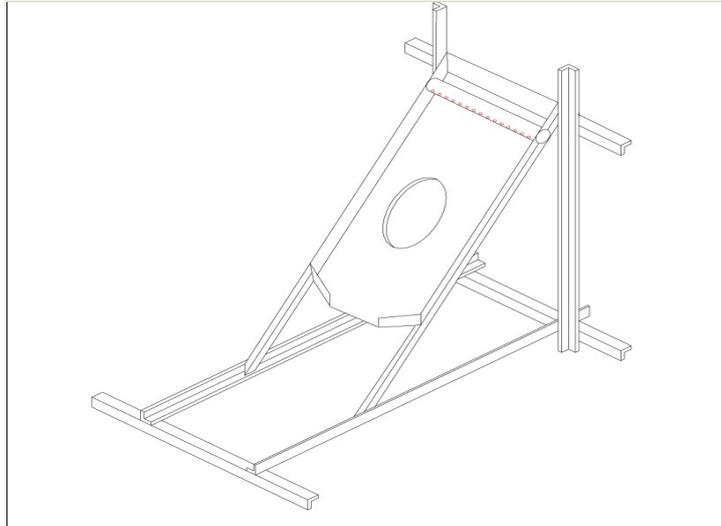
- Fazer uma revisão bibliográfica dos tipos de erosão e suas causas;
- Construir o aparelho de Inderbitzen para o laboratório de solos do Centro Tecnológico da UniEvangélica Anápolis-GO;
- Realizar a caracterização do solo das margens do rio das Antas, localizado no Bairro Primavera em Anápolis-GO, por meio do ensaio de Inderbitzen;

### 1.3 METODOLOGIA

Dimensionar e projetar o equipamento de Inderbitzen, no qual permanecerá no Centro Tecnológico da instituição para a realização de ensaios e classificação dos tipos de solos, revisando conteúdos em artigos, livros e dissertações. Realizar a coleta de solo na margem do rio das Antas, com coordenadas 16°21'10"S (latitude) e 48°58'20"W (longitude), e com altitude de 1011m.

Para a coleta do solo será necessário escavar de 50cm a 100cm de profundidade para retirada da matéria orgânica, após a coleta o material é levado para laboratório para realizar ensaios com o aparelho de Inderbitzen. Esse aparelho consiste em uma rampa hidráulica produzida em chapa metálica de 30cm de largura e 76cm de comprimento e com um orifício central de 15cm, conforme ilustra a Figura 1. O aparelho permite a verificação do comportamento erosivo diante da declividade de 10° da rampa, também é utilizada vazão de 3 l/min simulando escoamentos provocados por precipitações.

**Figura 1 – Aparelho de Inderbitzen**



Fonte: BASTOS, 1999

Apesar do aparelho de Inderbitzen não ser normatizado no Brasil, esse ensaio apresenta resultados satisfatórios na avaliação de erodibilidade dos solos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

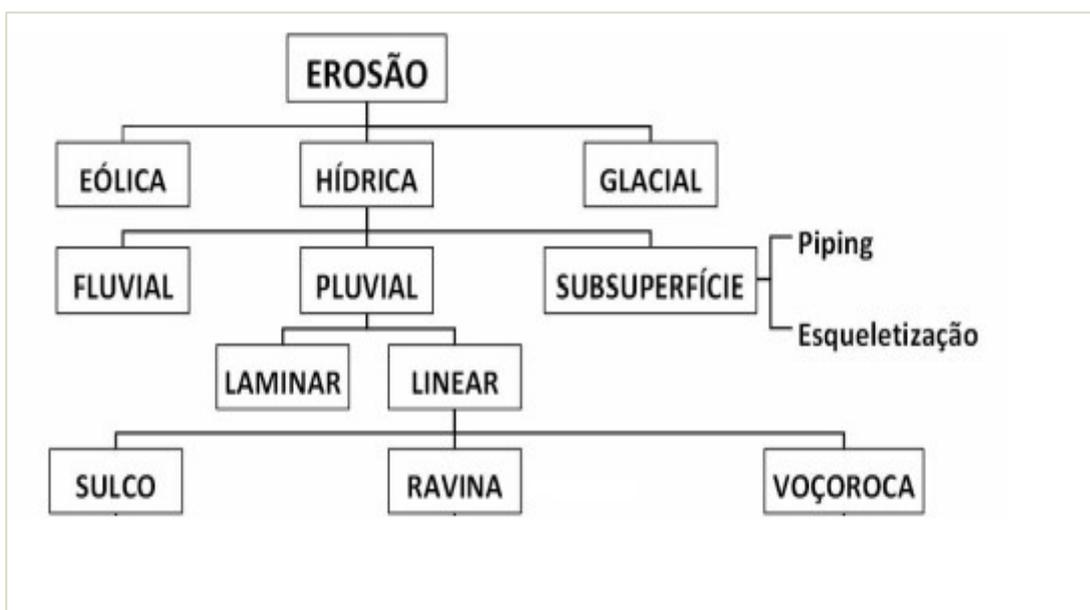
### 2.1 EROSÃO: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÕES.

Esse processo é entendido como um ciclo de alteração que acontece devido à atuação de fatores naturais e antrópicos. Fator natural resulta da ação da natureza sobre a superfície terrestre, modificando o solo lentamente através de seus agentes (os ventos, a água e as mudanças climáticas). O fator antrópico caracteriza como um processo rápido e destrutivo causado por desmatamentos, ocupação desordenada, técnicas agrícolas inadequadas etc., deixam os solos desprotegidos da cobertura vegetal (STEPHAN, 2010).

Segundo Bastos (1999), erosão provém do latim *erodere* cujo significado é corroer, separar, arrancar. De uma forma geral, podemos considerar erosão como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva.

De acordo com Jesus (2013) o processo da erosão envolve um conjunto de ações evolutivas; desagregação, transporte e sedimentação, que materializam com determinada aparência e estrutura permitindo distinguir as formas erosivas em sulcos, ravinas ou voçorocas (Figura 2).

Figura 2 – Processos e formas erosivas



Fonte: JESUS, 2013.

### 2.1.1 Erosão eólica

Consiste no transporte aéreo de partículas do solo pela ação do vento, ocorre em regiões planas, com baixo índice de chuva, onde a vegetação é escassa e sopram ventos fortes. Acontece em regiões de clima árido ou semi-árido ou em regiões que o período chuvoso é concentrado numa época do ano, com curta duração (Figura 3).

**Figura 3 – Erosão eólica Parque Estadual Vila Velha (ES)**



Fonte: COSTA, 2017.

Os principais danos provocados pela erosão eólica é o enterramento dos solos férteis, no Brasil ocorre com maior incidência no Rio Grande do Sul, na Bahia e na região Nordeste. Tratando dessa forma de erosão, a “*honey comb*” (favo de mel) é um tipo especial de erosão de origem da ação de sais da brisa marinha e das maresias (Figura 4).

**Figura 4 – Erosão causada pela ação da cristalização de sais e pela ação do vento**



Fonte: STEPHAN, 2010.

O contato com a superfície rochosa impregna nas microfaturas e evapora rapidamente pela ação do vento e sol. A evaporação gera concentração dos sais, iniciando o crescimento de cristais que desenvolvem pressões sobre os poros das rochas, causando seu enfraquecimento e por fim sua ruptura (STEPHAN, 2010).

### 2.1.2 Erosão hídrica

A erosão hídrica começa com a incidência das precipitações pluviométricas no solo provocando a desintregação dos agregados em partículas menores quando são atingidas por impactos direto das gotas de chuva. O impacto das gotas provocam o adensamento natural do solo, causando o selamento da superfície e com consequência reduzindo a capacidade de infiltração da água (CARDOSO, 2003).

De acordo com Stephan (2010), a erosão hídrica é provocada pela ação da chuva sobre o solo. A vegetação intercepta parte do volume precipitado, enquanto o restante atinge a superfície do solo, provocando seu umedecimento além de reduzir suas forças coesivas. Dependendo de uma série de fatores a água da chuva exercerá maior ou menor ação erosiva sobre o solo, entre os fatores podem-se destacar: as condições topográficas (declividade, área do terreno etc.), as características do solo (textura, estrutura, permeabilidade etc.), e o tipo de cobertura (mata, pastagens etc.).

As principais formas de erosão hídrica são: erosão subterrânea ou *piping*, sulcos, ravinas, voçorocas.

#### 2.1.2.1 Erosão subterrânea ou *piping*

Para Camapum de Carvalho, et al. (2006), *piping* é um fenômeno de erosão subterrânea no qual a percolação de água remove partículas do interior do solo formando cavidades de forma tubular avançando para o interior do solo (Figura 5).

**Figura 5 – Erosão subterrânea ou *piping***



Fonte: STEPHAN, 2010

A erosão subterrânea ou *piping* corresponde ao processo de formação de canais a partir das face de taludes ou encostas pelo carregamento das partículas, podendo evoluir para grandes cavidades no subsolo. A erosão em *piping* não se desenvolve apenas nas proximidades de taludes e pode se desenvolver a centenas de metros de distância da voçoroca, provocando o enfraquecimento do solo e estabelecendo regiões de percolação, além de provocar afundamentos de uma porção superficial do terreno, conhecido por subsidência.

De acordo com Camapum de Carvalho, et al. (2006), a erosão subterrânea pode ocorrer nas seguintes situações:

- Quando a força de percolação é maior que a resistência localizada do solo provando a ruptura hidráulica, causada pelas forças de percolação, ocorre principalmente nos locais de descarga, onde o gradiente atinge valor crítico e condições de liquefação, carregando as partículas do solo e provocando a abertura de pequenos orifícios, criando assim pequenas cavidades.
- Pelo aumento do gradiente hidráulico devido ao rebaixamento do nível d'água com o aprofundamento da voçoroca, com a formação de tubos dando origem à erosão subterrânea.
- Quando a fração grossa do solo não é filtro da fina, provocando o deslocamento desta última com descalçamento da primeira e favorecendo a formação de cavidades no interior do solo.

### 2.1.2.2 Sulcos

Para Camapum de Carvalho, et al. (2006), sulcos são pequenos canais, de até 10cm de profundidade gerados pela concentração do escoamento superficial. O aumento da concentração de água em determinados sulcos, pode provocar a evolução em ravinas ou voçorocas.

O transporte e a desagregação das partículas do solo na erosão em sulcos, tem sua origem pela ação das forças hidráulicas provocadas pelo escoamento superficial concentrado, originado pelas chuvas. A erosão em sulcos é extremamente severa em regiões onde as chuvas são intensas, muitas pesquisas definem sulcos como microcanais, pequenos bastantes podendo ser removidos por meio de operações em lavoura normal. Ocorre principalmente em áreas onde não há uso contínuo do solo, e em uma definição mais geral dos sulcos, são canais que ocorrem em declives maiores que 2-3 % ( BEZERRA, *et al.* 2010).

Para Reichert et al. (2001), a erosão em sulcos ocorre quando as forças de cisalhamento do escoamento são maiores que as forças coesivas do solo, nesse momento que ocorre a tensão crítica de cisalhamento. A erosão em sulcos é a resultante da interação da capacidade do escoamento em erodir e a capacidade do solo em resistir às forças de desagregação e transporte pela água. A erodibilidade em sulcos pode ser mais ou menos erodível, dependendo de suas características físicas, químicas e mineralógicas (Figura 6).

**Figura 6 – Erosão em sulcos**



Fonte: PENSAMENTO VERDE, 2017

### 2.1.2.3 Ravinas

As ravinas é o resultado do aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos pela ação contínua da ação cisalhante do escoamento. As ravinas tem somente escoamento superficial, o que as diferencia das voçorocas, assim seu escoamento superficial é o mesmo dos sulcos de erosão (LAFAYETTE, *et al.* 2011).

Franco (2015), considera o ravinamento como uma forma de erosão ocasionado por elevadas concentrações de escoamento que passa ano após ano, no mesmo sulco. O sulco aumenta pelo deslocamento das massas de solo, formando grandes cavidades em extensão e profundidade, essas cavidades podem atingir uma área superior a 20 hectares e mais de 5 metros de profundidade. O ravinamento corresponde ao canal do escoamento pluvial concentrado, apresentando traçado bem definido. Ao longo dos anos, o canal se aprofunda devido à erosão das enxurradas, que podem atingir alguns metros de profundidade (Figura 7).

**Figura 7 – Erosão em ravinas**



Fonte: STEPHAN, 2010

Quando os horizontes do solo apresentam consistência uniforme, a ravina é formada aproximadamente por paredes verticais, se o material do solo for favorável a fragmentação, tem a ocorrência de desmoramentos frequentes. Ravinas com paredes em formato de V,

ocorre quando o material dos horizontes mais profundos é mais resistente que o material do horizonte superficial (FRANCO, 2015).

#### 2.1.2.4 Voçorocas

No meio urbano, as voçorocas tem sua origem pela ampliação do volume e concentração de águas superficiais e pelos lançamentos inapropriados das denagens pluviais (CAMAPUM DE CARVALHO, et al. 2006). No meio rural, as voçorocas surgem e se desenvolvem pela alterações hidrológicas na bacia de drenagem, pelo desmatamento e nas modificações das taxas de infiltração e no regime de vazões.

Stephan (2010), voçoroca é o estágio mais avançado de erosão acelerada, corresponde à passagem gradual do processo de ravinamento, podendo até atingir o lençol freático. Vários processos estão presentes na voçoroca, podendo citar os relacionados com o escoamento pluvial (formação de sulcos), erosão subterrânea do solo, solopamentos e escoamentos dos solos (Figura 8).

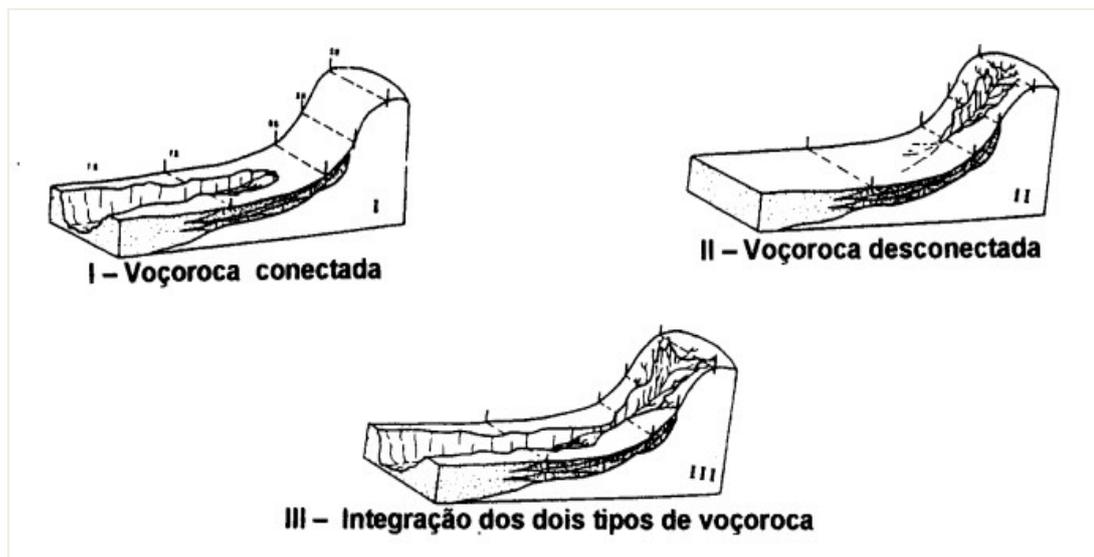
**Figura 8 – Erosão tipo voçoroca**



Fonte: EMBRAPA, 2005

As voçorocas podem ser classificadas em três tipos, segundo Vieira e Albuquerque (2004), sendo o tipo I – voçorocas que se encontram na parte jusante da encosta, tipo II – voçorocas que desenvolvem no topo da encosta sem contato com a rede de drenagem e, tipo III – voçorocas que desenvolve desde a parte alta da encosta até a parte baixa (Figura 9).

Figura 9 - Tipos de voçorocas



Fonte: VIEIRA E ABULQUERQUE, 2004.

Morais, et al. (2018), as voçorocas são resultantes de erosão superficial, erosão sub-superficial e movimentos de massa, esse processo ocorre pelo transporte de sedimentos causados pelas enxurradas das chuvas, transportando o material de um lugar para outro. A erosão e movimentos de massa resultam no desgaste e degradação da superfície, ambos são tratados separadamente, pois os movimentos de massa são movimentos de solo com a influência da gravidade sem a ajuda direta de fenômenos como água, vento entre outros. Movimento de massa é definido como a consequência da força de cisalhamento da escosta, provocada pela gravidade, onde o peso do material e a água dos solos conseguem ultrapassar a resistência dos materiais do solo (coesão), esses movimentos podem ser definidos em fluxos escorregamentos, deslizamentos e entre outro, dependendo do material e velocidade do movimento.

## 2.2 ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS

### 2.2.1 Ensaio de desagregação

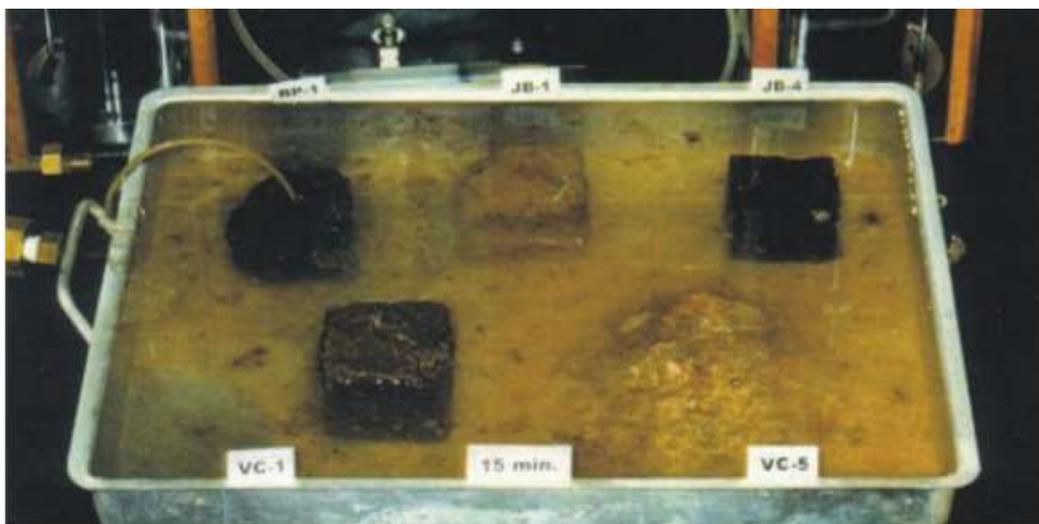
O ensaio de desagregação, conhecido como *Slaking test*, tem como objetivo verificar a estabilidade de uma amostra de solo indeformada quando a imersão de agregados em água.

A amostra tem forma cúbica ou cilíndrica, independente da dispersão do material, que possibilita a determinação da capacidade da água em desagregar o mesmo (BASTOS, 1999).

De acordo com Santos (1997), a realização do ensaio de desagregação, baseia-se na colocação de amostras de agregados dentro de uma bandeja com água, verificando-se as suas reações ao processo de submersão. O ensaio pode ser realizado de duas maneiras, inundação total e com inundação parcial, são colocados amostras moldadas em forma de cubos com 60 mm de aresta e colocados em duas bandejas.

Na primeira bandeja, a amostra é submetida a imersão total desde o início do ensaio, prosseguindo sob essa condição de submersa por 24 horas, na segunda bandeja, as amostras são colocadas primeiro sobre uma pedra porosa com nível d'água mantido na altura da base das amostras por um tempo de trinta minutos. Logo em seguida à altura da água é aumentada para 1/3 da altura do corpo de prova, 2/3 e a completa imersão das amostras, mantendo um intervalo de quinze minutos entre cada fase. Logo após a submersão total, o ensaio prosseguirá no período de 24 horas. Durante o ensaio, anotam-se observações quanto a desagregação do solo, se total ou em pedaços, ou se a amostra permanece intacta. A figura 10 apresenta as amostras submetidas à imersão total desde o início do ensaio após um período de quinze minutos.

**Figura 10 – Ensaio de desagregação por imersão total**



Fonte: SANTOS, 1997

As figuras seguintes mostram a evolução do ensaio realizado por etapas de imersão. Quando colocadas em contato com a água em suas bases (Figura 11), as amostras não apresentam desagregação.

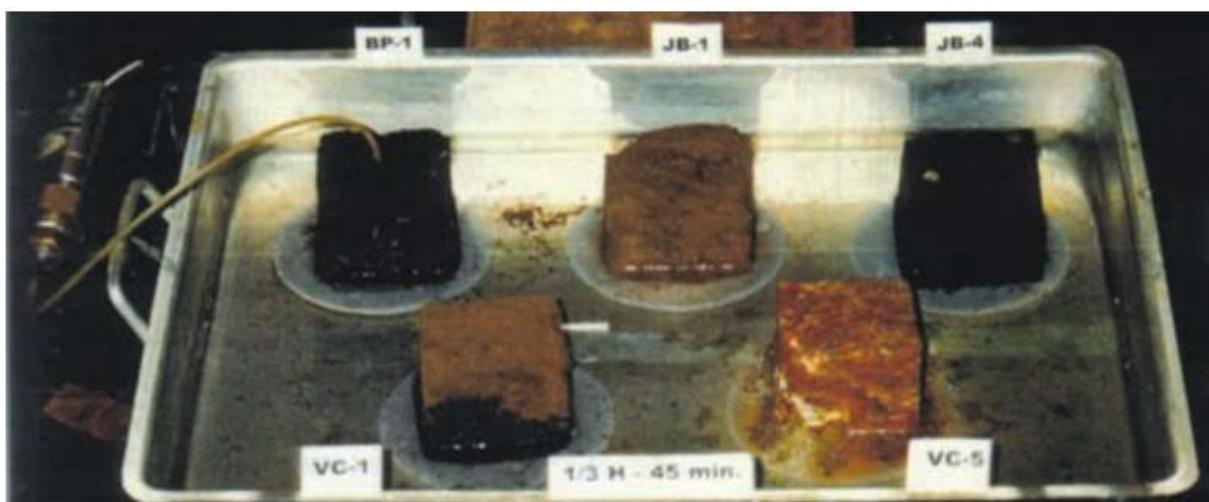
Figura 11 – Ensaio desagregação por imersão da base das amostras



Fonte: SANTOS, 1997.

Quando a inundação atinge 1/3 da altura das amostras (Figura 12), a amostra VC-5 começa a desagregar. Com 2/3 da inundação (Figura 13), a amostra VC-5 desagregou totalmente.

Figura 12 – Ensaio desagregação imersão de 1/3 da altura das amostras



Fonte: SANTOS, 1997.

Figura 13 – Ensaio desagregação imersão de 2/3 da altura das amostras



Fonte: SANTOS, 1997

### 2.2.2 Ensaio furo de agulha ou *pinhole test*

Esse ensaio possui o objetivo principal avaliar o comportamento de solos argilosos quanto à erosão hídrica, avaliando o fluxo de água destilada que será possível devido ao furo da agulha. Nesse ensaio são avaliadas algumas interpetrações quando aplicada uma carga hidráulica a fim de penetrar a porção de solo com uma agulha, com isso é possível analisar a carga utilizada, medir a vazão do líquido que passa a amostra pelo furo, quais foram as dimensões resultantes dessa penetração (SILVA, 2016).

Esse ensaio consiste em fazer a água percolar sob uma certa carga hidráulica, através de um furo de 1 mm de diâmetro feito no centro de um corpo de prova, na tentativa de simular o efeito *piping*. Este ensaio encontra normatizado no Brasil na NBR 14114/98 da ABNT.

O corpo de prova é submetido a uma carga hidráulica inicial de 50 mm, permanecendo num período de doze horas, de modo a propiciar a saturação. O corpo de prova é submetido progressivamente em intervalos de cinco minutos às cargas hidráulicas de 180 mm, 380 mm e 1020 mm, e cada aumento da carga hidráulica, é determinada a vazão e verificada a turbidez da água.

### 2.2.3 Ensaio do torrão - *crumb test*

De acordo com Silva (2016), o ensaio *crumb test* consiste em uma avaliação visual, onde é realizado observações no comportamento de amostras imersas em água destilada e devido as perdas de massa quando está imersa, sendo necessário outros ensaios para obter

uma análise mais precisa. Mas esse ensaio é utilizado em razão da facilidade e velocidade em alcançar os resultados.

O ensaio do *crumb test* consiste na colocação de uma porção de solo ( em torno de 2 gramas) em um béquer contendo cerca de 100 a 150 ml de água destilada. A amostra deve permanecer no béquer durante 1 hora , nesse tempo decorrido deve-se verificar a capacidade da partícula se desprender ao redor da amostra imersa (CAMAPUM DE CARVALHO, *et al.* 2006).

De acordo com NBR 13601/96, a partir da tendência de desprendimento de partículas de solo, é possível classificar as amostras em :

- Grau 1 – comportamento não dispersivo: o torrão de solo pode aborver a água, sofrer esboroamento e esparramar-se no fundo do béquer, formando uma pilha achatada, mas não se observa sinal de turvação no líquido.
- Grau 2 – comportamento levemente dispersivo: há indícios de turvação na água, próximos à superfície do torrão.
- Grau 3 – comportamento moderadamente dispersivo: observa uma nuvem de colóides em suspensão, geralmente finos e espalhando-se no fundo do béquer.
- Grau 4 – Comportamento fortemente dispersivo: observa-se uma nuvem coloidal, geralmente uma película muito fina, cobrindo quase todo o fundo do béquer.

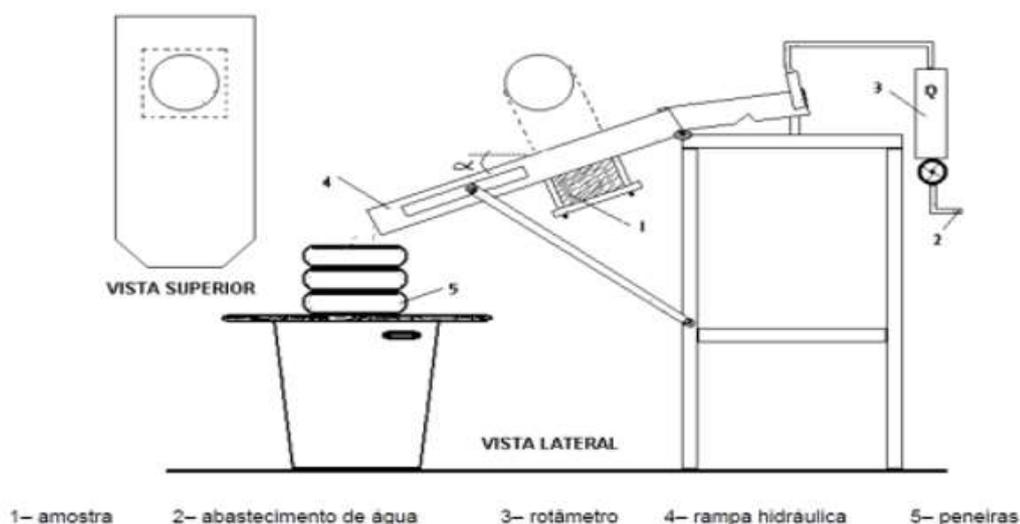
A NBR 13601/96 classifica o solo como não dispersivo quando se atribui ao comportamento dos torrões de grau 1 ou 2. Quando for atribuído grau 3 ou 4, o solo é caracterizado como dispersivo.

#### **2.2.4 Ensaio de inderbitzen**

O ensaio de inderbizen, também conhecido como erosômetro ou ensaio de erosão é o mais utilizado dentre os ensaios em canais hidráulicos no meio geotécnico, sendo estudado e aplicado por diversos pesquisadores com Fácio (1991), Bastos (1999), entre outros. Fundamentado em métodos empíricos, apesar de não ser normatizado esse ensaio apresenta resultados satisfatórios na avaliação da erodibilidade dos solos, consiste em um ensaio de simples execução e baixo custo de implementação (TOMASI, 2015).

Bastos (1999), desenvolveu um novo equipamento para a realização do ensaio de inderbitzen. O novo dispositivo consiste em uma hidráulica em chapa metálica e modificada para as dimensões de 25 centímetros de largura e 60 centímetros de comprimento, com um orifício central de 10 centímetros de diâmetro. O autor utilizou amostras em três condições de umidade diferentes: umidade natural, seca ao ar e pré-umidecida. A figura 14 mostra o modelo elaborado por Bastos.

**Figura 14 – Esquema do equipamento de inderbitzen elaborado por Bastos**



Fonte: BASTOS, 1999

O equipamento elaborado por Bastos (1999) permite verificar o comportamento erosivo pela variação na declividade da rampa, o ajuste na base da rampa possibilita ensaios com inclinações de 10°, 26°, 45° e 54°, na proposta do autor são utilizadas vazões de escoamentos de 3 l/min e 6 l/min e um tempo de 20 minutos para obtenção de resultados satisfatórios.

### 3 RESULTADOS

Nessa seção será apresentada a metodologia aplicada a este trabalho que divide-se em três etapas denominadas: etapa de construção do aparelho, etapa de campo e etapa de laboratório.

#### 3.1 ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO APARELHO

##### 3.1.1 Rampa hidráulica

Inderbitzen (1961) apresentou em seu estudo “*An erosion test for soils*”, a concepção original de um método de ensaio para avaliação da erodibilidade do solo através do uso de um canal hidráulico artificial. Inicialmente o autor idealizou um equipamento com a finalidade de monitorar o volume de perdas de solos em decorrência dos processos erosivos provocados pela água.

O equipamento original consiste em uma rampa hidráulica com inclinação conhecida, onde se coloca um orifício no qual se insere a amostra de solo, simulando condições de escoamento superficial com vazão controlada. No ensaio proposto projetou o equipamento de forma a possibilitar a verificação da influência de diversos fatores dos processos erosivos como a declividade de rampa, a vazão e duração do fluxo de água. O aparelho para realização do ensaio de Inderbitzen é simples de ser construído e de baixo custo, além de ser fácil, rápido e tem sido promissor na avaliação da erodibilidade dos solos.

Com o objetivo de estudar os graves problemas causados pela erosão hídrica verificados na cidade de Anápolis – Goiás, principalmente no Bairro Parque das Primaveras, será construído no laboratório de solos do Centro Tecnológico da UniEvangélica, um equipamento para realizar ensaios de Inderbitzen.

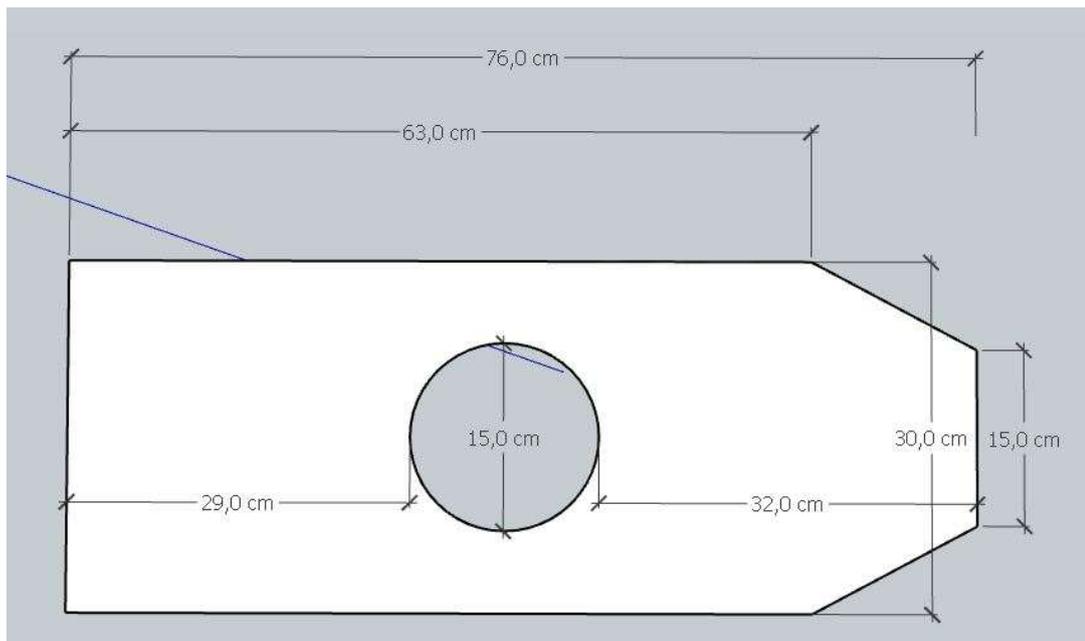
Para construção da rampa hidráulica adotou-se as recomendações de Bastos (1999) para construção são necessários os seguintes materiais:

- chapa metálica;
- 2,30 m de barra metálica;
- 2 Cap PVC 150 mm;
- tinta;
- 60 cm de cano 25 mm;
- 1 curva de 25 mm;

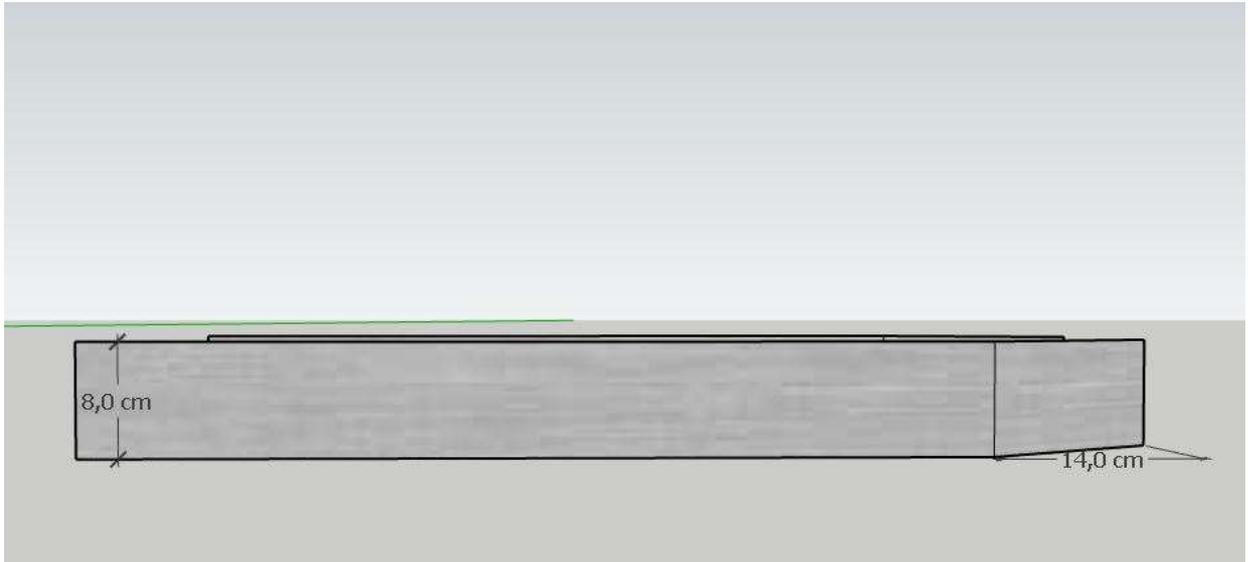
- 1 cap de 25 mm;
- Mangueira (neste trabalho utilizou-se 25 m, comprimento da mangueira existente na casa dos autores, em outros locais deve-se utilizar um comprimento necessário do registro até o equipamento).

Com orientações de Bastos (1999), deve-se cortar uma chapa metálica retangular (base= 46cm e comprimento= 76cm), essa chapa será cortada e dobrada como mostra as Figura 15 e Figura 16. Esta rampa é dotada de um orifício central, de 15cm de diâmetro, no qual é acoplada uma amostra de solo em um Cap ( tampão de canos de PVC). Os Cap de amostragem em PVC, para esse ensaio, tem 15 cm de diâmetro e 7 cm de altura e são posicionados no orifício de maneira que a face superior da amostra coincida com o plano da rampa.

**Figura 15 – Vista superior**



Fonte: SkecthUp, 2020.

**Figura 16 – Vista lateral**

Fonte: SkecthUp, 2020.

### 3.1.2 Inclinação

Bastos (1999) utilizou as declividades variando de  $10^\circ$  a  $54^\circ$ , que segundo o autor depende das declividades da região buscando simular os taludes envolvidos na pesquisa.

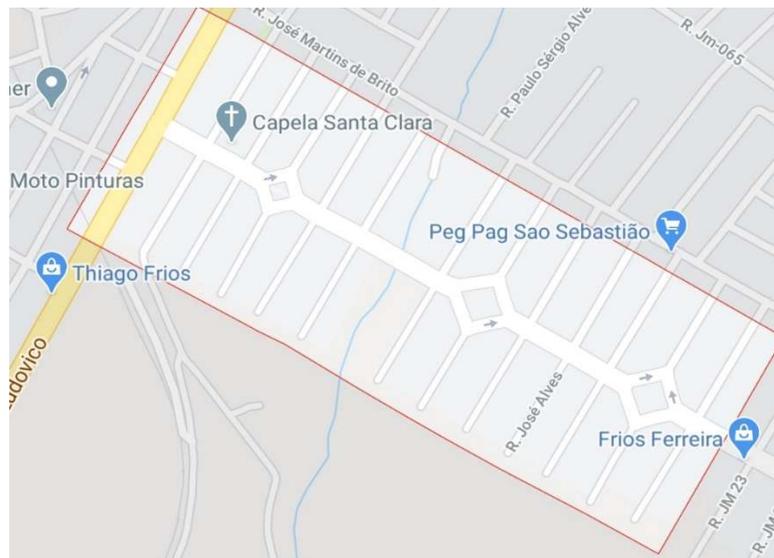
A área escolhida para o estudo: Bairro Parque das Primavera no qual é circundado pela Avenida Pedro Ludovico e pelas Ruas José Martins de Brito e Alberto de Paiva, próximo a Capela de Santa Clara. Esse local foi escolhido devido a uma grave erosão, em que situa-se próximo ao rio da Antas. conforme a Figura 17.

**Figura 17 – Erosão próxima ao rio das Antas**

Fonte: Próprios autores, 2020.

De forma a simular a declividade da área estudada, foi utilizado o Google Earth. A Figura 18 mostra a delimitação do bairro Parque Primavera.

**Figura 18 – Delimitação do bairro Parque das Primavera.**



Fonte: Google Earth, 2020.

Utilizando a delimitação do bairro mostrado na Figura 18, foram feitas 3 medidas de inclinação do terreno com o auxílio da ferramenta Google Earth (2020). A primeira foi feita na extremidade direita (Figura 19), a segunda na extremidade central (Figura 20) e a terceira na extremidade esquerda (Figura 21).

A inclinação do terreno também foi medida com o auxílio da ferramenta do Google Earth (2020), as medições também foram realização nas três extremidades. Percebe-se que a inclinação aumenta dentro do Bairro no sentido leste, onde nas três extremidades a Avenida Pedro Ludovico tem-se a menor inclinação comparado com a Rua Alberto de Paiva, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Inclinações e comprimento das extremidades

|                              | Extremidade Direta | Extremidade Central | Extremidade Esquerda |
|------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Comprimento (m)</b>       | 894                | 870                 | 878                  |
| <b>Inclinação Máxima (%)</b> | 13                 | 13,3                | 13,7                 |
| <b>Inclinação Mínima (%)</b> | 0,1                | 0,2                 | 0,7                  |
| <b>Inclinação Média (%)</b>  | 9,2                | 9,4                 | 8,8                  |

Fonte: Próprios autores, 2020.

A Figura 18 mostra a realização da medida da extremidade direita e foi obtida através do gráfico do Google Earth (2020) uma inclinação máxima de 12%. Observou-se que nessa extremidade a inclinação aumentou no sentido da Avenida Pedro Ludovico à Rua Alberto de Paiva.

Figura 19 – Inclinação extremidade direita



Fonte: Google Earth, 2020.

Realizando a medição na extremidade central, Figura 19, foi obtida uma inclinação máxima de 13,3%. Observou-se que nessa extremidade a inclinação aumentou no sentido da Avenida Pedro Ludovico à Rua Alberto de Paiva.

**Figura 20 – Inclinação extremidade central**



Fonte: Google Earth, 2020.

E por último foi obtida a inclinação máxima de 13,7%, na extremidade esquerda. Como mostra a Figura 20.

**Figura 21 – Inclinação extremidade esquerda**



Fonte: Google Earth, 2020.

A inclinação adotada foi a máxima da extremidade esquerda, com o valor de 13,7%. Pois, quanto maior a inclinação do terreno maior será a velocidade do escoamento superficial, assim com a possibilidade de provocar um processo erosivo. De posse da inclinação do terreno adotada, deve-se calcular a inclinação da prancha pela Equação 1.

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}\left(\frac{i}{100}\right) \\ \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{13,7}{100}\right) \\ \theta &= 7,80^\circ\end{aligned}\quad \text{Equação (1).}$$

Em que:

$\theta$  = ângulo de inclinação (graus);

$\tan^{-1}$  = tangente inversa;

$i$  = inclinação do terreno (porcentagem).

Os autores como Bastos (1999), Fragassi (2001), Santos (2001), Ramidan (2003), Paiva (2004), Menezes et al. (2006) e Mendes (2006), com o objetivo de aprimorar a qualidade dos resultados obtidos no aparelho de Inderbitzen utilizaram inclinação mínima de 10°, assim a inclinação encontrada de 7,80° será utilizada inclinação de 10°, que foi utilizada pelos autores citados acima.

### 3.1.3 Base da rampa hidráulica

Para construção da base da rampa, optou-se por uma seção transversal de formato triangular. Foi usado uma barra de material metálico com um comprimento total de 106cm. Foi acrescido 30cm no comprimento da rampa, no qual 15cm na parte traseira e 15cm na parte frontal, esse aumento na parte traseira será para o encaixe de um cano de PVC e na parte frontal será para facilitar a coleta do material do ensaio. A Figura 22 mostra a rampa presa a barra metálica.

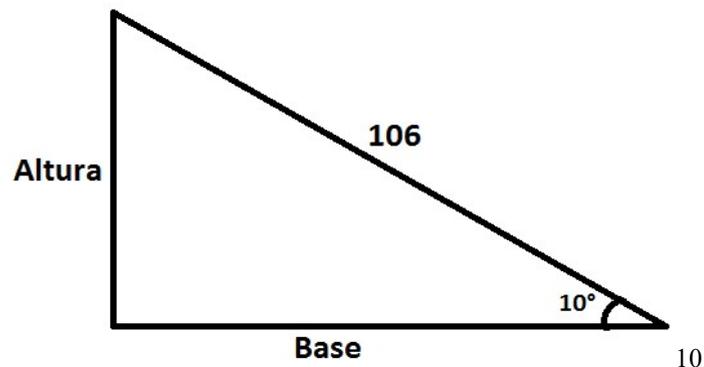
**Figura 22 – Rampa hidráulica fixada na barra metálica.**



Fonte: Próprios Autores, 2020.

Sabendo que o comprimento da parte inclinada é de 106 cm e a inclinação da base do triângulo é equivalente a  $10^\circ$ , conforme a Figura 23. Falta calcular a altura e a base, essas serão feitas, respectivamente, com a Equação 2 e Equação 3.

**Figura 23 – Desenho de um triângulo.**



Fonte: Próprios autores, 2020.

Conhecendo a inclinação e o comprimento da barra inclinada e fazendo uso da equação da função trigonométrica (seno), Equação 2, é possível calcular a altura em que a prancha pode ser fixada.

$$\sin \theta = \frac{\textit{altura}}{\textit{barra inclinada}}$$

$$\sin 10^\circ = \frac{\textit{altura}}{106}$$

$$\textit{altura} = 18,4\textit{cm}$$

Equação (2).

Após encontrar a altura, utilizando a equação da função trigonométrica (cosseno), Equação 3, é possível encontrar a base em que a rampa será fixada.

$$\cos \theta = \frac{\textit{base}}{\textit{barra inclinada}}$$

$$\cos 10^\circ = \frac{\textit{base}}{106}$$

$$\textit{base} = 104,4\textit{cm}$$

Equação (3).

Encontrando as medidas da altura e da base, foi soldado a base, a altura e o comprimento da barra inclinada, assim formando uma base triangular como mostra a Figura 24.

**Figura 24 – Base montada e pintada**



Fonte: Próprios Autores, 2020.

### 3.1.4 Vazão

O fluxo de água a ser simulado é alimentado diretamente da rede de distribuição de água fornecido pela concessionária e o controle da abertura do fluxo é feito através de um registro (Figura 25).

**Figura 25 – Registro para o controle da vazão**



Fonte: Próprios autores, 2020.

Utilizando as orientações de Bastos (1999) a vazão adotada será de 3 l/min. O controle da vazão foi realizado na residência dos autores, esses testes para controle consistiu em monitorar o fluxo de água escoado no intervalo de 1 minuto, após vários testes chegou ao resultado, em que  $\frac{3}{4}$  de volta no registro da residência alcançou a vazão de 3 l/min. Quando o equipamento for levado para o laboratório de solos do Centro Tecnológico da UniEvangélica deve-se fazer o controle da vazão. Devido a quarentena não foi possível realizar o ensaio no laboratório de solos.

Realizou-se um corte cano de PVC 25 mm, com comprimento trasnversal de 28 cm, em que de um lado foi utilizado um cap de 25 mm e no outro lado uma curva de 25 mm. Após o corte e instalação do cap e da curva foi a realizado com o auxílio de uma furadeira, 8 furos com diâmetro de 6 mm (Figura 26).

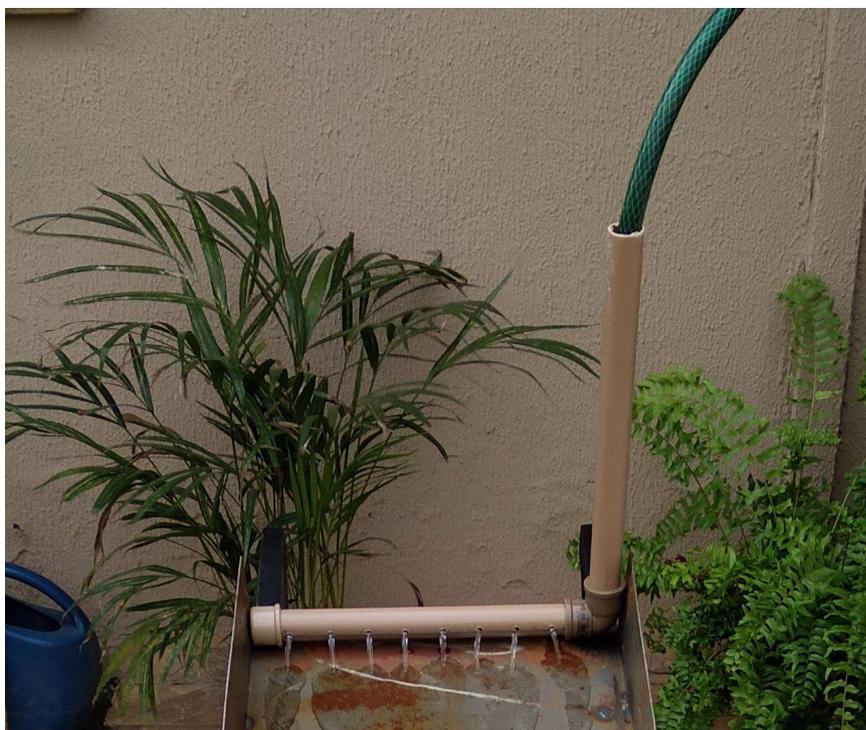
**Figura 26 – Cano de PVC com furos instalado a prancha.**



Fonte: Próprios Autores, 2020.

Com a vazão controlada e a mangueira conectada ao registro conforme a Figura 25, foi conectado o cano de 25 mm de PVC, com comprimento de 32 cm, ao cano com furos de acordo com a Figura 26. A Figura 27 mostra a conexão com o registro.

**Figura 27 – Mangueira conectada ao aparelho**



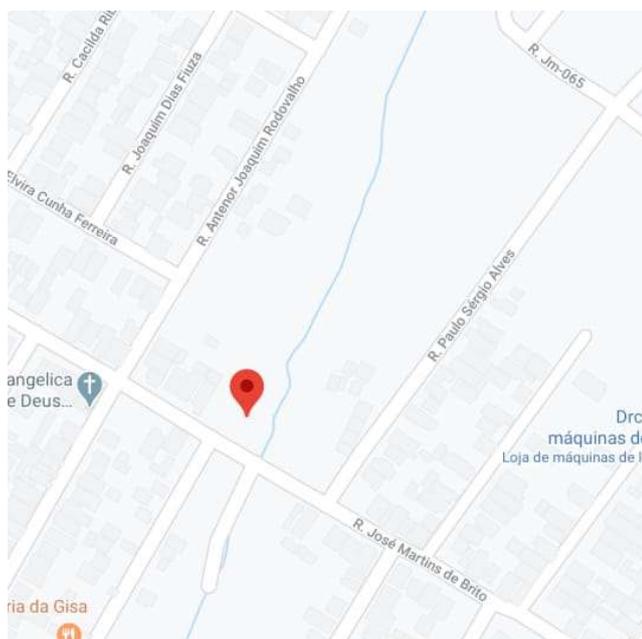
Fonte: Próprios autores, 2020.

### 3.2 ETAPA DE CAMPO

Após o período relativo ao estudo da bibliografia, com a compreensão dos conceitos e metodologias existentes, procedeu-se a etapa de campo, tendo como objetivo a coleta de material para a execução de ensaios.

Foram coletadas duas amostras de solo inderformadas, em que uma amostra foi utilizada para realização de teste e outra para o devido ensaio. Essas amostras foram cuidadosamente retiradas e transportadas a fim de manter as características naturais do material o mais inalteradas possível para posterior realização dos ensaios. O ponto de extração situa-se nas coordenadas  $16^{\circ}21'10''S$  (latitude) e  $48^{\circ}58'20''W$  (longitude), conforme a figura 28.

**Figura 28 - Mapa do local de extração**



Fonte: Google Earth, 2020.

Nesta etapa de campo, foram coletadas amostras inderformadas (Figura 29) que conservam as condições de campo quanto à estrutura. Estas amostras foram submetidas a análise tátil visual. Onde percebe-se se tratar de solo arenoso, com coloração predominante de marrom escuro e alta umidade.

**Figura 29 – Extração da amostra**



Fonte: Próprios Autores, 2020.

As amostras inderformadas coletadas foram destinadas à realização do ensaio de determinação da erodibilidade dos solos – ensaio de Inderbitzen, proposto por Inderbitzen (1961). Para realização do ensaio de Inderbitzen, foram utilizados caps em PVC com diâmetro de 15cm e altura de 7cm para a coleta de amostras, Figura 30.

**Figura 30 – Modelo de um Cap**



Fonte: Próprios Autores, 2020.

### 3.3 ETAPA DE LABORATÓRIO

O sistema de coleta e de seleção do material erodido é constituído por baldes plásticos posicionados na extremidade final da rampa para receber o fluxo de água contendo sedimentos. Para seleção do material, é utilizado um conjunto de peneiras em que o conteúdo dos baldes é despejado para posterior pesagem do que foi retido. Fazem parte do conjunto peneiras de malhas 4,8 mm (peneira #4); 2,0 mm (peneira #10); 0,42 mm (peneira #40) e, por fim, 0,074 mm (peneira #200). O passo a passo para realização do ensaio são descritos abaixo:

- O cap de PVC contendo a amostra de solo é fixada no orifício central da rampa, observando e garantindo o nivelamento da face superior do cap com o plano da rampa.
- O ensaio é iniciado liberando o fluxo de água que segue através da rampa metálica, erodindo o solo da amostra e carreando-o ao longo da rampa metálica (Figura 31), até ser depositado em um balde colocado abaixo da extremidade da rampa (Figura 32).

A Figura 31 mostra que nos minutos iniciais o solo já começa a erodir e o fluxo laminar de água carrega o material erodido e que será coletado no balde abaixo da extremidade da rampa, conforme a Figura 32.

**Figura 31 – Execução do ensaio.**



Fonte: Próprios autores, 2020.

**Figura 32 – Material sendo coletado em baldes**



Fonte: Próprios autores, 2020.

- O material erodido é coletado por baldes que são substituídos quando o tempo de ensaio chega a 1, 5, 10 e 20 minutos, respectivamente.

- Após a finalização do fluxo, aos 20 minutos, o material coletado nos baldes é passado pelo conjunto de peneiras do ensaio, para determinação do material retido.
- O material coletado no tempo de 1 minuto (Figura 33), é passado no conjunto de peneiras e o material retido é armazenado em um recipiente e levado para secar, deve-se fazer essa etapa para o material coletado no tempo de ensaio de 5, 10 e 20 minutos.

A Figura 29 mostra o peneiramento do material erodido, que foi coletado em 1 minuto de ensaio

**Figura 33 – Peneiramento do material**



Fonte: Próprios autores, 2020.

- O material foi secado natural em um período de 72 horas, em que durante esse tempo foi feita pesagem observado em que o peso do material não tivesse alteração de peso.

Em relação ao desfecho do ensaio de Inderbitzen, gerou-se resultados que foram registrados na Tabela 2.

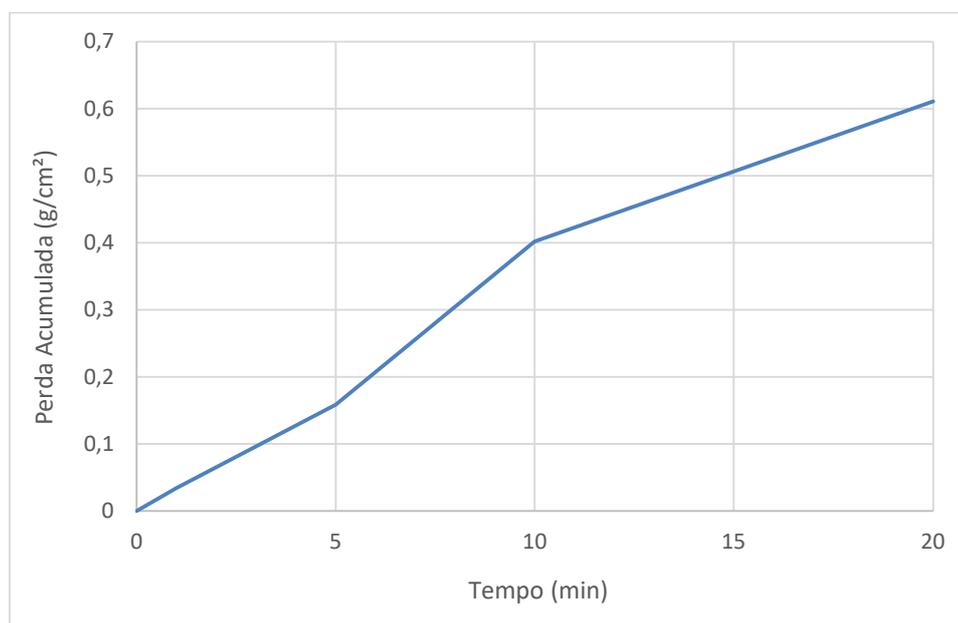
**Tabela 2 – Resultados dos ensaios**

| Tempo (min) | Perda de Solo (g) | Perda de Solo ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | Perda Acumulada (g) | Perda Acumulada ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | Velocidade ( $\text{g}/\text{cm}^2/\text{hora}$ ) |
|-------------|-------------------|--|---------------------|--|---|
| 0           |                   |  |                     | 0  | 0,00  |
| 1           | 6                 | 0,03                                     | 6                   | 0,03                                       | 2,04  |
| 5           | 22                | 0,12                                     | 28                  | 0,16                                       | 1,90  |
| 10          | 43                | 0,24                                     | 71                  | 0,40                                       | 2,41  |
| 20          | 37                | 0,21                                     | 108                 | 0,61                                       | 1,83  |

Fonte: Próprios autores, 2020.

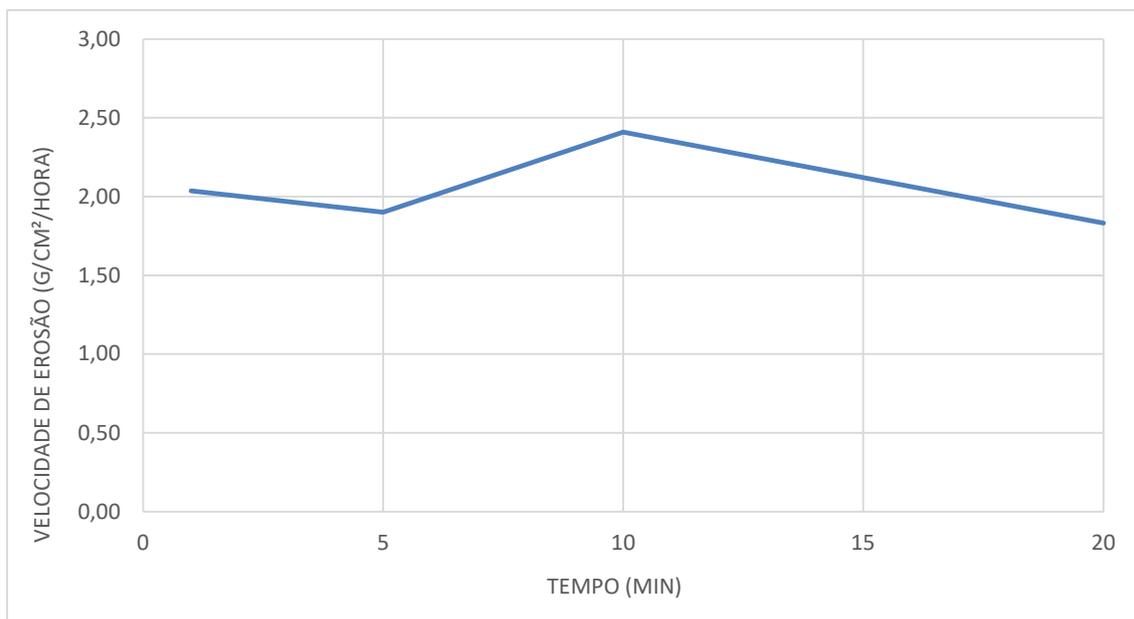
Com posse dos dados da Tabela 2, foi gerado o gráfico, relação de perda de solo acumulado por unidade de área ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) por tempo de ensaio (minutos), conforme Figura 34.

**Figura 34- Perda de solo acumulado x tempo de ensaio.**



Fonte: Próprios autores, 2020.

Ainda utilizando dados da Tabela 2, o gráfico da Figura 35 mostra a velocidade de erosão, esse gráfico é expresso pela relação de velocidade de erosão ( $\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$ ) por tempo de ensaio ( minutos).

**Figura 35 – Gráfico velocidade de erosão.**

Fonte: Próprios autores, 2020.

Com a média de perdas de solos por minuto, Campos (2014), considerou que valores abaixo de 0,001 g/cm<sup>2</sup>/min perda de solo baixa e valores acima de 0,1 g/cm<sup>2</sup>/min como perda de solo alta. A Tabela 3 mostra a classificação da perda de solo.

**Tabela 3 – Classificação de perda de solos proposta por Campos (2014).**

| Perda de solo (g/cm <sup>2</sup> /min) | Classificação |
|--|---------------|
| Abaixo de 0,001                        | Baixa         |
| 0,001 a 0,1                            | Média         |
| Acima de 0,1                           | Alta          |

Fonte: CAMPOS, 2014.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o gráfico da Figura 35 concluiu-se que no intervalo de 10 minutos a velocidade de erosão foi o maior valor encontrado, foi constatado uma velocidade de 2,41 g/cm<sup>2</sup>/h. Esse valor está relacionado com a maior perda no ensaio observado na Tabela 2, que foi no intervalo de 10 minuto.

Observando a Tabela 3 de Campos (2014), a média de perda de solo (g/cm<sup>2</sup>/min) nesse trabalho de acordo com a Tabela 2 foi de 0,15 g/cm<sup>2</sup>/min e constatou-se um solo com alto índice de perda.

Após a análise tátil constatou um solo arenoso, de maneira em geral solos arenosos, embora apresentem alta permeabilidade, são mais susceptíveis à erosão, sendo considerados solos com alta erodibilidade.

Para pesquisas futuras, espera-se calcular e dimensionar um reservatório para que atenda a vazão de 3 l/min. Outra proposta consiste em determinar se variação de inclinação pode mudar o fator erosivo do solo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (*crumb test*): NBR13601.** 1996
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solos - Solos argilosos dispersivos – Identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (*pinhole test*): NBR14114.** 1998
- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; FILHO, M. C. & SOUZA, W. L. S. **Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil.** Programa de Pós- Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUSA, N. M. & MELO, M. T. S. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro.** Finatec, Brasília, DF, 499p.
- CAMPOS, C. J. M. **Avaliação da erodibilidade pelo método Inderbitzen em solo não saturado da região de Bauru – SP.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2004.
- CARDOSO, D. P. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- CORRÊA, F. M. **Impactos antrópicos sobre a qualidade da água no rio das Antas na área urbana da cidade de Anápolis-Goiás.** Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- FÁCIO, J. A. **Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 1991.
- FRAGASSI, P. F. M. **Estudo da Erodibilidade dos solos residuais de gnaiss da Serra de São Geraldo e de Viçosa (MG).** Dissertação ( Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- FRANCO, M. R. S. **Formação de ravinas: significância para a perda de solo por erosão hídrica.** Dissertação ( Mestrado em Gestão dos Recursos Florestais) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2015.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). **Censo Demográfico 2010.** Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/anapolis/panorama>>. Acesso em: 29 de setembro de 2019.

INDERBITZEN, A. L. An erosion test for soils. **Materials Research & Standards**, Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1961.

JESUS, A. S. **Investigação multidisciplinar de processos erosivos lineares: Estudo de caso da cidade de Anápolis – GO**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

JESUS, A. S. & CAMAPUM DE CARVALHO, J. **Processos erosivos em área urbana e as implicações na qualidade de vida**. Boletim Goiano De Geografia, v.37, n 1, p.1 - 17. 2017.

LAFAYETTE, K. P. V.; CANTALICE, J. R. B. & COUTINHO, R. Q. **Resistência à erosão em ravinas, em latossolo argiloarenoso**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MENDES, C. A. R. **Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim – RJ**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MENEZES, S. M.; CARVALHO, D.; ALBUQUERQUE, P. J. R. Estudo da erodibilidade de solos em encostas no sudeste do Brasil. **Rev. Tecn.**, Fortaleza, v. 27, n. 1, p. 58-63, junho, 2006.

MORAIS, D. S.; GRILLI, L.; CLEMENTE, M. V. R.; LACERDA, R.; SANTOS, W. & ARAUJO, G. L. **Análise e métodos de estabilização de voçoroca na cidade de Ipanema-MG**. IV Seminário Científico da FACIG, p.1-10, Ipanema, 2018.

PAIVA, C. F. E. **Avaliação da erodibilidade de alguns horizontes residuais pertencentes a Bacia do Córrego Sujo (Teresópolis, RJ)**. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2004.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2003.

REICHERT, J. M.; SCHAFER, M. J. & REINERT, D. J. **Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo**. Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SANT'ANA, K. D. A. **Diagnóstico ambiental do meio físico do campo de instrução de Santa Maria (CISM)**. Dissertação Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2012.

SANTOS, C. A. **Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto – Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2001.

SANTOS, R. M. M. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões do município de Goiânia.** Dissertação em Mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

SILVA, M. S. L. **Estudos da erosão.** Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Petrolina -PE, 1995.

STEPHAN, A. M. **Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de inderbitzen.** Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010

TOMASI, L. F. **Ensaio de inderbitzen para avaliação da erodibilidade dos solos e rochas: aplicação nas regiões de Santa Maria, São Francisco de Assis e Porto Alegre/RS.** Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015

VIEIRA, A. F. G. & ALBUQUERQUE, A. R. C. **Cadastramento de voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR-174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo).** V Simpósio Nacional de Geomorfologia. Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2004.