

# DISPOSITIVO DE AUTOMAÇÃO NA COLETA DE DADOS DE SEDIMENTOS EM PARCELAS EXPERIMENTAIS DE MONITORAMENTO DA EROÇÃO HÍDRICA

Pedro Henrique Silveira Abdala Mamud<sup>(1)</sup>, Ivys Frascisco de Moura Domingues<sup>(2)</sup>,  
Diego Cardoso Fuzatto<sup>(3)</sup> e Marx Leandro Naves Silva<sup>(4)</sup>

(1) Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

(2) Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

(3) Universidade Federal de Lavras, Departamento de Física, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

(4) Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

## ***Highlights:***

- A importância da interdisciplinaridade da engenharia física na aplicação de instrumentação em outras áreas da ciência.
- A aplicação de novos dispositivos para o auxílio de projetos de conservação de solo.
- Desenvolvimento de dispositivo para automação na coleta de dados de perdas de solo.

## **RESUMO**

O estudo e desenvolvimento de dispositivos para auxiliar no monitoramento e prevenção de perda de solo é de grande importância para a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade da produção agrícola. A cooperação entre as ciências do solo e a instrumentação aplicada através da engenharia física carrega enorme importância; uma via de mão dupla onde a produção científica e a engenharia são contempladas. Nesse sentido, objetivou-se desenvolver um dispositivo que possa auxiliar em parcelas padrão para facilitar o monitoramento da erosão do solo. O dispositivo proposto é capaz de quantificar o solo presente em dado volume de amostra através da medida de altura do precipitado, permitindo a obtenção de informações sobre a perda de solo por sensor infravermelho, e é comparado aos métodos tradicionais de quantização de sedimento presente, feitos por análise laboratorial de solo e água. A criação deste dispositivo contribui para o avanço da pesquisa na área de erosão do solo e permite o desenvolvimento de medidas

preventivas mais eficazes ao baratear o custo operacional de parcelas de estudo e permitir automação. Os resultados preliminares indicaram que o sistema é promissor para ser aplicado no estudo de processos dinâmicos de erosão do solo. As informações detalhadas sobre os arranjos dos sensores na parcela experimental são fornecidas. Os dados registrados pelo sistema foram comparados com os medidos manualmente para ilustrar a viabilidade e a precisão do sistema. Além disso, os dados medidos de escoamento e sedimentos da parcela sob chuva simulada foram mostrados para ilustrar os processos de escoamento e sedimentação. Com o refinamento do conceito é possível que novas funcionalidades sejam adicionadas ao dispositivo, tornando-o ainda mais útil para a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Erosão; Instrumentação; automação; sedimentos.

## **ABSTRACT**

The study and development of devices to assist in monitoring and preventing soil loss is of great importance for the preservation of the environment and the sustainability of agricultural production. The cooperation of the soil sciences and applied instrumentation through physical engineering is of great importance, a two-way lane where scientific production and engineering are contemplated. In this sense, the following project aims to develop a device that can assist in experimental plots to facilitate the monitoring and prevention of soil erosion. The proposed device is capable of obtaining the amount of soil present in a given volume of sample by measuring the height of the precipitate, allowing information on soil loss to be obtained by infrared sensor, presenting itself as an alternative to traditional methods of sediment quantization made by laboratory analysis of soil and water. The creation of this device contributes to the advancement of research in the area of soil erosion and allows the development of more effective preventive measures by lowering the operational cost of study plots and allowing automation of the process. The preliminary results indicated that the system is promising to be applied in the study of dynamic processes of soil erosion. Detailed information about the sensor arrangements in the experimental plot is provided. The data recorded by the system were compared with manually measured data to illustrate the feasibility and accuracy of the system. Additionally, the measured data of flow and sediment in the plot under

simulated rainfall were shown to illustrate the processes of flow and sedimentation. With the refinement of the concept it is possible that new functionalities are added to the device, making it even more useful for the preservation of the environment and sustainable development.

**Keywords:** Erosion; Instrumentation; Automation; Sediments.

## INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), para a alimentação e a agricultura, em torno de 33% dos solos mundiais são degradados, sendo que na América Latina, 50% apresentam alguma forma de degradação. Dentre os principais problemas encontram-se, salinização, compactação, acidificação e erosão, sendo esta última é responsável por cerca de 40 bilhões de toneladas de solo perdidos todos os anos (FAO, 2015). Os solos são responsáveis pela captação de carbono da atmosfera e por esse motivo a sua degradação agrava o quadro de mudanças climáticas, além de interferir diretamente na produtividade uma vez que está ligado à capacidade de armazenamento de água e nutrientes. Portanto, um solo que apresenta o manejo correto e sustentável impacta positivamente no sequestro de carbono e outros gases nocivos do efeito estufa. O fator mais negligenciado na manutenção da fertilidade do solo é muitas vezes a perda do solo em si (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2014).

Chuvas, ventos e outros fenômenos, sejam naturais ou artificiais, trabalham em conjunto, arrastando os nutrientes, matéria orgânica e a própria estrutura superficial do solo. De acordo com Silva (1995): “O desgaste progressivo dos solos agrícolas resulta na perda da camada rica do solo, causada pela erosão, provocando prejuízos incalculáveis. Dados revelam que enquanto a natureza gasta de 1.400 a 7.000 anos para formar uma camada de 20 cm de solo, a erosão a destrói em poucos anos.” Assim se quisermos garantir a preservação dos solos evitando perda de rendimentos, erosão e outras formas de degradação deste recurso que embora renovável, de difícil recuperação uma vez lesado, é necessário primeiro mensurar a perda de solo em diferentes condições pedológicas, geográficas e de manejo, encontrando a melhor combinação de métodos de conservação a serem aplicados em dada região. Desta forma, muitos estudos são conduzidos para se monitorar a

perda de solo, alguns dos quais utilizam o método da Equação Universal de Perda de Solo (WISCHMEIER, SMITH 1978) ou o método de análise de parcelas do escoamento superficial, mais comumente denominado nas literaturas como *Erosion Plot Scale* que é determinado através dos parâmetros que controlam o escoamento superficial, como por exemplo a rigidez do solo, infiltração e alterações na microtopografia do solo em questão.

Áreas expostas, geralmente sem cobertura vegetal, apresentam padrões no fluxo de escoamento e sedimentação. De acordo com o tamanho do terreno, a probabilidade de erosão entre os sulcos será mais proeminente em encostas íngremes ou solos que já apresentam características propícias à erodibilidade. Esta e outras metodologias, no entanto, são muito laboriosas, exigindo etapas demoradas e alto uso de recursos humanos. Portanto este trabalho visa desenvolver e testar um novo método de fácil aplicação para se encontrar a quantidade de solo em determinado volume de amostra coletada após efeitos de erosão pela chuva. O método tem por finalidade estimar a massa total perdida em cada região, facilitando a quantificação de perda de solo.

Atualmente, muitos avanços na instrumentação aplicada para auxílio da caracterização e manejo de solo estão sendo desenvolvidos. (VAZ, MARTIN NETO et al. 2007). O solo é um material extremamente complexo, além de apresentar alta variabilidade e heterogeneidade, apresentando variados minerais e materiais orgânicos na sua composição dependendo da sua região de formação. É importante notar que, os poros do solo influenciam os processos de transporte e armazenamento de água e, conseqüentemente, a adsorção e reações de solutos na solução (SILVA, ALMEIDA et al. 2011). Metodologias mais viáveis e instrumentos automatizados têm se tornado mais acessíveis e estão sendo testados e empregados por cientistas do solo. Dentre as novas tecnologias aplicadas nos últimos anos, destacam-se a tomografia e microtomografia computadorizada de raios X ou gama (FONSECA 2017) para a caracterização porosa do solo; a microscopia de tunelamento e força atômica que possibilita análises nanométricas do solo (FERREIRA, OSIRO et al. 2001) e que atualmente está impactando a ciência do solo, da mesma forma que a nanociência e nanotecnologia está fazendo

com a física, química, eletrônica, ciência dos materiais, telecomunicações e toda ciência em geral.

O objetivo primordial desses métodos é a quantificação de solo das amostras que possibilitam a caracterização do potencial de erodibilidade do solo. Para isso, justificam-se alternativas para realizar a medida de quantidade de solo em amostras de água e solo de maneira mais eficiente. Conhecendo parâmetros de volume e densidade, em um recipiente conhecido, é possível quantificar a massa de solo por amostras apenas medindo a altura de solo decantado.

Alguns métodos que envolvem automação de sistemas e manejo de solo podem ser encontrados na literatura. Katherine e Stephen (2006) propõem a construção de um sistema de sensor infravermelho simples e barato para fazer medições automáticas de nível de água. George e Valasia et al. (2015) apresentaram o Sistema Automatizado de Monitoramento de Erosão do Solo (ASEMS) que é um sistema que possibilita a medição de erosão superficial do solo continuamente e com precisão de até 1 mm. O sistema conta com vários sensores que permitem o monitoramento da precipitação, temperatura do solo, umidade do solo e temperatura do ar. Além disso, conta com um sistema de comunicação remota que permite a visualização dos eventos de erosão em tempo real. Sudduth e Hummel (1993) projetaram e testaram um espectrofotômetro portátil de infravermelho próximo para estimativa rápida de matéria orgânica do solo como uma entrada de controle para aplicação de herbicida de taxa variável, com recursos significativos para detecção de amostras remotas e um algoritmo de software. O instrumento tinha um alcance de detecção de 1650 nm a 2650 nm e podia adquirir um espectro a cada 200 ms.

### **Método de Erosão por Parcelas de Escala**

Um dos métodos mais tradicionais de monitoramento e manejo de conservação de solo é o experimento de parcelas experimentais que consiste em monitorar uma parcela conhecida de solo e através da coleta dos sedimentos, conhecer a dinâmica dos processos erosivos. O método de análise de erosão na escala de parcelas, em inglês, *Erosion plot scale*, ou ainda, método das parcelas de erosão, é um método aplicado em pesquisas e experimentos que desejam avaliar fatores que envolvem a erosão, geralmente recomendado para áreas na faixa de 1 a 100 metros. Trata-se

da obtenção empírica de fatores que podem ser utilizados na Equação Universal dos Solos, que são particulares para cada região. No Brasil, os estudos desenvolvidos para compreensão das parcelas experimentais se iniciaram no final da década de 1990 (GUERRA, 1996) e apresentou significativa importância no entendimento dos processos erosivos e a utilização de parcelas de erosão como metodologia para monitoramento deste processo.

Para este método, usualmente, dentro do mesmo terreno, parcelas são isoladas com algum material que seja resistente ao intemperismo e que não permita a terra escoar nas laterais, como chapas metálicas ou tábuas de madeira. Estas bordas devem se protuberar a aproximadamente 20 cm do nível do solo, serem enterradas em uma profundidade em que fiquem estáveis e que não sejam deslocadas pela umidade ou secagem dos solos.

Geralmente são utilizadas chapas metálicas para delimitação das parcelas. Ao final da parcela é realizado um estreitamento através de calhas que guiam o solo que será transportado até as caixas coletoras. Determinada quantidade de água é coletada nas caixas; estas amostras do escoamento superficial após prévia homogeneização possibilitam a determinação dos sedimentos que foram transportados na área delimitada. Após um tratamento laboratorial e estatístico, as medidas podem ser extrapoladas para o terreno todo e obtêm-se os parâmetros que possibilitam a caracterização da perda de solo (GUERRA, 2005).

Tradicionalmente são implementadas duas caixas coletoras em sequência. A primeira caixa serve como filtro, através de um divisor do tipo *Geib*, a água é canalizada apenas por uma das janelas até a próxima caixa. Esse tipo de configuração permite que a medida fique mais limpa e não acumule quantidades demasiadas de água nos coletores, que são tampados para evitar a entrada direta da chuva.

As parcelas podem ser utilizadas com diversas inclinações e associadas em configurações que permitam a obtenção dos dados de forma eficiente e monitorada. Como por exemplo, associadas a estações meteorológicas. A consistência da intensidade das chuvas é um fator que deve ser levado em consideração. Todos os outros fatores que influenciam na erosão são mantidos constantes (MORGAN

2009). Existem diversas formas de realizar as medidas de solo quando estas se encontram nos coletores. Usualmente são utilizadas substâncias floculantes que realizam a decantação dos sedimentos. Uma amostra de solo é tomada em algum recipiente de volume conhecido e então é seca e pode ser pesada em balanças. Este método está sujeito a uma variabilidade muito grande nas medidas e por isso necessita de uma repetibilidade muito alta, para isso é considerado apenas o valor médio da perda de solo dentre todo campo amostral. Normalmente as medidas são realizadas durante anos sobre uma determinada área, o que acarreta em um alto custo humano em relação a operação do sistema.

Nota-se que no ramo de pesquisas agrárias e sensoriamento há grande demanda por novas técnicas de pesquisa e caracterização uma vez que as técnicas existentes estão se tornando obsoletas e reivindicam instrumentação aplicada. Existem métodos mais elaborados que apresentam um custo equivalente à sua complexidade e por esse motivo não são adotados em demasia. Desta forma, a instrumentação aplicada de forma eficiente e acessível se torna uma via muito promissora onde a Engenharia Física deve desenvolver e atuar em conjunto com os cientistas do solo.

### **Tratamento das amostras para obtenção de massa de solo**

O trabalho "Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural". (COGO 1978) propõe uma metodologia para estudar as perdas por erosão em condições de chuva natural. A metodologia proposta pelo autor consiste em três etapas: a primeira é a coleta de dados topográficos e de solo da área estudada, por meio de técnicas de levantamento topográfico e análise de solo. A segunda etapa é a simulação de chuva na área estudada, para quantificar a erosão ocorrida durante o evento.

Finalmente, na terceira etapa, são realizados cálculos para determinar as perdas de solo em cada parcela da área estudada. O autor ainda destaca a importância da análise topográfica detalhada da área, que permite identificar as características do terreno que influenciam a erosão, como declividade, comprimento da rampa e tipo de solo. Além disso, o uso da técnica de coleta de solo em malha, permite avaliar a perda de solo em diferentes profundidades. A partir da análise dos sedimentos

transportados pela chuva e dos sedimentos depositados em cada parcela, é possível calcular a perda de solo em cada uma delas. A caracterização deve ser realizada com base em dados coletados em campo, como a observação da vegetação e a análise de amostras de solo.

O tratamento do solo sedimentado nas parcelas consiste em quantificar o solo em dias que houve escoamento superficial. Para isso, o material erodido no processo deve ser filtrado para obtenção dos valores. As amostras entregam dois fatos que são considerados de extrema importância: a quantidade de sedimentos que o escoamento erodiu e transportou de cada parcela e a quantidade de água que não conseguiu infiltrar no solo.

A metodologia de análise dos dados é padronizada e consiste em filtrar um volume conhecido da amostra coletados do fluxo superficial, e através de papel filtro realizar a filtração das respectivas amostras correspondentes de cada parcela.

Posteriormente, a água e solo deve ser seca ao ar ou se possível, em estufas térmicas. Orienta-se o uso de balanças de precisão para quantificar o sedimento final e a caracterização de cada parcela.

É possível notar que o processo de tratamento das amostras é moroso e necessita de precisão nas suas análises. Nesse ponto a instrumentação aplicada se torna favorável no auxílio desses processos. Nosso objetivo é desenvolver um dispositivo que seja capaz de quantificar de forma barata e rápida a massa de sedimento em amostras que são tradicionalmente colhidas em parcelas experimentais de forma a auxiliar nos processos de monitoramento e prevenção da erosão do solo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

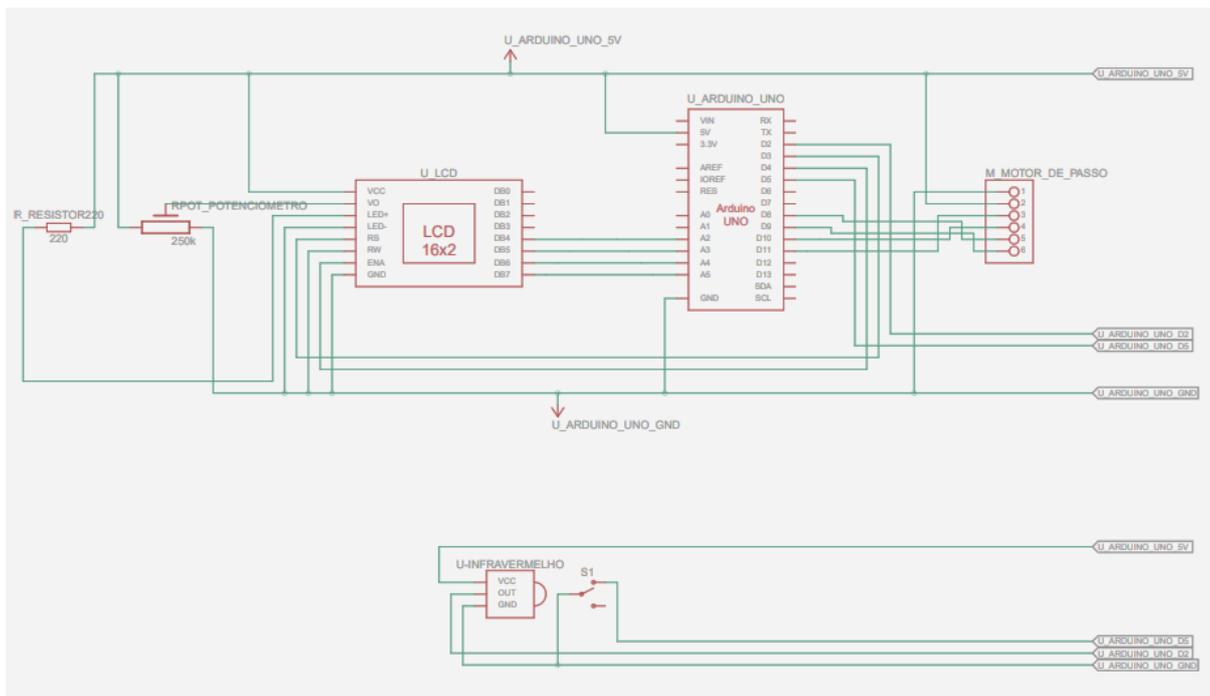
### **Construção do dispositivo proposto e princípio de funcionamento**

De acordo com o objetivo fundamental deste trabalho, propôs-se a construção de um dispositivo capaz de realizar a medição da quantidade de solo em uma amostra com menos custo e tempo reduzido. O funcionamento do dispositivo, após a conexão de todos sensores e componentes eletrônicos utilizados, consiste na leitura da altura da coluna de solo que se precipitou no tubo de ensaio de uma amostra preparada com antecedência. A amostra a ser analisada consiste em uma mistura

de água e solo com volume conhecido e adicionar ácido clorídrico, que atua como um floculador, com objetivo de auxiliar no processo de decantação do solo. Sempre que o sistema é energizado, o sensor infravermelho é direcionado até a origem e aguarda o comando do operador, que é realizado através de um botão, para iniciar a leitura da altura do solo. Após pressionar o botão, automaticamente o sistema começa a subir e para apenas no momento que acabar a coluna de solo. A altura final medida pelo sistema é um ponto e internamente representa um valor de massa de acordo com a calibração realizada.

Como forma de facilitar a visualização, no *display* LCD o valor de massa de solo é informado junto com sua unidade de medida. Podemos visualizar o circuito elétrico do dispositivo na figura 5.

Figura 5 – Circuito elétrico

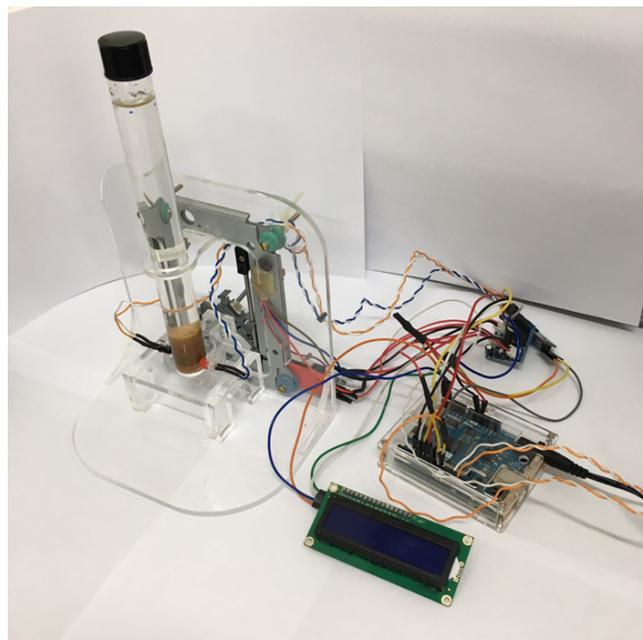


Fonte: Autores, 2023.

O esquema elétrico exposto é um exemplo de um sistema de controle de movimento que utiliza um sensor infravermelho, um motor de passo, um módulo controlador, um display, uma chave fim de curso e o Arduino como placa controladora. O sensor infravermelho é utilizado para detectar a presença de solo em frente ao motor de passo, e envia informações sobre a presença ou ausência de solo sedimentado para o Arduino. Essa informação é usada para controlar o movimento do motor de

passo, é acionado. O módulo controlador que foi utilizado no motor de passo é responsável por interpretar os comandos enviados pelo Arduino e controlar o motor de acordo com esses comandos. O display é usado para exibir informações do sistema, como o estado do sistema, parado ou em análise, e informar o resultado da quantidade de solo medidor de sua respectiva unidade de massa. A chave fim de curso é usada para detectar quando o motor de passo atinge sua posição final, evitando que ele se mova além do limite estabelecido. Para fazer esse sistema funcionar corretamente, é necessário um esquema elétrico bem projetado e implementado, que inclua a conexão correta entre todos os componentes envolvidos. Além disso, é importante que o código do Arduino esteja programado corretamente para receber as informações do sensor infravermelho e enviar os comandos corretos para o motor de passo.

Figura 6 – Dispositivo construído



Fonte: Autores, 2023.

O custo estimado de construção do equipamento encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Preço estimado de construção do dispositivo

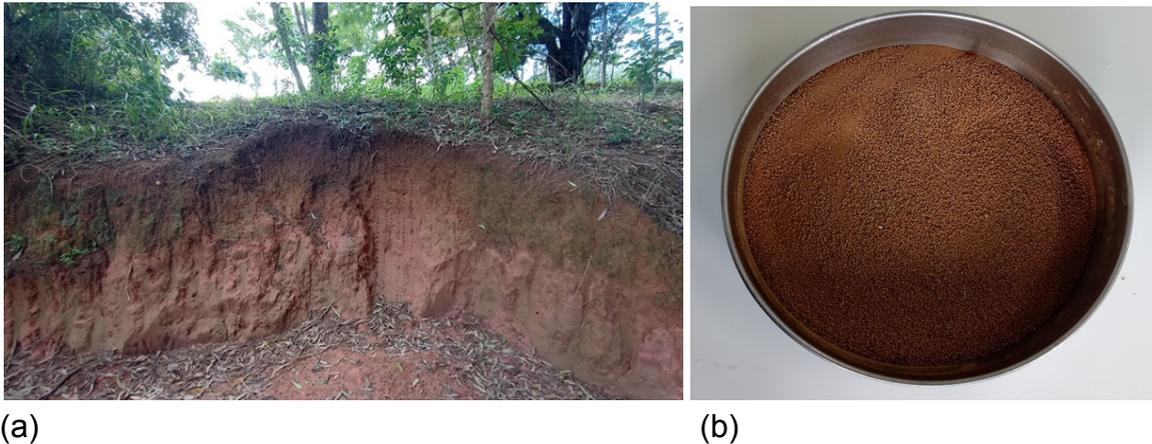
<b>Item</b>	<b>Fonte</b>	<b>Preço</b>
Gravador De Dvd Sata Brazil Pc	Kabum, 2023	R\$ 67,65
Chapa Acrílico Cortado A Laser 50cm X 50cm 4mm	Mercado Livre, 2023	R\$ 64,90
Placa Uno R3 + Cabo USB	Curto Circuito, 2023	R\$ 70,50
Chave Fim de Curso 5A 250V	Forseti Soluções, 2023	R\$ 3,29
Chave Tactil Push Button 12x12x4,3mm 4t 180g	Mercado Livre, 2023	R\$ 12,93
Display I2c Lcd 16x2 Com Backlight Azul E Escrita Branca	Mercado Livre, 2023	R\$ 22,73
Ponte H Modelo ZS-H2	Mercado Livre, 2023	R\$ 17,71
Sensor Infravermelho	Eletrogate, 2023	R\$ 8,46
Tubo de Ensaio com rosca 20x200mm	Prolab, 2023	R\$ 12,85
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 281,02</b>

Fonte: Autores, 2023.

### **Calibração**

Coletou-se amostras do horizonte A (20 - 50 cm) de um Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (Curi et al., 2017) em uma área dentro da Universidade Federal de Lavras (Fig. 7a) de acordo com as orientações dos métodos tradicionais de preparo de análise. As amostras de solo foram peneiradas (2 mm) e secas ao ar. Esse tipo de solo é extremamente drenado, pode ser raso ou profundo, dependendo da região. Sua cor é bruno-amarelada. O horizonte B incipiente possui textura franco-arenosa ou em alguns casos, mais argilosa. Geralmente, apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer uma ligeira variação na quantidade de argila do horizonte A para o B. A estrutura do horizonte B pode ser vista em blocos, prismática ou granular (EMBRAPA, 2021).

Figura 7 – Coleta do horizonte B do Cambissolo, Universidade Federal de Lavras



Fonte: Autores, 2023.

O solo após o processo de secagem e peneiração ficou visualmente homogêneo (Fig. 7b), possibilitando um preparo de amostras para calibração e futuras medidas mais uniformes.

### **Metodologia de preparação I**

A preparação de amostras de sedimento é feita de duas formas. Inicialmente mediu-se quantias de solo previamente seco e peneirado em uma balança de precisão partindo de 1g e terminando em 8g, com incrementos de 1g. Adiciona-se estas quantias conhecidas a um volume de 40 ml a fim de simular a solução de água e solo coletados nas parcelas em escala real e realizou-se a mistura de forma mecânica. Uma alíquota de 40 ml da solução preparada foi transferida para o tubo de ensaio onde a medida da altura foi realizada.

Para acelerar o processo de decantação, utilizou-se ácido clorídrico (HCl) a uma concentração de 37% com objetivo de realizar o processo de floculação do solo. Após 1 hora de descanso da amostra de calibração mediu-se a altura da coluna de solo decantado para cada uma das massas. Estes dados podem ser observados na Tabela 2, e serão utilizados para a construção dos modelos de calibração I e II.

Tabela 2 – Medidas de massa (g) e altura (mm) correspondentes às amostras preparadas para construção dos modelos de calibração I e II.

Amostra	Massa (g)	Altura (mm)
1	1,04 ± 0,01	3,15 ± 0,01
2	2,02 ± 0,01	9,45 ± 0,01
3	3,01 ± 0,01	13,86 ± 0,01
4	3,98 ± 0,01	18,27 ± 0,01
5	5,01 ± 0,01	27,09 ± 0,01
6	6,01 ± 0,01	32,76 ± 0,01
7	7,03 ± 0,01	33,39 ± 0,01
8	7,99 ± 0,01	41,00 ± 0,01

Fonte: Autores, 2023.

### **Metodologia de preparação II**

Assim como na primeira metodologia, mediu-se quantidades de solo em uma balança de precisão. As massas das amostras encontram-se no intervalo de 1g - 8g. O solo é adicionado diretamente no tubo de ensaio e completando até a marca de 40mL com a devida solubilização.

Esta alternativa foi necessária devido a dificuldade em homogeneizar a mistura de água e solo fora do tubo de ensaio devido a partículas densas que se acumulavam no fundo das vidrarias.

A decantação e medições se dão de forma idêntica à metodologia anterior. Os dados de massa e altura correspondentes podem ser observados na Tabela 3, e foram utilizados para a construção dos modelos de calibração III e IV.

Tabela 3 – Medidas de massa (g) e altura (mm) correspondentes às amostras preparadas para construção dos modelos de calibração III e IV.

Amostra	Massa (g)	Altura (mm)
1	1,00 ± 0,01	5,04 ± 0,01
2	2,00 ± 0,01	11,34 ± 0,01
3	3,00 ± 0,01	17,01 ± 0,01
4	4,00 ± 0,01	23,31 ± 0,01
5	5,00 ± 0,01	28,98 ± 0,01
6	6,00 ± 0,01	32,76 ± 0,01
7	7,00 ± 0,01	39,50 ± 0,01

Fonte: Autores, 2023.

### **Análise dos dados**

O primeiro método de análise de dados consiste em se utilizar os pontos de massa (g) e altura (mm) para a construção de um modelo de regressão linear no software de análise de dados SciDAVis (SCIDAVIS, 2023). Isso nos gera a equação da reta média que mais se aproxima de todos os pontos e nos permite conhecer as características do comportamento destes pontos.

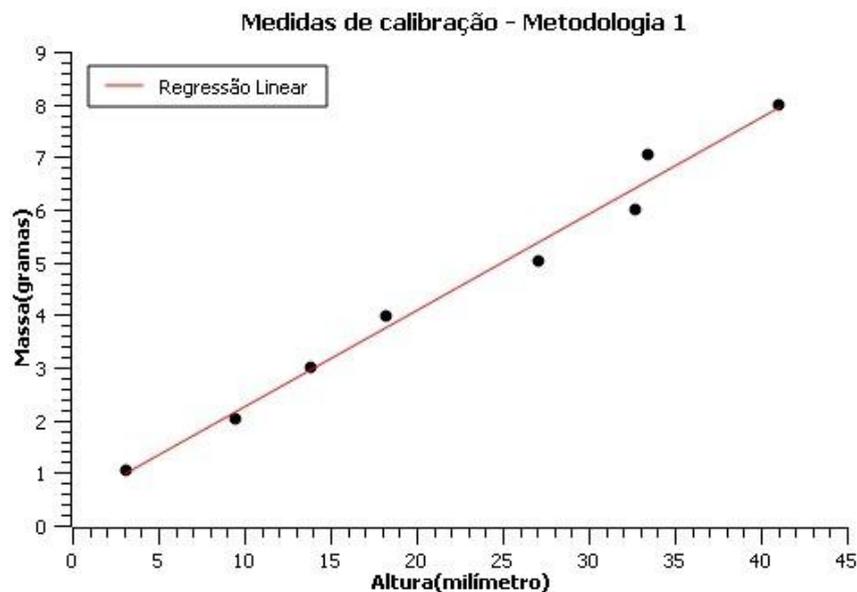
O segundo método de análise consiste em conectar cada ponto com uma reta característica, conhecido como interpolação linear. Este método foi escolhido para abranger situações onde a relação entre coluna de solo decantado e quantidade de massa em solução não é linear, devido a não se conhecer o comportamento de todos os solos de antemão.

A partir destes dois métodos de preparação e dois métodos de análise serão construídos quatro modelos de calibração, que serão então testados em novas amostras e terão sua precisão aferida.

## Modelo I

Para o primeiro modelo de calibração, os valores de massa e altura obtidos no Método de Preparação I foram tratados utilizando-se de regressão linear no software de análise de dados SciDAVis (SCIDAVIS, 2023) para se construir o gráfico da Figura 8 e obter o comportamento e correspondência entre as variáveis.

Figura 8 - Modelo de regressão linear ajustado considerando a massa (g) e altura (mm) da Preparação I.



Fonte: Autores, 2023.

*Linear Regression fit of dataset: Table1\_2, using function:  $A \cdot x + B$*

*From  $x = 3,15$  to  $x = 41$*

*B (y-intercept) =  $0,4 \pm 0,2$*

*A (slope) =  $0,183 \pm 0,009$*

Pela Figura 8 observa-se que obtivemos um comportamento linear entre a massa e altura do solo. Pela regressão linear realizada é possível retirar os parâmetros da equação que melhor descreve os pontos, onde A representa coeficiente angular e B o coeficiente linear da função afim. Logo, podemos interpretá-los da seguinte forma:

$$\text{Massa} = 0,183 \cdot \text{Altura} + 0,4$$

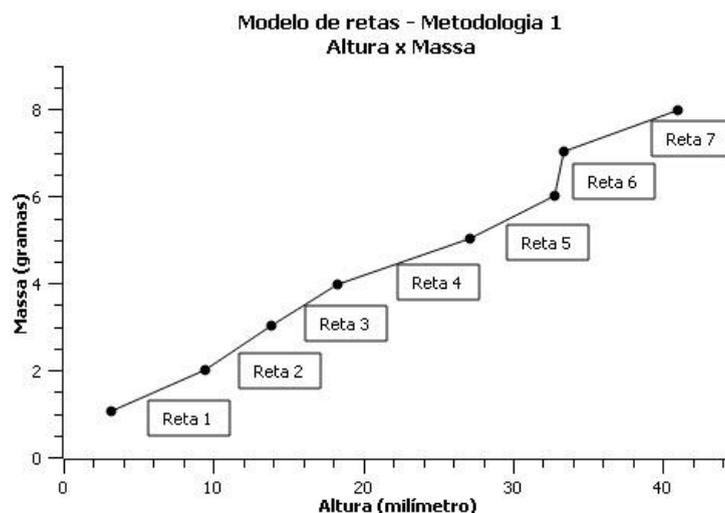
Equação 1

Com a equação 1 em mãos é possível calcular a quantidade de massa em função da altura para esse tipo de solo específico.

## Modelo II

Para o segundo modelo, os valores de massa e altura obtidos no Método de Preparação I foram tratados utilizando-se de interpolação linear no software de análise de dados SciDAVis (SCIDAVIS, 2023) para se construir o gráfico da Figura 9 e obter o comportamento em situações onde a relação da altura da coluna não possui linearidade com a massa de sedimento da mistura. Para cada conjunto de pontos é construída uma reta e, conseqüentemente, um modelo de regressão com seus respectivos coeficientes angulares e lineares para caracterizar o comportamento das medidas. O modelo de retas é oportuno para comportamentos não lineares, e no nosso caso específico temos um comportamento linear; o objetivo é demonstrar que esse tipo de análise concede abertura para qualquer comportamento que determinado solo possa apresentar. Portanto, para o conjunto de medidas de massa e altura correspondente obtida pelo Método de Preparação I, podemos construir o gráfico da Figura 9:

Figura 9 - Modelo de interpolação linear ajustado considerando a massa (g) e altura (mm) da Preparação I.

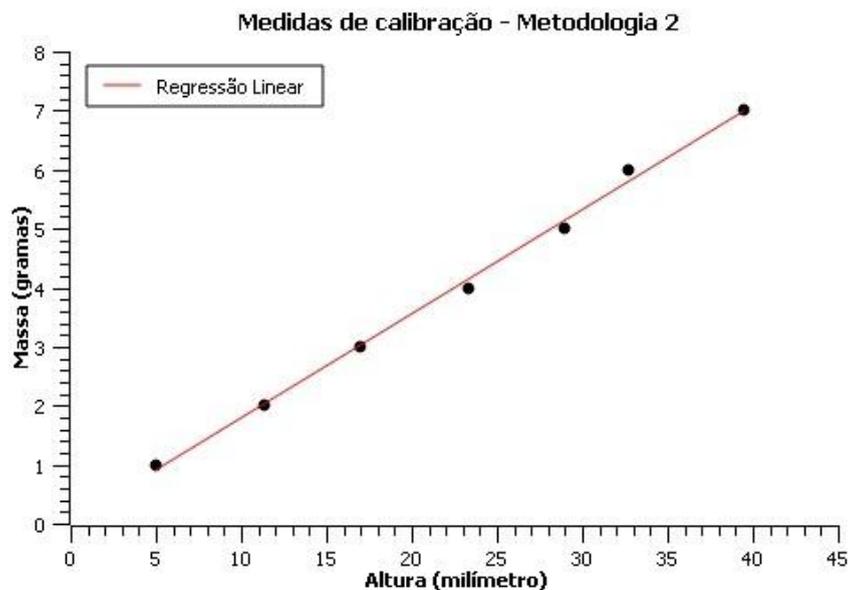


Fonte: Autores, 2023.

### Modelo III

Para o terceiro modelo de calibração, os valores de massa e altura obtidos no Método de Preparação II foram tratados utilizando-se de regressão linear no software de análise de dados SciDAVis (SCIDAVIS, 2023) para se construir o gráfico da Figura 10 e obter o comportamento e correspondência entre as variáveis.

Figura 10 - Modelo de regressão linear ajustado considerando a massa (g) e altura (mm) da Preparação II.



Fonte: Autores, 2023.

O resultado da análise do gráfico, realizando-se a regressão linear dos pontos, permite a identificação da equação que descreve melhor a tendência de comportamento das medidas. Observe as informações da análise do gráfico:

*Linear Regression fit of dataset: Table1\_2, using function: A\*x+B*

*From x = 5,04 to x = 39,5*

*B (y-intercept) = 0,01 +/- 0,07*

*A (slope) = 0,176 +/- 0,003*

Logo, pode-se considerar que a equação da reta que descreve os pontos coletados pode ser descrita por:

$$\text{Massa} = 0,176 \cdot \text{Altura} + 0,01$$

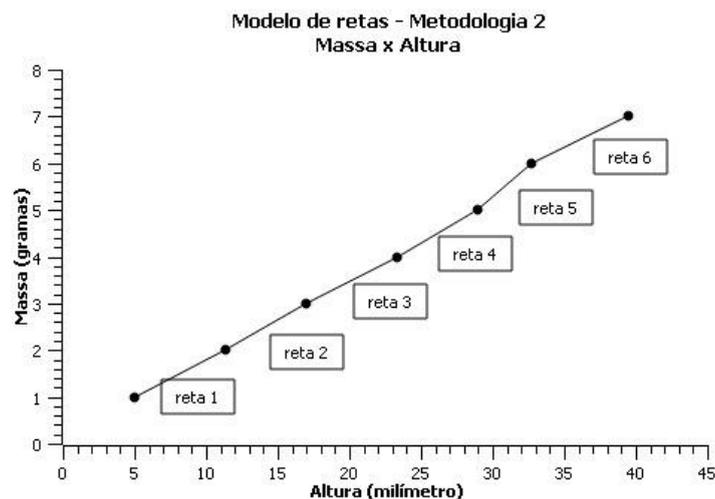
Equação 2

Assim como a equação 1, com essa equação de tendência em mãos é possível calcular a quantidade de massa em função da altura para esse tipo de solo específico para a metodologia de preparo de amostras para qualquer valor desejado.

#### Modelo IV

Para o quarto modelo de calibração os valores de massa e altura obtidos no Método de Preparação II foram tratados utilizando-se de interpolação linear no software de análise de dados SciDAVis (SCIDAVIS, 2023) para se construir o gráfico da Figura 11.

Figura 11 - Modelo de interpolação linear ajustado considerando a massa (g) e altura (mm) da Preparação II.



Fonte: Autores, 2023.

Da mesma maneira que regressão linear, esta interpolação linear tem o objetivo de modelar o comportamento da massa em relação a altura equivalente. Através do algoritmo, implementando as respectivas equações da reta para cada conjunto de ponto subsequente no dispositivo, é possível quantificar o sedimento presente nas soluções das amostras e avaliar a efetividade e repetibilidade das medidas.

## RESULTADOS

O objetivo deste estudo foi investigar a quantidade de solo em uma determinada amostra de forma que facilite os processos de análise de dados. Para isso, utilizamos um dispositivo que mede a quantidade de solo em massa de acordo com a sua altura equivalente no porta amostra. Os resultados mostraram que a quantidade média de solo equivalentes em altura oscilou. A tabela 3 expõe a massa medida na balança antes de realizar o preparo da amostra em solução, ou seja, o valor esperado de massa que o dispositivo responde. Os resultados que o dispositivo entrega para cada metodologia de calibração e a respectiva precisão para cada medida realizada.

Tabela 3 - Medidas de solo para testar a efetividade do dispositivo para cada modelo.

<b>Massa real (g) ±0,01</b>	1,19	1,51	2,20	2,52	3,19	3,53	4,19	4,50	5,49	<b>Precisão média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Massa medida (g) (Modelo I)</b>	1,32	1,77	2,57	2,68	3,70	3,47	4,61	4,95	6,08		
<b>Precisão (%)</b>	89	83	83	94	84	98	90	90	89	<b>88%</b>	<b>5%</b>
<b>Massa medida (g) (Modelo II)</b>	1,32	1,71	2,54	2,68	3,99	3,71	4,52	4,74	5,69		
<b>Precisão (%)</b>	89	87	85	94	75	95	95	95	96	<b>90%</b>	<b>6%</b>
<b>Massa medida (g) (Modelo III)</b>	0,89	1,33	2,09	2,09	3,19	2,97	4,06	4,35	5,48		
<b>Precisão (%)</b>	75	88	95	83	100	84	97	97	100	<b>91%</b>	<b>8%</b>
<b>Massa medida (g) (Modelo IV)</b>	0,98	1,38	2,07	2,18	3,15	2,93	3,93	4,26	5,52		
<b>Precisão (%)</b>	82	91	94	87	99	83	94	95	99	<b>91%</b>	<b>6%</b>

Fonte: Autores, 2023.

Os resultados são consistentes com nossas hipóteses iniciais. No entanto, também identificamos algumas limitações em nosso estudo, incluindo o tubo de ensaio utilizado como porta amostra devido a seu fundo arredondado que foi nivelado com resina taquificante, e a possibilidade de erros de medição por desnivelamento do tubo. Esses resultados são importantes para a compreensão da efetividade e abertura de aplicabilidade desse dispositivo no desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis. No entanto, é importante reconhecer que este estudo é apenas um passo inicial e que estudos futuros podem ser necessários para aprimorar nossos resultados e obter uma compreensão mais completa da quantidade de solo e aplicação em análise laboratorial ou até mesmo em escalas maiores e remotas.

## **DISCUSSÃO**

O dispositivo foi submetido a valores randômicos de massa para avaliar a efetividade de suas respostas. Observa-se pela Tabela 3 que a massa que o dispositivo mede por meio de cada metodologia, alcança uma variabilidade média de  $\pm 0,2$  g, com uma efetividade média de aproximadamente 90% de precisão em um conjunto de medidas. O período de tempo para decantação da amostra de 1 hora mostrou-se excessivo, haja vista que para períodos de tempo maiores que 15 minutos a maior parte das amostras não apresentava alteração na medida de altura em tempos posteriores, e para períodos de tempo maiores que 30 minutos nenhuma amostra apresentou alteração de altura. Isso nos permite concluir que um tempo razoável de segurança de medição seria em torno de 20 minutos, diminuindo o tempo do processo ainda mais.

Para avaliar a qualidade desse tipo de dispositivo, é importante considerar vários fatores, incluindo a sua capacidade de medição, a facilidade de uso, a precisão e a sua confiabilidade. Dessa forma, podemos observar a precisão média que cada metodologia alcançou.

Em primeiro lugar, é importante avaliar a capacidade de medição do dispositivo, ou seja, a quantidade de solo que pode ser medida em uma única operação. Isso é importante porque pode impactar diretamente o tempo e o esforço necessários para

obter resultados em uma determinada área. Outro fator importante é a facilidade de uso do dispositivo, o que pode influenciar a eficácia do operador em realizar as medições de forma precisa e consistente. O dispositivo apresenta design simples e intuitivo e pode ser mais fácil de usar do que um dispositivo com muitas configurações e ajustes.

A precisão das medições também é um fator importante a ser considerado sobre um dispositivo que mede a quantidade de solo. É importante avaliar a precisão do dispositivo em relação a outros métodos de medição e também a sua precisão em diferentes tipos de solo. Por exemplo, a precisão do dispositivo pode ser afetada por fatores como a umidade do solo ou a presença de pedras ou outros materiais.

## **CONCLUSÃO**

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que o método proposto com a finalidade de quantificar a massa de solo através da altura equivalente foi bem-sucedida. O dispositivo mostrou-se efetivo na medição da massa de solo, com uma precisão de aproximadamente 90%. Além disso, o dispositivo apresentou-se como uma ferramenta versátil, podendo ser adaptado para diferentes tipos de solo e áreas de estudo. A partir dos dados coletados, podemos inferir que o dispositivo é uma alternativa promissora aos métodos convencionais de medição da massa de solo. Diminuindo razoavelmente o tempo de medida para alguns minutos. No entanto, também identificamos algumas limitações do dispositivo, como a necessidade de calibração para diferentes tipos de solo. É importante destacar que, apesar dessas limitações, o dispositivo é uma ferramenta promissora para estudos em solos menos complexos. Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que o dispositivo é uma ferramenta efetiva e aberta para novas aplicações. Acreditamos que este dispositivo pode ser útil em diversas áreas de estudo, incluindo estudos de erosão, monitoramento de qualidade do solo e estudos de agricultura de precisão.

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de expressar nossa gratidão aos colaboradores deste projeto de pesquisa, sem os quais este trabalho não seria possível. Agradecemos a

Universidade Federal de Lavras que nos forneceu recursos e suporte para a realização deste trabalho através dos laboratórios de síntese de materiais e eletrônica do Departamento de Física e os laboratórios do Departamento de Ciência do Solo. Agradecemos especialmente o estudante Hiago Henrique dos Santos que dedicou seu tempo e esforço para ajudar em nossa pesquisa e contribuiu significativamente para os resultados deste trabalho. Agradecemos também o doutorando John Jairo Arevalo Hernandez pela sua inestimável colaboração. Por fim, gostaríamos de agradecer a nossas famílias e amigos por seu apoio e incentivo durante todo o processo de pesquisa. Suas palavras de encorajamento e apoio foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Status of the World's Soil Resources. Roma: ITPS, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 9. ed. São Paulo, SP: Ícone, 2014. (Brasil agrícola). ISBN 9788527409803.

SILVA, M. S. L. Estudos da erosão. Embrapa Semiárido, CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO, p. 1-20, 1 maio 1995

WISCHMEIER, W. H., & SMITH, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture.

VAZ, CMP; MARTIN NETO, L.; CRESTANA, S. Avanços da instrumentação em ciência do solo. 2007.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P.; Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais. p. 1-13, 2011.

- FONSECA, A. C. G. Aplicação das tomografias computadorizadas de Raios-X e Gama na análise de Solo Simulado. 2017.
- FERREIRA, I. A.; OSIRO, D.; HERRMANN, P. S. P.; MARTINNETO, L. Atomic force microscopy (AFM) characterization of a tropical soil humic acid. *Acta Microscópica*, Caracas, v. 10, p. 43-47, 2001.
- MILLA, Katherine; KISH, Stephen. A low-cost microprocessor and infrared sensor system for automating water infiltration measurements. *Computers and electronics in agriculture*, v. 53, n. 2, p. 122-129, 2006.
- ZAIMES, George N. et al. The automated soil erosion monitoring system (ASEMS). *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, v. 9, n. 10, p. 1268-1271, 2015.
- SUDDUTH, K. A.; HUMMEL, J. W. Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis. *Transactions of the ASAE*, v. 36, n. 1, p. 185-193, 1993.
- NOVOTNY, E. H.; COLNAGO, L. A. Técnicas de ressonância magnética aplicadas no estudo da matéria orgânica do solo. Embrapa Solos-Capítulo em livro científico (ALICE). 2015.
- GUERRA, A. J. T. et al. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. 1996.
- GUERRA, A.J.T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 16. p.32-37. 2005.
- MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons, 2009.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I – Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª Aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1978 a. p.75-97.
- EMBRAPA. *Cambissolos*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/cambissolos>> Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

SciDavis. Open Source Software Development. Disponível em:  
<<https://sourceforge.net/projects/scidavis/>>.

CURI, Nilton; SILVA, Sérgio Henrique Godinho; POGGERE, Giovana Clarice; MENEZES, Michele Duarte de. Mapeamento de solos e magnetismo no câmpus da UFLA como traçadores ambientais. [S. l.: s. n.], 2017. 147 p. ISBN 978-85-8127-052-4.