

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Caroline de Boer Dias

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA ELETRÔNICA PARA
OBTENÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO**

Santa Maria, RS
2023

Caroline de Boer Dias

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA ELETRÔNICA PARA OBTENÇÃO DA
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheira Sanitarista e Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Swarowsky

Santa Maria, RS
2023

Caroline de Boer Dias

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA ELETRÔNICA PARA OBTENÇÃO DA
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Sanitária e Ambiental da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para a obtenção do
título de **Engenheira Sanitarista e
Ambiental.**

Aprovado em:

Alexandre Swarowsky, Prof. Dr. (UFSM)
(Orientador)

Dalvan José Reinert, Prof. Dr. (UFSM)

Marcelo Lovato Brum, Me. (UFSM)

Santa Maria, RS

2023

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA ELETRÔNICA PARA OBTENÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO

AUTORA: Caroline de Boer Dias
ORIENTADOR: Alexandre Swarowsky

A condutividade hidráulica do solo é um importante parâmetro para os estudos que envolvam a dinâmica de água no solo, já que expressam a quantidade de água que é movimentada por meio dele, sendo essencial para a produção de culturas, manejo e preservação do ambiente. A determinação da condutividade pode ser realizada em laboratório, com maior grau de controle sobre as variáveis que influenciam na medição, em campo, com resultados imediatos de menor precisão. Entre os equipamentos de laboratório, o permeâmetro de carga constante é muito utilizado por sua facilidade na obtenção dos dados que permitem o cálculo do coeficiente. Entretanto, o processo é oneroso para o pesquisador pelo tempo gasto com a análise de cada amostra. Nesse contexto, esse trabalho busca mitigar os problemas encontrados através do uso de sensores de baixo custo, por meio da plataforma de hardware livre *Arduino*. Sensores de baixo custo podem ser facilmente encontrados no mercado brasileiro, possuindo vasta documentação que auxilie em sua programação. Nesse trabalho, utilizaremos o sensor de peso HX711 junto da placa de prototipagem *Arduino Mega* e o leitor de cartão de memória para *MicroSD*. Dessa maneira, as informações necessárias serão obtidas diminuindo os gastos gerados em futuras pesquisas

Palavras-chaves: Condutividade hidráulica, Baixo custo, *Arduino*.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC BENCH FOR OBTAINING SOIL HYDRAULIC CONDUCTIVITY

AUTHOR: Caroline de Boer Dias
ADVISOR: PhD. Alexandre Swarowsky

Soil hydraulic conductivity is an important parameter for studies involving water dynamics in the soil, as it expresses the amount of water that is moved through it, being essential for crop production and management, and environmental preservation. The determination of conductivity can be carried out in the laboratory, with a higher degree of control over the variables that influence the measurement, or in the field, with immediate but less precise results. Among laboratory equipment, the constant head permeameter is widely used for its ease in obtaining the data necessary for coefficient calculation. However, the process is costly for the researcher due to the time spent analyzing each sample. In this context, this work seeks to mitigate the problems encountered through the use of low-cost sensors, through the open-source hardware platform Arduino. Low-cost sensors can be easily found in the Brazilian market, with extensive documentation to aid in their programming. In this work, we will use the HX711 weight sensor together with the Arduino Mega prototyping board and the MicroSD memory card reader. In this way, the necessary information will be obtained, reducing the expenses generated in future research.

Keywords: Hydraulic conductivity, Low cost, Arduino.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Triângulo textural de solos.....	11
FIGURA 2 - Permeâmetro de carga constante com uma amostra de solo.....	15
FIGURA 3 - Permeâmetro de carga decrescente com uma amostra de solo	16
FIGURA 4 - Placa Arduino UNO programável.....	17
FIGURA 5 - Módulos de coleta de dados para Arduino	18
FIGURA 6 - Esquemático do dispositivo para captura dos dados de massa	19
FIGURA 7 - Amostras de solo para análise.....	21
FIGURA 8 - Montagem de bancada eletrônica para coleta de dados.....	24
FIGURA 9 - Curva de estabilização do solo um com obtenção automática.....	25
FIGURA 10 - Curva de estabilização do solo um com obtenção manual.....	26
FIGURA 11 - Curva de estabilização do solo dois com obtenção automática.....	27
FIGURA 12 - Curva de estabilização do solo dois com obtenção manual.....	28
FIGURA 13 - Curva de estabilização do solo três com obtenção automática.....	29
FIGURA 14 - Curva de estabilização do solo três com obtenção manual.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	07
2	OBJETIVOS	09
2.1	OBJETIVO GERAL	09
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	09
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS MENSURÁVEIS DOS SOLOS	10
3.2	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO	12
3.3	EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA	14
3.4	EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO	16
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	HARDWARE	19
4.2	SOFTWARE	20
4.3	AMOSTRAS DE SOLO	20
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1	VERTISSOLO HIDROMÓRFICO	24
5.2	ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO	27
5.3	LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO	29
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32
	APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE PARA A CALIBRAÇÃO DE SENSOR STRAIN GAUGE	35
	APÊNDICE B - CÓDIGO FONTE PARA BANCADA ELETRÔNICA	36

1 INTRODUÇÃO

O solo é a base para diferentes funções do ecossistema, fornecendo nutrientes, água, e ainda meio para o desenvolvimento da fauna e da flora. O conhecimento do solo traz benefícios ao homem já que ele é responsável por processos como: a percolação e o armazenamento de água, a transformação e renovação dos nutrientes necessários para sobrevivência das espécies, e a amortização dos eventos de precipitação. Portanto, o estudo e manejo dos solos é essencial para a manutenção da vida.

A formação do solo acontece quando processos de intemperismo e desagregação das rochas acontecem. A resultante desses processos degradantes gerará um solo com características dependentes de cinco fatores: material de origem, organismos vivos, relevo, tempo e o clima local. A identificação dos solos torna-se, então, necessária tanto para o cultivo de culturas, quanto para receber intervenções construtivas, como barragens e aterros. Suas características são o objetivo de diversos estudos na busca por aprimoramentos no manejo adequado que permitam seu uso sem perturbar seu equilíbrio.

A água e o ar estão presentes no solo e afetam diretamente as propriedades físicas, químicas e biológicas. A condutividade hidráulica define como acontecerão os movimentos de água no solo, sendo que esses são especialmente importantes, pois afetam diretamente as culturas de cultivo, bem como, interferem na estabilidade dos maciços para a construção. Para mensurar essa variável são utilizados equipamentos denominados permeômetros, capazes de fornecer informações suficientes para que se possa determiná-la.

Os permeômetros são equipamentos de montagem simplificada, mas que demandam tempo para a obtenção dos dados a serem utilizados pelo pesquisador devido ao processo de transporte da água em seu interior. Portanto, podemos esperar erros do operador quanto maior for o tempo decorrido para conclusão da análise.

Buscando mitigar as incertezas geradas pelo manuseio humano, esse trabalho visa projetar um sistema digital de aquisição de dados capaz de ler, processar e armazenar os dados gerados pelo permeômetro tradicional. Considerando os custos como principal empecilho para adquirir equipamentos semelhantes aos já existentes no mercado, optou-se pela construção de um

equipamento de baixo custo que atenda satisfatoriamente às necessidades apresentadas pelos pesquisadores. Para tanto, foi escolhida a plataforma de software e hardware livre Arduino, capaz de ser acoplada com diferentes módulos necessários para a leitura e armazenamento dos dados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o desenvolvimento e a construção de um microcontrolador capaz de obter dados de um permeâmetro tradicional de bancada e armazená-los digitalmente a fim de calcular o coeficiente de permeabilidade dos solos reduzindo os erros de leitura e registro das informações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montar os módulos capazes de capturar e armazenar as informações necessárias para a determinação do coeficiente;
- Programar e implementar o código para a obtenção dos dados, otimizando o armazenamento de informações pertinentes;
- Elaborar o protótipo inicial a ser utilizado em permeâmetro já existente, testando sua acurácia para o fim proposto;
- Analisar os dados obtidos, verificando a confiabilidade dos dados digitais e manuais, para que se comprove ou refute a qualidade dos dados obtidos digitalmente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os principais conceitos que serão utilizados para elaboração da pesquisa, construção e implementação do código, bem como os métodos de validação a serem utilizados para determinar a qualidade dos dados.

3.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS MENSURÁVEIS DOS SOLOS

O solo desempenha um papel básico e essencial na vida da fauna e da flora. É fundamental para o homem em suas atividades agrícolas, como provedor dos recursos necessários para o desenvolvimento desta atividade, e para suas atividades industriais, servindo de base para áreas como a construção civil. Sendo assim, a dependência humana desse recurso tende a aumentar no futuro, logo, o manejo adequado é crucial para a continuidade das atividades humanas no planeta (COELHO *et. al.*, 2013).

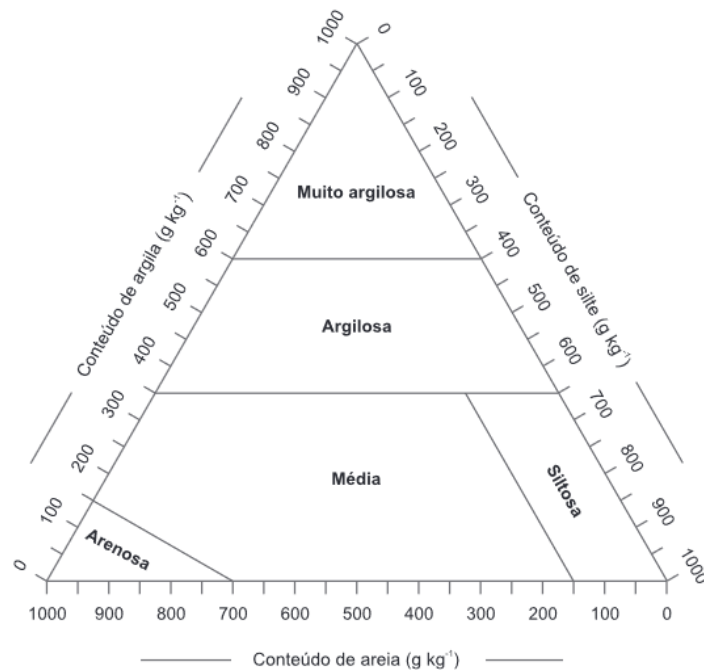
O solo é formado pela decomposição da rocha em fragmentos que adquiriram características químicas, físicas e biológicas capazes de se manter biologicamente vivo no topo da camada terrestre. Os fatores mais relevantes para a sua formação são: o material de origem, o tempo, o tipo de relevo, o clima, e os organismos vivos presentes (MOREIRA *et. al.*, 2013). Todos esses fatores influenciam nas características finais apresentadas pelo solo.

As propriedades do solo mais significativas para esse estudo são descritas por Reinert e Reichert (2006) da seguinte maneira:

Duas propriedades físicas, hierarquicamente mais importantes, são a textura do solo, que é definida pela distribuição de tamanho das partículas, e a estrutura do solo definida pelo arranjo das partículas em agregados.

Desta forma fica evidente a importância da determinação da textura para diferentes aspectos característicos do solo já que o conhecimento desses fatores impacta diretamente na execução de projetos de engenharia. Através do triângulo textural, demonstrado na figura 1, podemos classificar o solo estudado através das porcentagens de seus agregados.

Figura 1 – Triângulo textural de solos



Fonte: DOS SANTOS, 2013.

Outro fator que influencia as condições a serem estudadas nesse trabalho é a porosidade, o volume ocupado por ar e água em uma determinada amostra de solo. Portanto, pode-se inferir que o tamanho das partículas e a quantidade de água presente no solo são fatores influenciadores na formação da condutividade hidráulica do solo (LIPIEC *et al.*, 2006).

Considerando as duas características apresentadas anteriormente, podemos citar como propriedade resultante a ser apresentada pelo solo a água presente em seu meio. Segundo Libardi (2010), o solo possui água em duas condições: não saturado, de maneira que há em seus interstícios uma mistura gasosa de ar e água; e saturado, onde todos os vazios do solo são preenchidos com água. As condições que afetam a quantidade de água presente no solo são a tensão superficial e a capilaridade, ambos fatores relacionados com a textura e a porosidade apresentadas anteriormente.

Diante do exposto, é possível perceber que a mensuração das propriedades do solo é primordial para o manejo e a utilização desse sistema, na busca pelo menor impacto ambiental e ainda atendendo as necessidades humanas. Dessa forma, independente do emprego final desejado, as características devem ser

investigadas para que a aplicação desejada seja executada com informações verídicas.

3.2 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO

A condutividade pode ser considerada uma das propriedades mais importantes para os estudos do movimento das águas no solo, particularmente quando precisamos entender processos de infiltração, drenagem e recarga das águas subterrâneas (SINGH *et al.*, 2020). Ela pode ser definida como a facilidade que a água é transmitida pelo solo ou rocha porosa, atingindo o maior valor possível quando o meio sólido encontra-se saturado. Quando isso ocorre, chamamos esse valor de condutividade hidráulica saturada, e, através de manipulações matemáticas, podemos calcular a condutividade hidráulica não saturada. As características do solo de maior influência para esta análise são a porosidade total, o peso específico natural e a densidade das partículas (REICHARDT, 1996).

A condutividade hidráulica (K), é o coeficiente de proporcionalidade expresso na Lei de Darcy, que define a vazão da água é proporcional a diferença de pressão ao longo do fluxo, a constante K , e a área de seção do conduto, e inversamente proporcional ao comprimento do conduto que armazena a amostra a ser analisada (FEITOSA, 2008). A equação 1 descrita abaixo apresenta a Lei de Darcy em sua representação matemática.

$$q = k \cdot i \cdot A = k \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot A \quad (1)$$

Onde:

q = Vazão (m^3/s)

k = Condutividade hidráulica (m/s)

i = Gradiente Hidráulico (ad)

ΔH = Perda de carga no comprimento do conduto (m/m)

A = Área de secção transversal perpendicular ao fluxo (m^2)

L = Altura da amostra (m)

Segundo Feitosa (2008), outro fator de importância para o estudo dos solos é a permeabilidade intrínseca, que é determinada pelo diâmetro médio dos grãos do

material e da umidade da amostra, e não durante o processo de saturação ou do líquido. A equação 2 é a representação da Lei de Darcy para essa variável:

$$q = K \cdot \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot A \quad (2)$$

Onde:

K = Permeabilidade intrínseca do solo (m/s)

γ = Peso específico do líquido permeante (g/m²/s²)

μ = Viscosidade do líquido permeante (g/m/s)

Pinheiro, Nummer e Rauber (2017) argumentam que o uso da permeabilidade intrínseca não é adequado para estudos envolvendo a área das ciências do solo, já que a densidade da água é fator determinante para o estudo do solo em seu meio natural. Portanto, para esse estudo a equação 2 não será adotada. Há, também, indivíduos que denominam o coeficiente *k* descrito na primeira equação como coeficiente de permeabilidade, causando confusão entre os conceitos de permeabilidade intrínseca. Para esse trabalho, o coeficiente *k* será definido como coeficiente de condutividade hidráulica.

Após várias pesquisas, Fetter (2018) pode perceber características dos solos que afetam diretamente o resultado da condutividade hidráulica como: quanto maior o número de vazios, maior será o tamanho médio dos grãos e, portanto, sua permeabilidade; quanto maior a variação de tamanho de grãos, menor será a permeabilidade. Dessa maneira, foi construído o quadro 1, relacionando a condutividade hidráulica com o tipo de material encontrado na amostra.

Quadro 1 – Valores de condutividade hidráulica comumente encontrados no meio.

Material	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} a 10^{-6}$
Silte	$10^{-6} a 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-6} a 10^{-4}$
Areia siltosa, Areia fina	$10^{-5} a 10^{-3}$

Areia	$10^{-3} a 10^{-1}$
Cascalho não compactado	$10^{-2} a 10^0$

Fonte: FETTER, 2018. Adaptado pela autora.

Para obter esse coeficiente k , essencial para o estudo dos solos, é necessário o equipamento denominado permeâmetro. Levando em consideração a Lei de Darcy, e com os dados obtidos pelo permeâmetro, consegue-se calcular a condutividade hidráulica. Dessa maneira, cabe ao laboratorista escolher, dentro das opções disponíveis no mercado, aquele que mais se adequa ao tipo de solo analisado.

3.3 EQUIPAMENTOS PARA A MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A condutividade hidráulica é o coeficiente que necessita ser descoberto através dos ensaios de permeabilidade. Existem três possibilidades para esse tipo de teste: o ensaio de permeabilidade *in situ*, o ensaio de permeabilidade a carga constante e o ensaio de permeabilidade a carga variável. Usualmente, o ensaio de permeabilidade a carga constante é recomendado a solos mais permeáveis, de granulometria mais elevada. Já o ensaio de permeabilidade a carga variável é indicado a solos de baixa permeabilidade, com granulometria fina ou bem dispersa. Já o ensaio *in situ* possui uma menor precisão, e portanto, não é definitivo para determinação da constante k (LIBARDI, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou duas normas técnicas para regulamentar a construção e aplicação desses métodos. A NBR 13292:1995 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante e a NBR 14545 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável.

O permeâmetro de carga constante tem seu funcionamento através da aplicação constante de água na amostra, mantendo assim, a mesma carga hidráulica. Para obter os parâmetros, mensuramos a massa de água até o sistema atingir equilíbrio entre a vazão transportada e o tempo (MARQUES *et al.*, 2008). Aplicando a Lei de Darcy, sabendo que a vazão é proporcional ao volume e

inversamente proporcional ao tempo e substituindo a equação 1 com o fator correspondente na equação 3, temos que:

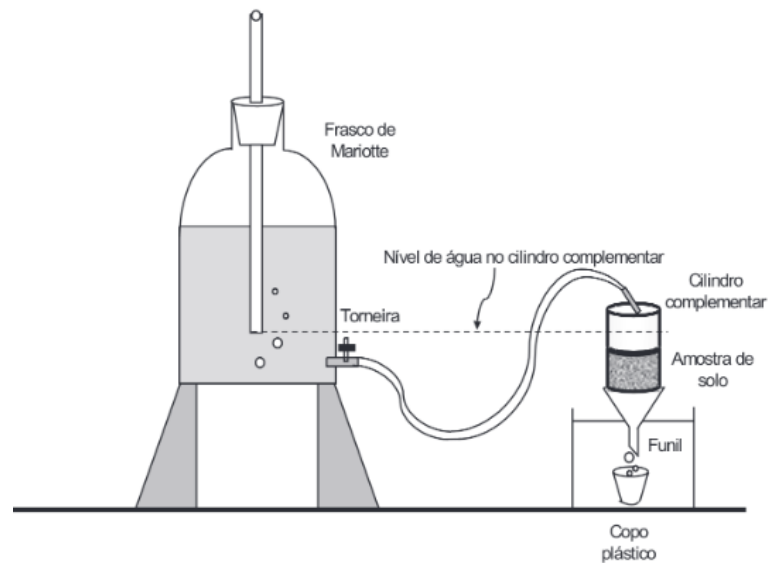
$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (3)$$

$$\frac{Vol}{t} = k \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot A \quad (4)$$

$$k = \frac{Vol \cdot L}{A \cdot \Delta H \cdot t} \quad (5)$$

Sendo assim, podemos determinar a condutividade hidráulica da amostra de estudo ao medir a massa de saída de água, já que, ao conhecermos a densidade da água bastaria dividi-la pela massa para determinar o volume de saída. Na figura 2 abaixo podemos ver um exemplo de permeâmetro de carga constante

Figura 2 - Permeâmetro de carga constante com uma amostra de solo

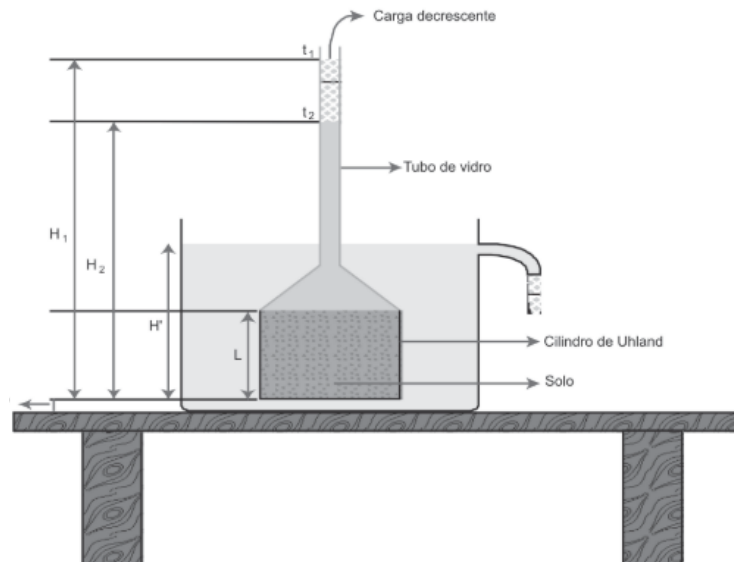


Fonte: TEIXEIRA, MORAES e SIMONETE; 2005.

O permeâmetro de carga decrescente determina a permeabilidade através da passagem de água em um tubo com duas alturas ditas como $h1$ e $h2$, assim, medimos o tempo transcorrido entre o momento que a água atinge a marcação um até o ponto da marcação 2. Sabendo a área da tubulação e considerando que o fluido é água, podemos calcular o volume percolado. Possuindo essas informações agora somos capazes de determinar o coeficiente k , através da equação 5. A figura

3 abaixo demonstra um esquemático de um permeâmetro de carga constante com uma amostra de solo para análise.

Figura 3 – Permeâmetro de carga decrescente com uma amostra de solo



Fonte: LIBARDI, 2000 adaptado por MARQUES *et al.*, 2008.

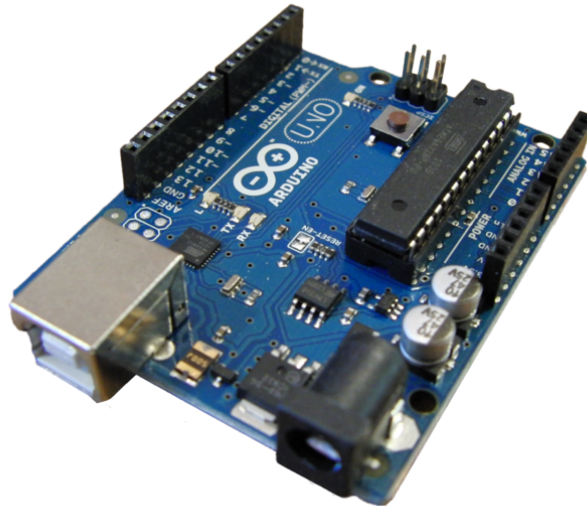
3.4 EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO

Atualmente as mensurações das propriedades do solo são realizadas, em sua maioria, por equipamentos digitais capazes de mitigar a variação humana na coleta dos dados. Stiglitz *et al.* (2016) comenta que a modernização nas mensurações em campo e em laboratório traz maior segurança na transformação de dados em informações sobre a amostra. A escolha dos componentes eletrônicos necessários para atender as demandas desse projeto deverá, portanto, considerar o tipo de permeâmetro a ser adotado, como será feita a aquisição dos dados, o custo-benefício do sistema, entre outros fatores.

Equipamentos de baixo custo usualmente empregam *software* e hardware livre, sendo que a plataforma *Arduino* é de mais comum uso em diversas aplicações para o monitoramento ambiental. A plataforma utiliza uma linguagem C/C++ modificada de caráter aberta com um *bootloader* que dispensa a programação direta do chip microcontrolador AVR. A placa conta com um microprocessador, memória interna, periféricos de entrada e saída, totalizando seis entradas analógicas e catorze entradas digitais, com pinos de alimentação de 3,3 a 5 volts (CAVALCANTE,

2011). A figura 4 abaixo demonstra uma das placas com uso mais difundido da plataforma, a Uno.

Figura 4 – Placa Arduino UNO programável



Fonte: Creative Commons, 2011.

A principal vantagem de utilizar essa placa é sua grande escala de sensores acopláveis a sua estrutura: gravadores de cartão de memória, sensores de temperatura, pressão, altura, fototransistores, umidade, entre outros. Essa enorme gama de acoplamentos que podem ser feitos torna a plataforma versátil para as mais diversas aplicações, incluindo aquela a ser implementada por esse trabalho.

A figura 5 reproduz alguns dos módulos mais comuns a serem utilizados na plataforma. Cabe ressaltar que é necessário a aquisição das bibliotecas responsáveis pela execução do módulo, já que as funções são chamadas para execução no código principal, mas é possível localizá-las facilmente no site da fabricante.

Figura 5 – Módulos de coleta de dados para Arduino



Fonte: Eletronics Lab, 2016

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção será descrita como a solução prática para a determinação do coeficiente de permeabilidade para o permeâmetro de carga constante. Inicialmente descreveremos o protótipo de hardware com todos os módulos utilizados para ler e armazenar os dados necessários. Como já mencionado, a escolha da placa de prototipagem *Arduino* permite flexibilidade na montagem do sistema pela alta gama de módulos disponíveis no mercado.

Após a definição e construção do módulo, o protótipo foi programado através de sua IDE para que seja realizada a aquisição e o processamento dos dados. Nessa etapa, são necessários testes para a calibração do sensor com o intuito de adequar a precisão da leitura a fatores locais que podem interferir no processo de obtenção dos dados.

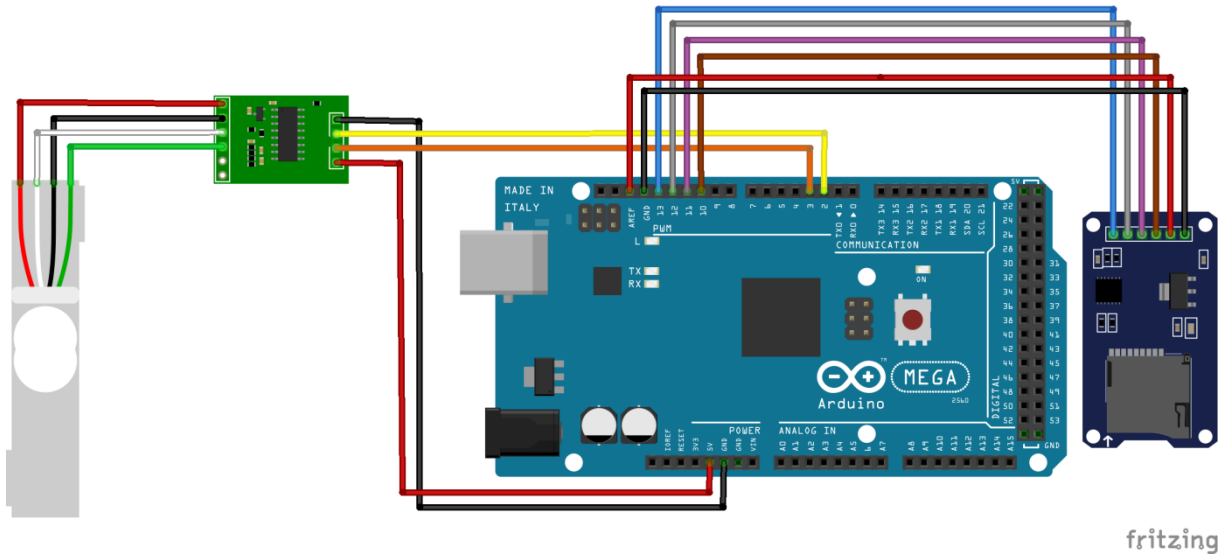
O dispositivo funcionará com permeâmetro de carga constante, medindo a massa da água que passa pela amostra de solo. A amostra será deformada, pois o solo foi coletado sem os recipientes de armazenamento, dessa maneira, estruturas como os macroporos não foram preservadas em sua integridade. Sabendo que a densidade é proporcional a massa dividido pelo volume e conhecendo a densidade da água, com o monitoramento da massa de água que permeou a amostra será possível encontrar o volume com a utilização da equação 5. Dessa maneira será possível determinar o coeficiente de condutividade hidráulica.

4.1 HARDWARE

Para a construção do equipamento responsável pela aquisição de dados serão alocados quatro módulos: Placa *Arduino Mega 2560 R3*, Célula string-gauge, Módulo *HX 711*, Módulo para cartão magnético. Outros componentes deverão ser empregados junto do equipamento principal como a fonte de alimentação e o cartão magnético de memória, neste caso será utilizado a versão *MicroSD*. Os módulos serão montados em uma placa de prototipagem, o que permite que alterações sejam feitas no decorrer do processo de testes, se necessário.

Na figura 6 é possível visualizar o esquemático de montagem na ferramenta *Fritizing*. Inicialmente somente um sensor será acoplado para leitura, entretanto o sistema poderá ser expandido se requisitado.

Figura 6 – Esquemático do dispositivo para captura dos dados de massa



Fonte: Autora.

4.2 SOFTWARE

Com base na escolha do *hardware* para este projeto optou-se pela programação da placa através da ArduinoIDE. O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) da plataforma Arduino utiliza linguagem C/C++ modificada que permite a programação orientada a objetos. Para tanto, diferentes bibliotecas são adicionadas, a depender dos sensores pretendidos no projeto, com finalidade de criar uma lógica modular no código construído.

Para utilização do dispositivo dois códigos foram desenvolvidos, para calibração e para execução da função principal determinada por esse projeto, ambos estão disponíveis nos apêndices deste trabalho. Para calibração o software não armazena dados, apenas o apresenta no monitor de execução da própria plataforma, já que o processo de calibrar é simples, não necessitando de armazenagem. O código de execução principal fez o uso de linguagem orientada a objetos, podendo chamar o mesmo processo de leitura quantas vezes forem solicitadas pelo usuário.

4.3 AMOSTRAS DE SOLO

Para a amostragem serão utilizados três tipos de solo em triplicata: latossolo vermelho distroférico típico, argissolo vermelho distrófico e vertissolo hidromórfico.

Ao realizar a análise das amostras será possível comparar as informações obtidas com outros trabalhos que apresentem tipos de solo similares a fim de verificar se o sensor está realizando medidas condizentes com padrões apresentados por outros pesquisadores. Abaixo, a figura 7 demonstra as amostras de solo depositadas em seu recipiente para medida, sendo respectivamente: vertissolo hidromórfico, argissolo vermelho distrófico e latossolo vermelho distroférico típico.

Figura 7 – Amostras de solo para análise



Fonte: Autora.

O vertissolo hidromórfico é um solo com horizonte glei de textura argilosa, com plasticidade alta e cor acinzentada (EMBRAPA, 2013). Braga (2016) cita que o vertissolo de sua região, situada no norte de Minas Gerais, apresenta condutividade hidráulica saturada de 5×10^{-6} cm/s, evidenciando a característica de um solo pouco permeável com grandes teores de argila.

O argissolo vermelho distrófico apresenta horizonte B, de textura argilosa a arenosa de cor acastanhada a vermelha sendo suscetível a erosão por dificultar a drenagem superficial da água (EMBRAPA, 2013). Lima *et al.* (2006) descreve que em um sistema de plantio convencional, a condutividade hidráulica saturada do solo atinge valores de $2,82 \times 10^{-4}$ cm/s. Já Mentges *et al.* (2010) descreve valores semelhantes de $3,63 \times 10^{-4}$ cm/s o que denota certa regularidade em valores obtidos para esse solo.

O latossolo vermelho distroférico típico tem como horizonte B de textura muito argilosa de cor vermelha, sendo encontrado em planícies e apresentando alta

porosidade (EMBRAPA, 2013). Cunha *et al.* (2015) descreve que a condutividade hidráulica saturada em solo com plantio convencional, atinge valores de $4,3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ em média, já Ramos *et al.* (2005) apresentam valores de $6,39 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, ambos fizeram o uso de permeâmetros aplicados em campo. Cabe ressaltar que o estudo realizado por Ramos também coletou informações de local com solo sem qualquer desenvolvimento de atividade antrópica apresentando $3,56 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ como resultante da condutividade hidráulica o que demonstra a facilidade de alteração da estrutura desse solo

Espera-se que a bancada montada neste trabalho seja capaz de obter resultados semelhantes aos demonstrados em amostragens realizadas citadas acima. Entretanto, cabe ressaltar que as amostras coletadas não foram mantidas indeformadas, então, espera-se que haja diferenças entre os parâmetros apresentados pela literatura e os coletados por esse trabalho.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Entre os diferentes métodos aplicados para atestar a confiabilidade e precisão dos dados, escolheu-se o Erro quadrático médio (MSE) e a raiz do erro quadrático médio para tal fim. O MSE é a diferença entre valores obtidos por uso de modelagem e aqueles obtidos empiricamente. O erro demonstrado utiliza as unidades de medida adotadas pelo operador, sendo que a resultante é dada de maneira absoluta (KAMBLE e DESHMUKH, 2017). A equação seis denota o método de cálculo do MSE, de modo que, quanto menor o valor resultante, mais alinhados estão os valores previstos e os reais.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{\text{modelo}} - y_{\text{real}})^2 \quad (6)$$

A variável n representa o número total de dados a serem analisados, Y_{modelo} , nesse trabalho, representa os valores obtidos por meio do sensor automático, e Y_{real} é aquele obtido por meio manual.

A raiz do erro quadrático médio (RMSE) está descrita na equação sete abaixo, onde é realizada a radiciação do valor obtido para o MSE. Assim como o

MSE o RMSE é uma medida absoluta que tem como unidade de medida aquela adotada pelo operador (CHAI e DRAXLER, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{modelo} - y_{real})^2} \quad (7)$$

Em aplicações utilizando a placa de prototipagem Arduino, o uso do MSE e RMSE em conjunto têm sido amplamente difundidos para análise do erro apresentado pelos sensores (YARI, 2013; MOTA et al., 2016; ROSS et al., 2018). Como o MSE penaliza os erros mais discrepantes do modelo, poderia levar a conclusões incorretas se analisadas separadamente. Assim, sua utilização em conjunto do RMSE permite uma visão mais clara da magnitude dos erros entre os valores obtidos de maneira manual, ou seja os valores chamados reais, e os valores obtidos pela bancada eletrônica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O dispositivo foi montado em bancada de madeira com funil direcionador para as duas balanças a fim de obter as medidas, sendo esses demonstrados na figura 8 abaixo. Foram utilizados dois módulos de coleta de dados, pois os equipamentos de medição são utilizados por outros experimentos. O código fonte do calibrador e da bancada para obtenção de dados está descrito no apêndice A deste trabalho.

Para o correto funcionamento do dispositivo é necessário em seu primeiro uso sua calibração e a tara do peso dos recipientes de armazenamento de água. Dessa forma, como explicitado anteriormente, foi realizada a construção de um código simplificado buscando a otimização da coleta de dados, o mesmo se encontra no apêndice B deste trabalho.

Figura 8 – Montagem de bancada eletrônica para coleta de dados



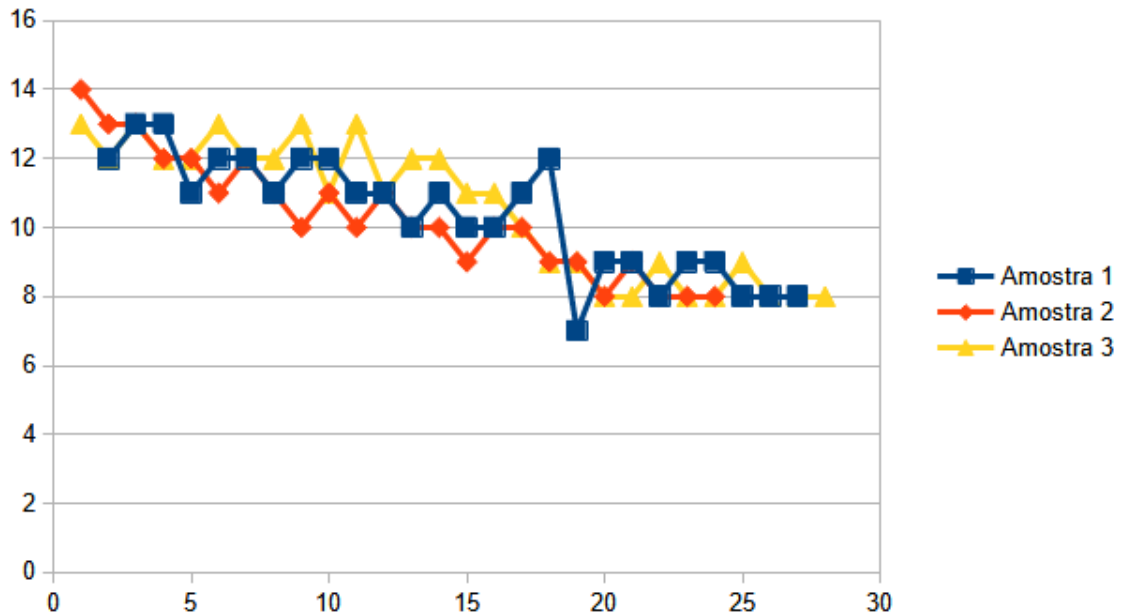
Fonte: Autora.

5.1 VERTISSOLO HIDROMÓRFICO

O vertissolo hidromórfico, definido como solo um, teve três amostras tomadas de maneira automática e manual. Para o uso da Lei de Darcy, é necessário calcularmos a diferença entre as medidas, dessa maneira, a figura 9 demonstra os

valores da diferença até a estabilização da passagem do volume de água através do método automático.

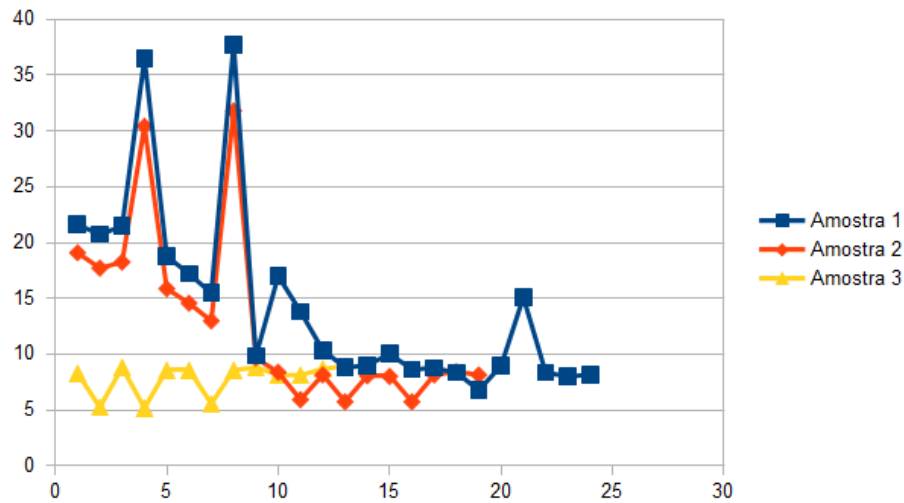
Figura 9 - Curva de estabilização do solo um com obtenção automática



Fonte: Autora.

A média foi de 8 cm³ por minuto, sendo que a resultante da condutividade hidráulica saturada foi de $6,79 \times 10^{-3}$ cm/s. As amostras foram realizadas de maneira manual, pesando a água que passa pelo solo a cada minuto. A figura 10 mostra a curva até a estabilização para o cálculo da condutividade hidráulica.

Figura 10 - Curva de estabilização do solo um com obtenção manual



Fonte: Autora.

Para as amostras manuais a média foi de $8,3 \text{ cm}^3$ por minuto, sendo a resultante da condutividade hidráulica saturada o valor de $7,08 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$. O erro quadrático médio entre a média obtida por meio do sensor e a manual foi de $0,3 \text{ cm}^3$ de água e sua raiz do erro quadrático médio foi de $0,6 \text{ cm}^3$.

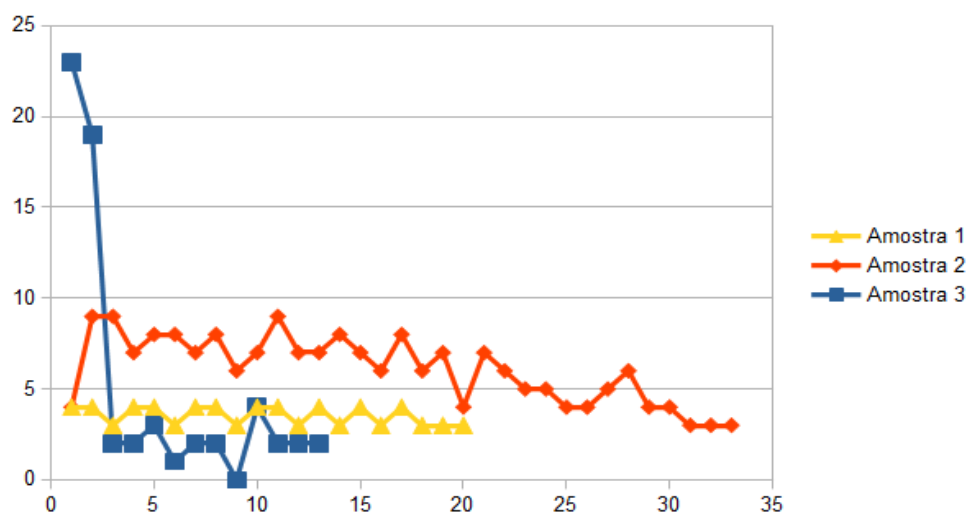
Como citado anteriormente, a condutividade hidráulica apresenta certa variabilidade, sendo que, processos de manipulação e manejo do solo podem alterar valores usualmente esperados, especialmente quando há modificação das propriedades físico-químicas (AMARAL, 2007). No caso das amostras utilizadas, todas são deformadas, ou seja, não foi preservada a estrutura natural do solo, o que incide em sua porosidade. Considerando essas informações, é possível inferir que os valores seriam diferentes daqueles encontrados por outros pesquisadores (BRAGA, 2016; AMARAL, 2007)

É possível observar que os valores obtidos por meio do método automático e manual foram superiores a trabalhos similares, entretanto, são valores aceitáveis visto que há certa diferença na preparação das amostras. Além disso, é possível constatar que erros foram cometidos na aquisição de dados, gerando altos valores pelo atraso na coleta. Esse tipo de erro é comum na obtenção de dados manuais, pois, mínimos atrasos geram grandes aumentos no total de líquido que passa pelo corpo de prova por minuto.

5.2 ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

O segundo solo, definido como argissolo vermelho distrófico, teve em sua amostragem automática os seguintes valores demonstrados na figura 11 com valor médio de 2,67 cm³.

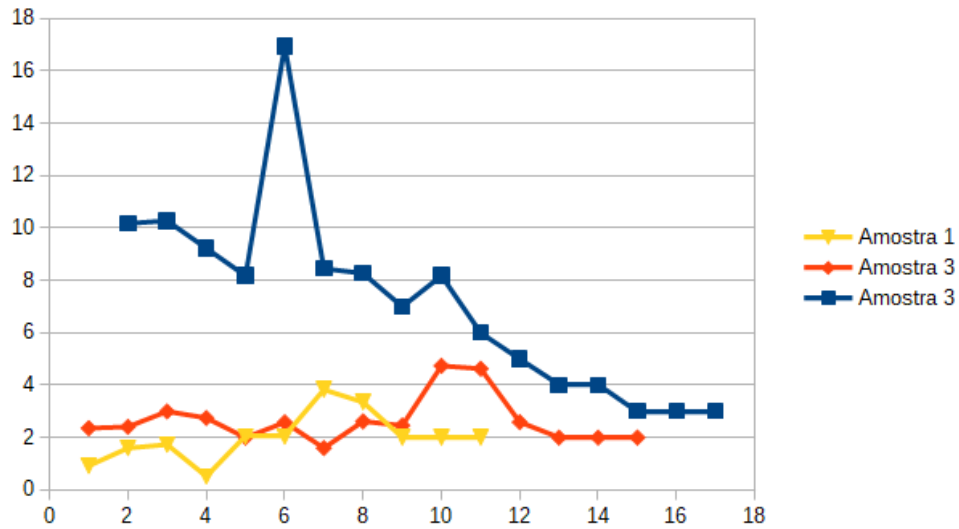
Figura 11 - Curva de estabilização do solo dois com obtenção de bancada eletrônica.



Fonte: Autora.

A resultante da condutividade hidráulica saturada de valor $2,23 \times 10^{-3}$ cm/s. As amostras realizadas de maneira manual foram obtidas e expressas encontram-se na figura 12 abaixo. Nela é possível verificar a diferença entre os valores a cada minuto.

Figura 12 - Curva de estabilização do solo dois com obtenção manual



Fonte: Autora.

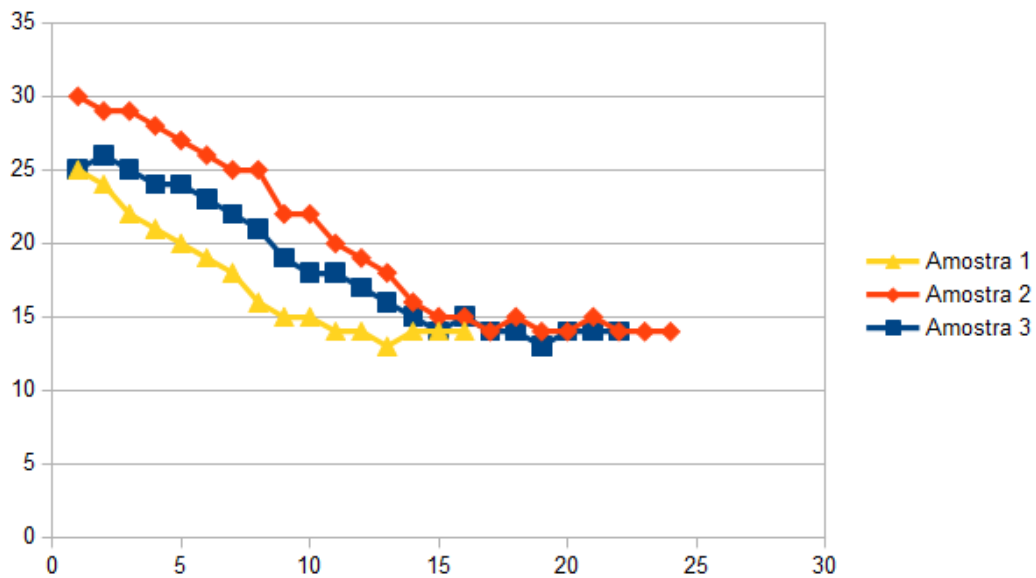
As amostras manuais tiveram média de $2,3 \text{ cm}^3$ por minuto, e sua resultante da condutividade hidráulica saturada o valor de $1,95 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$. O erro quadrático médio entre as medidas entre o sensor e a pesagem manual foi de $0,67 \text{ cm}^3$ de água e a raiz quadrada do erro médio foi de $0,82 \text{ cm}^3$ de água. Em termos gerais, o erro amostrado foi considerado baixo, tanto em sua quantificação absoluta, demonstrada pelo MSE, quanto pelo RMSE que, apesar de maior, ainda mostra a baixa variabilidade ocorrida entre os métodos de coleta de dados. Outro ponto relevante é o erro na coleta denotado pelo ponto cinco, na figura 12, que, assim como comentado anteriormente, se deu pelo atraso entre as medidas.

Os valores encontrados para condutividade hidráulica saturada são condizentes com outros trabalhos semelhantes como o apresentado por Silva et al. (2005) onde os valores médios foram de $9,02 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, e também com Gubiani et al. com valores de $1,00 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$. É possível perceber que os valores são condizentes com outros estudos e apresentam baixo erro quando ambos métodos de aquisição de dados são comparados.

5.3 LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

O terceiro solo, identificado como latossolo vermelho distroférico típico, teve em sua coleta automática os seguintes valores demonstrados na figura abaixo.

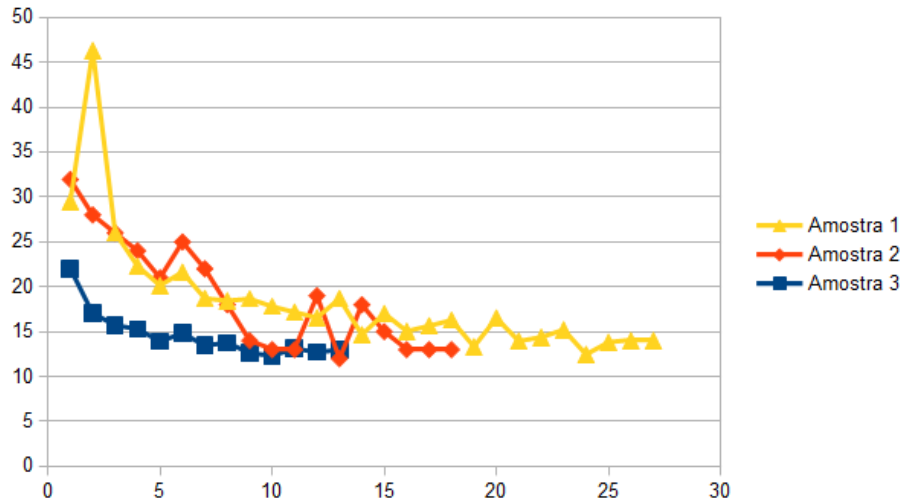
Figura 13 - Curva de estabilização do solo três com obtenção automática



Fonte: Autora.

A média de valores da diferença em todas as amostras de coleta automática foi de 14 cm³ de água obtendo como resultante da condutividade hidráulica o valor de $1,18 \times 10^{-2}$ cm/s. Já para as medidas adquiridas de modo manual a média de valores foi de 13,3 gramas de água, tendo como resultado da condutividade hidráulica o valor de $1,12 \times 10^{-2}$ cm/s demonstrado na figura 14 abaixo.

Figura 14 - Curva de estabilização do solo três com obtenção manual.



Fonte: Autora.

O erro quadrático médio entre as amostras obtidas pelo sensor e pelo método manual foi de $0,67 \text{ cm}^3$ de água, e a raiz do erro quadrático médio foi de $0,81 \text{ cm}^3$ de água. O erro foi considerado baixo, o que demonstra, novamente, a confiabilidade na obtenção dos dados por meio da bancada eletrônica. Além disso, é possível notar no segundo dado obtido valor superior aos encontrados em outras amostras, isso ocorreu pois houve um atraso no momento da pesagem, o que gerou a distorção de dados.

Como já mencionado, o latossolo é um tipo de solo que apresenta uma variedade ampla de valores de sua condutividade hidráulica e, dessa maneira os valores obtidos para tal parâmetro podem ser menores (TAVARES FILHO et al., 2006; ARGENTON et al., 2005) ou maiores (GENRO JUNIOR et al., 2009; CUNHA et al., 2015). Esse trabalho assemelha-se a dados com valores maiores, como àqueles descritos por trabalhos acima citados. Esses valores variam em decorrência de suas propriedades físico-químicas do solo, principalmente em decorrência dos macroporos no caso do tipo de solo dessa amostra (ANDREOTTI et al., 2010). Dessa maneira, os dados encontram-se com baixo erro e com similaridade com outros trabalhos, o que representa a boa performance da bancada eletrônica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível verificar a funcionalidade da aplicação de sensores considerados de baixo custo para a aquisição de dados relacionados ao solo. O maior benefício observado foi a eliminação de erros ocasionados pelo observador, ou seja, aqueles causados pelo homem.

As informações fundamentais para o desenvolvimento dos módulos para a aquisição dos dados foi de fácil obtenção, pois trata-se de hardware e software livre com vasta documentação disponível na internet. Além disso, o conhecimento em programação para o desenvolvimento da bancada foi facilitado pela simplificação da linguagem C utilizada pela plataforma Arduino.

Foi observado algumas discrepâncias em relação aos dados descritos na literatura, especialmente em relação a solos com características físicas relacionados à porosidade da amostra. Entretanto, tais imprecisões decorrem do tipo de coleta realizada, podendo ser corrigida com a coleta de amostras indeformadas de solo. Além disso, a condutividade hidráulica é um parâmetro que apresenta certa variabilidade, a depender das amostras utilizadas pelo laboratorista, portanto, esses erros poderiam ser encontrados independente da utilização de equipamento automático.

É possível concluir, pela elaboração desse trabalho, que módulos de baixo custo apresentam grande potencial para realizar análises laboratoriais de amostras de solo. Também podemos citar a confiabilidade e precisão que esse tipo de implementação traz para a aquisição de dados, e conseqüentemente, a análise das propriedades físico-químicas do solo.

REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, M. et al. Produtividade da soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um Latossolo Vermelho do cerrado brasileiro. **Ciência Rural**, v. 40, p. 520-526, 2010.
- AMARAL, F. C. S. et al. **Influência da irrigação na condutividade hidráulica de um Vertissolo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2007.
- ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425-435, 2005.
- Associação Brasileiras de Normas Técnicas. **NBR 15445/2000**: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Cargas Variáveis - Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- Associação Brasileiras de Normas Técnicas. **NBR 13292/1995**: Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares a Cargas Constantes - Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- BRAGA, L. T. P. et al. **Recarga do tipo localizada em região semiárida: estudo de caso em Dolinas da Bacia do Rio Verde Grande, Minas Gerais**. Águas Subterrâneas, v. 30, n. 2, p. 153-171, 2016.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 33, p. 4503-4503, 2011.
- CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE). **Geoscientific model development discussions**, v. 7, n. 1, p. 1525-1534, 2014.
- COELHO, M. R. et al. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: MOREIRA, F.M. S; CARES, J.E.; ZANETTI, R.; STUMER, S.L. **O ecossistema o solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras, MG: UFLA, 2013. cap. 3, p. 45-62.
- CUNHA, F. N. et al. **Influência da difusividade e condutividade hidráulica na infiltração de água em um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de cultivo**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI, v. 9, n. 3, p. 102-112, 2015.
- DAMO, T. P. et al. **Classificação dos solos e rochas sedimentares da região de Santa Maria/RS segundo a metodologia MCT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- DOS SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.
- FEITOSA, F. A. C. et al (Org./Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, LABHID, 2008.

FETTER, C. W. et al. **Applied hydrogeology**. 4. ed. Chicago: Waveland Press, 2018.

GENRO JUNIOR, S. A. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v. 39, p. 65-73, 2009.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 885-893, 2002.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.. Condições físicas de um Argissolo Vermelho distrófico arênico após oito ciclos de cultivo e uso de dejetos de suínos.

KAMBLE, V. B.; DESHMUKH, S. N. Comparision between accuracy and MSE, RMSE by using proposed method with imputation technique. **Oriental journal of computer science and technology**, v. 10, n. 4, p. 773-779, 2017.

KURAMAE, E. E. et al. Soil characteristics more strongly influence soil bacterial communities than land-use type. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford: v. 79, n. 1, p. 12-24, 2012.

LIBARDI, P.L. Água no solo. In: van LIER, Q.J., ed. **Física do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa: 2010. p.103-152.

LIPIEC, J. et al. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil and Tillage research**, v. 89, n. 2, p. 210-220, 2006.

MARQUES, J. D. de O. et al. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, p. 193-206, 2008.

MENTGES, M. I. et al. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 315-321, 2010.

MOREIRA, F.M. de S. et al. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA, 2013.

MOTA, W. N. et al. NOTA TÉCNICA: CONSTRUÇÃO DE UM LINÍGRAFO DE BAIXO CUSTO COM A PLATAFORMA ARDUINO. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 24, n. 6, p. 523-530, 2016.

NA, A. et al. An IoT based system for remote monitoring of soil characteristics. In: **2016 International Conference on Information Technology (InCITE)-The Next Generation IT Summit on the Theme-Internet of Things: Connect your Worlds**. Dehli: IEEE, 2016. p. 316-320.

PINHEIRO, R. JB; NUMMER, A. V.; RAUBER, A. C.. Determinação da Condutividade Hidráulica das Principais Unidades Geológico-Geotécnicas de Santa Maria-RS. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 347-363, 2017.

RAMOS, B. Z. et al. **Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil**. Revista de Ciências Agrárias, v. 36, n. 3, p. 340-346, 2013.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ. Depto de Física e Meteorologia, 160 p, 1996.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. 2006. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM. 18 p.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, v. 3, 2013.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SINGH, V. K. et al. Modelling of soil permeability using different data driven algorithms based on physical properties of soil. **Journal of Hydrology**, v. 580, p. 124223, 2020.

STIGLITZ, R. et al. Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 121, p. 141-148, 2016.

TAVARES FILHO, J. et al. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 36, p. 996-999, 2006.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. 2005. **Desempenho do Tensiômetro, TDR e Sonda de Nêutrons na determinação da Umidade e Condutividade Hidráulica do Solo**. Revista brasileira de Ciência do Solo, v. 29, n. 2, p. 161-168.

YARI, J.. **Desenvolvimento de miniplataforma de coleta de dados meteorológicos para pequenos produtores rurais utilizando as tecnologias livre Arduino e Android**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Produção e Gestão Agroindustrial) - Universidade Anhanguera, Campo Grande, MS, 2013

APÊNDICE A - CÓDIGO FONTE PARA A CALIBRAÇÃO DE SENSOR STRAIN GAUGE

```
#include <HX711.h>

#define pinDT 4
#define pinSCK 5

HX711 scale;

float medida = 0;

void setup() {
  Serial.begin(57600);

  scale.begin(pinDT, pinSCK); // Chama os pinos
  scale.set_scale(); // Modificar o valor dividindo pelo peso em kg

  delay(100);
  scale.tare(); // ZERANDO A BALANÇA PARA DESCONSIDERAR A MASSA DA
  ESTRUTURA

  Serial.println("Balança Zerada");
}

void loop() {

  medida = scale.get_units(5); // SALVANDO NA VARIÁVEL O VALOR DA MÉDIA DE
  5 MEDIDAS
  Serial.println(medida, 3); // ENVIANDO PARA MONITOR SERIAL A MEDIDA COM
  3 CASAS DECIMAIS

  delay(1000); // AGUARDA 5 SEGUNDOS
}
```

APÊNDICE B - CÓDIGO FONTE PARA BANCADA ELETRÔNICA

```
#include <HX711.h>

const int PINO_DT = 2;

const int PINO_SCK = 3;

const int PINO_DT2 = 4;

const int PINO_SCK2 = 5;

//declaracao do intervalo de espera

const int TEMPO_ESPERA = 500;

HX711 escala, escala2, //declaracao do objeto ESCALA na classe HX711 da
biblioteca

float medida=0;

float medida2=0;

void setup ()

{

  Serial.begin(57600);

  escala.begin (PINO_DT, PINO_SCK); //inicializacao e definicao dos pinos DT e
SCK dentro do objeto ESCALA

  escala2.begin (PINO_DT2, PINO_SCK2);

  escala.set_scale(-209184); //ajusta a escala para o fator de calibracao

  escala2.set_scale(-209763);

  escala.tare();

  escala2.tare();

}

void loop ()

{

  medida = escala.get_units(5); // SALVANDO NA VARIÁVEL O VALOR DA MÉDIA
DE 5 MEDIDAS

  medida2 = escala2.get_units(5);
```

```
Serial.print(medida,3);  
Serial.print(" - ");  
Serial.print(medida2,3);  
Serial.println(" - ");  
delay(60000);  
}
```