

## SISTEMA DE MEDIÇÃO DIGITAL DE PERMEABILIDADE DE SOLOS

*Aliénore Marguerite Célestine Joannic*

*Unilasalle Beauvais - França*

*Gwendoline Geneviève Bernadette Leguennec*

*Jeanne Annette Mary Chedru*

*Unilasalle Rouen - França*

*Alexandre Knop*

[alexandre.knop@unilasalle.edu.br](mailto:alexandre.knop@unilasalle.edu.br)

*Charles Rech*

*Emanuele Barbosa*

*Felipe Skorek*

*Simone Ferigolo Venturini*

*Universidade LaSalle - Canoas*

*Diego Santos Quadros*

*Ulbra – Canoas*

**Resumo:** A condutividade hidráulica do solo é uma das principais propriedades do solo, sendo um parâmetro que indica sua capacidade de permitir o fluxo de água através de seus vazios. O conhecimento do comportamento do solo em relação ao fluxo de água possui importância em várias áreas, onde se destaca a área da agricultura, pois é utilizada para manejo do solo, produção de culturas, preservação do solo e do meio ambiente; além da engenharia geotécnica, visto ser um parâmetro fundamental para o entendimento do comportamento mecânico dos solos, visto ser um dos parâmetros empregados em dimensionamentos geotécnicos incluindo escavações, aterros sobre solos moles, contenções, barragens, estabilidade de taludes e encostas, dentre outras muitas aplicações. Desta forma, o objetivo deste trabalho é o de conceber um dispositivo de medição digital e em tempo real do coeficiente de condutividade hidráulica de um solo através de um equipamento de carga hidráulica variável. O permeômetro digital de solos desenvolvido permite a medição automatizada e otimizada da condutividade hidráulica e a variação desta ao longo da dissipação da carga hidráulica de entrada no permeômetro. O equipamento, desenvolvido com baixo custo operacional de fabricação, possibilita ainda o armazenamento dos resultados nas “nuvens” através de dispositivos móveis para análise posterior ou mesmo remota do desempenho do ensaio.

**Palavras-chave:** Permeômetro de carga variável; Instrumentação; Mecânica dos Solos; Inovação em Laboratório.

**Abstract:** The hydraulic conductivity is one of the main properties of the soil, being a parameter that indicates its capacity to allow the flow of water through its voids. The knowledge of the behavior of the soil in relation to the flow of water is important in several areas, where the area of agriculture stands out, since

it is used for soil management, crop production, soil and environmental preservation; in addition to geotechnical engineering, since it is a fundamental parameter for the understanding of the mechanical behavior of soils, since it is one of the parameters used in geotechnical design including excavations, landfills on soft soils, restraints, dams, slope and slope stability, among many other applications . In this way, the objective of this work is to design a digital and real time measurement of the coefficient of hydraulic conductivity of a soil through a variable hydraulic load equipment. The developed digital soil permeability allows the automated and optimized measurement of the hydraulic conductivity and its variation along the dissipation of the hydraulic input load in the permeameter. The equipment, developed with low manufacturing cost, also allows the storage of the results in the “clouds” through mobile devices for later analysis or even remote of the performance of the test.

**Keywords:** Falling head permeameter test; Instrumentation; Soil Mechanics; Innovation in Laboratory.

## INTRODUÇÃO

Com o avanço do conhecimento e tecnologia, a aquisição e monitoramento de dados através de instrumentação elétrica vêm se consolidando nas mais diversas áreas da engenharia aplicada. No caso específico da engenharia geotécnica e agrícola, muitos dos ensaios realizados em campo e laboratório para verificar a conformidade ou não dos solos ainda demandam de práticas manuais e ensaios com elevadas incertezas, ou seja, com repetitividade questionável de dados. Assim, vislumbra-se a possibilidade do desenvolvimento de instrumentação específica que possibilite a coleta de dados de comportamento de solos em tempo real, mediante diferentes variáveis com maior confiabilidade. Para que seja possível o desenvolvimento de instrumentações, faz-se necessário a utilização de sensores e desenvolvimento de softwares, e principalmente a participação e envolvimento direto de alunos com interesse e aptidão para pesquisa.

A permeabilidade do solo indica a propriedade do solo de transmitir água e ar. O grau de permeabilidade é expresso numericamente e é chamado coeficiente de permeabilidade [k]. Este coeficiente representa a velocidade em que a água flui através do solo (LAGACÉ, 2015). O tamanho dos poros é altamente dependente da textura e estrutura do solo e são responsáveis pela taxa de percolação ou permeabilidade, pois através dos canais ou microvilosidades a água pode penetrar no solo com maior ou menor velocidade.

Quanto a permeabilidade do solo é elevada, é limitada o emprego do mesmo para algumas obras geotécnicas como por exemplo a construção de barragens ou reservatórios de água sem a utilização de técnicas especiais de construção (FAO, 2018). De acordo com Lagacé (2015), existem dois tipos de permeâmetros, sendo um com carga constante frequentemente usado em laboratório e o outro com carga variável que representa as condições reais do solo.

Na irrigação a condutividade hidráulica dos solos é usada para definir a taxa máxima de aplicação de água para não causar escoamento superficial no solo. Também é utilizada para analisar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente. No campo da hidrologia é utilizada para calcular a infiltração, drenagem de água no solo e para modelar a absorção de água pelas plantas. O valor da condutividade hidráulica é usado no dimensionamento de terraços nas lavouras e em modelos matemáticos de simulação do transporte de água no solo.

A permeabilidade do solo tem papel importante também na urbanização das cidades, visto que há contaminação do solo devido ao despejo de esgoto sem tratamento e depósito de resíduos sólidos que contaminam as águas subterrâneas e superficiais, comprometendo o sistema hídrico, dentre outros (TUCCI, 2009).

Atualmente a questão da gestão da água ocupa um lugar central nos setores agrícola e social que estão por vir. A água e seu uso derivam diretamente da permeabilidade dos solos. A permeabilidade do solo continua sendo um dos principais parâmetros para estabelecer o potencial de purificação e a capacidade de infiltração de solos naturais. O melhor controle da permeabilidade do solo forneceria água adequada para vários usos. Isso tornaria mais fácil gerenciar as estações de tratamento e ter mais água potável (BREUL et. al, 2015). O conhecimento da permeabilidade permite estabelecer doses adequadas de pesticidas para os solos agrícolas.

As leituras realizadas pelos permeômetros convencionais de carga variável são manuais, ou seja, requerem o acompanhamento contínuo visando o registro da variação da carga hidráulica que gera o fluxo ao longo do tempo, atividade realizada por técnico especializado. O ensaio, dependendo das características gerais do solo em estudo, pode demandar de longos períodos de tempo, podendo requerer dedicação prolongada do técnico responsável. Desta forma, e com base no até então exposto, fica evidenciada a relevância de um sistema que realiza o registro da variação da carga hidráulica ao longo do tempo, sem necessidade da intervenção de técnico durante o ensaio propriamente dito.

O objetivo deste trabalho foi o de desenvolver uma ferramenta de medição de permeabilidade de um solo de baixo custo e de forma rápida e confiável. Com um grupo de professores e alunos com habilidades complementares, vários experimentos e testes foram feitas para construir um protótipo que apresentado na UniLasalle School.

A tecnologia proposta nasce para contribuir, científico e tecnologicamente, proporcionando criar um dispositivo de medição de permeabilidade de solos de baixo custo e inteligente, de fácil operação, com alta confiabilidade de aquisição e armazenamento dos dados, que permite que o ensaio aconteça sem acompanhamento em tempo integral do técnico. Permite que as muitas leituras possíveis apontem para uma variação do coeficiente de condutividade hidráulica com o tempo e ao longo da dissipação da carga hidráulica. Além disso, os valores podem ser verificados e armazenados localmente ou armazenados nas “nuvens” e acessados remotamente através de dispositivos móveis, possibilitando posterior análise e mantendo o histórico dos dados medidos. Não existem registros da existência de instrumentação similar na engenharia geotécnica.

Os sistemas eletrônicos de medição, os medidores de pressão do tipo piezoelétrico, os conversores de sinais analógicos em digitais e comunicadores de dados sem fio são elementos de baixo custo e fácil acesso, devido ao grande desenvolvimento da indústria eletrônica e disseminação das plataformas do tipo abertas, eliminando o custo de investimento em softwares e algoritmos.

Neste trabalho foi realizado uma pesquisa bibliográfica sobre permeabilidade, destacando o seu princípio físico e sua contribuição na determinação de impactos ambientais. Em seguida, foram realizados testes de calibração e testes de campo e de laboratório no Centro de Tecnologia Ambiental da Universidade La Salle. Isso permitiu desenvolver a instrumentação necessária e relevante para o teste e, assim, projetar, construir e testar um sistema digital para medir a permeabilidade do solo.

O permeômetro desenvolvido possui a vantagem de oferecer um método contínuo de leitura e registro da permeabilidade de solos, através da instrumentação capaz de registrar as variações das cargas hidráulicas nas amostras em tempo real, com registro em computador ou armazenados nas “nuvens”. Tais vantagens podem ser aplicadas tanto a nível de pesquisa quanto para fins comerciais de prestação de serviços

Nas próximas seções são apresentadas a fundamentação teórica sobre permeâmetros e instrumentação, a descrição da montagem experimental, os resultados e por fim, a conclusão.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Permeâmetros

De acordo com a definição do dicionário Larousse, um permeâmetro é um instrumento para medir a permeabilidade de uma amostra de campo. Quanto à permeabilidade, isso é propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele (PUNTO, 2006). “O conhecimento da permeabilidade de um solo é de importância em diversos problemas práticos de engenharia, tais como: drenagem, rebaixamento do nível d’água, recalques etc.” (CAPUTO, 2015).

De acordo com Caputo (2015) e Punto (2006), o permeâmetro permite encontrar a permeabilidade de um solo em relação à lei de Darcy que estabelece que a velocidade de percolação é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico representado por  $k$ , conforme a Equação (1):

$$Q = k \frac{h}{L} A \tag{1}$$

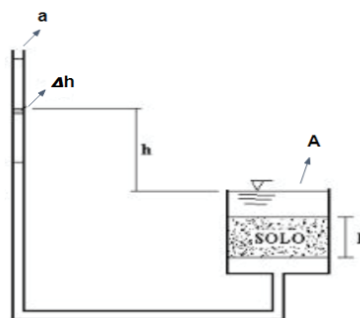
em que  $Q$  representa a vazão,  $A$  a área,  $k$  a constante de cada solo e que recebe o nome de coeficiente de permeabilidade,  $h$  a carga que atua na percolação,  $L$  a distância ao longo da qual a carga atua.

Os permeâmetros podem ser de carga constante ou variável. Neste trabalho é abordado o de carga variável em que medida em que a carga vai diminuindo devido a diminuição da coluna de água, a velocidade de percolação também diminui. Esta relação é avaliada em um decremento logarítmico da variável  $h$  (Figura 1), conforme Equação (2).

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \log(\Delta h) \tag{2}$$

em que  $\Delta h$  representa a variação da coluna de água ao longo de intervalos de tempo pré-determinados.

Figura 1 - Permeâmetro de carga variável.



Fonte: Autores (2018).

O valor da coluna, a cada incremento de tempo, é determinada a partir da pressão  $P$  medida, considerando a Lei de Pascal elaborado pelo físico e matemático francês Blaise Pascal (1623-1662), que estabelece que a pressão é dependente somente da altura da coluna ( $h$ ) que está sujeita, da densidade do fluido ( $\rho$ ) e da aceleração gravitacional local ( $g$ ), conforme na Equação (3).

$$P = \rho gh \tag{3}$$

De acordo com Punto (2006) e Balbinot (2010), é importante medir o coeficiente  $k$  utilizando o permeâmetro, pois a partir dos seus valores encontrados é possível estabelecer uma correlação do tipo do solo estudado. Na tabela 1 estão representados valores típicos do coeficiente de permeabilidade em acordo de tipo de solos.

Tabela 1 - valores típicos do coeficiente de permeabilidade em acordo de tipo de solos.

Tipos de solos	Argila	Silte	Areia argilosa	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Valores típicos de coeficiente de permeabilidade	$< 10^{-9}$ m/s	$10^{-6}$ a $10^{-9}$ m/s	$10^{-7}$ m/s	$10^{-5}$ m/s	$10^{-4}$ m/s	$10^{-3}$ m/s

Fonte: Adaptado de Pinto (2006).

Conforme Balbinot (2010), o coeficiente  $k$  pode variar de acordo com diferentes fatores, tais como a temperatura e o índice de vazios. Quanto maior for a temperatura, menor é a viscosidade da água e, portanto, mais facilmente ela se escoia pelos vazios do solo, com o correspondente aumento do coeficiente de permeabilidade.

## MATERIAIS

O dispositivo proposto é uma ferramenta para medição digital da permeabilidade de solos. A partir da instrumentação associada a um microcontrolador é possível monitorar em tempo real, mesmo à distância, a variação da coluna de água que estabelece a carga imposta e, conseqüentemente, a permeabilidade do substrato que está sendo ensaiado. Isso permite otimizar o ensaio, diminuindo o custo operacional com valores confiáveis de medição, bem como possibilitar pesquisa da variação do coeficiente de condutividade hidráulica ao longo da dissipação da carga hidráulica.

O instrumento é composto por sensor de pressão, conversor analógico/digital, comunicador com rede sem fio, módulo para contagem do tempo e programa de processamento e análise dos dados. Os valores de pressão são medidos no sensor e enviados ao conversor analógico/digital que por sua vez é responsável pelo processamento dos dados a partir do algoritmo elaborado, que utiliza princípios básicos da mecânica dos fluidos para estabelecer a relação entre pressão hidrostática e tempo.

A área da instrumentação é responsável por ler e monitorar grandezas físicas e ao interpretá-las, servir de tomada de decisão para o processo controlado (JUNIOR; SILVA, 2015). A medição é o conjunto de operações que tem por objetivo definir o valor de uma grandeza. (RECH, 2005). O mesmo autor define sistema de medição como sendo um aparato de instrumentos de medição e outros equipamentos interligados com o objetivo de realizar uma medição específica.

## Sensor de Pressão

O sensor utilizado é do tipo piezoelétrico, que converte a pressão aplicada em um sinal elétrico. Segundo Dimokrati (2015), a piezoelectricidade é a propriedade que certos materiais possuem de serem polarizados eletricamente sob a ação de uma restrição mecânica. Por outro lado, quando um campo elétrico é aplicado neste corpo, ele se deforma. Existe uma grande diversidade de materiais piezoelétricos, como por

exemplo o Quartzo. Assim, graças à capacidade dos materiais piezoelétricos de criar uma tensão elétrica quando uma força é aplicada, são utilizados, na indústria, para diversas aplicações como acelerômetros, sensores de vibração e pressão (DIMOKRATI, 2015). O permeâmetro foi projetado para uma carga inicial de 1 metro de coluna de água e, portanto, a faixa de medição do sensor é de 0-10 kPa.

## Central Eletrônica de Controle e de Processamento

Para automatizar o processo de medição da permeabilidade do solo foi utilizado o sistema de controle composto por Arduino UNO que contempla o conversor analógico/digital A/D, microprocessador, comunicador para rede sem fio, leitor e gravador de cartão SD, e processamento do *software* desenvolvido.

O Arduino é uma plataforma que possibilita a rápida elaboração de soluções a serem aplicadas em processos simplificados, como aplicações em instrumentação laboratorial (JUNIOR; SILVA, 2015). Plataforma de fácil utilização, é muito usado para o desenvolvimento e a prototipação de código aberto (*open source*). O Arduino permite armazenar um programa pré-estabelecido e executar tarefas de maneira autônoma e estabelece uma ligação entre o meio físico e o meio digital. O Arduino é constituído de um microcontrolador e de um ambiente de programação e permite a adição de sensores analógicos e digitais, e módulos adicionais, como leitor de cartão SD, comunicadores de rede sem fio, mostradores, etc, e, assim, propicia o aumento da sua capacidade de utilização (SOUZA, 2013).

## Módulo de Contagem do Tempo

No cálculo da permeabilidade, a variável tempo deve ser considerada conforme Equação (1). Faz-se necessário, portanto, um indicador do tempo decorrido entre cada amostragem de carga determinada pela variação altura da coluna d'água ( $D_h$ ). O módulo DS3132 é associado ao Arduino e faz esta contagem do tempo. O referido módulo está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Módulo de contagem de tempo.

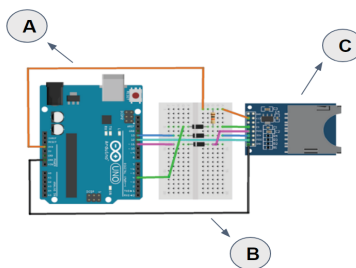


Fonte: Adaptado de Filipeflop (2018).

## Módulo de Leitura e Gravação do Cartão de Memória

Para o armazenamento local dos dados medidos e posterior análise foi utilizado um gravador de cartão SD associado e controlado pelo Arduino. Os gravadores *secure digital*-SD operam em uma tensão elétrica inferior (3.3 V) a que opera o Arduino (5 V), sendo necessário, portanto um divisor de tensão para o acoplamento sem a necessidade de utilização de fonte externa (THOMSEM, 2015). Na Figura 3 estão representados o Arduino (A), divisor de tensão (B) e o módulo cartão SD (C).

Figura 3 – Arduino, divisor de tensão e módulo de cartão SD.



Fonte: Adaptado de Filipeflop (2018).

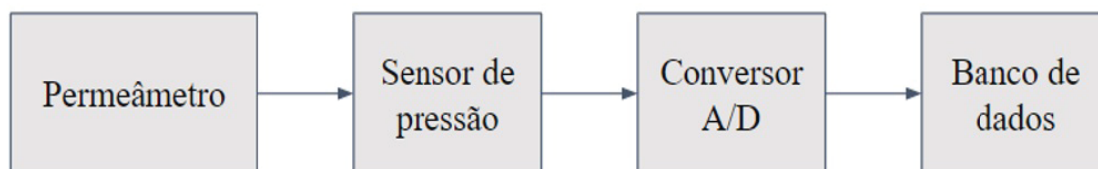
## METODOLOGIA

Nesta seção é apresentado a estratégia de medição adotada e a calibração do sensor de pressão utilizado. Visto que o permeâmetro de carga variável é dependente da coluna de água imposta em cada incremento de tempo, foi utilizado um sensor de pressão para sua medição e a Equação (3) para obtenção da variação da coluna d'água ao longo do tempo. Os dados adquiridos são processados no Arduino e convertidos em coeficiente de permeabilidade a partir da Equação (2). Os resultados são armazenados localmente no cartão SD e ou disponibilizados para dispositivos móveis via comunicação sem fio.

### Descrição da metodologia de medição

O planejamento para a elaboração do sistema de medição digital de permeabilidade é baseado no fluxograma conforme Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma do sistema de medição e registro.



Fonte: Autores (2018).

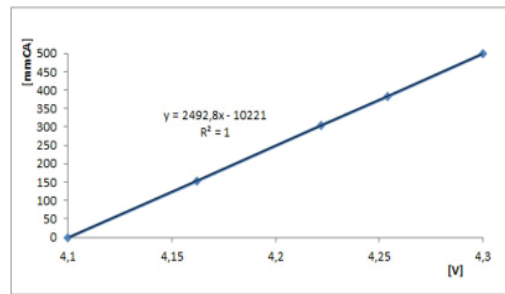
### Calibração do Sensor de Pressão

A calibração do sensor de pressão foi realizada no laboratório de Física da Universidade La Salle. Foi utilizada uma coluna de água com área conhecida e uma balança digital de referência com resolução de 0,1 g. A partir da massa de água extraída da coluna e medida na balança, calculou-se a altura utilizando a densidade e a área. Simultaneamente a cada medição da altura, fez-se a aquisição dos dados de tensão elétrica advinda do sensor.

Visto que nos sensores piezoelétricos a relação tensão elétrica *versus* pressão é constante, uma curva de interpolação linear foi inserida para determinar a reta de aproximação de calibração, conforme Figura 05, em que *mmCA* representa a altura da coluna de água na qual a amostra de solo é submetida e *V* é a tensão elétrica registrada no microcontrolador. Observa-se boa qualidade do sensor na calibração, pois a dispersão dos dados medidos em relação a curva obtida foi de 1, representado pelo  $R^2$ . A equação apresentada na Figura

05 descreve a relação entre a tensão elétrica e a coluna d`água representadas pelas letras x e y respectivamente.

Figura 05: Curva de calibração do sensor.



Fonte: Autores w(2018).

### Incerteza da Medição da coluna de água

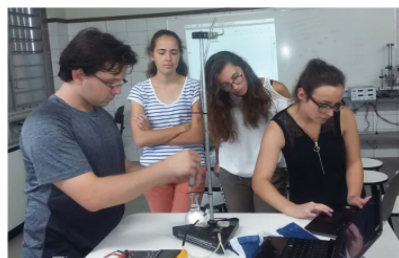
Visto que se trata de um sistema de medição quase-estático, em que são coletados valores de pressão por determinados incrementos de tempo fixo, a incerteza da medição pode ser avaliada utilizando a técnica proposta por Kleine & Mc.Klintock (1953) e pode ser vista em Beckwith et al. (1993). Considerando a resolução do conversor A/D de 12 bits, a escala da medição do sensor, que vai de 0\_4 V, é dividida em 4096 pontos, o que resulta em aproximadamente 2,5 Pa de resolução de escala. Aplicando-se o conceito de Kleine & Mc. Klintock na Equação (3), resulta em uma incerteza da medição da coluna de água < 1%.

### Andamento do projeto do permeâmetro digital

Inicialmente montou-se um grupo para elaboração, desenvolvimento e confecção do protótipo. Foram realizados encontros semanais para atualização do andamento das tarefas de cada integrante do grupo e discussão da situação atual do trabalho.

Os encontros para o desenvolvimento do protótipo e elaboração do artigo científico ocorreram nas dependências da instituição. A parte prática ocorreu nos Laboratórios de Física e Mecânica e a parte teórica na Biblioteca e Laboratório de Informática. A cada encontro foi gerado um relatório de andamento do projeto apontando as atividades realizadas e as previstas para os encontros vindouros. A Figura 06 traz os alunos interagindo no Laboratório de Física.

Figura 06: Alunos realizando a calibração dos instrumentos.



Fonte: Autores (2018).

Após uma vasta pesquisa bibliográfica foi concebido o conceito do protótipo e, posteriormente, foi feito o projeto do permeâmetro (Figura 7) juntamente com o levantamento de materiais necessários para executar a montagem.



Figura 07: Projeto do permeâmetro.



Fonte: Autores (2018).

Após a aquisição dos materiais foi realizada a montagem do protótipo, utilizando tubos e conexões comerciais, e iniciados os testes de funcionamento, bem como elaboração do algoritmo para obtenção dos valores de permeabilidade de solos. O permeâmetro está representado na Figura 08.

Figura 08: Permeâmetro digital de solos.



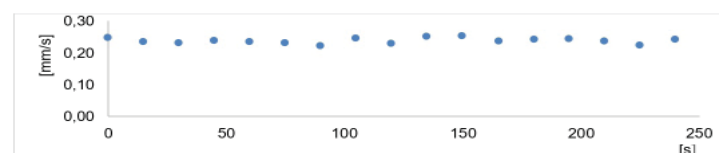
Fonte: Autores (2018).

Na Figura 08 é mostrado o permeâmetro (ao centro), com medição local (*display* a esquerda) e medição sem fio (computador a direita).

## RESULTADOS PRELIMINARES

Para avaliar a qualidade da medição, alguns ensaios preliminares foram realizados. Na figura 09 é mostrado a medição de um solo com característica arenosa (areia média Tab. 01). Verificou-se boa repetitividade dos resultados do coeficiente de permeabilidade conforme mostrado na Figura 09.

Figura 09: Resultados de medição da permeâmetro de uma amostra de solo arenoso



Fonte: Autores (2018).

## CONCLUSÕES

O objetivo de construir um dispositivo de medição digital e em tempo real do coeficiente de condutividade hidráulica de um solo através de um equipamento que possibilita carga hidráulica variável

foi alcançado. Um novo produto foi gerado, bem como foi protocolada uma patente de invenção, visto não existir tal produto no mercado.

Os resultados de permeabilidade obtidos da medição de uma amostra mostraram-se com boa repetitividade ao longo do tempo, revelando grande confiabilidade no equipamento desenvolvido.

A execução do trabalho proporcionou a integração e trabalho em grupo dos alunos pesquisadores, dos professores e dos alunos em intercâmbio com a instituição.

## REFERÊNCIAS

- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- BECKWITH, T. G.; MARANGONI, R. D.; LEINHARD, J. H. **Mechanical Measurements**, 5. ed. Reading: Addison-Wesley, 1993.
- BREUL, P.; FORQUET, N.; DUBOIS, V.; BOUTIN, C. **Développement d'un perméamètre in situ pour l'étude du potentiel épuratoire des sols naturels**. Disponível em: <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&ved=2ahUKewjqfWqh\\_reAhWBTJAKHSy4BPwQFjAQegQIChAC&url=http%3A%2F%2Ffoai.afbiodiversite.fr%2Fcindocoai%2Fdownload%2F881%2F1%2F2015\\_124.pdf\\_1641Ko&usg=AOvVaw2f25rEGmbIj8embkodX-aY](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&ved=2ahUKewjqfWqh_reAhWBTJAKHSy4BPwQFjAQegQIChAC&url=http%3A%2F%2Ffoai.afbiodiversite.fr%2Fcindocoai%2Fdownload%2F881%2F1%2F2015_124.pdf_1641Ko&usg=AOvVaw2f25rEGmbIj8embkodX-aY)>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- DIMOKRATI, A. **Capteurs piézoélectriques**. Disponível em: <<http://mstmav.e-monsite.com/medias/files/expose-capteurs-piezo.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- FILIFEFLOP. **Real Time Clock RTC DS3231**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- Food and agriculture organization of the united nations. Permeabilité du sol. Disponível em : <[http://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706f/x6706f09.htm](http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f09.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- KLEINE, S. J.; MCCLINTOCK, F. A. **Describing Uncertainties in Single Sample Experiments**, Mech. Eng., 3-8, Jan. 1953.
- LAGACÉ, R. **Conductivité hydraulique**. Disponível em: <[http://www.grr.ulaval.ca/gae\\_3001/Documents/Notes\\_2012/CH\\_06\\_K.pdf](http://www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2012/CH_06_K.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. iv, 355 p.
- RECH, C. **Metrologia e Prática de Oficina**. Canoas. 2005.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Humanos, 2009. 943 p.
- THOMSEM, A. Como gravar dados no Cartão SD com Arduino. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/cartao-sd-com-arduino/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- SOUZA, F. A. UNO. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.