

USO DE MICROCONTROLADOR ARDUINO PARA A DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO

¹Marcos Cleve Silva; ^{2*}Marcelo Santos Targa; ³Vicente Rodolfo Santos Cezar

¹Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais – UNITAU – Taubaté, SP.

²Docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais – UNITAU – Taubaté, SP.

³Pos-doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais – UNITAU – Taubaté, SP.

e-mail: marcoscleve@msn.com; targa.marcelo@gmail.com; vrscezar@gmail.com

*Autor correspondente:

RESUMO: A infiltração de água no solo é o processo de entrada de água através da superfície do solo. A velocidade de infiltração da água no solo é influenciada por diversos fatores como o tipo de solo, manejo, cultivo, e de suas propriedades físicas (textura, estrutura, grau de compactação) e pelo teor de umidade existente no solo. É um processo de grande relevância, pois afeta diretamente o escoamento da água na superfície do solo. Além disso, o conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para caracterizar os tipos de solos, definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem agrícola, bem como jardins e rodovias. O Infiltrômetro de anéis concêntricos é um equipamento composto por dois anéis (50 e 25 cm de diâmetro e 30 cm de altura), que são instalados, de forma concêntrica, na camada superficial do solo (15 cm) e tem sua medição dificultada pelo uso de régua e boias. Dessa forma o presente estudo teve como objetivo realizar testes de infiltração com automação e determinar as curvas de infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anéis concêntricos em um Latossolo Vermelho amarelo cultivado com palmito Pupunha. Para a automação desenvolveu-se um equipamento composto de um microcontrolador Arduino e sensor ultrassônico para fazer as leituras da altura de lâmina de água e geração automática de tabelas e gráficos no software Microsoft Excel. A velocidade de infiltração básica (VIB) do solo foi estabelecida em 362 mm.h^{-1} , classificada como rápida. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o uso do microcontrolador Arduino com o sensor ultrassônico instalados no infiltrômetro de anel se mostrou eficiente nas aferições em campo e tornou prática a determinação da infiltração acumulada (I) e da velocidade de infiltração (VI).

PALAVRAS-CHAVE: ciências ambientais, solos, sensores

USE OF ARDUINO MICROCONTROLLER FOR DETERMINING SOIL PERMEABILITY

ABSTRACT: The infiltration of water into the soil is the process of entering water through the soil surface. The hydraulic conductivity of the soil is the quantification of the infiltration velocity of the water in the soil, which occurs through the passage of water through the soil surface, influenced by several factors such as soil type, management, cultivation, and its properties (texture, structure, degree of compaction) and soil moisture content. It is a process of great relevance because it directly affects the flow of water on the soil surface. In addition, knowledge of water infiltration rate in the soil is of fundamental importance to characterize soil types, define soil conservation techniques,

plan and delineate irrigation and drainage systems on roads and highways. The present study had as objective to determine the infiltration curves and infiltration speed of water by the infiltrator method of concentric rings in a humid soil, using an arduino microcontroller and ultrasonic sensor to do the measurements and automatic generation of tables and graphs in the Microsoft Excel software. The concentric ring Infiltrator is an equipment consisting of two rings (50 and 25 cm in diameter and 30 cm in height), which are installed concentrically on the surface layer of the soil (15 cm). The soil of the sample used had its VIB (basic infiltration velocity) at 362 mm.h^{-1} and was classified as very high. From the results obtained, it was verified that the use of the Arduino microcontroller with the ultrasonic sensor installed in the ring infiltrator was efficient in the field measurements and it became practical to determine the accumulated infiltration (I) and infiltration velocity (VI).

KEY WORDS: environmental sciences, soil, sensors

1. INTRODUÇÃO

A velocidade de infiltração da água no solo se caracteriza pela passagem da água por meio da superfície do solo, a qual é influenciada por fatores como o tipo de solo, manejo, cultivo, e de suas propriedades físicas (textura, estrutura, grau de compactação) e pelo teor de umidade existente no solo. É um processo de grande relevância, pois afeta diretamente o escoamento da água na superfície do solo, que é o componente do ciclo hidrológico, que é responsável pelos processos de erosão e inundações nas cidades. Além disso, o conhecimento dessas propriedades do solo é de fundamental importância no manejo do solo e da água, também nos cultivos agrícolas e em aplicações comerciais e industriais. A determinação da velocidade de percolação da água através dos poros dos solos pode ser feita por métodos de laboratório ou de campo. O método abordado é do infiltrômetro de anéis concêntricos. Uma das grandes dificuldades no uso desse modelo, se dar no ato da aferição da taxa de infiltração da água, por se tratar de um modelo de aferição manual por meio de régua, escalas, boias, etc. Portanto, com o uso de microcontroladores pode-se fazer essas aferições de forma automatizada e digital.

Microcontroladores são pequenos computadores em um único circuito integrado, que contém processador, memória e periféricos de entrada e saída. São utilizados em aplicações específicas ou para aplicações de propósito geral. Esse tipo de equipamento torna-se economicamente viável para o controle digital de cada vez mais aparelhos e processos, devido ao seu poder de processamento e memória, especialmente no consumo de energia, tamanho e baixo preço.

Com o uso da plataforma arduino, pode-se obter de forma mais rápida os dados coletados em campo. Arduino é uma plataforma de computação física composta por microcontroladores de placa única e por um ambiente de desenvolvimento para escrever programas para as placas, e pode ser utilizado nas mais variadas aplicações. Os hardwares e softwares dessa plataforma são open source, isto é, o código fonte do ambiente de desenvolvimento e os esquemáticos das placas são disponibilizados livremente.

O solo é o recurso natural de grande importância para todos, pois é utilizado intensamente na produção de alimentos, além do uso de construções ou áreas recreativas. Porém, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão, seca ou em decorrência de seu uso e manejo inadequados. Assim, o conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de água no solo e os que permitem reduzi-las é de grande importância para o planejamento e uso adequado do solo.

1.2 INFILTRAÇÃO

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. De acordo com Bernardo et al., (2006) a infiltração um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” teor de umidade, enquanto que as camadas inferiores se apresentam ainda com “baixos” teores de umidade. Para Carvalho (2000) Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água entre estes a infiltração e a redistribuição.

A quantificação da infiltração é representada pela velocidade ou taxa de infiltração, a qual é definida como sendo o volume de água que penetra na superfície do solo por unidade de área, por unidade de tempo (LEAL, 2011).

Na Figura 1 é possível observar um perfil típico de umidade do solo, durante o processo de infiltração.

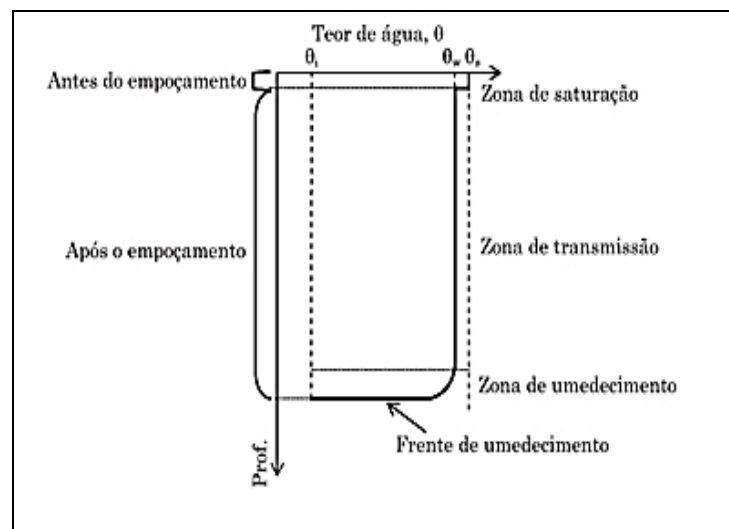


Figura 1. Perfil típico de umidade do solo
Fonte: Carvalho e Silva (2006)

2.2 Capacidade de infiltração (CI)

É a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, em um dado intervalo de tempo, sendo expresso geralmente em mm.h-1. A capacidade de infiltração só é atingida durante uma chuva se houver excesso de precipitação. Caso contrário, a taxa de infiltração da água do solo não é máxima, não se igualando à capacidade de infiltração. A CI apresenta magnitude elevada no início do processo e com o transcorrer do mesmo, esta atinge um valor aproximadamente constante após um longo período de tempo.

Quando se faz um teste de infiltração e anota-se os valores de velocidade de infiltração em relação ao tempo, o gráfico apresenta uma curva exponencial descendente, atingindo um valor constante no final denominada de Velocidade de infiltração Básica (VIB). Esta curva característica de Velocidade de infiltração da água no solo pode ser vista na Figura 2.

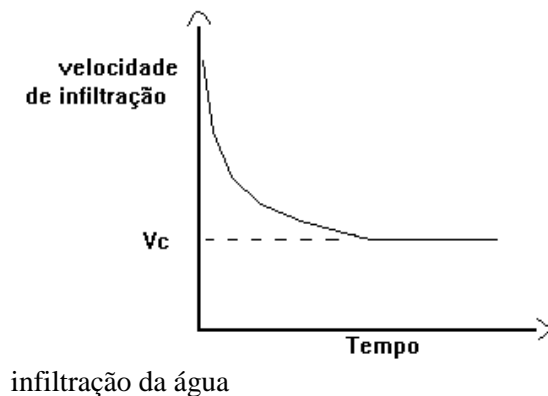


Figura 2.
Curva característica de

Fonte: Carvalho e Silva (2006)

A determinação da VIB pode ser feita em nível de campo, com a utilização de alguns equipamentos, porém, é um processo demorado e trabalhoso, sendo assim criou-se tabelas que expressam a classe do solo para uma determinada VIB. Segundo Soil Survey Staff (1993), os valores de permeabilidade do solo em mm.h^{-1} , constantes da Tabela 1 podem ser utilizados como padrões.

Tabela 1. Classes de permeabilidade do solo à água.

Classe Permeabilidade	(mm.h^{-1})
Rápida	> 254
Moderada a rápida	254 – 127
Moderada	127 – 63,5
Lenta a moderada	63,5 – 20
Lenta	20 – 5
Muito Lenta	< 5

Fonte: Soil Survey Staff (1993).

2.3 REGIME DE INFILTRAÇÃO

Segundo Carvalho e Silva (2006) o regime de infiltração (Figura 3) é o fluxo que passa através da superfície do solo em um escoamento capilar vertical. A Infiltrabilidade do solo, chamada também de capacidade de infiltração, é o fluxo máximo que o solo pode absorver através de sua superfície, quando a água é aplicada sob pressão atmosférica. A infiltrabilidade do solo, além dos fatores intrínsecos do solo como textura e estrutura, varia bastante com o estado de umidade do solo. Na curva de infiltração, a cada intervalo de tempo o solo apresenta uma infiltrabilidade, pois em cada um destes intervalos, a umidade e o gradiente de potencial são diferentes.

2.4 FATORES QUE INTERFEREM NA INFILTRAÇÃO

A infiltração de água no solo envolve três processos interdependentes: entrada de água no topo do solo, armazenamento dentro do solo e transmissão de água através do solo (Reichardt, 1987)

Para Kato (1997) do ponto de vista físico, a estrutura do solo se apresenta tão importante quanto à textura, pois, solos argilosos bem estruturados podem mostrar maiores taxas de infiltração do que os com estrutura instável, que sofrem dispersão quando umedecidos ou submetidos a algum agente desagregador, em vista da estabilidade dos agregados ser determinada pelos chamados agentes cimentantes, que são representados principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de Fe e Al.

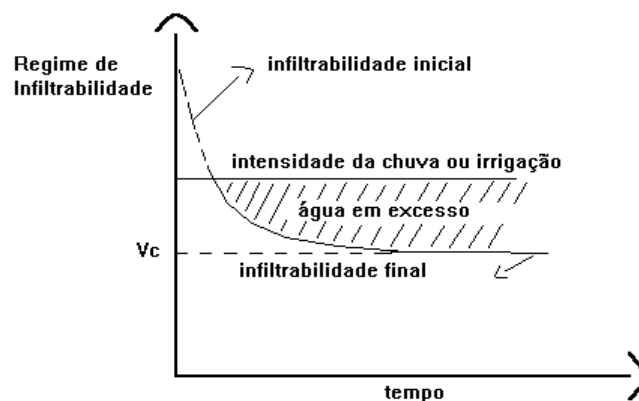


Figura 3. Regime de infiltração da água no solo
Fonte: Carvalho e Silva (2006)

De acordo BARBOSA JR (2013) são vários os fatores que exercem influência na infiltração da água em um solo:

a) Tipo de solo: A capacidade de infiltração varia diretamente com a porosidade do solo, com o tamanho das partículas do solo (distribuição granulométrica) e o estado de fissuração das rochas.

b) Grau de umidade do solo: O solo no estado seco tem maior capacidade de infiltração, pelo fato de que à ação gravitacional se somam as forças capilares. De outro modo, quanto maior for a umidade do solo, menor será a capacidade de infiltração.

c) Compactação pela ação de homens e animais: A compactação da superfície do solo o torna mais impermeável, diminuindo a capacidade de infiltração.

d) Ação da precipitação sobre o solo: A ação da chuva sobre o solo tende a diminuir a capacidade de infiltração, pelo efeito da compactação da superfície do terreno, do transporte de material fino que diminui a porosidade junto à superfície e do aumento das partículas coloidais, que diminui os espaços inter granulares.

e) Alteração da macroestrutura do terreno: A capacidade de infiltração pode ser aumentada pela alteração da macroestrutura do solo devido a fenômenos naturais, como escavações de animais, decomposição de raízes de plantas e ação do sol, e também devido a ação do homem no cultivo da terra (aração).

f) Cobertura Vegetal: A presença da cobertura vegetal tende a aumentar a capacidade de infiltração do solo, pois atenua a ação da chuva e facilita a atividade de insetos e outros animais no processo de escavação. Ainda, por dificultar o escoamento superficial e por retirar a umidade do solo, possibilita a ocorrência de maiores valores da capacidade de infiltração.

g) Temperatura do solo: A infiltração é um fenômeno de fluxo de água no solo. Assim, sua medida (através da capacidade de infiltração) depende da temperatura da água, da qual depende a sua viscosidade. Menores temperaturas provocam o aumento da viscosidade.

h) Presença de ar: O ar retido temporariamente nos espaços intergranulares retarda a infiltração da água.

A adequada modelagem da infiltração de água no solo é fundamental para estimação do movimento de água, erosão hídrica, recarga e contaminação de aquíferos (Cecílio, Roberto Avelino et al, 2013).

2.5 EQUAÇÃO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

A equação de infiltração da água do solo é baseada na equação de Darcy para o escoamento vertical da seguinte forma:

$$q = -K \times \Delta H / \Delta z \quad \text{Eq [1]}$$

Em que:

q = fluxo de água no perfil de solo em (cm/s);

H = carga hidráulica, em cm;

z = profundidade da camada de solo, em cm.

K = Condutividade hidráulica do solo, em cm/s.

A carga hidráulica (H) é composta da altura devido à pressão negativa (sucção do solo insaturado) e da altura gravimétrica (-z), que é negativa por diminuir com o aumento da profundidade: $H = (-H_p) + (-z)$.

A taxa de infiltração é definida como a lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. A taxa de infiltração pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água ou volume d'água por unidade de tempo (mm.h-1). A equação a seguir, representa a taxa de infiltração de água no solo, correspondendo à variação da infiltração acumulada ao longo do tempo.

$$TI = \frac{dI}{dT} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

TI = taxa de infiltração da água no solo, mm/h;

I = infiltração acumulada, em mm; e

T = tempo, em h.

3. INFILTRÔMETRO DE ANEIS CONCENTRICOSL

O Infiltrômetro de anéis concntricos, consiste basicamente de dois cilindros concêntricos e um dispositivo de medir volumes da água aduzida ao cilindro interno. Os cilindros apresentam 25 e 50 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura. Devem ser instalados concntricamente e enterrados 15 cm no solo. Para isso, as bordas inferiores devem ser em bisel a fim de facilitar a penetração no solo.

O anel duplo (Figura 4) tende a evitar que haja muita transferência de água lateral, uma vez que a água é adicionada no anel externo e no anel interno, onde será feita a leitura da infiltração. Esse procedimento faz com que a infiltração ocorra verticalmente e não ocorra superestimativa na taxa de infiltração. A taxa de infiltração básica (infiltração constante) é considerada quando a leitura do anel interno se repete pelo menos três vezes seguidas (BRANDÃO et al., 2002).

Os infiltrômetros são considerados mais como processos de avaliação qualitativa do que quantitativa; com os infiltrômetros pode-se examinar o efeito relativo da presença de diversos tipos de solos e dos diversos gêneros de tratamento dos mesmos, mas não é possível determinar com precisão satisfatória a infiltração.

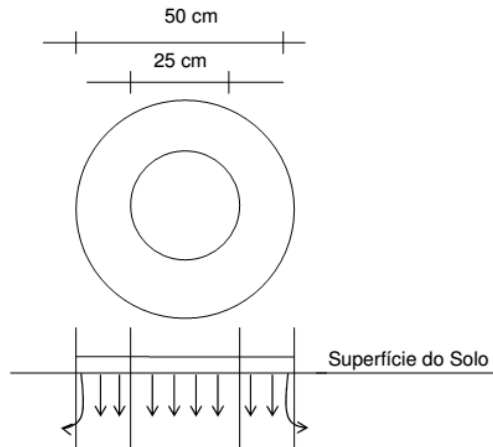


Figura 4. Desenho esquemático da instalação do infiltrômetro de anéis concêntricos.
Fonte: Carvalho e Silva (2006)

3.1 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador é a integração do microprocessador com interfaces de entrada/saída (I/O) e outros periféricos, como temporizadores, em um único chip. Os microcontroladores possuem uma quantidade de RAM e ROM limitadas e são muito usadas em sistemas de controle embarcados, um deles é o Microcontrolador Arduino.

O conceito Arduino surgiu na Itália no ano de 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos de uma forma mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado (SILVA, 2014). A plataforma Arduino consiste em uma plataforma Open-source baseada em hardware e software para as áreas de automação e robótica (SILVA, 2014). Nela pode-se adicionar diversos tipos de componentes eletrônicos direcionados e programados para uma determinada atividade.

O microcontrolador Arduino consiste em basicamente uma placa composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada a um computador e programada via IDE (Integrated Development Environment, ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras além de um cabo USB.

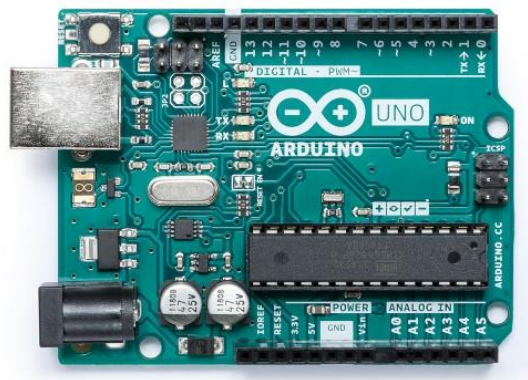


Figura 5. Placa arduino UNO R3
Fonte: www.arduino.cc (2019)

3.2 SENSOR ULTRASSÔNICO

O sensor ultrassônico (Figura 6) é composto de um emissor e um receptor de ondas sonoras. O sinal emitido, ao colidir com qualquer obstáculo, é refletido de volta na direção do sensor. Durante todo o processo, o aparelho está com uma espécie de “cronômetro” de alta precisão funcionando. Assim, podemos saber quanto tempo o sinal levou desde a sua emissão até o seu retorno. Como a velocidade do som no ar (340 m/s) é conhecida, é possível, de posse do tempo que o sinal levou para ir até o obstáculo e voltar, calcular a distância entre o sensor e o obstáculo. Para isto vamos considerar a velocidade do som no ar (340 m/s) na seguinte equação:

$$d = \frac{(V \times t)}{2} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

d = Distância entre o sensor e o obstáculo, em m;

V = Velocidade do som no ar, em m/s

t = Tempo necessário para o sinal ir do sensor até o obstáculo e voltar, em s.

A divisão por dois existe, pois, o tempo medido pelo sensor é na realidade o tempo para ir e voltar, ou seja, duas vezes a distância que queremos descobrir.

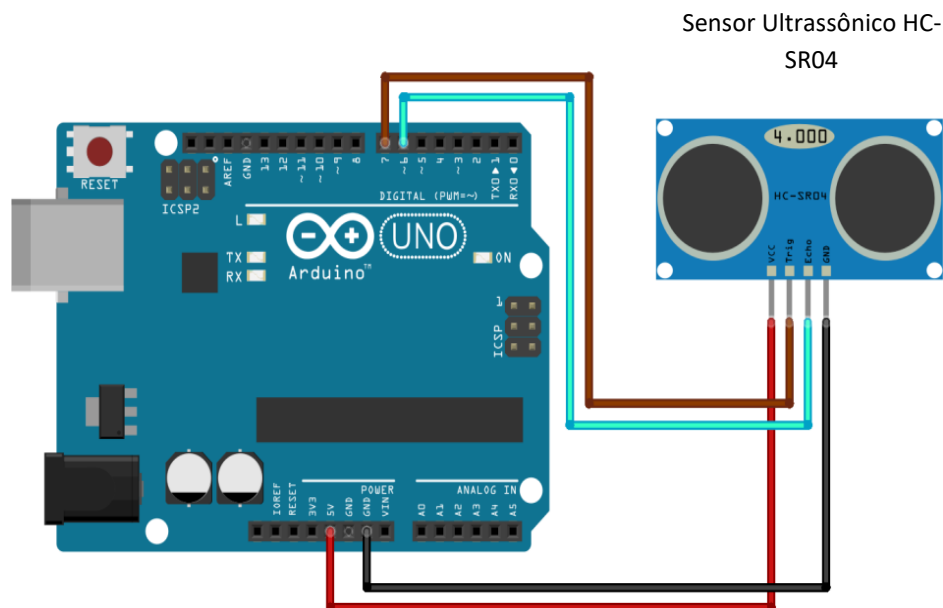


Figura 6. Sensor Ultrassônico conectado a placa arduino UNO
Fonte: Carvalho e Silva (2006)

3.3 PLX-DAQ (PARALLAX DATA ACQUISITION TOOL)

Parallax Data Acquisition tool é uma ferramenta add-in gratuita para captura de dados diretamente para o Microsoft Excel. Adquire até 26 canais de dados recolhidos por microcontroladores e organiza os números em colunas dentro de uma planilha em tempo real. O que possibilita a montagem de gráficos, cálculos e outras análises de acordo com o usuário, bastando apenas programar linhas de código dentro do Arduino (SILVA, 2014).



Figura 7. Programa PLX-DAQ (Data Acquisition for Excel)
Fonte: www.parallax.com

4. Resultados e discussão

O presente trabalho foi realizado em Latossolo Vermelho amarelo coberto por Palmito Pupunha uma no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, com o uso do infiltrômetro de anéis concêntricos com a instalação do sensor ultrassônico e controlador arduino, posicionados no anel central.

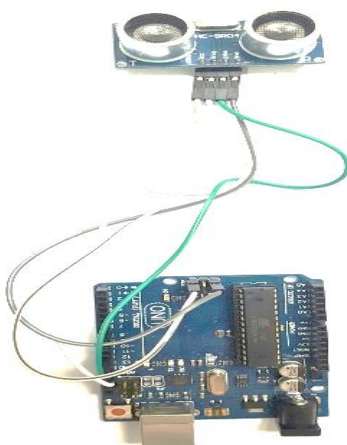


Figura 8. Controlador Arduino utilizado para a medição

A água é colocada, ao mesmo tempo nos dois anéis e, com uma régua graduada, faz-se a leitura da lâmina d'água no cilindro interno ou anota-se o volume de água colocado no anel, com intervalos de tempo pré-determinados. A diferença de leitura entre dois intervalos de tempo, representa a infiltração vertical neste período (Figura 10). A finalidade do anel externo ou da bacia é evitar que a água do anel interno infiltre lateralmente, mascarando o resultado do teste. A altura da lâmina d'água nos dois anéis deve ser de 15 cm, permitindo-se uma variação máxima de 2 cm. No início do teste, essa altura pode influenciar nos resultados, entretanto, com o decorrer do tempo, ela passa a não ter efeito. O teste termina quando a TI permanecer constante. Na prática, considerasse que isto ocorra quando TI variar menos que 10% no período de 1 (uma) hora. Neste momento, considera-se que o solo atingiu a chamada taxa de infiltração estável.



Figura 9. Medições com o arduino

O microcontrolador arduino é programado e o Sensor ultrassônico começa a trabalhar e automaticamente os valores de tempo e distância são lançados automaticamente em uma planilha do excel, os valores da Tabela 2 foram coletados à medida que novas recargas eram feitas.

A partir dos dados obtidos em campo (Tabela 2) foi possível determinar a equação da infiltração e de capacidade de infiltração (CI) gerando o gráfico abaixo, que representa a velocidade de infiltração (Figura 9) em relação ao tempo.

Tabela 2. Dados de campo da Infiltração acumulada e da velocidade de Infiltração em Latossolo Vermelho Amarelo

Tempo Ac (min)	Leitura (cm)	Recarga (cm)	Dif Leit (cm)	Iac (mm)	VI (mm.min ⁻¹)
0,000	11,6				
0,080	11,1		0,5	5	62,50
0,100	10,8		0,3	8	80,00
0,130	10,5		0,3	11	84,62
0,200	10,0	10,5	0,5	16	80,00
0,370	10,0		0,5	21	56,76
0,430	9,6	12,4	0,2	23	53,49
1,020	12,0		0,4	27	26,47
1,230	11,5		0,5	32	26,02
1,520	11,0		0,5	37	24,34
2,180	10,5	12,7	0,5	42	19,27
2,550	12,0		0,7	49	19,22
3,350	11,5		0,5	54	15,12
4,110	11,0		0,5	59	14,36
4,560	10,5	13,2	0,5	64	14,04
6,000	12,5		0,7	71	11,83
6,310	12,0		0,5	76	12,04
7,230	11,5		0,5	81	11,20
8,260	11,0		0,5	86	10,41
9,470	10,5	13,2	0,5	91	9,61
10,400	12,0		1,2	103	9,90
11,430	11,5		0,5	108	9,40
12,400	11,0	13,4	0,5	113	9,11
13,240	13,0		0,4	117	8,84
14,150	12,5		0,5	122	8,62
15,060	12,0	13,4	0,5	127	8,43
15,030	13,0		0,4	131	8,17
17,070	12,5		0,5	136	7,97
18,130	12,0	13,8	0,5	141	7,78
19,480	13,0		0,8	149	7,65
21,060	12,5		0,5	154	7,31
22,250	12,0	13,5	0,5	159	7,15
23,460	13,0		0,5	164	6,99
24,657	12,5		0,5	169	6,98
25,857	12,0	14,3	0,2	174	6,66
27,057	14,0		0,5	177	6,53
28,257	13,5		0,4	182	6,46
29,457	13,0		0,5	187	6,40
30,657	12,5		0,5	192	6,32

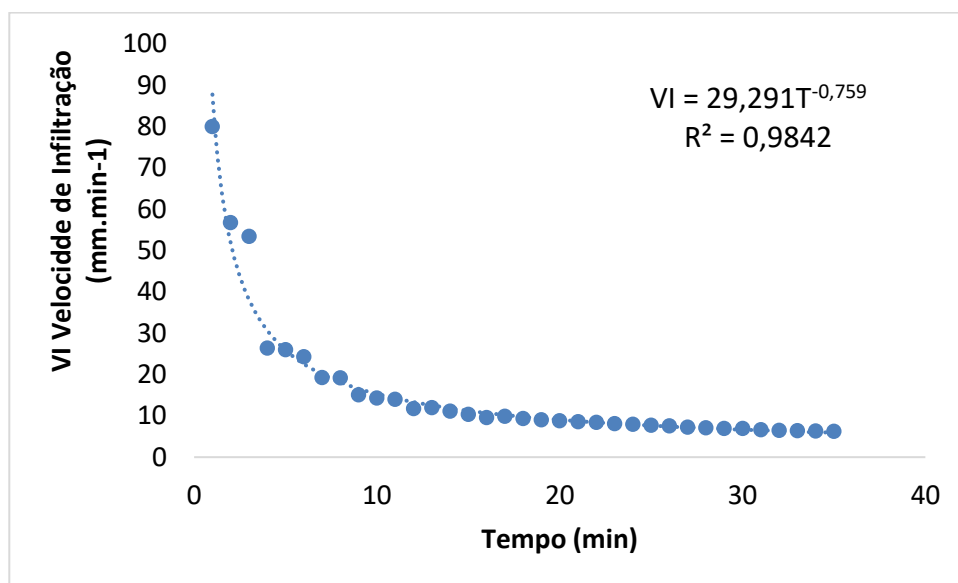
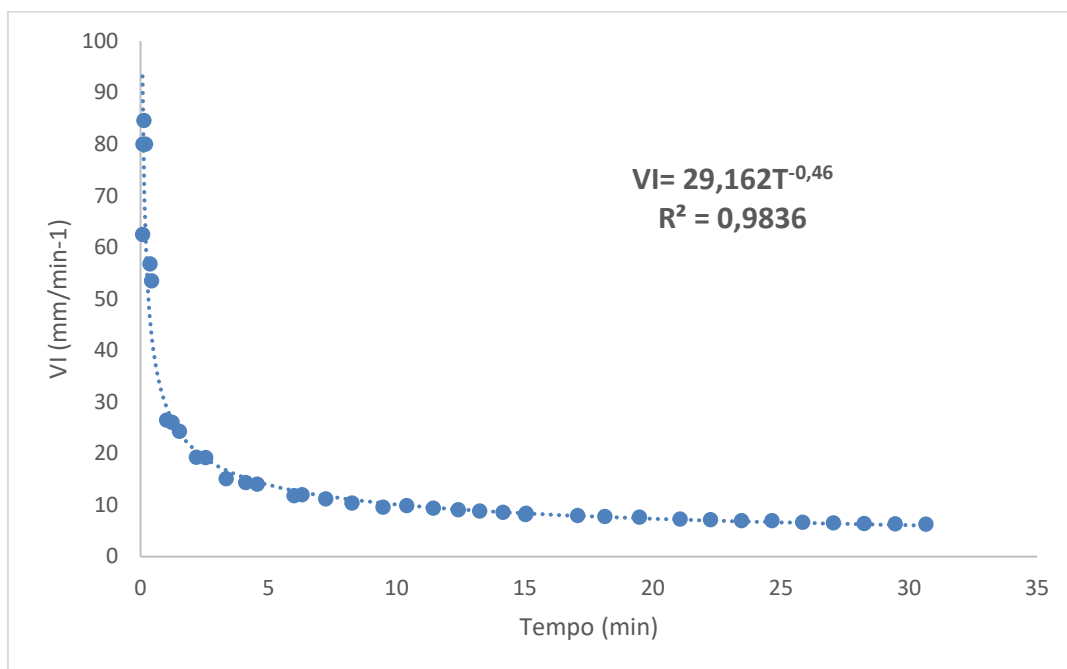


Figura 10. Velocidade de infiltração da água no solo

As leituras dos testes relacionados neste estudo foram feitos com lâminas de água que variaram 15 a 10 cm de altura e foram interrompidas no momento em que não se observou diferença entre duas ou três leituras consecutivas, indicando que o solo atingiu a (VIB) Velocidade de Infiltração Básica, conforme a recomendação de Targa, (2008). A VIB embora seja um valor mínimo é considerada a maior capacidade de infiltração do solo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer a permeabilidade do solo é de grande importância para os mais variados tipos de aplicações, especialmente em obras de drenagem e agrícolas, o método de infiltrômetro de anel é simples e prático para determinação da infiltração acumulada (I) e

da velocidade de infiltração (VI) a amostra estudada possui um valor classificado como muito alto (362 mm.h⁻¹), percebeu-se que ao longo do teste a velocidade de infiltração diminui até se manter estabilizado.

Com esse experimento verificou-se que o uso do microcontrolador arduino com o sensor ultrassônico pode ser uma solução para reduzir o trabalho manual e aferir os valores com mais precisão que o método tradicional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARDUINO. Arduino UNO (online) Disponível em:
<<http://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>> Acesso em 10 de maio de 2018.

BARBOSA JR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudos de Graduação: 4. Infiltração.** 2013. Disponível em:
<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/4_Infiltracao.pdf> Acesso em 10 de maio de 2017.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. Viçosa: UFV, 2002.

CARVALLO, H.O.G. **Física dos solos.** 1 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; **Hidrologia – Cap. 3: Bacia Hidrográfica.** Disponível em:

< <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>. Acesso em 12 de maio de 2017.

CECÍLIO, ROBERTO AVELINO et al. **Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Abr 2013, vol.37, no.2, p.411-421. ISSN 0100-0683

FAGUNDES, E. A. A. et. al. **Determinação da infiltração e da velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo do cerrado no município de Rodonópolis-MT.** Enciclopédia Biosfera. Centro científico conhecer – Goiânia, v.8, n. 14; p. 369, 2012.

HC-SR04. **Como utilizar o sensor ultrassônico HC-SR04** Disponível em:

<<http://buildbot.com.br/blog/como-utilizar-o-sensor-ultrasonico-hc-sr04/>> Acesso em 20 de fevereiro de 2018

LEAL, I. F. **Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa De Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

PLX-DAQ. **Parallax Data Acquisition tool** Disponível em:

< <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>> Acesso em 05 de abril de 2018.

REICHARDT, K. **Água em sistemas agrícolas.** São Paulo: Manole, 1987. 188p.

- SILVA, C.L.; KATO, E. **Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997
- Silva, J. L. S.; Melo, M. C.; Camilo, R. S.; Galindo, A. L; e Viana, E. C. 2014. Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: **Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35**. XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA. 2014.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington: United States Government Print Office, (Handbook 18).1993. 437p.
- TARGA, M. S. **Ciclo da água e gestão**. In: TARGA, M. S. (coord.). Programa de capacitação e aperfeiçoamento em gestão de recursos hídricos, Bacia do Rio Paraíba do Sul. Taubaté: UNITAU, 2008. 61p. 1 CD-ROM.
- THOMSEN, ADILSON **O que é Arduino?** Disponível em: <<http://blog.filipeflop.com/arduino/o-que-e-arduino.html>> Acesso em 10 de maio de 2017
- XEREZ, F. N. F. B. **Determinação da velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro unidade produtiva de goiaba – IFCE**. INOVAGRI, Fortaleza, 2012.