

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Engenharia Agrícola e Ambiental

ALGORITMO PARA AUTOMAÇÃO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS

Isabella Alkmim Barral

Montes Claros – MG

2019

Isabella Alkmim Barral

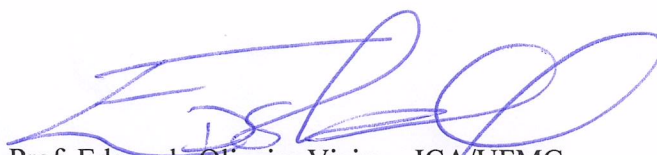
ALGORITMO PARA AUTOMAÇÃO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

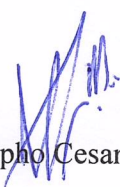
Orientador: Prof. Dr. Sidney Pereira

Isabella Alkmim Barral. **ALGORITMO PARA AUTOMAÇÃO DO INFILTRÔMETRO
DE ANÉIS**

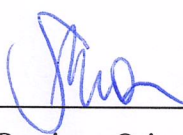
Aprovada pela banca constituída por:



Prof. Edson de Oliveira Vieira – ICA/UFMG



Prof. Rodolpho Cesar dos Reis Tinini – ICA/UFMG



Prof. Sidney Pereira – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 22 de Novembro de 2019.

RESUMO

A infiltração de água no solo é uma variável de grande interesse agrônomo, sendo sua determinação de fundamental importância para o manejo adequado do solo e da água. Na determinação da velocidade de infiltração de água no solo, o método dos anéis concêntricos é amplamente empregado, porém, sua aplicação demanda muito tempo e atenção dos operadores, podendo ocasionar erros na medição da infiltração. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar um algoritmo para a automação da recarga de água no anel interno do infiltrômetro e da leitura da lâmina de água infiltrada quando aplicado o método dos anéis concêntricos. O algoritmo foi elaborado no IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, buscando a manutenção do nível de água dentro do anel interno e a quantificação de toda a água infiltrada. Para isso foram utilizados dois sensores de distância ultrassônico HC-SR04, uma válvula solenóide e outros componentes. Nos seis experimentos de campo realizados no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, a recarga no anel interno mostrou-se satisfatória, uma vez que, a variação do nível de água no anel interno permaneceu dentro do limite permitido de 2 cm, estipulado pelo referencial teórico. O mesmo foi observado para as leituras da lâmina de água infiltrada, que se mostraram condizentes com o observado em campo e apresentaram o comportamento esperado de redução ao longo do teste.

Palavras-chave: Velocidade de infiltração. Sensor HC-SR04. Válvula solenóide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)	11
Figura 2 – Módulo do sensor ultrassônico HC-SR04.....	12
Figura 3 – Válvula solenoide 12 V.....	13
Figura 4 – Esquema de montagem do dispositivo.....	15
Quadro 1 – Condições consideradas na programação e motivos.....	16
Figura 5 – Montagem do dispositivo em campo.....	17
Figura 6 – Diagrama de blocos.....	20
Gráfico 01 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 01.....	22
Gráfico 02 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 02.....	22
Gráfico 03 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 03.....	23
Gráfico 04 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 04.....	23
Gráfico 05 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 05.....	23
Gráfico 06 – Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 06.....	24
Gráfico 07 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 01...25	
Gráfico 08 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 02...25	
Gráfico 09 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 03...26	
Gráfico 10 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 04...26	
Gráfico 11 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 05...27	
Gráfico 12 – Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 06...27	
Gráfico 13 – Velocidade de infiltração de água no solo em função do tempo.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações sobre os testes.....	17
Tabela 2 – Materiais utilizados nos testes de campo.....	18
Tabela 3 – Equações de velocidade de infiltração obtidos por meio da equação de Kostiakov.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VIB – Velocidade de Infiltração básica do solo

VI – Velocidade de infiltração

IDE – *Integrated Developement Environment*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1. Velocidade de infiltração	9
2.2. Métodos de avaliação	9
2.3. Plataforma Arduino	10
2.3.1. <i>Software</i>	10
2.3.2. <i>Hardware</i>	11
2.3.2.1. Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	12
2.3.2.2. Válvula solenóide.....	12
3. METODOLOGIA.....	14
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Descrição do algoritmo de programação	20
4.2 Testes de campo.....	22
5. CONCLUSÃO.....	30
6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	30
7. REFERÊNCIAS	31
ANEXO A – Programa desenvolvido	34

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da movimentação da água no solo é imprescindível em diversas atividades relacionadas as Ciências Agrárias, como, por exemplo, estruturas para conservação e manejo do solo e da água, projetos de irrigação, drenagem, barragens e outros. Segundo Pinheiro *et al.* (2009), o conhecimento das propriedades físicas e hidráulicas do solo é de suma importância para o entendimento do processo dinâmico de movimentação de água e solutos no solo e para o seu apropriado uso e manejo.

Entre os fenômenos de movimentação da água no solo destaca-se a infiltração, tratando-se de uma variável de grande interesse agrônomo. De acordo com Prando *et al.* (2010), aumentar o potencial de armazenagem de água por meio de melhorias na infiltração pode ser uma estratégia viável para aumentar a produtividade das culturas nos solos com restrições físicas e ou físico-hídricas ao crescimento de raízes. Brito *et al.* (1996) afirmam que, em estudos de irrigação e hidrológicos, a velocidade de infiltração é uma das importantes características do solo a ser considerada.

Para a determinação da velocidade de infiltração não existe um método considerado padrão. Nesse sentido, vários métodos de campo têm sido aplicados, destacando-se o do infiltrômetro de anel devido a simplicidade e a facilidade de execução (FAGUNDES *et al.*, 2012). Embora o método do infiltrômetro de anel seja de fácil manejo, Silva *et al.* (2019) relatam que sua aplicação pode ser exaustiva em razão da necessidade de execução de diversos procedimentos manuais e da posição desconfortável para a realização das leituras, podendo ocasionar erros de medição.

Afim de otimizar e racionalizar os recursos disponíveis, o desenvolvimento de equipamentos confiáveis, práticos e de baixo custo para o monitoramento de variáveis de interesse agrícola são visados nos cursos de Ciências Agrárias. Uma vez que, a exatidão e a precisão na obtenção de dados são fatores importantes para o correto dimensionamento dos projetos. Nesse sentido, a plataforma Arduino vem sendo empregada de maneira muito viável no desenvolvimento de sistemas para controle e automação devido ao seu baixo custo e a facilidade de adaptação, possibilitando o uso de diversos tipos de sensores para várias aplicações no campo das engenharias.

Além do baixo custo da placa Arduino em comparação com outras plataformas de microcontroladores, esta conta com um ambiente de programação simples e claro, que pode ser considerado fácil de usar para iniciantes e suficientemente flexível para usuários avançados. Esses fatores possibilitam a elaboração de projetos com diversas finalidades, desde objetos do cotidiano á complexos instrumentos científicos (ARDUINO.CC, 2019).

No desenvolvimento de projetos, além de realizar a montagem correta dos componentes, é fundamental fornecer à placa instruções precisas das ações que deverão ser executadas. Para isso são

elaborados algoritmos, contendo detalhadamente o passo a passo para a realização da tarefa, que posteriormente são escritos em uma linguagem de programação tornando-se compreensível para a placa.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar um algoritmo por meio da plataforma Arduino para automação dos processos de recarga de água no anel interno do infiltrômetro e de leitura da lâmina de água infiltrada quando aplicado o método dos anéis concêntricos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Velocidade de infiltração

A velocidade de infiltração da água no solo, também conhecida como taxa de infiltração, pode ser definida como o volume ou altura de lâmina d'água que penetra na superfície do solo por unidade de área, por unidade de tempo, sendo expressa em mm h^{-1} , cm h^{-1} , ou L s^{-1} (GONDIM *et al.*, 2010; LEAL, 2011). O processo de infiltração ocorre de forma desacelerada, apresentando valores inicialmente elevados que decrescem exponencialmente com o tempo. Quando o solo se encontra saturado, ou seja, os poros estão preenchidos com solução, a velocidade de infiltração assume valores mínimos e praticamente constantes, atingindo então a velocidade de infiltração básica (VIB) (BERNARDO; SOARES; MONTAVANI, 2006; SOBRINHO *et al.*, 2003).

Nesse sentido, os fatores que influenciam na distribuição, continuidade e forma dos poros, como a textura e estrutura do solo, interferem de forma expressiva no processo de infiltração (BRANDÃO, 2003). Além dessas características, Daker (1984) aponta que a percentagem de umidade na camada superficial e de matéria orgânica no solo, assim como a pressão hidrostática, podem impactar neste processo.

A compreensão acerca da relação das características do solo com o processo de infiltração e a determinação da VIB são fundamentais para o manejo eficiente da água e do solo nos cultivos agrícolas (ALVES & CABEDA, 1999). Uma vez que, em razão de chuva ou irrigação, a água em contato com o solo infiltra-se, tornando-se disponível para as plantas, ou escoar superficialmente, podendo ocasionar erosão (GONDIM *et al.*, 2010).

2.2. Métodos de avaliação

Na determinação da infiltração da água devem ser aplicadas técnicas capazes de representar as condições naturais em que se encontra o solo, não existindo, portanto, uma padronização dos sistemas de medição da infiltração. Porém, são comumente empregados na medição da lâmina de água infiltrada do solo, os infiltrômetros de duplo e de simples anel (CUNHA *et al.*, 2009).

O infiltrômetro de duplo anel, também conhecido como infiltrômetro de anéis concêntricos, conforme descrito por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) é composto por dois anéis que são cravados concêntricamente no solo, contendo 25 cm e 50 cm de diâmetro, ambos com 30 cm de altura. Estes possuem diferentes finalidades, sendo o anel externo responsável por minimizar a dispersão lateral da água, enquanto no anel interno ocorre a infiltração vertical. Após cravados 15 cm no solo, ambos os anéis são preenchidos com água até uma altura de 5 cm, e é realizado no anel interno, com o auxílio de uma

régua graduada, o acompanhamento da lâmina de água infiltrada. Durante o teste são feitas leituras em períodos pré-definidos de tempo até que a infiltração se torne constante. Sendo também necessária a recarga dos anéis quando o nível de água atingir 3 cm de altura, mantendo, portanto, uma variação máxima de 2 cm.

Embora o método dos anéis concêntricos seja teoricamente simples, sua aplicação pode ser exaustiva devido a diversas operações manuais e ao longo tempo de execução. Além disto, fatores como o rebaixamento excessivo da lâmina d'água e a posição desconfortável para a realização das leituras podem comprometer o resultado do teste (SILVA *et al.*, 2019). Deste modo, a automação pode ser uma alternativa para aumentar a precisão e tornar cômoda aplicação do método dos anéis concêntricos.

A automação consiste na utilização de máquinas (dispositivos mecânicos, eletrônicos ou de natureza mista) para realização de tarefas que eram executadas pelo homem. Entretanto, para que a máquina seja capaz de realizar tarefas de forma bem-sucedida são necessárias instruções detalhadas de cada ação a ser realizada, bem como a sequência em que deverão ser executadas. A sequência de passos utilizados para a realização de uma tarefa é chamada de algoritmo, então, se tratando de computadores, os programas podem ser entendidos como algoritmos escritos em uma linguagem compreensível para a máquina, ou seja, linguagens de programação (DE OLIVEIRA, 2004).

Por possuir um ambiente de desenvolvimento integrado fácil e direto, que utiliza uma linguagem de programação fundamentada no C/C++, que é bem difundida e que usa uma composição simples, o Arduino possibilita que pessoas leigas em programação consigam elaborar programas de uma forma bem intuitiva (PIRES *et al.*, 2016). Além disso, como o *hardware* e o *software* Arduino são *open-source*, ou seja, qualquer pessoa pode utilizá-los livremente, o custo de aquisição do equipamento é baixo e existe uma grande quantidade de pessoas compartilhando seus códigos e diagramas de circuito. Esses fatores contribuem para que o Arduino seja aplicado no desenvolvimento de diversos projetos e aplicações (ARDUINO.CC, 2019; MARCHESAN, 2012; MCROBERTS, 2015).

2.3. Plataforma Arduino

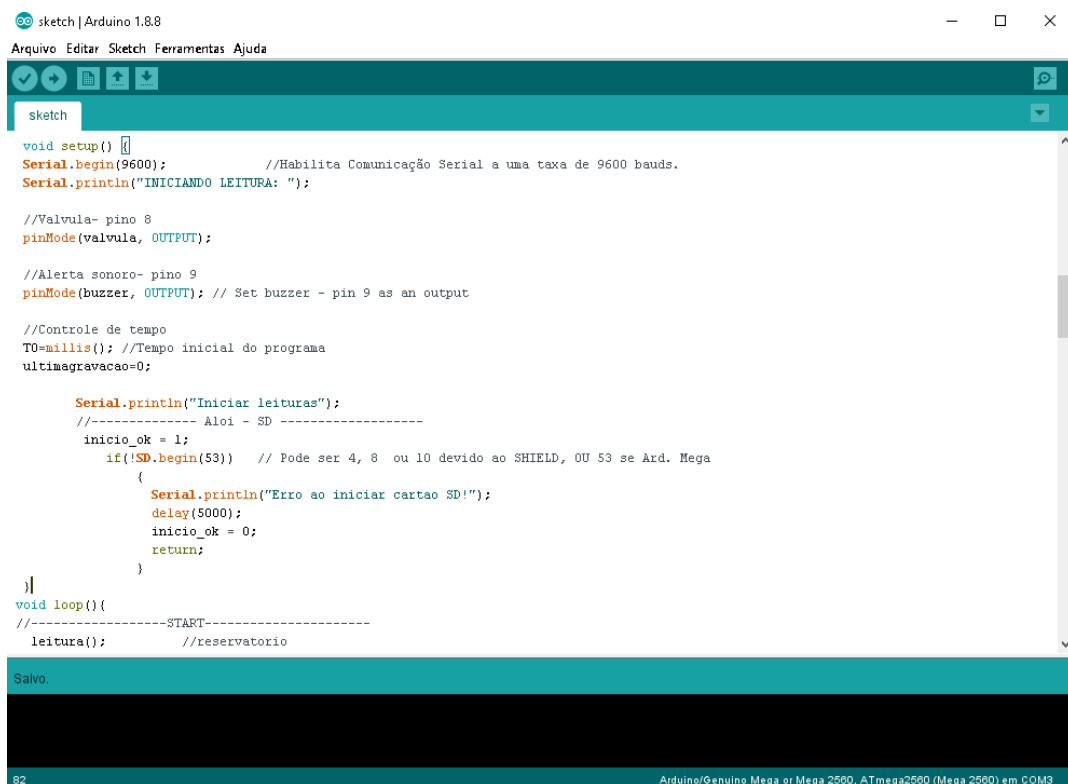
Desenvolvido em 2005, na Itália, o projeto Arduino é composto basicamente pelo *software*, o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE – *Integrated Development Environment*), e pelo *hardware*, a placa Arduino (BANZI; SHILOH, 2015).

2.3.1. Software

No IDE (FIGURA 1) são gerados os programas, denominados de *sketches* (rascunho ou esboço), onde é descrito para a placa o que deverá ser executado (BANZI; SHILOH, 2015). Os programas

são compostos obrigatoriamente pelas funções *setup* e *loop*, utilizadas respectivamente para a inicialização das variáveis e para definir as instruções que irão se repetir durante o funcionamento da placa (GALANTE; GARCIA, 2014). Além dessas, são componentes de um *software* Arduino as bibliotecas, constantes, variáveis, funções matemáticas, de tempo e de controle de fluxo de controle, entre outras (MOREIRA *et al.*, 2013). Após desenvolvido o *sketch* é realizado o carregamento na placa fazendo com que o Arduino execute as instruções dadas e se comunique com os componentes conectados a ele (MARCHESAN, 2012; MCROBERTS, 2015).

Figura 1- Ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)



Fonte: Do autor, 2019.

2.3.2. Hardware

Segundo Nakataki, Guimarães e Neto (2014), o *hardware* Arduino trata-se de uma placa de circuito impresso com um microcontrolador. Os pinos de entrada/saída deste microcontrolador ficam expostos permitindo a conexão com outros circuitos e sensores (MCROBERTS, 2011). Portanto, uma vez programada, essa placa é capaz de adquirir dados, por meio de elementos sensores, e controlar atuadores, como: motores, LED's, displays, válvulas e bombas solenóide (ALVES *et al.*, 2013; KAMOGAWA; MIRANDA, 2013).

2.3.2.1. Sensor Ultrassônico HC-SR04

O sensor ultrassônico, modelo HC-SR04, atua de forma eficiente na medição de distâncias e na detecção de vários objetivos e substâncias (MARTINAZO, 2014). De acordo com o fabricante Elecfreaks, esse dispositivo é capaz de fornecer medidas com precisão de até 3 mm, realizando leituras entre 2 cm e 400 cm.

Figura 2- Módulo do sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte: ELETROGATE, 2019.

Conforme apresentado da Figura 2, o módulo ultrassônico é composto por 4 pinos: o VCC e GND, destinados a alimentação, e o *trigger* e *echo*, conectados a portas digitais (SZMOZI *et al.*, 2017). Para a medição de distâncias, o pino *trigger* recebe um pulso de 5 V por pelo menos 10 μ s, emitindo 8 ciclos de pulsos ultrassônicos de aproximadamente 40 kHz, posteriormente o pulso é refletido pelo objeto e captado pelo receptor ultrassônico, ao recebê-lo o pino *echo* sofre um *delay* (pausa) proporcional à distância (NAKATANI; GUIMARÃES; NETO, 2014). Logo, como a velocidade do som no ar e a temperatura podem ser consideradas constantes, a distância em que se encontra o objeto do sensor pode ser determinada pelo intervalo de tempo entre a emissão e a recepção do sinal ultrassônico (SZMOZI *et al.*, 2017).

2.3.2.2. Válvula solenóide

As válvulas solenóides (FIGURA 3) são utilizadas para controlar a vazão de fluidos em tubulações, podendo ser normalmente aberta ou fechada, isto é, permitindo ou restringindo, respectivamente, a passagem de fluido quando não acionadas (RIBEIRO, 2003). O princípio de funcionamento da válvula solenóide consiste no fornecimento de uma tensão a bobina, causando a movimentação do núcleo ferromagnético, provocando sua abertura ou o fechamento (DA SILVA, 2002). Desta maneira, quando aplicada a corrente (energizada) a válvula normalmente fechada abre, retornando ao estado original quando a corrente é cortada (deenergizada) (RIBEIRO, 2003).

Figura 3- Válvula solenoide 12 V



Fonte: MSSELETRONICA, 2019.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Montes Claros – MG. O município de Montes Claros localiza-se a 16° 44' 06'' S e 43° 51' 42'' W, possui precipitação média anual de 1060 mm e temperatura média anual de 24,20° C (MONTES CLAROS, 2006).

Para o desenvolvimento do trabalho foram executadas as seguintes etapas:

- i. Elaboração do princípio de funcionamento e montagem do dispositivo;
- ii. Desenvolvimento do algoritmo e implementação;
- iii. Avaliações de campo.

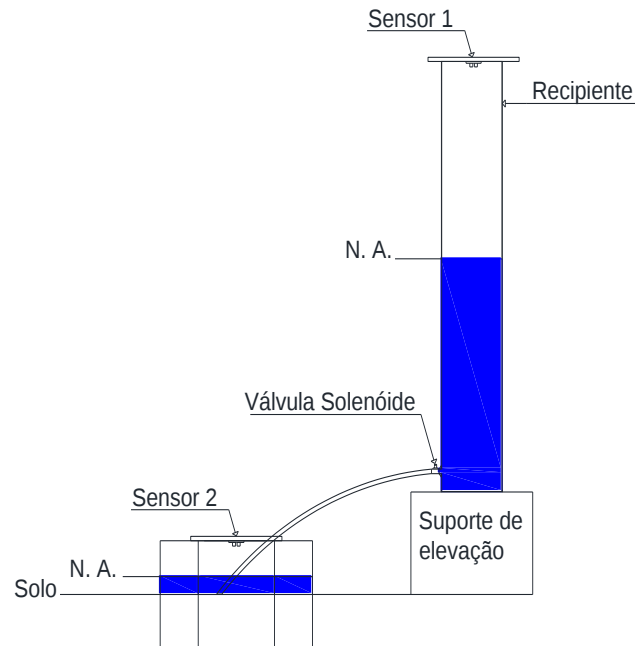
i. Elaboração do princípio de funcionamento e montagem do dispositivo

Na realização do projeto foi empregada a placa Arduino Mega 2560, que possui 54 pinos de entradas e saídas digitais, 16 entradas analógicas e 4 portas de comunicação serial. A essa placa foram conectados, com o auxílio de uma *proto board* (placa que permite confecção de circuitos elétricos) e *jumpers* (pequenos fios de conexão), dois elementos sensores de distância ultrassônico HC-SR04 fabricado pela Elecfreaks, um atuador válvula solenóide Nascimental normalmente fechada de 12 V com módulo relé, um *buzzer* e um *shield* SD Rtc. Sendo o *buzzer* e o *shield* responsáveis, respectivamente, por emitir um alerta sonoro e armazenar os dados obtidos em um cartão de memória.

Além dos componentes citados, foi necessária a obtenção de um recipiente de formato regular, portanto, foi construído, com o apoio do almoxarifado do Instituto de Ciências Agrárias, um recipiente de alimentação a partir de um tubo de PVC de diâmetro comercial de 200 mm (192,8 mm de diâmetro interno) e comprimento de 1,2 m. Ao recipiente foi instalado um nível mangueira com uma régua graduada e um flange roscável, permitindo o acoplamento de saídas.

Para a montagem da estrutura física do projeto foi inserido dentro do anel interno do infiltrômetro uma mangueira conectada a válvula solenóide, que por sua vez foi acoplada ao recipiente de alimentação, permitindo, quando acionada a válvula, a passagem de água do recipiente para o anel interno. Posteriormente foram posicionados os dois sensores de distância ultrassônico HC-SR04, sobre o recipiente de alimentação (sensor 1) e sobre o anel interno (sensor 2). O esquema de montagem do dispositivo é apresentado na Figura 4.

Figura 4- Esquema de montagem do dispositivo



Fonte: Do autor, 2019.

O princípio de funcionamento proposto consiste na passagem de água do recipiente para o anel interno, através da válvula solenóide, quando detectada a redução do nível de água no anel interno pelo sensor 2. Nesse sentido, o fechamento da válvula ocorre quando atingido o nível máximo no anel, e a quantidade de água infiltrada seria obtida pela variação do nível no recipiente detectado pelo sensor 1. Sendo os dados de ambos os sensores e o tempo acumulado armazenados para posterior análise.

ii. Desenvolvimento e implementação do algoritmo de programação

O algoritmo foi desenvolvido e implementado no IDE – *Integrated Development Environment* versão 1.8.6, disponível no site oficial da Plataforma Arduino. Durante esse processo foram realizadas simulações no Laboratório de Física do Instituto de Ciências Agrárias, afim de verificar o funcionamento do *sketch* e testar os componentes.

Com base nas simulações de laboratório e na metodologia descrita pelos autores Bernardo, Soares e Mantovani (2006) foi desenvolvida a programação visando a manutenção do nível de água dentro do anel interno, onde ocorre efetivamente a efetivamente a infiltração vertical da água, e a quantificação da lâmina de água infiltrada. Entretanto, para isso, tomou-se necessário estipular algumas condições (QUADRO 1).

Nas simulações de laboratório foi identificado o aquecimento da válvula solenóide em razão da ativação excessiva. Para evitar esse problema, foram definidos limites

(máximo e mínimo) para o nível de água no anel interno, sendo a diferença entre eles a variação permitida. Considerando a variação máxima de 2 cm descrita pelo método tradicional, foi estipulado o intervalo de 1 cm, pois fatores como a precisão dos sensores (3 mm) e os *delays* (pausas no programa) poderiam acarretar maiores variações, havendo, dessa forma, 1cm de segurança.

Assim como no anel interno, foram definidos limites mínimo e máximo para o nível de água no recipiente de alimentação. Levando em consideração o alcance mínimo necessário para o funcionamento do elemento sensor (2 cm) e a necessidade de mantê-lo afastado da água, foi estipulado que o recipiente de alimentação se encontra cheio quando a distância entre o sensor 1 e o nível de água for menor ou igual 0,1 m.

Além disso, afim de evitar a redução excessiva do nível de água no anel interno, também foi definido que somente ocorrerá a recarga do recipiente de alimentação quando o anel interno do infiltrômetro estiver cheio. Dessa forma, para que haja a recarga do recipiente, primeiramente terá que ser feito o abastecimento do anel. Considerando a carga hidráulica mínima para o enchimento do anel interno do infiltrômetro, foi definido que o recipiente de alimentação se encontra vazio quando o sensor 1 capta uma distância igual ou maior a 0,55 m.

Quadro 1- Condições consideradas na programação e motivos

	Condições	Motivo(s)
Sensores HC-SR04	Leitura definitiva como média aritmética de 5 leituras consecutivas.	Aumentar a precisão das leituras.
Anel interno	Variação permitida de nível 1 cm.	Aquecimento da válvula solenóide; precisão do sensor ultrassônico; <i>delay</i> do sistema.
Recipiente de alimentação	Recarga do recipiente somente com o anel interno cheio.	Evitar redução excessiva do nível do anel interno.
	Nível mínimo do recipiente (0,1 m).	Alcance do sensor e evitar o contato deste com a água.
	Nível máximo do recipiente (0,55 m).	Carga hidráulica para o funcionamento do sistema.

Fonte: Do autor, 2019.

iii. Avaliações de campo

As avaliações de campo foram realizadas no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, em solo com textura Franco-argilosa. O experimento foi conduzido nas proximidades do Laboratório de Hidráulica, coordenadas 16° 40' 55.89'' S e 43° 50' 24.31'' W. Para a avaliação do funcionamento do sistema foram realizados seis experimentos em locais próximos. As informações sobre os testes constam na Tabela 1.

Tabela 1- Informações sobre os testes

Experimento	Data	Duração (min)
01	02/09/2019	117,36
02	09/09/2019	204,03
03	10/09/2019	178,65
04	13/09/2019	190,87
05	16/09/2019	186,21
06	17/09/2019	182,32

Fonte: Do autor, 2019.

Em todos os experimentos foi realizada a instalação do infiltrômetro de anéis concêntricos, contendo o anel externo 60 cm de diâmetro e o interno 30 cm, ambos com altura de 30 cm. Os anéis foram posicionados concêntricamente no solo e cravados até que permanecesse uma altura exposta de aproximadamente 15 cm. Após instalado o infiltrômetro foi feita a montagem dos componentes conforme mostrado no sistema proposto (FIGURA 5).

Figura 5- Montagem do dispositivo em campo



Fonte: Do autor, 2019.

O início do experimento foi realizado adicionando, com o auxílio de um balde, água no interior do anel externo e simultaneamente fazendo a conexão do Arduino com um *notebook*. Durante o teste foi feita a recarga manual no anel externo utilizando o balde, o mesmo foi feito no recipiente de alimentação quando necessário, os materiais utilizados nos testes de campo estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Materiais utilizados nos testes de campo

Materiais	Quantidade	Descrição
Arduino Mega 2560	1	-
Sensor HC-SR04	2	-
Datalogger SD Rtc + Cartão SD	1	-
Recipiente de alimentação	1	-
Módulo relé	1	-
Válvula Solenóide	1	12 V
Bateria	1	12 V
Mangueira	1	30 m
Mangueira de conexão	1	1 m
Bombona plástica	1	200 L
Extensão	1	30 m
Notebook Acer	1	-
Balde	1	12 L

Fonte: Do autor, 2019.

Para avaliar o funcionamento do algoritmo foram analisados os dados coletados no anel interno e no recipiente de alimentação. A lâmina de água infiltrada foi determinada por meio da Equação 1 (SILVA *et al.*, 2019).

$$\Delta h = \frac{A_r}{A_i} \Delta H \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Δh = variação da altura da lâmina de água no anel interno (cm);

A_r = área da seção transversal do recipiente de alimentação (cm²);

A_i = área da seção transversal do anel interno (cm²); e

ΔH = variação da altura da lâmina d'água no recipiente de alimentação (cm).

Foram calculados, por regressão, os parâmetros (k e a) da equação de Kostiakov (EQUAÇÃO 2). A velocidade de infiltração da água no solo foi então obtida a partir da derivada desta equação em relação ao tempo (EQUAÇÃO 3) (KOSTIAKOV, 1932).

$$I = k t_0^a \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

I = infiltração acumulada (cm);

k = parâmetro dependente da condição de umidade inicial do solo;

t₀ = tempo de oportunidade de infiltração (min);

a = constante dependente do solo, que pode variar entre 0 e 1.

$$VI = \frac{dI}{dT} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

VI = velocidade de infiltração (cm min⁻¹);

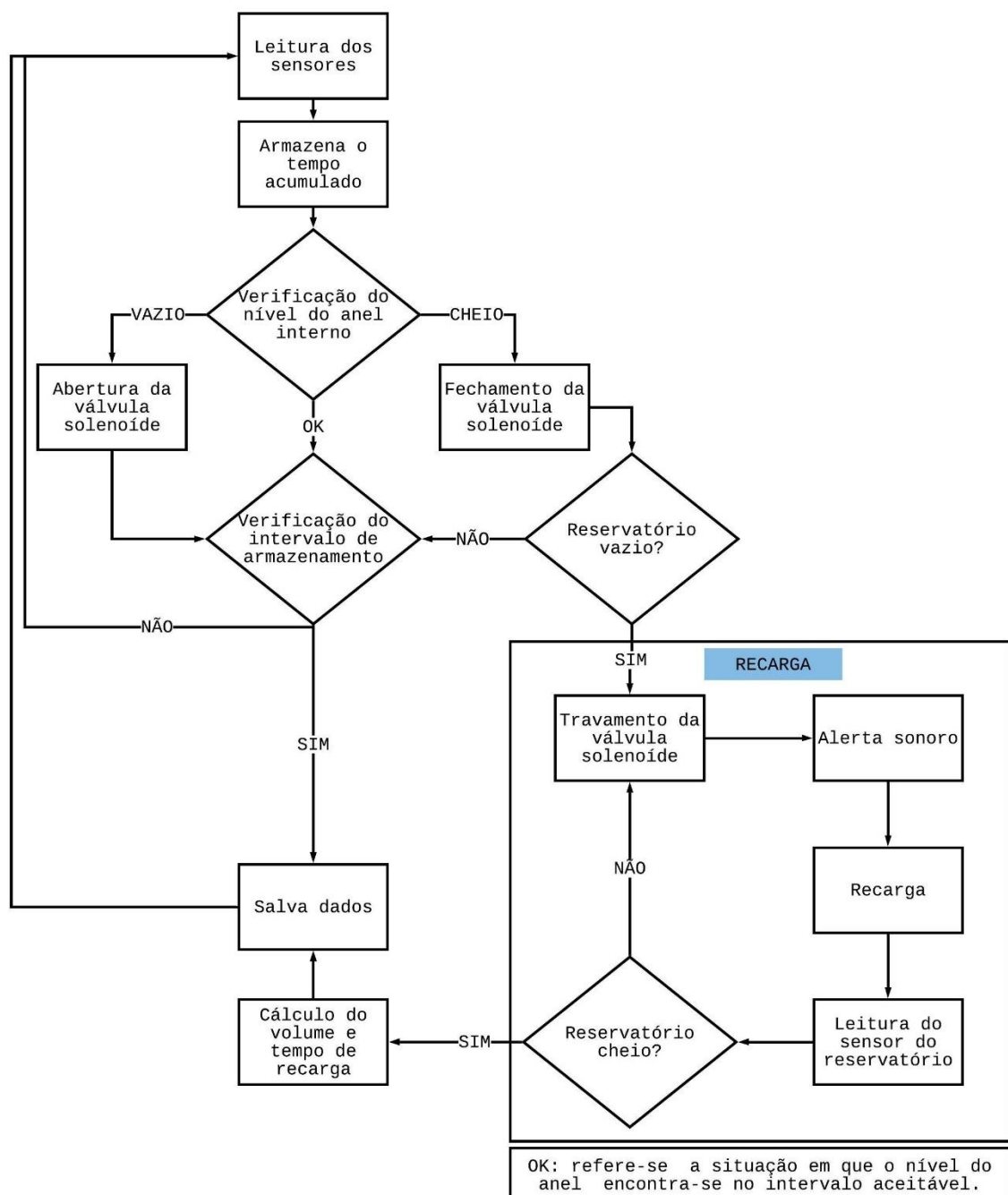
dI/dT = derivada da infiltração acumulada em relação ao tempo.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Descrição do algoritmo de programação

Com base nas condições estipuladas e no referencial bibliográfico foi realizado o desenvolvimento do programa de controle para a automatização da recarga no anel interno do infiltrômetro e a leitura da lâmina de água infiltrada (ANEXO A). O diagrama de blocos apresenta a lógica de programação desenvolvida (Figura 6).

Figura 6- Diagrama de blocos



Fonte: Do autor, 2019.

O objetivo é que o programa seja executado em um intervalo de tempo curto para que ocorra a verificação de forma praticamente constante do nível de água no anel interno e no recipiente de alimentação. De acordo com as distâncias captadas pelos sensores é feito o controle da válvula solenóide.

Inicialmente é realizada a leitura de ambos os sensores, obtendo também o tempo acumulado. Logo em sequência, é realizada a primeira estrutura de decisão, gerando a comparação entre a leitura obtida pelo sensor posicionado sobre o anel e os valores máximo e mínimo estipulados para o nível. Desta forma, caso for identificado que o anel se encontra vazio, ou seja, a distância entre o sensor e a água é maior ou igual ao valor máximo, é mandado o comando para a abertura da válvula solenóide, se o anel estiver cheio é mandado o comando para o fechamento da válvula. Entretanto, nenhum comando é enviado para a válvula caso for identificado que o nível de água do anel encontra-se dentro do intervalo aceitável de 1 cm.

Estando o anel cheio, é verificada a situação do recipiente de alimentação. Neste momento, se a distância obtida pelo sensor for maior do que a máxima estipulada (0,55 m) ocorre o travamento da válvula, é enviado um alerta sonoro, realizada a recarga manual e feita novamente a verificação do nível do recipiente. Esse *loop* é feito em menos de 1 s e só é finalizado quando o sensor identifica que o recipiente atingiu o limite superior de 0,1 m. A elaboração desta função, chamada de recarga, foi pensada para que não ocorresse o enchimento do recipiente e do anel simultaneamente, pois, nessa situação não seria possível quantificar a lâmina infiltrada durante a recarga.

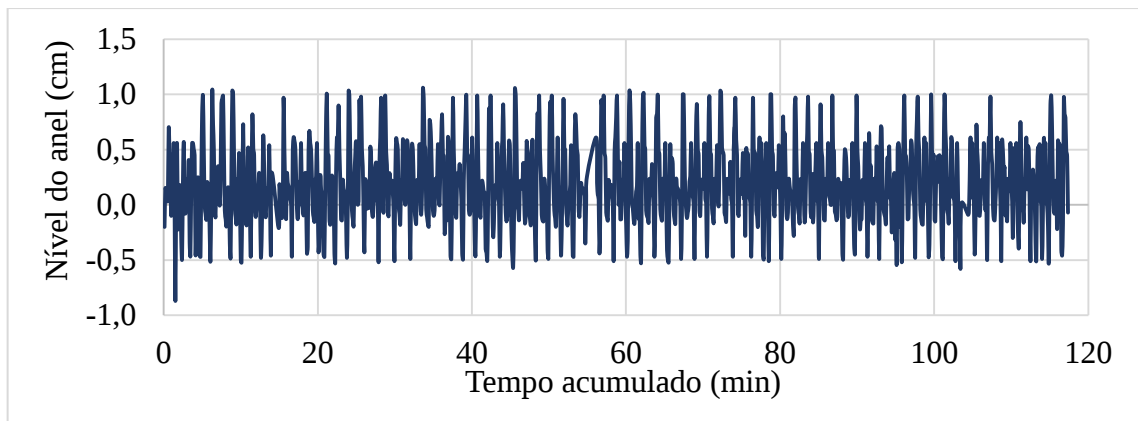
Conforme citado anteriormente, o *loop* ocorre rapidamente, em menos de 3 s, logo, considerando que o teste demanda algumas horas, seria gerado um número bem expressivo de dados caso fossem armazenadas todas as leituras realizadas. Afim de evitar problemas como a perda de dados devido o atingimento da capacidade de armazenamento do cartão SD, foi estipulado que as leituras seriam armazenadas em um intervalo maior ou igual a 5 s. Logo, é feita a verificação do tempo da última leitura salva e a atual, se a diferença entre elas for maior ou igual a 5 s os dados são armazenados no cartão.

4.2 Testes de campo

4.2.1 Avaliação da manutenção do nível de água no anel interno

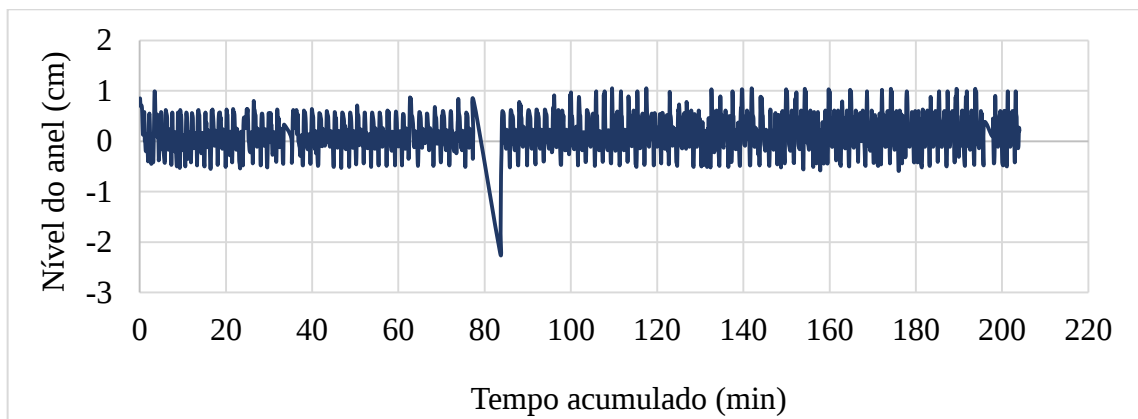
Os Gráficos de 1 a 6 apresentam as leituras do sensor 1 relativas ao nível de água no anel interno. Nestes gráficos o valor -0,5 cm representa a maior distância entre o sensor e a coluna de água, sendo, portanto, o momento em que o anel se encontra vazio. O 0,5 cm seria o momento em o anel está cheio, ou seja, a água atinge o nível máximo estipulado. O eixo vertical do gráfico foi invertido com o objetivo de facilitar a compreensão da situação do nível ao longo do experimento.

Gráfico 01- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 01



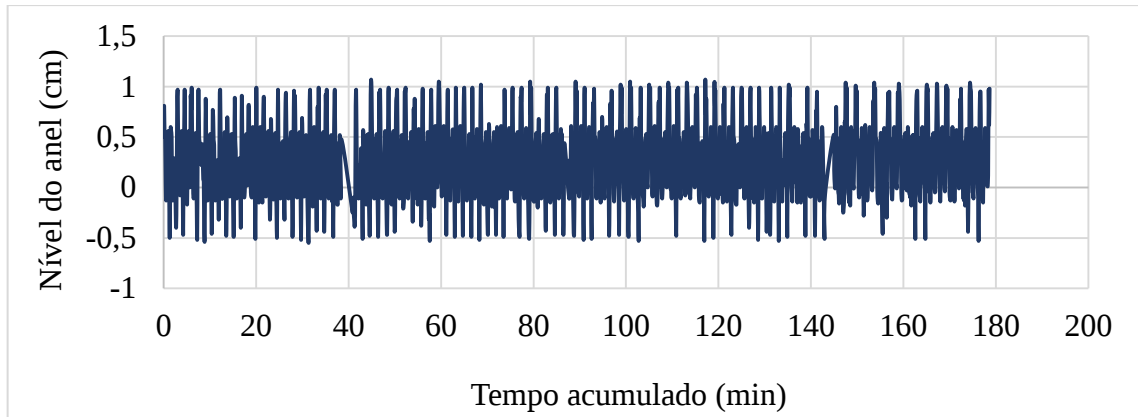
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 02- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 02



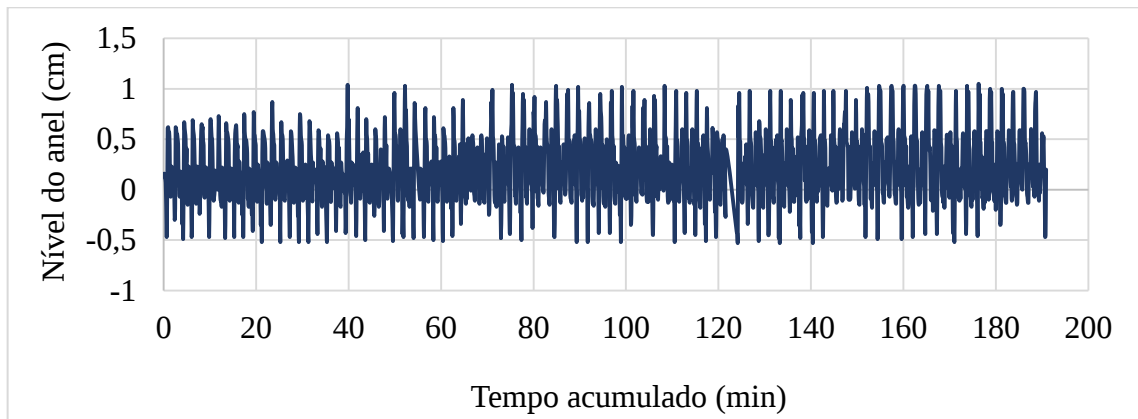
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 03- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 03



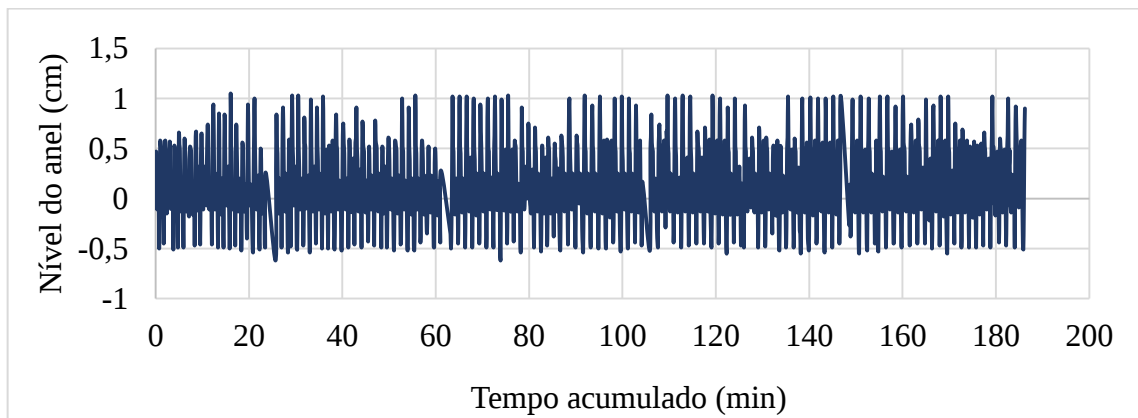
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 04- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 04



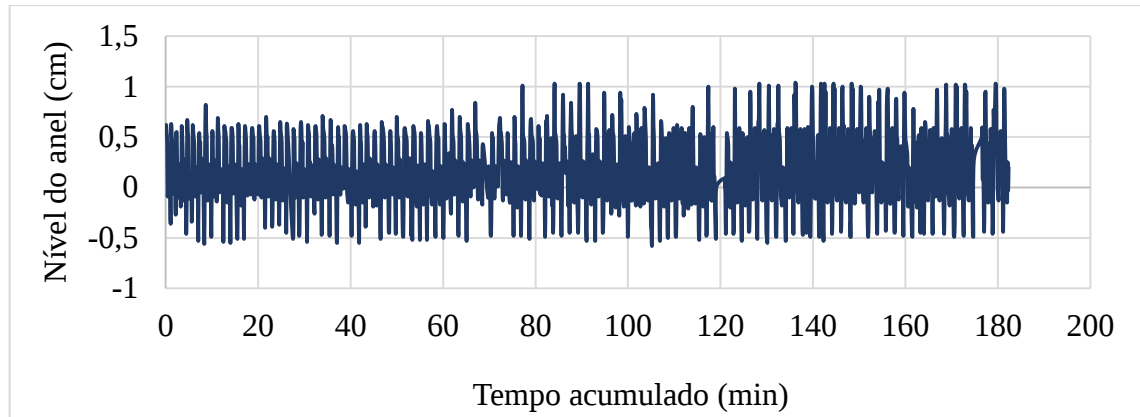
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 05- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 05



Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 06- Variação do nível de água no anel interno obtido pelo sensor no experimento 06



Fonte: Do autor, 2019.

Durante o experimento 02 foi possível identificar a redução do nível de água no anel além do intervalo máximo de 2 cm, esse fato ocorreu devido a um problema de *hardware* no qual, o *buzzer*, utilizado na função recarga, parou de funcionar. Após identificado o problema foi realizada a substituição deste por um *led*, não sendo identificado mais nenhuma outra situação em que foi extrapolado o intervalo estabelecido teoricamente.

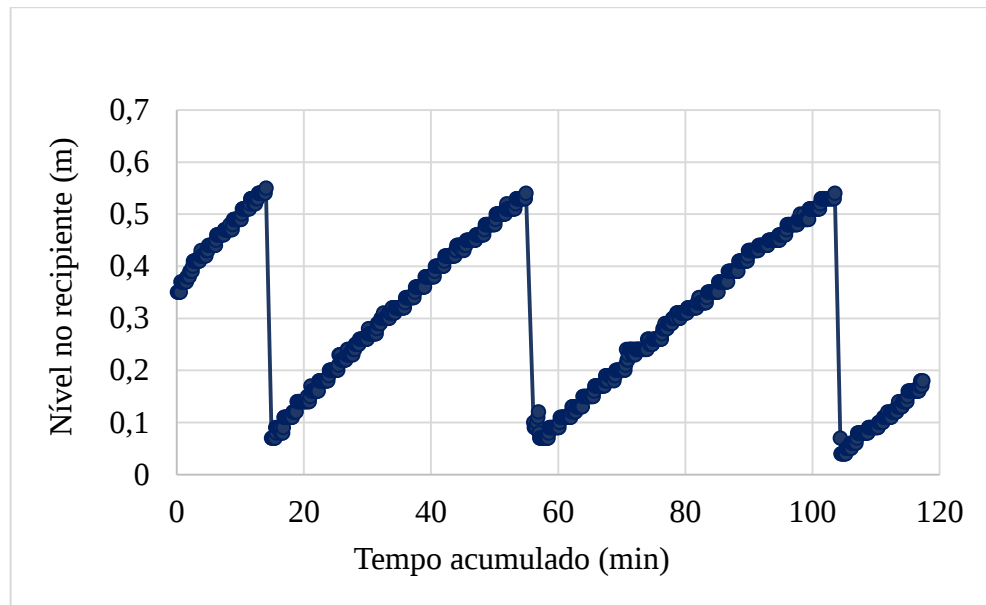
Conforme esperado, foram registradas leituras fora dos limites definidos, utilizando o limite de segurança de 1 cm. Entretanto, foi identificada a relação entre essas leituras com momento do fechamento da válvula solenóide, sendo que, em grande parte dos casos, o sensor captou o nível da água como acima do esperado logo após ocorrer o fechamento da válvula, e nas leituras seguintes, o nível retorna ao normal, gerando os picos observados nos gráficos. A possível razão para o ocorrido seria o processo de enchimento do anel gerar uma perturbação na água que, devido a precisão, é registrada pelo sensor. Porém, embora os picos tenham ocorrido com frequência, não foi observada a abertura e fechamento excessivo da válvula. Além dessas variações, também foi possível identificar a grande variação das leituras próximas ao 0 cm, esse fato pode ser explicado devido a precisão de 3 mm do sensor.

Embora tenham havido variações nas leituras, com exceção do problema de *hardware* ocorrido no experimento 02, o nível de água no anel interno manteve-se dentro do limite esperado de 2 cm. Nesse sentido, as condições utilizadas na programação foram importantes, uma vez que, durante a execução do experimento não foi visivelmente e nem automaticamente identificada a abertura e fechamento excessivo da válvula solenóide e nem a redução e ou enchimento acima dos limites do anel interno, mantendo o nível praticamente constante ao longo de todo o experimento. Esses fatores apontam que o algoritmo cumpriu satisfatoriamente o objetivo proposto.

4.2.2 Avaliação do nível de água no recipiente de alimentação

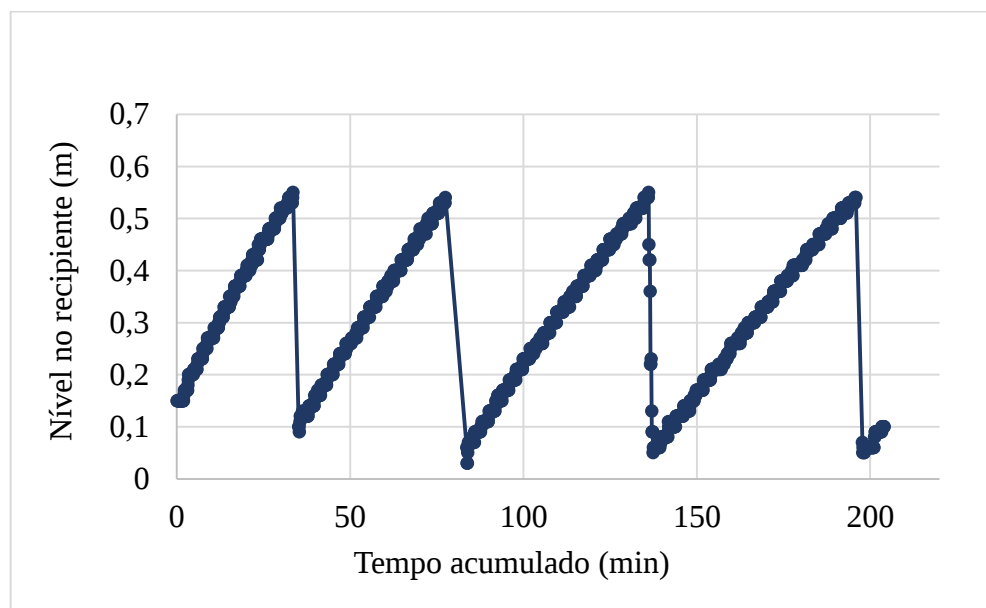
Os Gráficos de 7 a 12 apresentam as leituras realizadas pelo sensor posicionado sobre o recipiente de alimentação. Como o sensor fica localizado sobre o recipiente o maior valor é atingido quando o recipiente se encontra vazio.

Gráfico 07- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 01



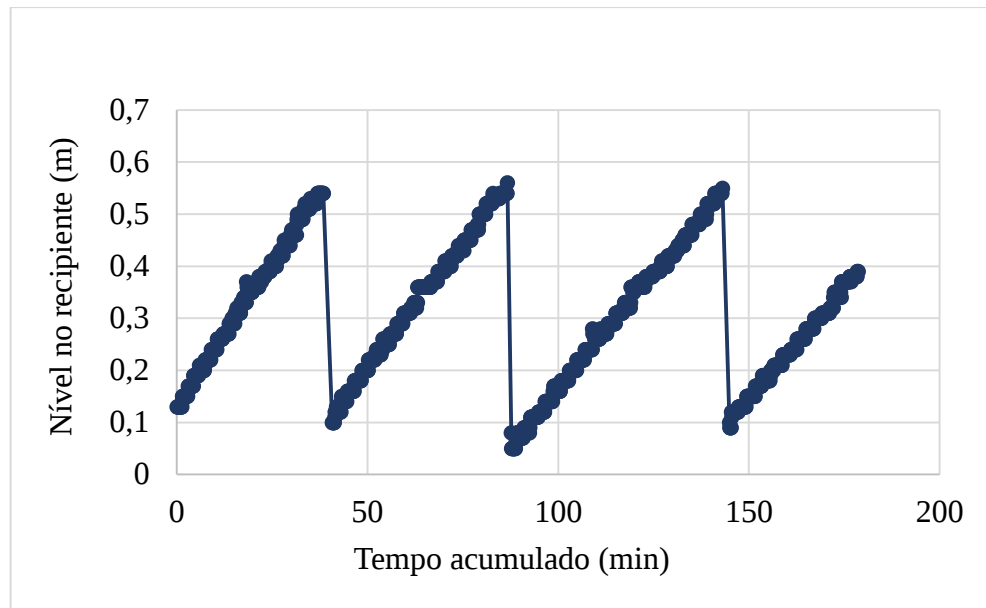
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 08- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 02



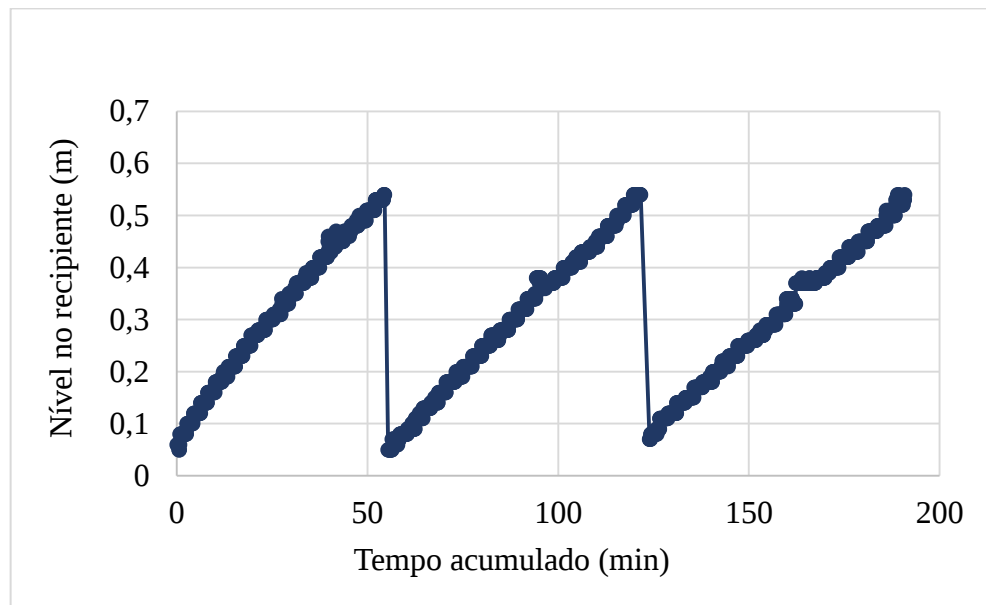
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 09- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 03



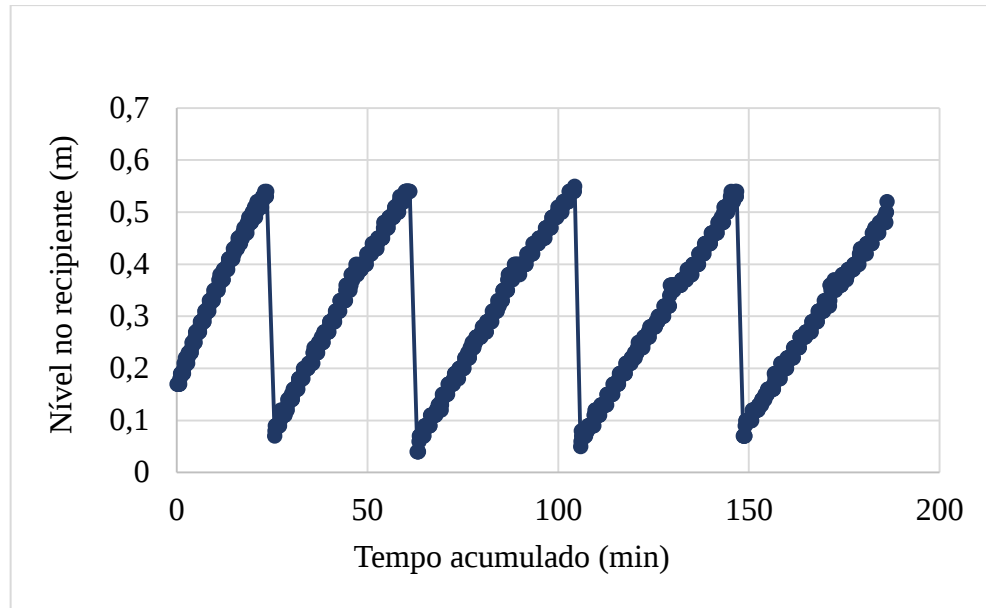
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 10- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 04



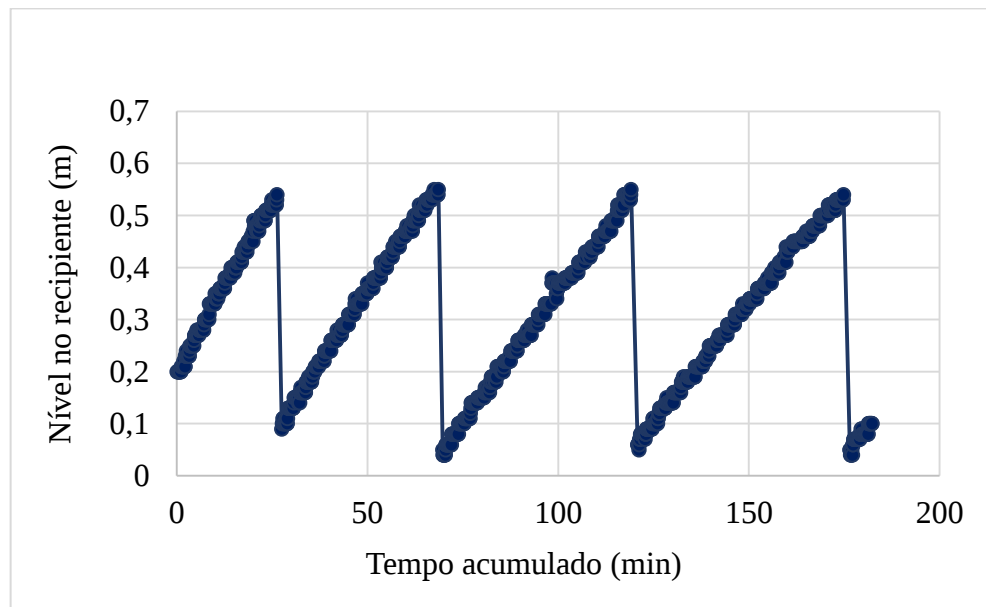
Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 11- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 05



Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 12- Distância entre o sensor e o nível de água no recipiente de alimentação no experimento 06



Fonte: Do autor, 2019.

Com base nos gráficos apresentados é possível identificar a redução da água contida no recipiente ao longo do experimento e a execução das recargas em razão do esvaziamento. Entretanto, no gráfico 8 referente ao experimento 02, em consequência do mal funcionamento do *buzzer*, as recargas tiveram que ser realizadas de acordo com o limite observado no nível de mangueira. Devido a essa situação, no minuto 135, a recarga foi efetuada sem que o sistema identificasse o limite máximo, ou seja,

não foi chamada a função recarga. Outro ponto observado foram algumas variações nas leituras dos sensores identificadas por pontos amontoados, isso ocorre devido a precisão do sensor e a movimentação da água no recipiente, entretanto essa variação não afetou os experimentos devido à grande quantidade de leituras obtidas e a pequena variação entre estas.

Nos gráficos de 7 a 12 é possível observar o comportamento esperado da infiltração, uma vez que, ao longo dos experimentos a inclinação da reta formada pelas leituras armazenadas torna-se menos inclinada, o que também é indicado pela diferença de tempo entre as recargas, apontando a redução da infiltração devido ao processo de saturação do solo. Nesse sentido, o algoritmo foi eficiente tanto na coleta e armazenamento dos dados, quanto na estrutura de recarga.

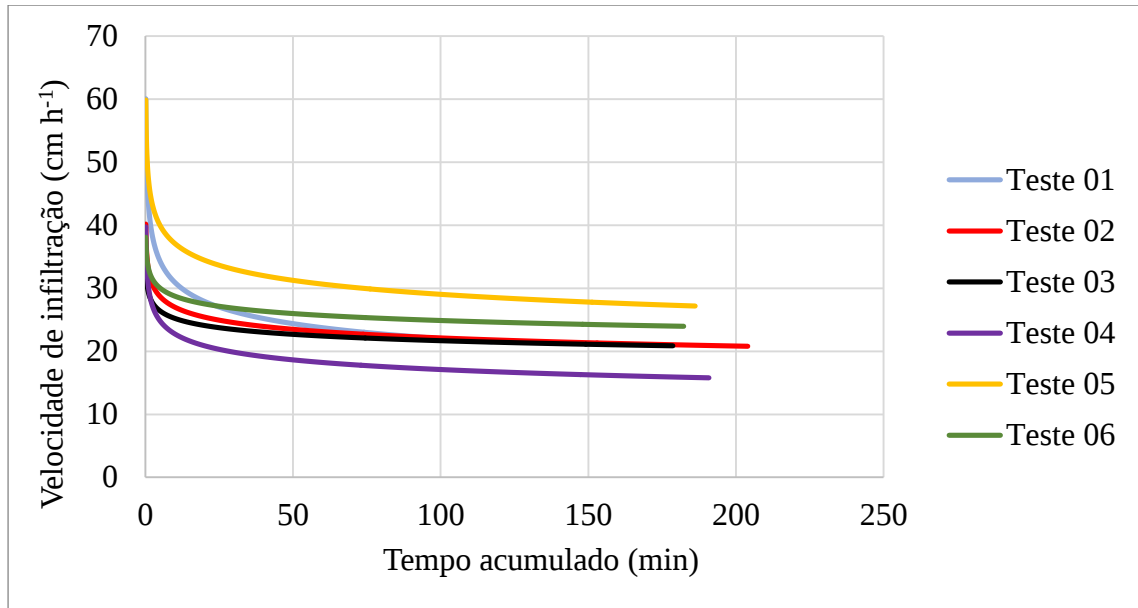
Com os dados coletados nos experimentos foram calculadas as equações de velocidades de infiltração (TABELA 3). O gráfico 13 apresenta a velocidade de infiltração de água no solo em função do tempo nos 6 experimentos.

Tabela 3- Equações de velocidade de infiltração obtidos por meio da equação de Kostiakov

Experimento	VI (cm h ⁻¹)
01	VI= 43,396 I ^{-0,1473}
02	VI= 32,934 I ^{-0,0864}
03	VI= 29,319 I ^{-0,0655}
04	VI= 30,246 I ^{-0,1237}
05	VI= 45,731 I ^{-0,1062}
06	VI= 33,187 I ^{-0,0625}

Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 13- Velocidade de infiltração de água no solo em função do tempo



Fonte: Do autor, 2019.

No gráfico 13 é possível identificar que no experimento 04 a infiltração ocorreu de forma menos acentuada, o que também é visível no gráfico 10, devido a menor inclinação da curva de dados. O experimento 05 e 06, apresentaram as maiores velocidades de infiltração, também é perceptível nos gráficos 11 e 12, onde foram identificadas as maiores inclinações. Os demais experimentos mostraram comportamentos parecidos, entretanto foi possível identificar que a infiltração no final de todos os experimentos foi muito elevada, sendo nos experimentos 01, 02 e 03 de aproximadamente 20 cm h^{-1} , nos testes 04, 05 e 06, respectivamente, 16 cm h^{-1} , 27 cm h^{-1} e 24 cm h^{-1} .

A velocidade de infiltração de água é influenciada pelas características do solo, como: umidade inicial, matéria orgânica, textura e estrutura (BERNARDO; SOARES; MONTAVANI; 2006). Logo, como os experimentos não foram conduzidos exatamente no mesmo local esses fatores podem ter influenciado no processo de infiltração gerando a diferença entre as curvas. Além disso, analisando a variação da infiltração ao longo dos experimentos foi possível identificar que o tempo de execução não foi suficiente para o solo atingir a velocidade de infiltração básica.

Considerando que durante os experimentos a variação de água no anel interno permaneceu dentro do limite máximo estipulado pelo referencial teórico e que o sensor posicionado sobre o recipiente de alimentação foi capaz de captar com precisão as recargas e a redução de água no recipiente, identificando o comportamento esperado de redução da infiltração de água no solo, pode-se considerar que o algoritmo foi eficiente na execução da automação dos processos propostos.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o algoritmo de programação desenvolvido foi eficiente no controle dos componentes para a automatização da recarga do anel interno e da leitura da lâmina de água infiltrada quando aplicado o método dos anéis concêntricos, possibilitando maior comodidade na aplicação deste.

6. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- i. Desenvolvimento de uma função para determinação do momento de finalização ou para o acompanhamento da velocidade de infiltração instantânea durante a execução do teste.
- ii. Automatização da recarga de água no anel externo quando aplicado o método dos anéis concêntricos.

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. **Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p. 753-761, 1999.
- ALVES, R. M.; SILVA, A.L.C.; PINTO, M.C.; SAMPAIO, F. F.; Elia, M. F. **Uso do hardware livre Arduino em ambientes de ensino-aprendizagem**. Jornada de Atualização em Informática na Educação, v. 1, n. 1, p. 162-187, 2013.
- ARDUINO.CC. **What is Arduino?**. Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 09 de Jun, 2019.
- BANZI, M.; SHILOH, M. **Primeiros Passos com o Arduino–2ª Edição: A plataforma de prototipagem eletrônica open source**. Novatec Editora, 2015.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. ed. Viçosa: UFV, 1989. 34 p, 2006.
- BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solos sujeitos a encrostamento**. Viçosa, MG: UFV. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola–Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- BRITO, L.T.L.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M. & SOARES, J.M. **Influência do método na determinação da velocidade de infiltração**. R. Bras. Ci. Solo, 20:503-507,1996.
- CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; Silva, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS JUNIOR, R. B. **Velocidade de infiltração em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto**. Revista Caatinga, v.22, p.199-205, 2009.
- DA SILVA, J. A. F.DO LAGO, C. L. **Módulo eletrônico de controle para válvulas solenóides**. Química Nova, v. 25, n. 5, p. 842-843, 2002.
- DAKER, A. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. Freitas Bastos, 1984.
- DE OLIVEIRA, LUIZ AFFONSO HENDERSON GUEDES. **Algoritmo e Lógica de Programação: Algoritmos – Parte 1**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Departamento de Computação e Automação. Disponível em: <https://www.dca.ufm.br/~affonso/DCA800/pdf/algoritmos_parte1.pdf>. Acesso em: 28 de Nov. de 2019.
- ELETROGATE. **Módulo Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em:<<https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>>Acesso em: 09 de Jun, 2019.
- FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S.; PORTO, R. **Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 369-378, 2012.

GALANTE, A.C.; GARCIA, R.F. **Sistema de aquisição de dados de sensores de baixo custo baseado no Arduino**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 6, 2014, São Pedro. Anais... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; **Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, (Pombal – PB – Brasil) v.4, n.1, p. 64-73 janeiro/dezembro de 2010.

KAMOGAWA, M. Y.; MIRANDA, J. C. **Uso de hardware de código fonte aberto “Arduino” para acionamento de dispositivo solenoide em sistemas de análises em fluxo**. Química Nova, v. 36, n. 8, p. 1232-1235, 2013.

KOSTIAKOV, A.N. **On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation**. Trans. 6th comm. Intern. Soc. Soil Sci., Moscou, Part A., 17-21, 1932.

LEAL, F. G. **Classificação e mapeamento físico- hídricos de solos do Assentamento Agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim- RJ**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2011.

MANTOVANI, E. C. et al. **Irrigação: princípios e métodos**. UFV, 2007.

MARCHESAN, Marcelo. **Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma arduino**. Santa Maria, 17-19, 2012.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M. **Arduino: Uma tecnologia no ensino de física**. 2014.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico-2ª edição: Tudo sobre o popular microcontrolador Arduino**. São Paulo: Novatec Editora, 2015.

MONTES CLAROS. **Coletânea de Informações sobre o Município de Montes Claros**, 2006. Disponível em: <http://www.montesclaros.mg.gov.br/desenvolvimento%20economico/div_indcom/pdf/Dados%20Gerais%20da%20cidade%20de%20Montes%20Claros.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

MOREIRA, J. R., ALARCÃO, L. M., NOGUEIRA, C. L. M., & BRAZ, A. R. B. **AutoControl: uma proposta para acessibilidade e segurança residencial com o apoio da plataforma Arduino**. TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO, 4.1: 01-09, 2013.

MSSELETRONICA. **Válvula solenoide 12V 1/2 x 1/2 - 180° para água. Ideal para automação (VA-03)**. Disponível em: <https://www.msseletronica.com/detalhes/valvula-solenoide-12v-1-2-x-1-2-180-para-agua-ideal-para-automacao-va-03-_pid994.html>. Acesso: 17 de Jun. 2019.

NAKATANI, A. M.; GUIMARÃES, A. V.; NETO, V. M. **Medição com Sensor Ultrassônico HC-SR04**. Departamento de Eletrônica, Curitiba, Brazil, 2014.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PIRES, J. F., RODRIGUES, F., ZANETTI, H. A., FILHO, S. S. **Considerações iniciais sobre a codificação sanguínea por meio do Arduino**. *Anais da Escola Regional de Informática da Sociedade Brasileira de Computação (SBC)–Regional de Mato Grosso*, 2016.

PRANDO, M. B., OLIBONE, D., OLIBONE, A. P. E., & ROSOLEM, C. A. **Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p. 693-700, 2010.
RIBEIRO, M. A. **Válvulas de controle e segurança**. 2003.

SILVA, J. A. O., SATELES, J. P., TEIXEIRA, A. G., DA CUNHA FILHO, I. N., & DO AMARAL, L. G. H. **Automatização do sistema de abastecimento de água de um infiltrômetro de anéis concêntricos para utilização em solos com alta capacidade de infiltração**. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 7, n. 7, p. 96-105, 2019.

SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A.T.C.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 7:191-196, 2003.

SZMOSKI, R. M., DOFF, A., LENART, V. M., SCHWIDERKE, S. K., & FACHINI, L. V. **Desenvolvimento de um aparato experimental de baixo custo para o estudo de objetos em queda: análise do movimento de magnetos em tubos verticalmente orientados**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 40.1, 2017.

ANEXO A – Programa desenvolvido

```

#include <Ultrasonic.h>                                     //Biblioteca do sensor HC-SR04
#include <SD.h>                                              //Biblioteca para o armazenamento no cartão SD

Ultrasonic ultrassom(26,27);                               // Define o sensor 2-de nível
Ultrasonic ultrassomL(28,29);                             // Define o sensor 1-de leitura

//Alerta sonoro
const int buzzer = 9;

//Nível
float dist, rec, x, L1, L2, L3, L4, L5;
float dmax=10;
float dmin=9;
int valvula=8;

//Leitura
float C1, C2, C3, C4, C5;
float coluna1, coluna1m, var;

//Tempo
unsigned long time = 0;
long T0, T1;
float tempoderecarga, antesrecarga, depoisrecarga, ultimagravacao;
float T2, T3, T4, Tempo01, Tempo02;

//SD
File arquivo;
byte inicio_ok;

void setup() {
  Serial.begin(9600);                                     //Habilita Comunicação Serial
  Serial.println("INICIANDO LEITURA: ");

  //Valvula- pino 8
  pinMode(valvula, OUTPUT);

  //Alerta sonoro- pino 9
  pinMode(buzzer, OUTPUT);

  //Controle de tempo
  T0=millis();                                           //Tempo inicial do programa
  ultimagravacao=0;

  Serial.println("Iniciando leituras");
  //----- Aloj - SD -----
  inicio_ok = 1;
  if(!SD.begin(53))

```

```

    {
        Serial.println("Erro ao iniciar cartao SD!");
        delay(5000);
        inicio_ok = 0;
        return;
    }
}

void loop(){
//-----START-----
    leitura(); //Chama função de leitura do R. de alimentação
    var=coluna1m;
    nivel(); // Chama função de leitura do Anel interno
    x=dist;
//-----CRONOMETRO-----
    T1=millis();
    T2=(T1-T0);
    T3=(T2/60000);
//-----CONTROLE-----
    if (var<0.55 || (var>=0.55 && x>dmin)){ //Situação normal
        T4=T2-ultimagravacao;
        cnivel();
        if(T4>=5000){ //intervalo de aquisição de dados
            ArmazenaN();
            Serial.print ("Reservatório: "); Serial.print (var);
            Serial.print ("      Nível: "); Serial.print (x);
            Serial.print("      ");
            Serial.print (T3,3); Serial.println (" min");
            ultimagravacao=T2;
            T4=0;
        }
    }

    if (var>=0.55 && x<=dmin){ //Situação de recarga
        nivel();
        tone(buzzer, 1500); //Alerta de início da recarga
        Tempo01=millis();
        leitura();
        noTone(buzzer);
        antesrecarga=coluna1m;
        recarga();
        tone(buzzer,1500); //Alerta de fim da recarga
        leitura();
        noTone(buzzer);
        depoisrecarga=coluna1m;
        Tempo02=millis();
        rec=antesrecarga-depoisrecarga;
        tempoderecarga=((Tempo02-Tempo01)/60000);
        Serial.print(" RECARGA: "); Serial.print(rec);
        Serial.print("      TEMPO DE RECARGA (min): ");
    }
}

```

```

        Serial.println(tempoderecarga);
        Serial.println("-----");
        AmazenaR();
    }
}

void nivel(){
    long distancia1 = ultrassom.timing();
    L1=ultrassom.convert(distancia1, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long distancia2 = ultrassom.timing();
    L2=ultrassom.convert(distancia2, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long distancia3 = ultrassom.timing();
    L3=ultrassom.convert(distancia3, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long distancia4 = ultrassom.timing();
    L4=ultrassom.convert(distancia4, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long distancia5 = ultrassom.timing();
    L5=ultrassom.convert(distancia5, Ultrasonic::CM);
    dist=((L1+L2+L3+L4+L5)/5);
}

void cnivel() {
    if (x > dmax){
        digitalWrite(valvula,LOW);          //Abre válvula
    }

    if (x <= dmin){
        digitalWrite(valvula,HIGH);        //Fecha válvula
    }
}

void leitura (){
    long coluna1 = ultrassomL.timing();
    C1=ultrassomL.convert(coluna1, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long coluna2 = ultrassomL.timing();
    C2=ultrassomL.convert(coluna2, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long coluna3 = ultrassomL.timing();
    C3=ultrassomL.convert(coluna3, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long coluna4 = ultrassomL.timing();
    C4=ultrassomL.convert(coluna4, Ultrasonic::CM);
    delay(200);
    long coluna5 = ultrassomL.timing();
    C5=ultrassomL.convert(coluna5, Ultrasonic::CM);
    coluna1=((C1+C2+C3+C4+C5)/5);
}

```

```

        coluna1m=coluna1*0.01;
    }

    void recarga () {
        while(var>=0.10){
            tone(buzzer, 500);
            Serial.print(" RECARGA  ");
            Serial.print("   Reservatório: ");
            Serial.println(var);
            Serial.print("   Nivel: ");
            Serial.println(x);
            digitalWrite(valvula,HIGH);           // Fecha a válvula
            leitura();
            var=coluna1m;
            nivel();
            x=dist;
            noTone(buzzer);
            delay (500);
        }
    }

    void ArmazenaN() {
        arquivo = SD.open("Dados.txt", FILE_WRITE);
        arquivo.print(" Reservatório: ");
        arquivo.print(var,3);
        arquivo.print("      Nível: ");
        arquivo.print(x,3);
        arquivo.print("      ");
        arquivo.print(T3,3);
        arquivo.println(" min");
        arquivo.close();
    }

    void ArmazenaR() {
        arquivo = SD.open("Dados.txt", FILE_WRITE);
        arquivo.println("-----");
        arquivo.print(" RECARGA: "); arquivo.print(rec);
        arquivo.print("      TEMPO DE RECARGA (min): ");
        arquivo.println(tempoderecarga);
        arquivo.println("-----");
        arquivo.close();
    }

```