



NICOLAS ANTONIO BAPTISTELLA ZULETA

**DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER PARA ANÁLISE DA
DEFORMAÇÃO DA SUPERFÍCIE DA CAMADA FILTRANTE
EM FILTROS DE AREIA UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO**

LAVRAS – MG

2023

NICOLAS ANTONIO BAPTISTELLA ZULETA

**DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER PARA ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO DA
SUPERFÍCIE DA CAMADA FILTRANTE EM FILTROS DE AREIA UTILIZADOS
NA IRRIGAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS – MG

2023

NICOLAS ANTONIO BAPTISTELLA ZULETA

**DESENVOLVIMENTO DE ESCÂNER PARA ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO DA
SUPERFÍCIE DA CAMADA FILTRANTE EM FILTROS DE AREIA UTILIZADOS
NA IRRIGAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 08 de março de 2023.

Me. Lorena Júlio Gonçalves, UESB

Me. Mádilo Lages Vieira Passos, UFC

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS – MG

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de cursar uma graduação e abençoar o fechamento de mais um ciclo em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, essencial em meu processo de formação pessoal e profissional.

Aos meus pais, Antônio e Cassiana, e a minha irmã, Júlia, por todo apoio e incentivo em todos os meus sonhos e planos.

À minha namorada, Victória, por estar sempre ao meu lado me apoiando e me aconselhando com muito amor e carinho.

Aos meus amigos e companheiros de curso, que tornaram essa caminhada mais leve e prazerosa.

Ao Grupo de Estudos em Máquinas e Mecanização Agrícola, pela oportunidade de trabalhar com pessoas incríveis e trazer ótimos momentos durante a graduação.

Ao meu orientador Fábio pela oportunidade, paciência e todos os ensinamentos passados durante minha formação.

Ao Gabriel Dlouhy Alcon, por todas as conversas, conselhos e toda ajuda no decorrer desse trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Com o crescimento da população mundial e conseqüentemente da demanda por alimentos, fazer uma agricultura eficiente é imprescindível. Com o objetivo de maiores produtividades, redução de custo e uso racional de água, uma alternativa muito utilizada é a irrigação, mais especificamente a irrigação localizada. Um dos fatores limitantes da irrigação localizada é o entupimento dos emissores, então a utilização de filtros de areia é necessária. Esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sensor escâner 3D para coletar uma nuvem de pontos e possibilitar a representação gráfica da deformação da superfície da camada filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação localizada em função dos modelos de placa difusora. Acredita-se que o modelo construtivo de placas difusoras interfere na deformação superficial da camada de areia, e que essa deformação influencia na eficiência de remoção dos sólidos suspensos na água utilizada para a irrigação. O escâner desenvolvido utilizou sensores de distância a laser (modelo VL53L0X), motor de passo (modelo 28BYJ-48) e uma placa Arduino UNO R3 para comandar os componentes e armazenar os dados coletados pelo sensor de distância. Para o corpo do escâner utilizou-se materiais plásticos disponíveis no laboratório de irrigação. O software para o Arduino foi desenvolvido a partir de softwares já existentes nas bibliotecas da plataforma Arduino, tendo apenas que ser adaptado para utilização de 3 sensores de distância VL53L0X. A nuvem de pontos coletada foi trabalhada no software Surfer versão 18 (Golden Software LCC) para gerar superfícies tridimensionais da superfície da camada filtrante. O escâner criado foi capaz de adquirir nuvens de pontos da camada superficial de areia com precisão, servindo como plataforma para análise da influência do modelo construtivo da placa difusora na deformação da camada superficial de areia.

Palavras-chaves: Arduino. Qualidade de água. Sensores. Nuvem de pontos. Obstrução de emissores.

ABSTRACT

With the growth of the world's population and consequently of the demand for food, making agriculture efficient is indispensable. With the goal of higher productivity, cost reduction and rational use of water, a widely used alternative is irrigation, more specifically localized irrigation. One of the limiting factors of localized irrigation is the clogging of emitters, so the use of sand filters is necessary. This work had as its objective the development of a 3D scanner sensor to collect a cloud of points and to make possible a graphic representation of the deformation of the surface of the filter layer in sand filters used in localized irrigation, as a function of the models of diffuser plate. It is believed that the diffuser plate construction model interferes with the surface deformation of the sand layer, and that this deformation influences the removal efficiency of suspended solids in the water used for irrigation. The scanner developed used laser distance sensors (model VL53L0X), stepper motor (model 28BYJ-48) and an Arduino UNO R3 plate to command the components and store the data collected by the distance sensor. For the body of the scanner, plastic materials available in the irrigation laboratory were used. The software for the Arduino was developed from software already existing in the Arduino platform libraries, having only to be adapted for use of 3 distance sensors VL53L0X. The collected point cloud was worked on Surfer software version 18 (Golden Software LCC) to generate three-dimensional surfaces of the filter layer surface. The created scanner was able to acquire point clouds from the surface layer of sand accurately, serving as a platform for analyzing the influence of the diffuser plate's constructive model on the deformation of the surface layer of sand.

Keywords: Arduino. Water quality. Sensors. Point Cloud. Emitter obstruction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Filtros de areia utilizados na irrigação localizada	9
2.2	Processo de filtração em filtros de areia	11
2.3	Influência da placa difusora no processo de filtragem.....	12
2.4	Escâneres 3D.....	13
2.5	Sensores de mensuração de distância.....	13
2.5.1	Sensores ultrassônicos.....	13
2.5.2	Sensores infravermelhos	14
2.5.3	Sensores LiDAR	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Caracterização do local experimental	16
3.2	Módulo experimental	16
3.3	Material Filtrante.....	17
3.4	Placas difusoras.....	17
3.5	Procedimento experimental.....	18
3.6	Dispositivo para levantamento 3D	18
3.7	Calibração do escâner 3D	20
3.8	Utilização do escâner 3D	21
3.9	Representação da camada superficial no Surfer	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5	CONCLUSÃO	26
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Com elevados custos na produção agrícola e com a atual crise hídrica no mundo, fazer uma agricultura eficiente é fundamental. Dentro da agricultura irrigada, a irrigação localizada é um dos sistemas mais eficientes no uso de água e energia (ANA, 2021). Porém, o entupimento dos emissores aumenta os custos de manutenção, operação e substituição de equipamentos (TESTEZLAF, 2008).

As águas utilizadas na irrigação, por serem provenientes de superfícies como rios, lagos e reservatórios, possuem sólidos suspensos que podem ocasionar o entupimento dos emissores, aumentando os custos com manutenção e comprometendo a uniformidade de aplicação. Para evitar obstruções nos equipamentos, o tratamento físico e/ou químico da água é primordial. No tratamento físico, utiliza-se equipamentos como: filtro de tela, de disco e de areia. Este último destaca-se na remoção de sólidos de origem orgânica e proporciona maior remoção de partículas quando comparado aos filtros de tela e disco (TESTELAF, 2008).

As principais estruturas constituintes dos filtros de areia são a placa difusora, responsável por possibilitar maior uniformidade na distribuição de água na superfície da camada filtrante, e o sistema de drenagem, que faz o direcionamento da água filtrada para o sistema de irrigação e distribuição desta no processo de retrolavagem (TESTEZLAF et al., 2014).

Acredita-se que a superfície da camada filtrante nos filtros de areia utilizados na irrigação localizada, varia de acordo com o modelo construtivo de placa difusora, podendo influenciar na deformação do leito filtrante, o que gera caminhos preferenciais e altera a perda de carga do processo de filtração. Em consequência deste fato, a eficiência de remoção dos sólidos suspensos da água pode ser reduzida e gerar prejuízos nos equipamentos de irrigação.

Neste contexto, considerando a relação entre as condições da superfície da camada filtrante e o funcionamento do filtro de areia, objetivou-se neste trabalho desenvolver um equipamento de baixo custo constituído por sensores, para determinação de pontos da camada superficial de leito filtrante para em seguida fazer uma representação digital da mesma, e assim analisar sua deformação em relação às placas difusoras, materiais filtrantes e taxas de filtração.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Filtros de areia utilizados na irrigação localizada

A elevada concentração de sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão na água utilizada na irrigação localizada, pode acarretar no entupimento de seus emissores, incrementando os custos de manutenção e substituição de equipamentos, além de afetar a uniformidade de aplicação (FRIZZONE et al., 2012). Em decorrência disso, recomenda-se a execução de métodos preventivos que diminuem a obstrução dos emissores, se destacando dentre eles o tratamento físico (FRIZZONE et al., 2012).

O tratamento físico da água na irrigação localizada pode ser realizado por equipamentos como filtro de tela, filtro de disco, hidrociclone e filtro de areia (FRIZZONE et al., 2012). O filtro de areia se destaca na filtragem de matéria orgânica, quando comparado aos demais, pela capacidade de remoção de partículas com diâmetros menores, como algas (MESQUITA et al., 2019; PUIG-BARGUÉS et al., 2005).

Os filtros de areia pressurizados utilizados na irrigação são reservatórios cilíndricos metálicos, como mostrado na Figura 1, produzidos a partir de chapas metálicas de aço carbono e em alguns casos de aço inoxidável (TESTEZLAF et al., 2014). Estes recebem o nome de filtros de areia pressurizados por operarem com pressões superiores a 300 kPa (30 mca). O filtro é preenchido em seu interior com um material filtrante, podendo ser areia, cascalho ou outros materiais granulares, onde as partículas contaminantes são retidas através da passagem sob pressão do fluido (TESTEZLAF et al., 2014).

Figura 1 - Filtro de areia utilizado na irrigação localizada.



Fonte: (Testezlaf et al., 2014).

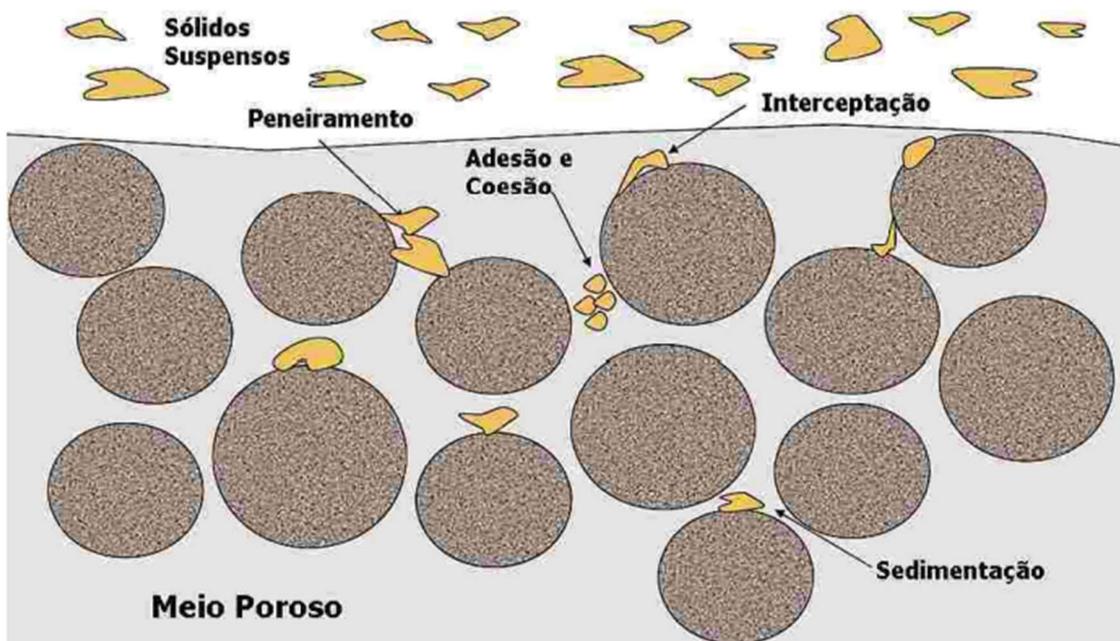
Na Figura 1 estão representados os componentes que constituem o filtro de areia, sendo que geralmente os filtros comerciais apresentam o mesmo padrão: entrada de água na parte superior (1), a placa difusora (2), que tem como objetivo reduzir a velocidade e distribuir a água, e a camada de areia (3) onde os sólidos suspensos serão retidos. Além disso o filtro também possui em sua parte inferior drenos (5), que direcionam a água já filtrada para a saída do filtro (4). e aberturas na sua parte inferior (6) e superior (7) que permitem o acesso ao seu interior, possibilitando o preenchimento e esvaziamento do filtro com o material filtrante, bem como sua manutenção (TESTEZLAF et al., 2014).

O funcionamento do filtro de areia é definido por duas operações, filtração e retrolavagem. A primeira consiste na remoção das partículas sólidas suspensas presentes na água, por meio da passagem forçada do afluente na camada filtrante, e a segunda, através da introdução de água tratada em contrafluxo no leito filtrante sujo, possibilitando sua expansão e a remoção dos sólidos retidos na filtração, realizando a limpeza do leito (MESQUITA et al., 2017).

2.2 Processo de filtração em filtros de areia

Segundo Pizarro Cabello (1996) a filtração é resultante de três processos: peneiramento, sedimentação e adesão ou coesão. O peneiramento, é caracterizado pela retenção de partículas sólidas na camada superficial do leito filtrante, as quais apresentam diâmetros maiores do que os poros da areia. A sedimentação ou decantação, caracteriza-se pela retenção das partículas que adentraram a camada filtrante, e devido a redução da sua velocidade podem sedimentar. E por fim, adesão e/ou coesão, em que as partículas ficam retidas nos grânulos de areia ou em aglomerados por atração eletrostática, removendo as que possuem menores diâmetros que os poros existentes no leito filtrante.

Figura 2 – Detalhamento do processo de filtragem em leitos filtrantes.



Fonte: (Adaptado de TESTEZLAF et al., 2014).

Existem várias recomendações na literatura para taxas de filtração em filtros de areia. Lawrence (2003) recomenda 35 a 60 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$, sendo a menor taxa para o máximo de 100 ppm de sólidos suspensos na água, e a maior taxa para o máximo de 10 ppm de sólidos. Philips (1995) recomenda taxas de filtração entre 36 e 61,2 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ e Mesquita (2010) entre 20 e 60 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$, onde se obteve eficiências energéticas superiores e por isso é considerada excelentes taxas. Em termos de remoção de sólidos suspensos na filtração da água, a melhor taxa de filtração avaliada foi de 75 $\text{m}^3\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ no trabalho desenvolvido por Mesquita et al. (2019).

2.3 Influência da placa difusora no processo de filtração

A placa difusora é um componente que tem como função diminuir a energia cinética do escoamento e distribuir o fluxo de água uniformemente sobre o leito filtrante, a fim de reduzir a movimentação da camada superficial. Assim, se os constituintes internos dos filtros de areia, como o sistema de drenagem e a placa difusora, não forem bem projetados, podem comprometer o funcionamento hidráulico e, conseqüentemente, a eficiência da filtração (MESQUITA et al., 2012; MESQUITA et al., 2019).

De acordo com Mesquita et al. (2012) o dimensionamento inadequado da placa difusora pode desencadear a turbulência do afluente, desordenando a distribuição de partículas de areia, formando canais e elevações na camada filtrante. Em concordância, de Deus et al. (2013) identificaram o aumento da perda de carga do leito filtrante em função da geometria de placas difusoras, observando em alguns modelos, maior revolvimento da superfície da camada filtrante e produção de linhas de fluxos irregulares.

Ainda, tendo em vista que há modificações nas linhas de fluxo em determinados modelos de placa difusora, de Deus et al. (2013) acreditam que este fato pode afetar o êxito da remoção do filtro, pela interferência na distribuição de água a ser tratada.

Com intuito de maximizar a eficiência hidrodinâmica em filtros de areia, Mesquita et al. (2019) analisaram o perfil de escoamento de três modelos comercializados no Brasil, com placas difusoras distintas, utilizando fluidodinâmica computacional. Os autores observaram uma tendência de geração de vórtice e escoamento tangencial na superfície do leito de areia, formando pontos de acúmulo e caminhos preferenciais para água e sólidos em suspensão, em função da placa difusora. A partir desta análise, estes projetaram um novo modelo de placa, obtendo uniformidade do fluxo e redução do revolvimento na superfície do leito, resultando na filtração mais eficiente.

Normalmente, pesquisadores apresentam a deformação do leito filtrante através de câmeras digitais, como no trabalho de Mesquita et al. (2012). No trabalho de Mesquita (2014), utilizou-se um escâner 3D comercial, que possui alto custo de aquisição.

2.4 Escâneres 3D

Os escâneres tridimensionais, também chamados de escâneres 3D são dispositivos que tem por objetivo digitalizar tridimensionalmente uma superfície real (WISPEL et al., 2017). Essa digitalização é feita através da coleta de pontos de uma superfície real para depois ser feita uma representação digital da mesma, com o objetivo de fazer análises virtuais, projetos de engenharia, ortodontia e recuperação de patrimônio cultural (WISPEL et al. 2017). Hoje no mercado existem diversos modelos de escâneres 3D, podendo eles serem de curto, médio ou longo alcance e baixa ou alta precisão.

É possível obter uma representação virtual de uma superfície medindo a distância de vários pontos da mesma em relação a um outro ponto fixo (ARÔSO; KURY, 2019). É possível construir um escâner 3D para obter essas medidas utilizando sensores de distâncias, exemplos de sensores de distância são: ultrassônicos, infravermelho e a laser – LiDAR (Light Detection and Ranging) (Santana, 2018).

2.5 Sensores de mensuração de distância

Segundo Wendling (2010), sensores são equipamentos que fornecem à circuitos eletrônicos informações sobre algum evento externo, são equipamentos sensíveis à alguma energia do ambiente, podendo ser luminosa, sonora, térmica, cinética entre outras e depois fazem a relação com alguma grandeza física mensurável, como temperatura, pressão, aceleração, corrente elétrica, tensão etc. Sensores de distância são empregados em sistemas com o objetivo de conhecer a distância de objetos ou pessoas (Gomes, 2011).

2.5.1 Sensores ultrassônicos

Segundo Cavamura e Mitsuhashi (2014), os sensores ultrassônicos funcionam calculando o tempo decorrido entre o disparo de um sinal sonoro a partir do sensor e a resposta proveniente do objeto, chamada de eco. A partir da diferença do tempo entre o sinal emitido e o sinal captado é possível calcular a distância entre o sensor e o objeto.

Fatores que podem inviabilizar o uso deste componente são altas temperaturas, ventos perpendiculares ao disparo do sinal sonoro e objetos com dimensões diminutas. (Wendling, 2010). A onda de velocidade do som tem velocidade de aproximadamente 340 m/s, o que faz com que o tempo de resposta do sensor ultrassônico para distâncias próximas de 6 m seja por

volta de 35 ms (G. Benet, 2002), um tempo de resposta considerado longo quando comparado aos outros sensores de mensuração de distância.

Figura 3 - Sensor de distância ultrassônico HC-SR04



Fonte: Instituto Digital (2022)

2.5.2 Sensores infravermelhos

Os sensores infravermelhos são chamados assim devido à frequência da luz em que operam. O infravermelho é uma radiação que ocorre na faixa de frequência entre 800 GHz e 900 THz (Santana, 2018) e possui esse nome pois esta faixa se encontra depois da cor vermelha no espectro de cores, fora do espectro visível pelo ser humano.

Os sensores infravermelhos (IR) (Figura 4) tem como princípio a emissão e recepção de luz. A luz é emitida por um diodo de luz infravermelha e que ao atingir uma superfície é refletida e captada pelo receptor no sensor. Esse receptor é um elemento optoeletrônico que converte a intensidade da luz captada em um sinal elétrico. A intensidade da luz refletida pelo objeto a ter sua distância calculada pode variar dependendo da refletância do objeto fazendo com que as medidas feitas pelos sensores infravermelhos possam ser bastante imprecisas (PINTO, MAZZOCCANTE e SILVA, 2015).

Figura 4 - Sensor infravermelho



Fonte: Baú da eletrônica (2023)

2.5.3 Sensores LiDAR

O sensor LiDAR (Detecção de luz e alcance - Light Detection and Ranging), conhecido popularmente como sensor a laser, é um sistema que mede a distância de um alvo através da incidência de um feixe de luz. O sensor consiste em um transmissor que projeta um feixe de luz em um alvo e um receptor que capta a componente de luz do feixe que foi transmitido. A distância é calculada através do tempo necessário para o feixe atingir o alvo e retornar para o receptor, fenômeno conhecido como Tempo de voo (Time-of-Flight) (SANTANA, 2018).

Dentre as opções de sensores descritas e as informações do fabricante (ST, 2023), foi escolhido o sensor VL53L0X (Figura 5). Trata-se de um sensor de distância a laser baseado em Tempo de voo (Time-of-Flight). O sensor VL53L0X foi escolhido pois conta com um emissor laser VCEL (Laser de emissão de superfície de cavidade vertical) de 940nm é invisível ao olho humano e é acoplado a filtros infravermelhos, possibilitando que o sensor meça maiores distâncias e tenha maior imunidade à luz ambiente. (ST, 2023).

Figura 5 - Sensor de distância a laser VL53L0X



Fonte: 4 Hobby (2022)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local experimental

O experimento foi realizado nos anos de 2021 e 2022 no Laboratório de Irrigação do departamento de Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, localizado na cidade de Lavras – MG, sul do estado de Minas Gerais (21°14'S, 45°00'O e 910 m). A água utilizada no experimento era proveniente da rede pública para não apresentar sólidos em suspensão e garantir que não haveria alteração da perda de pressão ao decorrer do tempo no filtro de areia.

3.2 Módulo experimental

O módulo experimental foi montado em laboratório no esquema de circuito fechado, o qual era composto por: filtro de areia comercial da marca Hidrosolo (modelo FA07); reservatório de água; motobomba da marca Schneider (modelo BC – 22R 1¼” 7.5 cv Trifásico 60 Hz 220/380 V); sensores de distância a laser VL53L0X, Motor de passo 28BYJ-48 e microcontrolador Arduino UNO R3®, constituintes do dispositivo para levantamento 3D; computador para coleta de dados e realização das representações gráficas.

A água a ser tratada era proveniente da rede pública e apresentou média de sólidos suspensos totais de 4.00 ± 1.52 mg L e pH de 6,1, sendo armazenada no reservatório e bombeada através de tubos de PVC por uma motobomba até o filtro de areia (Figura 6).

Figura 6 - Filtro Hidrosolo FA07 com as modificações (visores e aberturas laterais) (a), placa difusora original (b), crepina (c).



Fonte: Do autor, 2021.

3.3 Material Filtrante

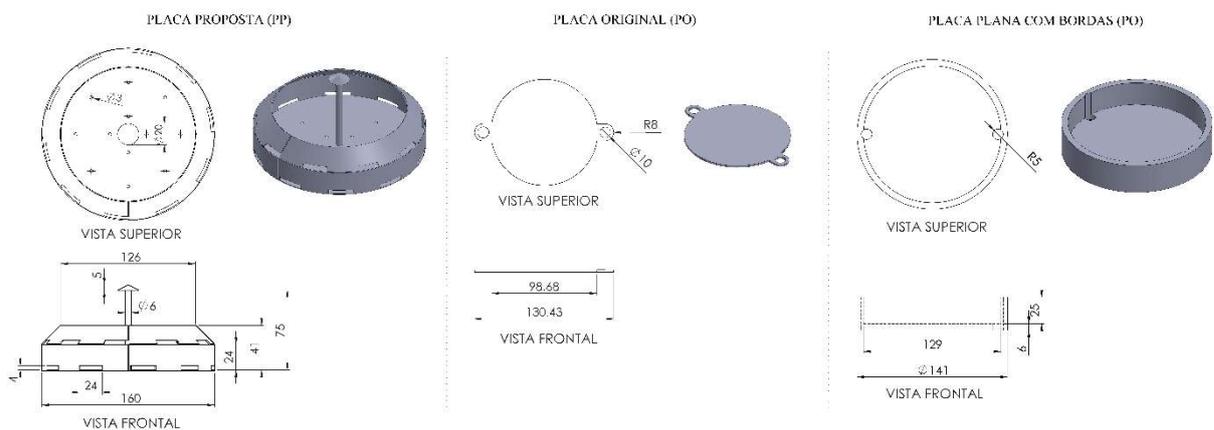
Foram avaliados dois tipos de materiais filtrantes: a areia sílica (A1) e quartzo (A2). Os materiais foram caracterizados pela granulometria, seguindo recomendações da norma ABNT (1990), possibilitando estimar o diâmetro efetivo (D_{10}), que é o diâmetro de abertura da peneira que permite a passagem de 10% do material filtrante e o coeficiente de uniformidade (CU), que é a relação entre D_{10} e D_{60} (diâmetro de abertura da peneira que permite a passagem de 60% do material filtrante). A areia sílica possuía 1.613 g cm^{-3} de massa específica, $0.41 \pm 0.01 \text{ mm}$ de diâmetro médio efetivo (D_{10}), e 1.65 ± 0.03 de coeficiente de uniformidade (CU).

Duas alturas de leito filtrante foram avaliadas, denominadas por H1 (22,5 cm) e H2 (45 cm – limite recomendado pelo fabricante do filtro), para verificação da relação da proximidade da placa difusora e a superfície da camada filtrante com a sua deformação.

3.4 Placas difusoras

Com o objetivo de avaliar a influência do modelo construtivo da placa difusora na deformação do leito filtrante, foram avaliadas 3 placas difusoras. A placa difusora original do equipamento (PO), a placa difusora do tipo plana com bordas (PPB), e uma placa difusora desenvolvida e avaliada no trabalho de MESQUITA et al. (2019) (PP) (Figura 7).

Figura 7 - Detalhes construtivos das placas difusoras avaliadas



Fonte: Do Autor (2022).

A placa difusora plana com bordas (PPB), possui diâmetro de 141 mm e altura de borda de 31 mm. A placa original é placa fornecida pelo fabricante do filtro sem modificações. A placa difusora proposta (PP) teve suas dimensões calculadas a fim de manter a proporcionalidade da placa proposta por Mesquita (2014), utilizando-se a relação entre o diâmetro do filtro da Hidro Solo (40 cm) e o diâmetro do filtro utilizado no trabalho de Mesquita (2014), que era de 50 cm.

3.5 Procedimento experimental

A partir das taxas de filtração propostas na literatura e com objetivo de representar diferentes condições, o ensaio foi feito utilizando taxas de filtração de 20, 60 e 100 $m^3h^{-1}m^{-2}$ (TF20, TF60 e TF100). Realizou-se a avaliação de três modelos de placas difusoras, combinados com duas alturas da camada filtrante e três taxas de filtração, como apresentado na Tabela 1.

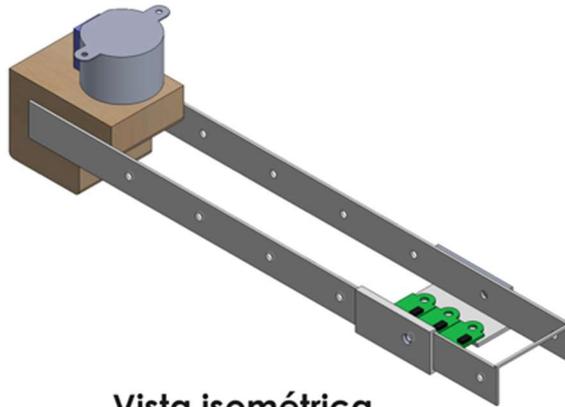
Tabela 1- Combinações experimentais

Placa difusora	Material filtrante	Altura de filtração (cm)	Taxa de filtração ($m^3 m^{-2} h^{-1}$)
Placa Original (PO)	Areia de Quartzo	22.5 (H1)	20
Placa Proposta (PP)	Areia de Sílica	45 (H2)	60
Placa Proposta com Bordas (PPB)			100

3.6 Dispositivo para levantamento 3D

O dispositivo para o levantamento 3D (Figura 8) foi desenvolvido utilizando três sensores de distância a laser (modelo VL53L0X), transportados por um motor de passo (modelo 28BYJ-48), além de materiais como madeira, plástico, parafusos e porcas, chapa de metal perfurada, cabos de rede e um microcontrolador Arduino UNO R3®.

Figura 8– Protótipo de dispositivo para levantamento 3D

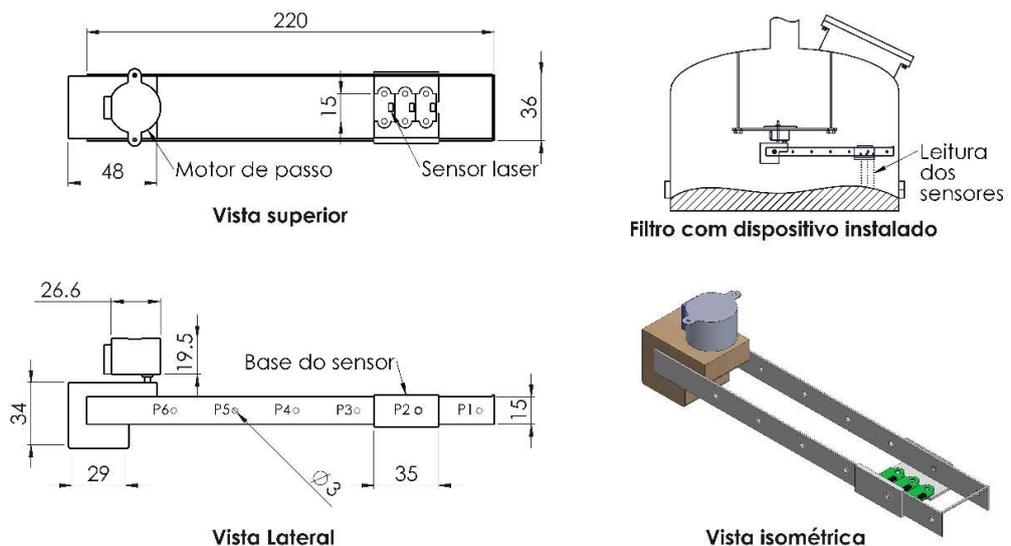


Vista isométrica

Fonte: Autor (2022).

A coleta dos pontos da superfície do leito filtrante ocorreu por meio da movimentação dos sensores no sentido radial (da extremidade até o centro) e angular (64 passos em 360°). Na Figura 9 estão apresentadas as dimensões do dispositivo e sua localização no ensaio experimental.

Figura 9 - Detalhe da localização do dispositivo no ensaio de avaliação da deformação da superfície da camada filtrante, bem como detalhe das dimensões do dispositivo (unidade: mm).



Do autor (2022)

As posições radiais onde ocorreram as leituras foram pré-definidas (pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P6), com distância de 35mm entre elas. Em cada posição era feita a rotação dos sensores fazendo leituras em cada gradiente, gerando 1152 pontos de medição para cada coleta da deformação do leito filtrante.

3.7 Calibração do escâner 3D

A calibração do sensor foi feita em laboratório, utilizando três sensores de distância a laser, em alturas conhecidas para os dois tipos de areia (quartzo e sílica). Os sensores foram fixados por uma pinça de dedos (Figura 10) na haste universal, que possuía altura fixa.

Figura 10 - Calibração da areia sílica na altura alta (H1) e calibração da área de quartzo na altura baixa (H2)



Fonte: do autor (2021).

A altura do sensor foi separada em duas etapas, a primeira foi chamada de Calibração Baixa e a segunda de Calibração Alta, a fim de representar as distâncias que o dispositivo coletaria os dados no interior do filtro de areia, sendo que em cada etapa era realizada a calibração posicionando o recipiente com areia em 3 alturas diferentes. Na Calibração Baixa, a primeira altura a ser feita a calibração apresentava distância real entre os sensores e a camada de areia de 38 cm, na altura 2 de 98 cm e na altura 3 de 158 cm. Na Calibração Alta, a primeira altura era de 188 cm, a segunda 248 cm e a terceira 308 cm. Esses são os valores reais que os sensores deveriam coletar em cada calibração. Em cada altura foram coletadas 120 medidas de distância pelos sensores.

Com o auxílio do Excel os valores de distância mensurados pelos sensores foram comparados e analisados com os reais e uma equação de regressão linear foi gerada. Essa equação é resultado da calibração dos sensores, a qual foi adicionada na programação da placa Arduino Uno R3 para correção dos valores de leitura.

Tendo em vista que o dispositivo era composto por três sensores, para maior precisão e confiabilidade dos resultados, foi feita uma equação de calibração para cada sensor, em cada altura (H1 e H2) e tipo de areia (areia branca e areia sílica), resultando em 12 equações de calibração.

3.8 Utilização do escâner 3D

A coleta dos pontos da camada superficial de areia no interior dos filtros foi realizada da seguinte maneira: a bomba d'água pressurizava o circuito montado no laboratório e através dos registros de gaveta era feita a regulação do fluxo até atingir a taxa de filtração desejada. Posteriormente, aguardava a taxa e as pressões se estabilizarem e então eram contabilizados 5 minutos. Quando o tempo se esgotava, a bomba era desligada, os registros fechados e a tampa superior do filtro desmontada. Retirava-se a placa difusora, tomando cuidado para não danificar a superfície do leito filtrante e nos parafusos que a fixava, era instalado o dispositivo 3D. Estes eram ligados ao notebook, feito o upload da programação da placa Arduino com as equações de calibração para as respectivas areias e alturas do leito filtrante. Após a instalação e programação, iniciava-se o processo de leitura e coleta dos pontos.

3.9 Representação da camada superficial no Surfer

O Surfer é um Software pago da empresa Golden Software, utilizado para transformar dados simples e complexos em ferramentas visuais compreensíveis, como mapas, gráficos e modelos virtuais. As representações gráficas dos pontos coletados pelo dispositivo 3D, foram feitas utilizando o programa Surfer versão 18 (Golden Software LCC), para posterior avaliação visual da superfície da camada filtrante e sua deformação.

Existem Softwares de código aberto que podem ser utilizados para através dos dados coletados fazer a representação digital da superfície, como o QGis e até mesmo o Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dispositivo 3D no interior do filtro, fixado nas hastes que estão presas a placa difusora, está apresentado na Figura 11.

Figura 11– Dispositivo 3D no interior do filtro



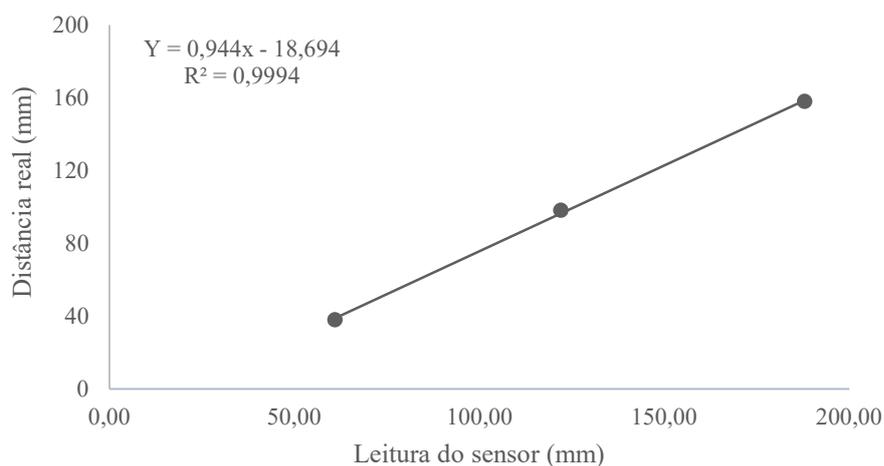
Fonte: Autor (2021).

Com os valores de distância obtidos pelos sensores em análise com os reais, foram geradas as equações lineares de calibração, para armazenamento na memória da placa Arduino. As equações de calibração para cada sensor, nas duas alturas (H1 e H2), para areia de quartzo e sílica, estão apresentadas na Tabela 2, bem como um exemplo da calibração do primeiro sensor para H1 e quartzo, na Figura 12.

Tabela 2 – Equações de calibração

Areia de Quartzo			
Altura	Sensor	Equação	R ²
Altura Alta (H1)	1	$y = 0,944x - 18,694$	$R^2 = 0,9994$
	2	$y = 0,9237x - 75,223$	$R^2 = 0,9998$
	3	$y = 0,9415x - 24,623$	$R^2 = 0,9998$
Altura Baixa (H2)	1	$y = 0,9756x - 27,61$	$R^2 = 0,9997$
	2	$y = 0,9916x - 95,855$	$R^2 = 0,9993$
	3	$y = 0,9762x - 33,468$	$R^2 = 0,9997$
Areia Sílica			
Altura	Sensor	Equação	R ²
Altura Alta (H1)	1	$y = 0,9317x - 14,076$	$R^2 = 0,9994$
	2	$y = 0,9416x - 74,536$	$R^2 = 0,9991$
	3	$y = 0,9465x - 21,356$	$R^2 = 0,9994$
Altura Baixa (H2)	1	$y = 0,907x - 6,1731$	$R^2 = 0,9971$
	2	$y = 0,8982x - 60,57$	$R^2 = 0,9988$
	3	$y = 0,9051x - 9,6977$	$R^2 = 0,9969$

Figura 12 – Equação de calibração de um sensor para a Altura Baixa (H1) e areia quartzo



De acordo com os coeficientes de determinação (R^2) obtidos, pode-se observar que a calibração dos sensores nas duas alturas, tanto para areia de sílica quanto para quartzo, foi eficiente, por ter apresentado valores de R^2 bem próximos de 1. A regressão linear é utilizada para estabelecer relação entre duas ou mais variáveis, possibilitando verificar a quantidade de variância dos dados, sendo que quanto maior (próximo de 1) o coeficiente de determinação for, melhor o ajuste (MILONE, ANGELINI, 1995; CARVALHO, 2016).

Nas Figuras de 13 a 16 estão ilustradas as representações da deformação da superfície da camada filtrante para as alturas de camada H1 (22,5 cm) e H2 (45 cm), combinadas com os modelos de placa difusora (PO, PP e PPB) e taxas de filtração (TF20, TF60 e TF100).

Figura 13 – Ilustração da deformação da superfície do leito filtrante para as combinações dos diferentes modelos de placa difusora, taxa de filtração, altura de 22,5cm (H1) e areia de sílica.

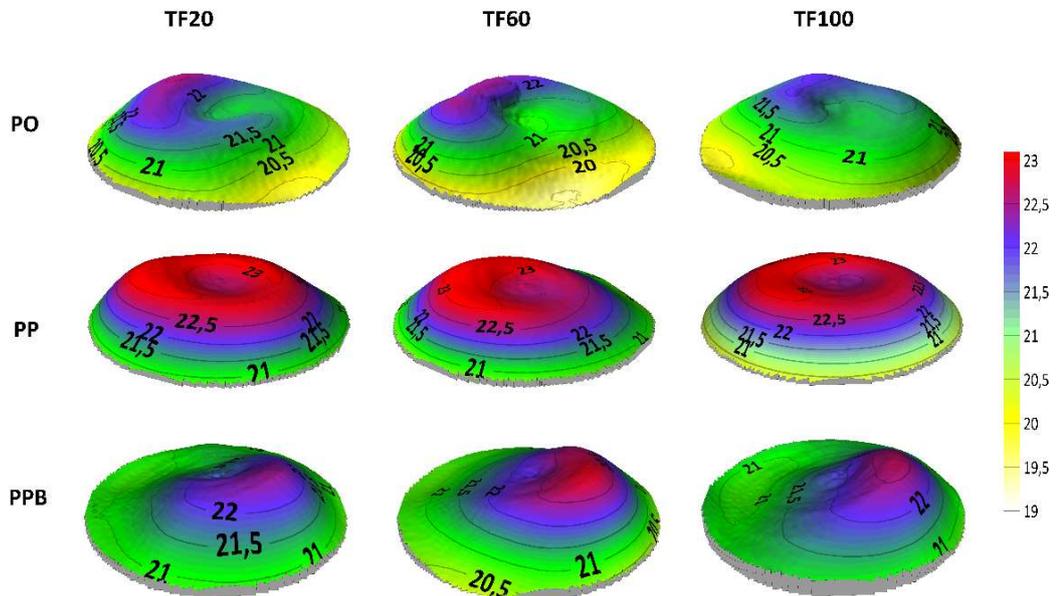


Figura 14 – Ilustração da deformação da superfície do leito filtrante para as combinações dos diferentes modelos de placa difusora, taxa de filtração, altura de 45cm (H2) e areia de sílica.

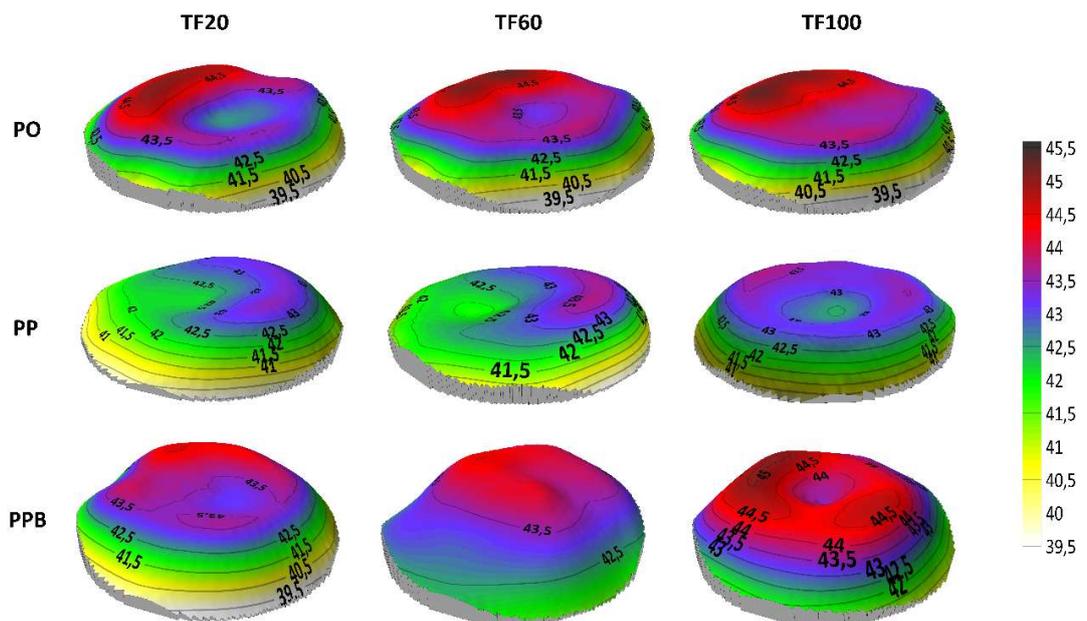


Figura 15 – Ilustração da deformação da superfície do leito filtrante para as combinações dos diferentes modelos de placa difusora, taxa de filtração, altura de 22,5cm (H1) e areia de quartzo.

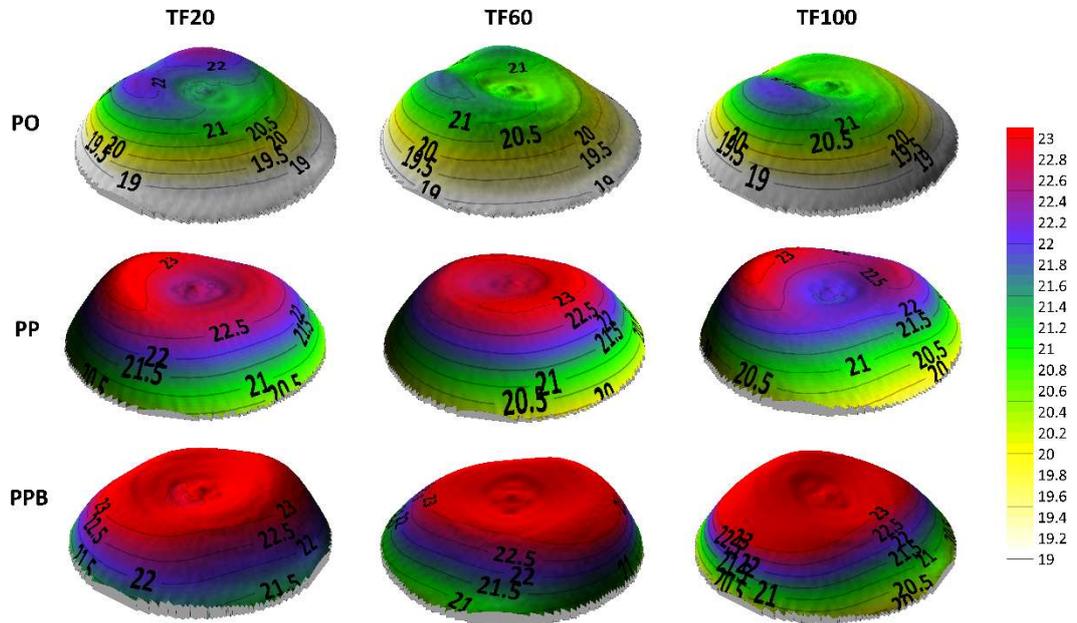
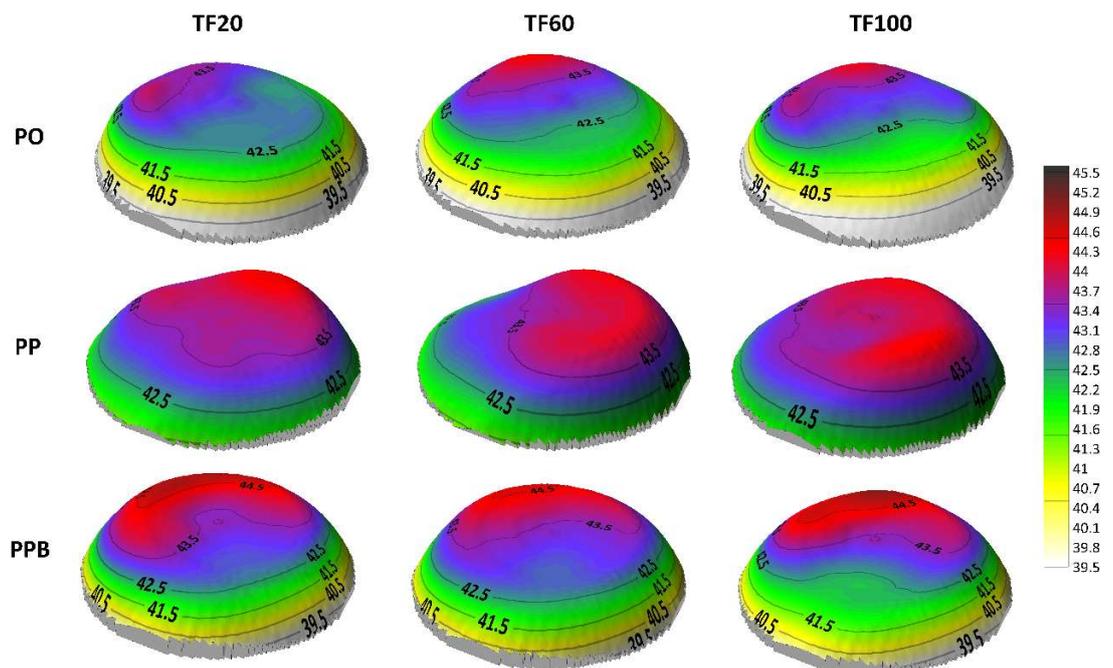


Figura 16 – Ilustração da deformação da superfície do leito filtrante para as combinações dos diferentes modelos de placa difusora, taxa de filtração, altura de 45cm (H2) e areia de quartzo.



Observa-se um certo padrão na deformação para todas as combinações do experimento, em que há elevações da superfície da camada filtrante, com elevações na região central e depressões nas extremidades, onde fica as paredes do filtro. Isso pode ocorrer devido a interação da água com a placa difusora, produzindo linhas de fluxo que alteram o funcionamento hidráulico do filtro (DEUS et al., 2013; MESQUITA et al., 2019).

Outro fato, foi a diferença na forma da deformação entre os tipos de placa, com a intensificação da elevação em algumas regiões, como no caso da placa proposta (PP), no centro do leito filtrante para quase todas as alturas. Nota-se assim uma influência entre os modelos de placa e as linhas produzidas, corroborando com o trabalho produzido por Mesquita et al. (2019).

Por fim, não foi observado grandes diferenças na deformação quando analisada apenas a variação da taxa de filtração.

5 CONCLUSÃO

A utilização dos hardwares (Arduino e sensores) junto com o software foi adequado para a representação gráfica da deformação do leito filtrante e sua análise.

Os modelos gráficos gerados evidenciam que o formato do dispositivo proposto é viável para digitalizar a superfície do leito filtrante. A estratégia de rotação do sensor de distância através do motor de passo em conjunto com o deslocamento radial, se provou adequada para a aquisição da nuvem de pontos.

O principal fator observado que pode ser limitante para a qualidade da análise da deformação, foi a exatidão na instalação do dispositivo, para que os pontos do leito filtrante não sejam confundidos com a parede do filtro.

Por fim, foi possível visualizar a deformação superficial escaneada e analisar o comportamento da mesma de acordo com cada placa difusora, material filtrante e taxa de filtração utilizada no teste.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4 Hobby. Disponível em: <https://www.4hobby.com.br/produto/sensor-distancia-laser-vl5310x.html>, acessado em 15/12/2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada /Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. EB 2097: **Material filtrante: Areia, antracito e pedregulho – Especificação**. 1990.

Baú da eletrônica. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-obstaculo-infravermelho-ir.html>, acessado em 15/01/2023.

CARVALHO, T. M. **Modelagem digital de atributos de solo da Fazenda Edgárdia – Botucatu – SP**. 145 f. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

CAVAMURA, H. F. M.; MITSUHASHI, M. K. **Sistema de gerência de vagas de estacionamento**. 2014. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

DEUS, F. P.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. **Efeito das dimensões da placa difusora no comportamento hidráulico de um modelo comercial de filtro de areia**. Engenharia Agrícola, v.33, p.560-568, 2013.

Frizzone, J. A., Freitas, P. S. L. D., Rezende, R., & Faria, M. A. D. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. (1 ed.). Maringá: Eduem. 2012.

G. Benet, F. Blanes, J. Simó e P. Pérez, “**Using infrared sensors for distance measurement in mobile robots,**” Robotics and Autonomous Systems, vol. 40, n. 4, pp. 255-266, 30 Setembro 2002.

GOMES, S. A. **Chuveiro automático**. Centro Universitário de Brasília - UniCEUB. Brasília - BR. 2011.

Instituto Digital. <https://www.institutodigital.com.br/produto/sensor-ultrassonico-hc-sr04-distancia/>, acessado em 15/12/2022.

KURY, R. A. M. **Digitalização de objetos 3D para representação em nuvem de pontos - UnB**. Brasília, 2019.

LAWRENCE, J. S. **Filtration and particulate removal**. Encyclopedia of Water Science. 2.ed. University of California, California USA, 2003. p.289-293.

MESQUITA, M. **Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação.** 2010. 120 f. Tese (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MESQUITA, M. **Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada.** 2014. 169 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

MESQUITA, M. et al. **Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação.** Jaboticabal, 2012.

MESQUITA, M., DE DEUS, F. P., TESTEZLAF, R., ROSA, L. M., & DIOTTO, A. V. (2019). **Design and hydrodynamic performance testing of a new pressure sand filter diffuser plate using numerical simulation.** Biosystems Engineering, 183, 58-69.

MESQUITA, M., TESTELAF, R., DE DEUS, F. P., ROSA, L. M. (2017). **Characterization of Flow Lines Generated by Pressurized Sand Filter Underdrains.** Chemical Engineering Transactions, v. 58, p. 715-720.

MILONE, G.; ANGELINI, F. **Estatística aplicada.** São Paulo: Atlas, 1995. 286 p.

PHILLIPS, K.P. **Long-term operation of microirrigation filtration systems: successes, failures and operational solutions.** INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., 1995, Orlando: ASAE, 1995. p.579-85.

PINTO, D. S. S.; MAZZOCCANTE, G. S.; SILVA, K. R. G. D. **Estudo do sensor de proximidade infravermelho para pequenas distâncias e descontinuidades em superfícies planas.** Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia - MG, p. 4. 2015.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia.** 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996.

Puig-Bargués, J.; Arbat, G.; Barragán, J.; Cartagena, F. R. de. **Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents.** Agricultural Water Management, v.77, p.249-262, 2005.

SANTANA, Ricardo Henrique Cavalcanti de. **Furadeira / Parafusadeira, à bateria, com dispositivo óptico de auto desligamento, limitador de profundidade de corte.** 2018. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2018.

Datasheet – Production Data VL53L0X. Disponível em: www.st.com, acessado em 14/03/2023

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.604-613, 2008.

TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. **Filtros de areia na irrigação localizada**. Campinas (SP): Unicamp, 2014. 66p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS. Biblioteca Universitária. **Manual de normalização e estrutura de trabalhos acadêmicos: TCCs, monografias, dissertações e teses**. 3. ed. rev., atual. e ampl. Lavras, 2020.

WENDLING, M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2010.

WISPEL, W. et al. **Um scanner 3D de baixo custo**. São Pedro, SP, 2017.