

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

VINÍCIUS DINIZ FERRER SANTANA

VALIDAÇÃO DE LIDAR DE BAIXO CUSTO EM MEDIÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

POÇOS DE CALDAS/MG

2023

VINÍCIUS DINIZ FERRER SANTANA

VALIDAÇÃO DE LIDAR DE BAIXO CUSTO EM MEDIÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi
Coorientador: Prof. Dr. Rogério Esteves Salustiano

POÇOS DE CALDS/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Santana, Vinícius Diniz Ferrer.

VALIDAÇÃO DE LIDAR DE BAIXO CUSTO EM MEDIÇÕES FLUVIOMÉTRICAS
/ Vinícius Diniz Ferrer Santana. - Alfenas, MG, 2023.

54 f. : il. -

Orientador(a): Rafael de Oliveira Tiezzi.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal
de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. LiDAR. 2. Baixo custo. 3. Nível de rio. 4. Monitoramento hidrológico. 5.
Desastres. I. Tiezzi, Rafael de Oliveira, orient. II. Título.

VINÍCIUS DINIZ FERRER SANTANA

“ Desenvolvimento de Banco de Dados Hidro-Meteorológicos e Validação de LIDAR de baixo custo em medições fluviométricas ”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 22 de setembro de 2023.

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Tiezzi

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)



Documento assinado eletronicamente por **Rafael de Oliveira Tiezzi, Usuário Externo**, em 07/11/2023, às 14:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1077586** e o código CRC **5C0179EE**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a minha família, amigos e professores que ajudaram na realização desta dissertação.

Ao Profº. Drº. Rafael de Oliveira Tiezzi e Profº. Drº. Rogério Esteves Salustiano por toda atenção e ensinamentos.

Aos membros da banca examinadora pelos comentários e avaliações.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

A Universidade Federal de Alfenas de Minas Gerais e o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pela oportunidade de me aperfeiçoar profissionalmente e me desenvolver pessoalmente.

A todos aqueles que se empenham no projeto de prevenção a Desastres no município de Poços de Caldas

RESUMO

Ao longo dos anos diversas técnicas e tecnologias vem sendo desenvolvidas e aplicadas em conceitos de monitoramento hidro meteorológico. Conhecer informações como pluviometria, fluviometria e tempo, tem grandes aplicações práticas para políticas públicas e população em geral. Avaliando a recorrência de desastres de origem hidrológica no município de Poços de Caldas e as especificidades geomorfológicas da região em estudo, surge então uma demanda de análises aprofundadas do comportamento da “cidade das águas” como é conhecida, em relação à ocorrência de precipitações significativas, suas origens, características e possíveis consequências. O objetivo desta tese é validar o sensor LiDAR de baixo custo em medições de nível de rio. Para isso foi desenvolvido em laboratório um experimento visando simular as diversas condições em que o sensor possa ser submetido em campo e testar a leitura do equipamento o comparando a equipamentos de uso de mercado como réguas linígrafas e sensores de pressão. O sensor a laser, apresentou uma exatidão de $\pm 0,05$ m em relação a uma escala física métrica, considerado adequado para aplicações que envolvam a medição do nível de corpos hídricos. Os resultados corroboram a efetividade do sensor LiDAR de baixo custo nas medições e sua aplicação fluviométrica.

Palavras-chave: LiDAR; baixo custo; nível de rio; monitoramento hidrológico; desastres.

ABSTRACT

Over the years, various techniques and technologies have been developed and applied in hydro-meteorological monitoring concepts. Having information on rainfall, river levels, and weather, for example, has significant practical applications for public authorities and the general population. Assessing the recurrence of hydrological natural disasters in the municipality of Poços de Caldas and the geomorphological specificities of the region under study has led to a demand for in-depth analyses of the behavior of the "city of waters," as it is known, regarding the occurrence of significant precipitation events, their origins, characteristics, and potential consequences. The objective of this thesis is to validate the low-cost LiDAR sensor in river level measurements. For this purpose, a laboratory experiment was conducted to simulate various conditions to which the sensor may be subjected in the field. The equipment readings were tested by comparing them to market-used devices such as leveling rods and pressure sensors. The laser sensor demonstrated an accuracy of ± 0.05 m in relation to a metric physical scale, considered suitable for applications involving the measurement of water body levels. The results confirm the effectiveness of the low-cost LiDAR sensor in measurements and its application in river level monitoring.

Keywords: LiDAR; low-cost; river level; hydrological monitoring; disaster.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de distribuição das estações hidrológicas no município de Poços de Caldas.	17
Figura 2 - Vista Superior do tanque.....	32
Figura 3 – Planta baixa do tanque com saídas para torneiras e conexões.	32
Figura 4 - Tanque para realização dos procedimentos experimentais.	33
Figura 6 - Diagrama do sistema de aquisição de dados dos sensores.	35
Figura 10 - Sensores utilizados nos experimentos. (a) LIDAR TFmini Plus	35
Figura 11 – Sensores utilizados nos experimentos. (b) Linígrafo SL2000NV.....	35
Figura 8 - Gráfico de medição do sensor a laser no procedimento experimental com água de abastecimento em regime laminar.....	40
Figura 9 - Gráfico com medidas de voltagem do linígrafo comparado com os dados medidos na placa pelo voltímetro.....	40
Figura 10 - Gráfico de medição com sensor a laser com a água de abastecimento em regime turbulento.	41
Figura 11 - Gráfico com valores de tensão do linígrafo no procedimento com água de abastecimento em regime turbulento.	43
Figura 12 - Gráfico de medição do sensor a laser no procedimento com sedimento.	44
Figura 13 - Gráfico de medição do linígrafo no procedimento experimental com sedimento.....	44
Figura 14 - Gráfico comparativo entre linígrafo e LIDAR com água de abastecimento em regime estacionário.	45

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Visão geral da estação AVIRR.	18
Fotografia 2 - Equipamentos da estação.....	19
Fotografia 3 - Central de coleta, armazenamento e envio de dados da estação.....	19
Fotografia 4 - Tubo e sensor a laser com adaptações para o procedimento experimental.....	34
Fotografia 5 - Circuito eletrônico desenvolvido para o experimento.....	38
Fotografia 6 - Registros do experimento de análise granulométrica.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das estações instaladas.....	18
Tabela 2 - Comparação de tecnologias de medição.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO REGIONAL	16
1.2 HISTÓRICO DA PROBLEMATIZAÇÃO	16
1.3 OBJETIVOS	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3 METODOLOGIA	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5 ARTIGO CIENTÍFICO	23
5.1 INTRODUÇÃO.....	25
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	31
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.4 CONCLUSÕES.....	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO REGIONAL

Poços de Caldas é comumente chamada de cidade das águas, devido aos seus índices pluviométricos. A cidade apresenta extrema diversidade geomorfológica, com regiões planas e declivosas, gerando susceptibilidade a desastres hídricos. Outros fatores que contribuem são os antrópicos, como a ocupação urbana desenfreada e desordenada. Segundo do Amaral et al. (2023) que coletou dados históricos dos últimos 50 anos identificando 715 eventos com algum tipo de perigo, sendo 60 desastres de pequena escala e 8 de escala média, houveram 20 mortes em 18 eventos levantados nos dados coletados.

1.2 HISTÓRICO DA PROBLEMATIZAÇÃO

A fim de monitorar as condições e índices pluviométricos e fluviométricos, foram instaladas estações hidrológicas em pontos estratégicos da cidade, levando em consideração, a hidrografia, topografia, localização dos corpos hídricos, ocupação antrópica, riscos à população e viabilidade técnica para instalação. As estações foram nomeadas em AVIRR, CLUBA, BAND, HFLOR e JPCEM, todas equipadas com pluviômetros. Destas, a única que não teve um sensor linígrafo instalado para medições fluviométricas foi a estação BAND, já que esta foi instalada em uma região de topo de morro diferentemente das outras que foram posicionadas ao lado de corpos hídricos urbanos. Ao instalar as estações, dificuldades surgiram e vulnerabilidades foram verificadas, o sensor de medição de nível de rio acoplado no corpo hídrico sofreu com chuvas intensas, sedimentos e objetos descartados inadequadamente nos rios, percebeu-se então que para a obtenção de um banco de dados constante e robusto, os sensores linígrafos deveriam ser substituídos. A implantação de uma rede de sensores sem fio de baixo custo surge como alternativa, esta, consiste em uma rede de sensores autônomos que são distribuídos de acordo com o interesse e local estudado que se comunicam por meio de protocolos de comunicação sem fio (HSIAO et al., 2017). O diferencial está principalmente no fato que diferentemente dos sensores de pressão, o LIDAR não precisa ser instalado no leito do rio, este fica posicionado acima sem contato com a água, sedimentos, resíduos. Gerando assim

ao longo do tempo um banco de dados relevante e confiável, que quando analisados, contribuem para as tomadas de decisão do poder público.

Figura 1 - Mapa de distribuição das estações hidrológicas no município de Poços de Caldas.



Legenda

- ▲ JPCEM
- ▲ AVIRR
- ▲ CLUBA
- ▲ HFLOR
- ▲ BAND
- ~ Rios Principais
- ~ Hidrografia
- ~ Bacias

0 0,250,5 1 1,5 2 Kilometers

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A tabela abaixo georreferencia em WGS84 as estações hidrológicas da tabela

1.

Tabela 1 - Localização das estações instaladas.

Localização das Estações Hidrológicas			
Nome	Zona	Longitude (UTM)	Latitude (UTM)
AVIRR	23 k	337671 m E	7588580 m S
BAND	23 k	337994 m E	7586360 m S
CLUBA	23 k	342029 m E	7589280 m S
HFLOR	23 k	338564 m E	7587982 m S
JPCEM	23 k	336559 m E	7590065 m S

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Fotografia 1 - Visão geral da estação AVIRR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Fotografia 2 - Equipamentos da estação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Fotografia 3 - Central de coleta, armazenamento e envio de dados da estação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

1.3 OBJETIVOS

A presente tese tem por objetivo então validar o sensor LIDAR de baixo custo aplicado a medições fluviométricas. Para isto, os estudos se dividiram em quatro etapas.

- a) elaborar o experimento em escala laboratorial;
- b) testar a leitura do sensor LIDAR, juntamente ao sensor e régua linígrafa em diferentes condições simulando o comportamento em campo;
- c) analisar e comparar os resultados obtidos nas diferentes condições;
- d) combinando as análises laboratoriais com revisão bibliográfica pertinente foi desenvolvida uma tabela de avaliação teórica de métodos de medida de nível.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A tecnologia aplicada em sensoriamento remoto, LiDAR, sigla para Light Detection and Ranging assemelha aos princípios do sistema de RADAR porém, ao invés de ondas de rádio, o LiDAR se utiliza de pulsos de laser. As aplicações da tecnologia são inúmeras e crescem constantemente. Primeiramente aplicado a Modelos Digitais de Elevação (MDE), atualmente, telecomunicações e redes de transmissão de energia, florestas, agricultura, mineração e ainda avaliação de risco de inundações, são exemplos do uso da tecnologia (Giongo, 2010).

O LiDAR emite radiação eletromagnética em ondas curtas (1-10 μm) e considerado sensível às variáveis atmosféricas segundo (Andersen et al., 2006). A varredura laser do sensor acontece pela emissão de um pulso laser em alta frequência de repetição. O tempo de retorno dos pulsos, ou seja, o tempo em que o pulso percorre entre sair do sensor até o alvo e retornar, permite estimar a distância dos objetos (Wagner et al., 2004).

Nilsson (1996) no campo florestal, já citava a possibilidade de realizar medidas diretas e estimas variáveis pertinentes à dendrometria por exemplo. Miqueles & Centeno (2003) demonstram a viabilidade de observar diferentes tipos vegetação com o LiDAR.

Guiera et al. (2005) aplicou o sensor na classificação de linhas de transmissão de energia elétrica com resultados considerados satisfatórios.

Santos et al. (2019) combina sensores inerciais e LiDAR para gerar nuvem de pontos tridimensionais de maneira satisfatória.

Branco et al. (2020) propõe o LiDAR acoplado em um VANT (Veículo Aéreo Não tripulado) para medição de pilhas de minério, especificamente carvão para usinas termoelétricas. Os resultados apresentaram erros em torno de 4%, considerado alto pelo autor, distorcendo os dados de inventário e propõe alternativas para otimização do sistema que se demonstrou promissor apesar dos resultados primários.

A tese de mestrado de Rei (2022) avalia os comportamentos do LiDAR de baixo custo aplicado indoor em situações outdoor para medição de distancias de objetos, mais precisamente chapas de metal e diferentes angulações, os resultados segundo o autor não foram considerados satisfatórios já que o erro das leituras cresceu no ambiente outdoor.

3 METODOLOGIA

O procedimento se iniciou com o desenvolvimento do experimento para testes em escala laboratorial na Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas. Os detalhes do procedimento estão no item 5.2 do artigo científico abaixo, materiais e métodos.

Com a estrutura para os testes pronta, os sensores lidar e linígrafo, foram submetidos a testes comparando as medições com a visualizada no vaso comunicante com trena acoplada. Os testes visaram simular diferentes comportamentos de corpos hídricos como, regime laminar, turbulento e a presença de sedimento. O item 5.2 indica detalhes do experimento, enquanto o item 5.3 demonstra os resultados obtidos.

Os dados foram tabelados, a linearidade dos dados simplifica a estatística. onde calculou-se média, desvio padrão e foi considerado também os erros, dos equipamentos e de medição.

Após obtenção dos dados nas diferentes situações, o comportamento dos sensores foi avaliado e comparado, a fim de validar o uso do sensor lidar de baixo custo em medições fluviométricas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e respectivas discussões desta dissertação foram apresentados no item 5.3 do artigo científico subsequente.

5 ARTIGO CIENTÍFICO

Validação de um LIDAR de Baixo Custo em Medições Fluviométricas

Vinícius Diniz Ferrer Santana¹; Rogério Esteves Salustiano²; Rafael de Oliveira

Tiezzi³.

RESUMO

Desastres ambientais aumentam em congruência com o crescimento urbano desordenado e a exploração inconsequente de bens naturais. A recorrência de desastres hidrológicos no município de Poços de Caldas e as especificidades geomorfológicas da região, resultam em uma demanda de análises aprofundadas pertinentes às precipitações intensas, suas características e consequências. O presente artigo apresenta um ensaio comparativo entre um linígrafo e um sensor a laser para medição fluviométrica, apontando principais diferenças, semelhanças, vantagens e desvantagens de ambos. O sensor a laser, apresentou uma exatidão de $\pm 0,05$ m em relação a uma escala física métrica, considerado adequado para aplicações que envolvam a medição do nível de corpos hídricos. Os valores obtidos pelo LIDAR de baixo custo, apresentaram concordância com os valores obtidos com o uso do linígrafo, equipamento mais caro, demonstrando que o sensor a laser pode substituí-lo também pelas vantagens de instalação e uso.

Palavras-Chave: desastres, precipitação, monitoramento hidrológico, baixo custo.

ABSTRACT

Environmental disasters increase in congruence with disorderly urban growth and reckless exploitation of natural resources. The recurrence of hydrological disasters in the municipality of Poços de Caldas and the geomorphological specificities of the region, result in a demand for in-depth analyzes of fluviometric behavior in relation to the occurrence of intense precipitation, its origins, characteristics and consequences. This article presents a comparative test between a linigraph and a laser sensor for fluviometric measurement, pointing out the main differences, similarities, advantages and disadvantages of both. The laser sensor, presented an accuracy of ± 0.05 m in relation to a metric physical scale, considered suitable for applications involving the measurement of the level of water bodies. The values obtained by the low-cost LIDAR showed agreement with the values obtained with the use of the linigraph, which is more expensive, demonstrating that the laser sensor can also replace it due to the advantages of installation and use.

Keywords: disasters, precipitation, hydrological monitoring, low-cost.

5.1 INTRODUÇÃO

A precipitação tem grande impacto socioeconômico em determinadas regiões e por isso deve ser monitorada e acompanhada periodicamente segundo critérios específicos que variam de acordo com o local e a situação. Além de interferir na disponibilidade hídrica e ambiental, precipitações significativas para determinadas regiões são as principais causas de desastres naturais no Brasil. (CARRASCO et. al.,2020). Os níveis e valores de precipitação que são passíveis de deflagrarem eventos de desastres variam muito, conforme as características fisiográficas de cada região, o que leva uma mesma magnitude, intensidade e duração de uma precipitação deflagrar uma enchente em um local e em outro não. Sendo assim o estudo de desastres se faz necessário localmente, sendo difícil transpor os resultados destes estudos de um local para outro.

A fim de monitorar e prever possíveis ocorrências como estas, a implantação de uma rede de sensores telemétricos se apresenta como uma ferramenta de aquisição de dados pertinente ao problema. Esta consiste em uma rede de sensores autônomos, que são distribuídos de acordo com o interesse do local estudado, e que se comunicam por meio de protocolos de comunicação sem fio. (HSIAO et al., 2017). Assim, esta rede gera ao longo do tempo um banco de dados que, quando analisado, pode gerar informações que contribuem para os estudos locais e que podem auxiliar nas tomadas de decisão pelo poder público.

Os produtos de análises dos dados de precipitação e nível do rio por exemplo, obtidos por instrumentação técnica, podem se tornar informação relevante para a previsibilidade hidrológica, com a aplicação de modelos matemáticos que se utilizam muitas vezes de métodos computacionais a partir de características, padrões e variáveis obtidas na região de estudo. Estes métodos tradicionais de verificação de

dados são conhecidos como modelos de Previsão Numérica de Tempo e Clima (PNTC), existem ainda outras técnicas como o Method for Object-Based Diagnostic Evaluation (MODE), mais recente e que tem apresentado boa confiabilidade para análises na América do Sul. (CARRASCO et. al.,2020).

Desastres são eventos que podem ocorrer com certo grau de imprevisibilidade, além disso envolvem: meio ambiente, política, economia, saúde pública e a população de modo geral, por isso sua complexidade e multidisciplinaridade de análise. Para tratar disso no Município de Poços de Caldas, local com histórico de desastres (SARDINHA et.al., 2016), foi criado um grande projeto com parceria entre a Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG), o poder público, o terceiro setor e o setor privado a fim de estudar os desastres municipais como: enchentes, inundações e deslizamentos de terra. O estudo também tem como proposta informar e orientar a população acerca destes eventos e criar resultados que no futuro consigam subsidiar um sistema de prevenção e mitigação de impactos. A presente pesquisa, consiste em uma ramificação desse macroprojeto de estudo de desastres na cidade de Poços de Caldas, mais especificamente uma ramificação do subprojeto de criação do sistema de monitoramento hídrico das principais bacias do município. (FREITAS et. al.,2019).

A escolha dos sensores a laser para monitoramento do nível dos rios, de forma telemétrica, surgiu a partir de um problema encontrado na prática. No decorrer da fase de testes do projeto, alguns sensores de nível por pressão (linígrafos) foram instalados no fundo do leito dos rios, mas tiveram problemas para permanecerem presos no fundo dos leitos dos rios frente à correnteza e ao material transportado pelas águas. Os sensores, a priori, foram fixados no fundo dos leitos, em rios não canalizados, com aproximadamente oito grampos de aproximadamente 70 cm de comprimento, porém os grampos foram retirados e carreados pela correnteza deixando o sensor solto no

fundo do rio. No segundo momento os sensores foram fixados no leito dos rios, não canalizados, com uma quantidade semelhante, porém desta vez com estacas de estacas de 1,5 metros de comprimento. Neste segundo momento, estacas não foram carregadas pois estavam muito bem travadas ao leito do rio, porém os cabos foram rompidos pela correnteza e pelos materiais transportados pela água.

Os cabos dos sensores do tipo linígrafo de pressão são cabos compostos que transportam energia para funcionamento, transmitem sinais dos dados captados e ainda possuem um duto capilar para que seja registrada a pressão atmosférica, usada para diferenciar a pressão entre a atmosfera e o fundo do rio. Desta forma, o conserto destes cabos acaba sendo muito oneroso ao monitoramento, visto que esta situação ocorreu na maioria dos pontos de medição. Nos rios canalizados os sensores foram presos com uma dezena de chumbadores parabolts de 12 mm, com suporte individual de 30 kN de carga, nestes casos assim como os dos rios de leito natural os cabos também foram rompidos e o sistema de monitoramento necessitou ser interrompido.

No meio urbano e conseqüentemente nos rios urbanos é muito comum o descarte inadequado de resíduos e por conseqüência o transporte destes materiais lançados nos rios e córregos. Estes, em sua maioria, geram transtornos para este tipo de monitoramento, seja gerando acúmulos pontuais de resíduos que além de alterar o fluxo hídrico de forma pontual, aumentam o risco de danos ao equipamento, como mencionado anteriormente nos rompimentos dos equipamentos instalados. Ou seja, equipamentos instalados para analisar o comportamento fluvial em momentos de precipitação intensa, estão sujeitos justamente nestas situações a rompimentos e interferências, que além de impactarem no custo e manutenção do projeto, prejudicam o levantamento dos dados nas situações de maior interesse, que são as grandes vazões. (ISIDORO et. al., 2021).

Para fins de comparação e parametrização, buscou-se na literatura medições semelhantes à deste estudo. Alguns métodos de medição e controle do nível fluvial foram encontrados, porém nenhum material que utilizasse o mesmo sensor para este mesmo fim foi encontrado nas buscas realizadas ao material bibliográfico disponível. Para tanto, na sequência são apresentados resultados de artigos científicos, encontrados nesta busca, com equipamentos e funções que se assemelham a este estudo, porém que utilizam técnicas e métodos diferentes. Estes estudos serão importantes para a discussão nas comparações deste estudo, visto os diferentes pontos positivos e negativos de cada técnica empregada.

Kawaguchi et. al (2020), realizou o monitoramento fluviométrico do Rio Paraopeba após o rompimento da barragem de rejeito, os materiais utilizados foram régua limnimétrica e transdutores de pressão que foram conectados a uma plataforma de coleta e transmissão de dados por satélite, também foram realizadas medições de vazão com auxílio de molinete e equipamentos acústicos. Kawaguchi correlacionou os dados de vazão com a cota do rio e se demonstrou eficiente no seu propósito identificando as variações pertinentes ao aumento do sedimento oriundo da barragem e o retorno do fluxo hidráulico posterior. O autor considerou a técnica eficiente, cumprindo o proposto para o monitoramento do Rio Paraopeba. Por outro lado, exige a disponibilidade de técnicos para a execução das rotinas de campo. Quando se avalia a combinação de técnicas como as utilizadas pelo autor em congruência com os sensores e sua telemetria, pode se avaliar a capacidade de monitorar ao mesmo tempo um número maior de pontos, sem a necessidade visitas recorrentes de técnicos em campo, a combinação das técnicas pode otimizar o projeto, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro.

No caso do artigo proposto por Martins et. al (2021), a ferramenta utilizada foi o satélite radar altimétrico, para medições de nível no Rio São Francisco. Este projeto traz consigo a vantagem de utilizar, quando possível, dados de satélites já em órbita, o que retira o custo de instalação de equipamentos, os radares medem de maneira constante gerando uma série histórica significativa, por outro lado, fatores como a presença de nuvens e distorção de imagens limitam sua eficiência em determinados momentos, outro fator importante é que o radar é aplicado apenas para rios de grande ou médio porte, levantamentos pertinentes a córregos urbanos por exemplo são inviáveis. Cabe aqui a discussão quanto ao uso dos sensores de nível para tal aplicabilidade. Os radares podem ser extremamente relevantes do ponto de vista de um monitoramento macro, de grandes corpos hídricos que por sua vez se distribuem em corpos menores, que neste caso, com a possível instalação de sensores resultaram em um banco de dados robusto e significativo, com baixos investimentos se comparados a outras tecnologias e possibilitando o monitoramento do comportamento das bacias hidrográficas como um todo.

No artigo de Ellison et. al. (2019), o monitoramento é multifacetário, o número de variáveis consideradas no estudo é maior, o autor desenvolveu um dashboard para levantar dados de tempo, clima, solo, fluxo fluviométrico, qualidade da água, além de dados de previsão pluviométrica e temperatura da água. O painel de informações ficou disponível para a população que adquiriu informações significativas do comportamento da bacia hidrográfica local. Este artigo, é de imensa contribuição no que tange o tema de monitoramento de bacias hidrográficas, este relaciona diversas variáveis, combina informações, possui apoio do poder público e disponibiliza dados que são úteis na gestão das bacias como um todo, desde o monitoramento a desastres até no auxílio a irrigação de plantações, por exemplo. A replicação deste

projeto depende da colaboração de todas as partes interessadas, incluindo investidores, poder público, pesquisadores e população em geral.

No contexto de previsibilidade de desastres hidrológicos, das diferentes situações e características dos corpos hídricos erros na escala de milímetros e unidades de centímetros são considerados aceitáveis, quando comparados com outros erros conforme evidenciado por Kawaguchi et. al. (2020), Martins et. al. (2021), Ellison et. al. (2019) e Vissirini et.al. (2018). A escala e o alerta de desastre hídrico correlacionam, série histórica, aumento de vazão e a capacidade dos sistemas em suportar o aumento de vazão. Araújo et. al. (2017) relata a importância de uma série histórica de dados pluviométricos e fluviométricos consistente e de longo prazo para a gestão de bacias hidrográficas e estudos de desastres.

Outro material significativo para a discussão é o artigo de Vissirini (2018), que trata do monitoramento a desastres no estado do Rio de Janeiro, o estudo leva em consideração dados telemétricos disponibilizados por instituições como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Instituto Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o projeto combinou os dados disponíveis e os automatizou utilizando-se de técnicas como *Machine Learning(ML)*, Redes Neurais Recorrentes e *Long Short-Term Memory (LSTM)*. O autor relata dificuldades com o projeto, apesar da robustez da rede telemétrica do estado, muitos problemas na distribuição e funcionamento destes foi verificada. A situação problema deste artigo demonstra as limitações do monitoramento ambiental, as diferenças de qualidade e quantidade de dados adquiridos em pontos diferentes do estado, o sensor a laser de baixo custo converge como possível alternativa para obtenção da linearidade e disponibilidade destes dados. O sensor acompanhado da telemetria é

capaz de medir e transmitir estes dados, através de um baixo custo, o que seria interessante para cidades que possuem pouco recurso para investimento.

Com isso, o presente estudo tem por objetivo a comparação das ferramentas linígrafo e sensor a laser e sua aplicabilidade na medição de nível de corpos hídricos como rios e córregos com a validação da seus dados e sua eficiência simulando as diferentes situações que podem acontecer em campo.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Um procedimento experimental de comparação entre o sensor de pressão, o sensor a laser e a altura real medida por vaso comunicante externo, foi realizado na Universidade Federal de Alfenas – MG, Campus Poços de Caldas. Para os experimentos foram encontradas soluções com o intuito de simular diferentes situações no qual os sensores executam o monitoramento na prática. Um córrego urbano, pode se encontrar em dias de nenhuma ou pouca precipitação em regime estacionário, já em precipitações mais intensas, em regime turbulento, ou ainda o corpo hídrico comumente pode apresentar acúmulo de sedimentos e conseqüente turbidez variável. Para avaliar o comportamento dos sensores nestas situações, foi adaptado um tubo de PVC Vinil com quatrocentos milímetros de diâmetro nominal (DN400) e seis metros de comprimento, de uma tubulação aplicada para esgotamento sanitário. Para parametrização das medições foi instalado ao lado da tubulação um cano de borracha transparente com uma trena métrica acoplada (exatidão de $\pm 0,5$ mm) à coluna d'água corroborada pelos conceitos de medição de nível através da pressão hidrostática. As figuras 2,3 e 4 demonstram as vistas referentes ao tanque onde foram realizados os procedimentos experimentais.

Figura 2 - Vista Superior do tanque.

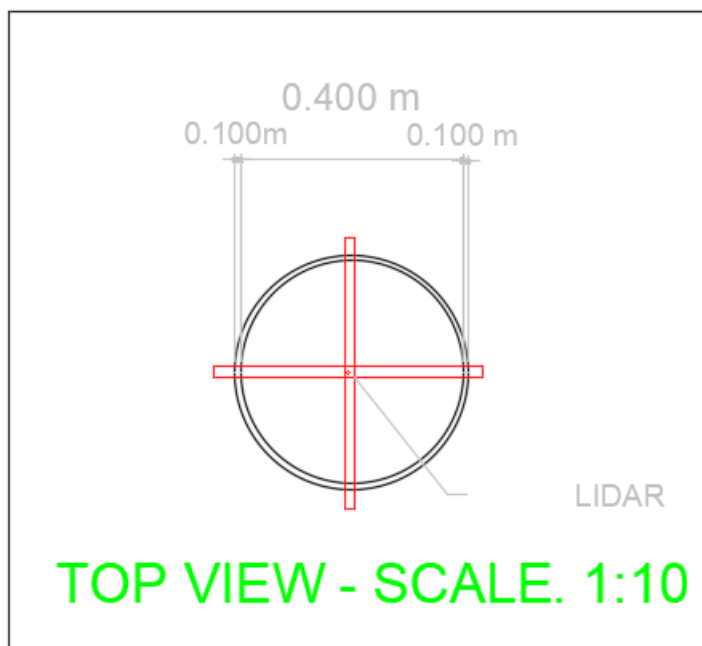


Figura 3 – Planta baixa do tanque com saídas para torneiras e conexões.

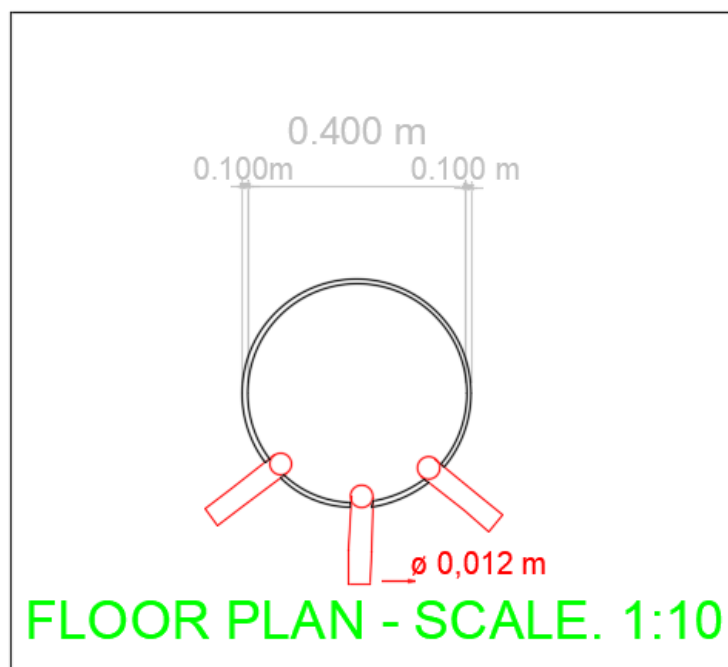
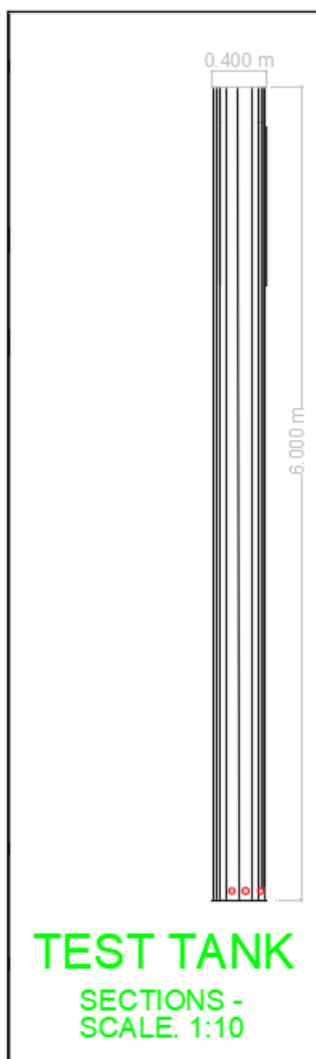


Figura 4 - Tanque para realização dos procedimentos experimentais.



A fotografia 4 abaixo apresenta a tubulação em diferentes perspectivas. Na parte superior do tubo foi instalado o LIDAR acoplado a um suporte. Acoplado ao tubo, a uma trena métrica, o sensor de pressão e as conexões de entrada e saída das torneiras.

Fotografia 4 - Tubo e sensor a laser com adaptações para o procedimento experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido conforme apresentado no diagrama da Figura 6. A principal função deste sistema é receber os dados do LIDAR (Light Detection and Ranging) TFmini Plus (BENEWAKE, 2022) e do linígrafo (sonda de nível) SL2000NV (SOLAR, 2022), ambos apresentados nas Figura 6 e 7.

Figura 5 - Diagrama do sistema de aquisição de dados dos sensores.

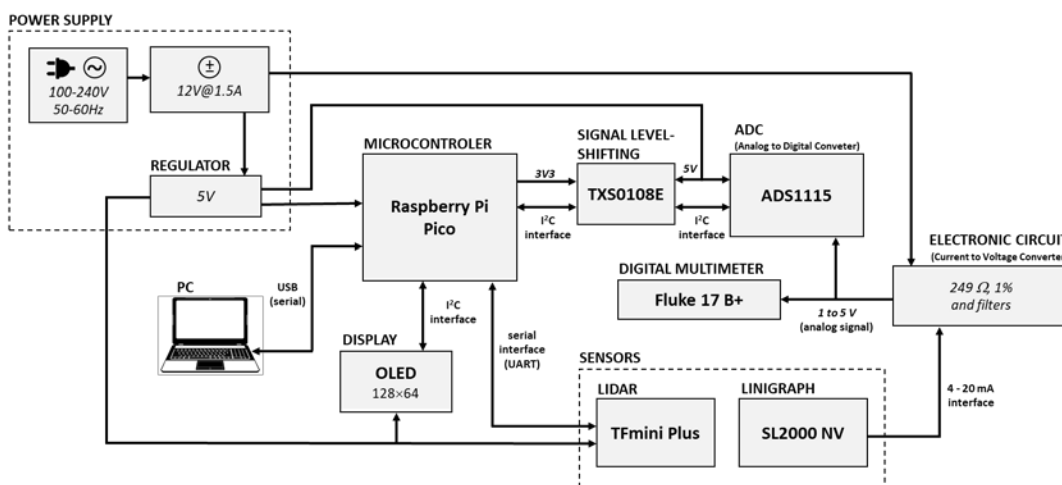


Figura 6 - Sensores utilizados nos experimentos.
(a) LIDAR TFmini Plus

(a)



Figura 7 – Sensores utilizados nos experimentos. (b) Linígrafo SL2000NV

(b)

O sistema eletrônico de aquisição de dados e os sensores são alimentados por uma fonte de tensão de 12 V que suporta corrente de até 1.5 A. Um regulador foi utilizado para baixar a tensão para 5 V, de operação do Raspberry Pi Pico (RASPBerry, 2022), do conversor analógico-digital ADS1115 (TEXAS, 2018) e

LIDAR.

O Raspberry Pi Pico, microcontrolador de propósito geral, foi programado para receber os dados dos sensores e exibi-los em um display de OLED de 128 x 64 pixels e em um computador, conectado através de um cabo USB para visualização dos valores obtidos pelo linígrafo e pelo LIDAR.

O sensor LIDAR (TFmini Plus) permite fazer medições de distâncias de 0,1 a 12 metros com uma exatidão de 1%, possui uma interface de comunicação serial (UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) para transmitir os dados de forma digital. O sensor foi configurado para transmitir os dados ao Raspberry Pi Pico com uma frequência de 100 Hz. Como o sensor foi instalado fora do corpo hídrico, a medição de nível foi realizada de forma subtrativa, ou seja, entre a distância do sensor o fundo do corpo hídrico.

O linígrafo SL 2000NV opera sob pressões 0- a 5mca e fornece o dado da profundidade de forma indireta através de uma interface 4 a 20 mA, qual precisa ser convertida para tensão (V) para valor digital. Para isso, foi montado um circuito eletrônico com resistor de 249 (tolerância de 1%) e componentes discretos (capacitores e indutor) para filtragem do sinal analógico. O conversor A/D varia aproximadamente de 1 a 5 V, convertendo um valor digital de 15 bits qual pode ser consultado pelo Raspberry Pi Pico através da interface de comunicação I2C (Inter-Integrated Circuit). Como a tensão da interface I2C do Raspberry opera com 3,3 V e a I2C do ADS1115 com 5 V, foi utilizada uma placa com circuito integrado TXS0180E (Texas,2022), a qual converteu o nível de sinal de forma bidirecional. O valor da tensão obtido pelo resultado da conversão A/D possui uma relação com a profundidade do corpo d'água no qual o linígrafo está submerso.

O multímetro Fluke 17B+ (FLUKE, 2022) foi inserido em paralelo com o sinal

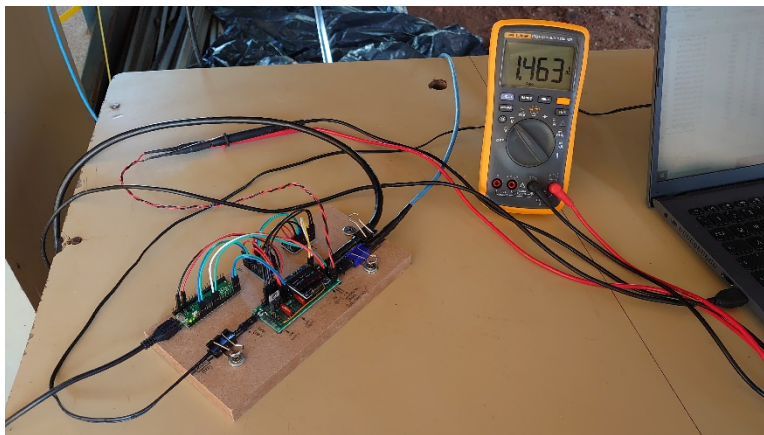
de entrada do conversor A/D (saída do circuito conversor de corrente para tensão) com o objetivo de verificar se a conversão estava sendo realizada corretamente ao longo das medidas efetuadas pelo linígrafo.

A programação do microcontrolador do Raspberry Pi Pico foi desenvolvida na linguagem de programação C de forma a ler 18 valores dos ADS1115 e 18 valores do TFMini plus a em intervalos de 5 segundos. Para cada conjunto de 18 valores foi aplicado o algoritmo de Concordância Aproximada (DOLEV, 1986) para rejeição de dados não concordantes e foi realizada a aplicação da média aritmética para obter um valor final como combinação dos dados concordantes.

Os valores foram obtidos e registrados em triplicata, isto é, a medida do sensor foi registrada ao mesmo tempo em que os de coluna d'água, linígrafo e voltímetro que mede a tensão de chegada no hardware. Na fotografia 5 pode-se visualizar o sistema

de aquisição de dados montado, o qual foi utilizado no procedimento experimental.

Fotografia 5 - Circuito eletrônico desenvolvido para o experimento.



Fotografia 6 - Registros do experimento de análise granulométrica.



Todo o procedimento experimental seja com água de abastecimento em regime estacionário, turbulento ou com a presença de sedimento foram realizados em triplicata, após isso, foi calculada média aritmética, desvio padrão e erro padrão das medições, para posteriormente serem analisados.

Após os resultados obtidos comparando as técnicas e tecnologias e inserindo densa revisão bibliográfica. Foi possível elaborar uma tabela comparativa visando contribuir na comparação de equipamentos de levantamento hidro meteorológico nos diferentes contextos. A avaliação quantitativa presente na tabela, reflete a avaliação de 14 variáveis comparando sensores LIDAR, sensores linígrafos, radares meteorológicos e réguas linígrafas. A parametrização se deu nas cores vermelho, amarelo e azul, para facilitar o entendimento. A cor vermelha indica um índice ruim, baixo ou inadequado. A cor amarela, é um indicativo médio e a cor azul representa um ponto positivo, bom ou adequado. A combinação destes fatores resultou na tabela 1 presente nos resultados deste artigo.

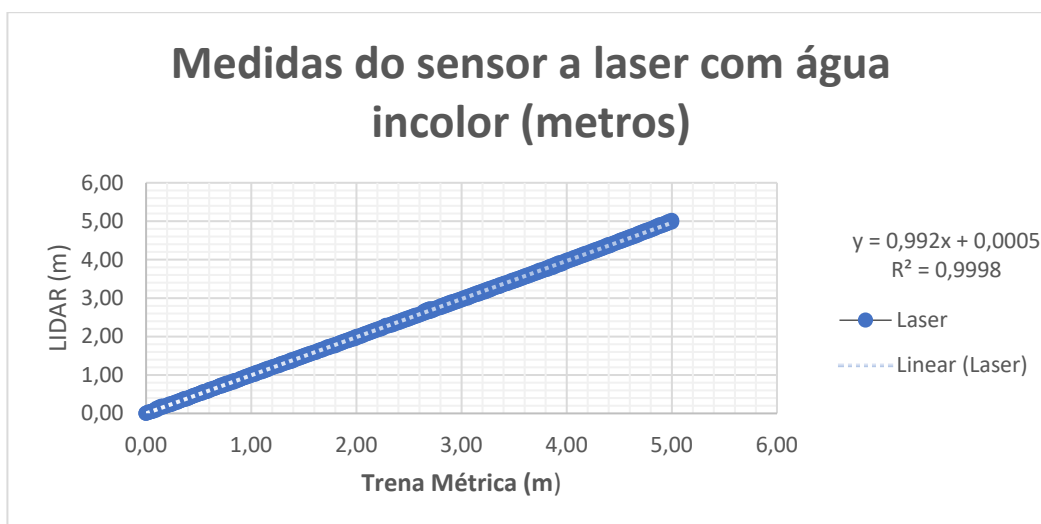
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os procedimentos experimentais realizados tiveram como objetivo avaliar a confiabilidade dos dados gerados pelo sensor a laser, este, foi comparado com a medição do nível na mangueira comunicante através da trena e também comparado com o linígrafo (equipamento comercial muito utilizado para este fim) com o intuito de avaliar o desempenho do equipamento de baixo custo com métodos tradicionais. Vale ser ressaltado que os dados da trena como são coletados visualmente possuem um erro sistemático.

O gráfico abaixo (figura 8) a seguir, correlaciona os dados médios da triplicata do sensor a laser com a trena métrica durante o experimento com água de abastecimento com medições de 2 a 2 centímetros. Visto que o sensor fica na parte superior do tanque, no momento do tanque vazio que corresponde a medida inicial 0,00 metros é o momento de maior medição do laser que corresponde neste procedimento a 6,02 metros, por isso para o gráfico, os valores da trena foram

subtraídos do valor máximo da medição. Apesar do tanque possuir 6 metros de comprimento, foi definido que as medições aconteceriam com a variação entre 0 e 5 metros de altura para evitar o transbordo de água no procedimento experimental.

Figura 8 - Gráfico de medição do sensor a laser no procedimento experimental com água de abastecimento em regime laminar.

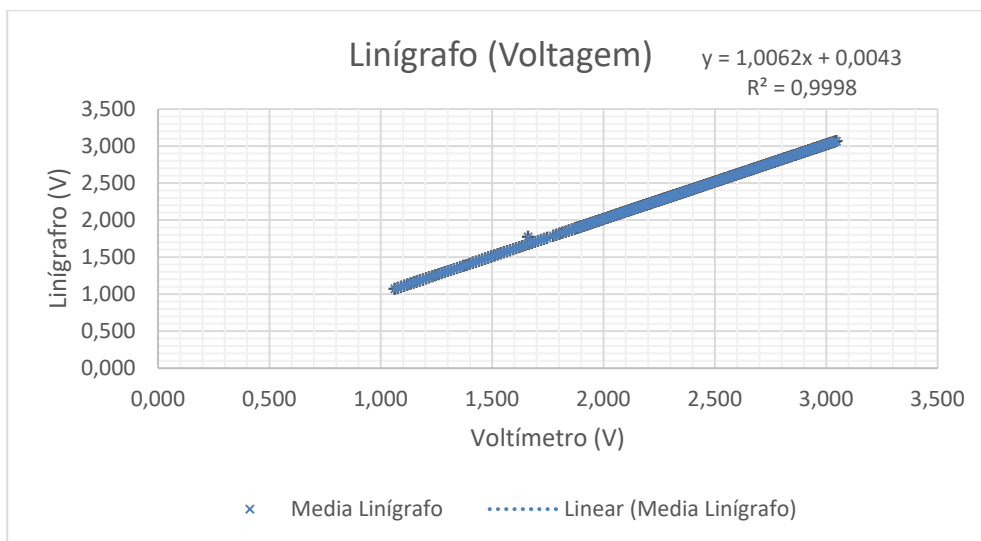


Observando a figura 8 tanto visualmente quanto com o valor de R^2 obtido é possível verificar a linearidade dos dados medidos, que corrobora com o previsto, pois as medições ocorreram com medidas de 2 a 2 centímetros. Ou seja, as medições do sensor a laser são eficientes para medir a altura da lâmina d'água de abastecimento com exatidão dentro do objetivo previsto no artigo.

Simultaneamente ao sensor a laser, também ocorreram as medições utilizando o linígrafo de pressão em ADC, que posteriormente foram convertidos para tensão em volts e relacionados com os valores medidos por voltímetro conectado à placa, como na fotografia 5. Os dados médios da triplicata, resultaram na figura 9 abaixo, que também apresentou linearidade dos dados.

Figura 9 - Gráfico com medidas de voltagem do linígrafo comparado com os

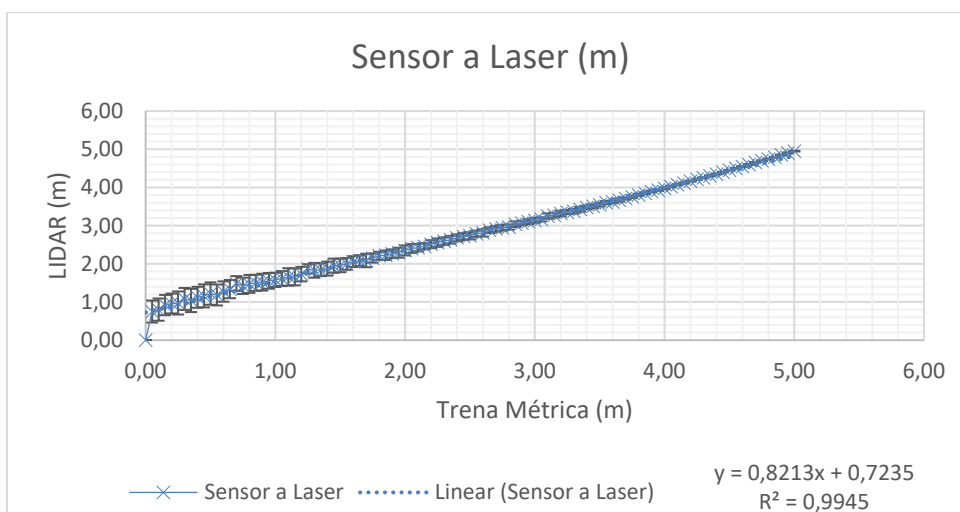
dados medidos na placa pelo voltímetro.



Como as primeiras observações demonstraram bom grau de precisão nos dados, passou-se então para uma nova sequência de experimentos, também realizados em triplicata, neste caso os testes ocorreram sem a interrupção da vazão considerando a variável tempo para controlar as medições, a água foi inserida para esta situação, pela parte superior do tanque a fim de gerar turbulência e avaliar o comportamento do sensor nesta situação. O primeiro empecilho neste caso foi controlar o fluxo da água de maneira que o sensor captasse apenas a lâmina d'água. Nesta situação os valores variaram bastante, conforme o esperado, visto que a lâmina d'água aqui não é mais constante e as variações de medição corroboram o comportamento instável da água.

Figura 10 - Gráfico de medição com sensor a laser com a água de

abastecimento em regime turbulento.

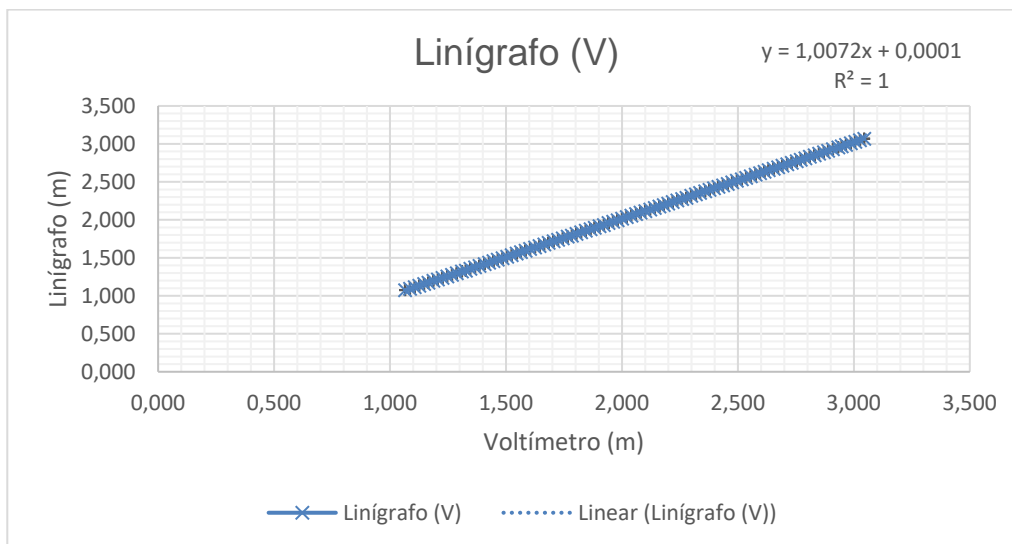


Os resultados observados na figura 10 demonstram um erro considerável nas medições principalmente iniciais, isto se deve principalmente ao procedimento experimental neste caso, como a tubulação possui diâmetro limitado e a água foi inserida da parte superior do tanque para a inferior, no início do experimento com o tanque de 6 metros de comprimento vazio, a velocidade da água era significativamente alta, portanto, apesar do cuidado em inserir a água com o auxílio de uma canaleta para orientar o fluxo hídrico, o sensor captou durante o procedimento, medições pertinentes aos respingos do processo. Porém, conforme o experimento evolui, o tanque vai se enchendo e a altura da queda d'água diminui, os números de medição tendem a linearidade novamente. Apesar o empecilho neste este procedimento experimental, a variação da medição aqui, demonstra que o LIDAR é capaz de medir variações de lâmina d'água em curtíssimo espaço de tempo, algo muito importante no estudo de desastres hídricos em que comumente as precipitações se intensificam em espaço de tempo curtíssimo.

No caso do linígrafo, a canaleta e os respingos não impactaram na medição, visto que, o sensor fica submerso e realiza a medição se baseando na pressão medida

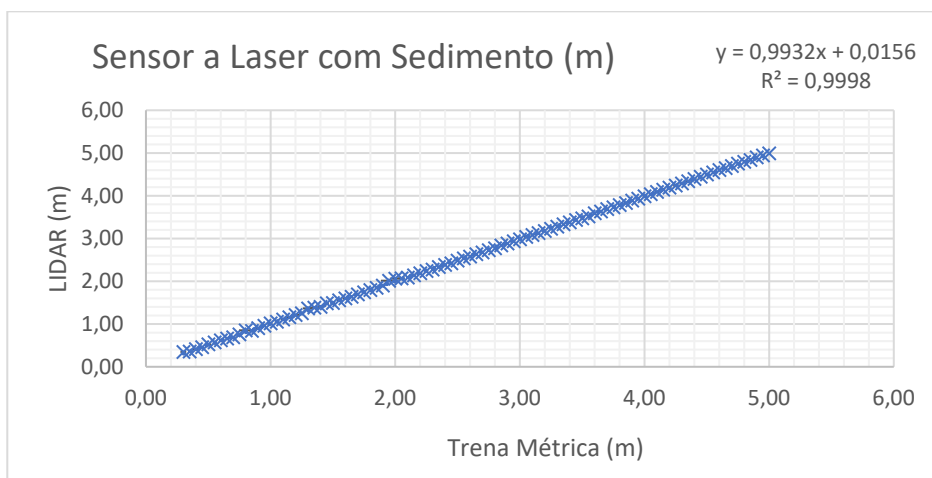
no tanque em relação à pressão atmosférica. Como pode ser observado na figura 11, as medições foram lineares.

Figura 11 - Gráfico com valores de tensão do linígrafo no procedimento com água de abastecimento em regime turbulento.



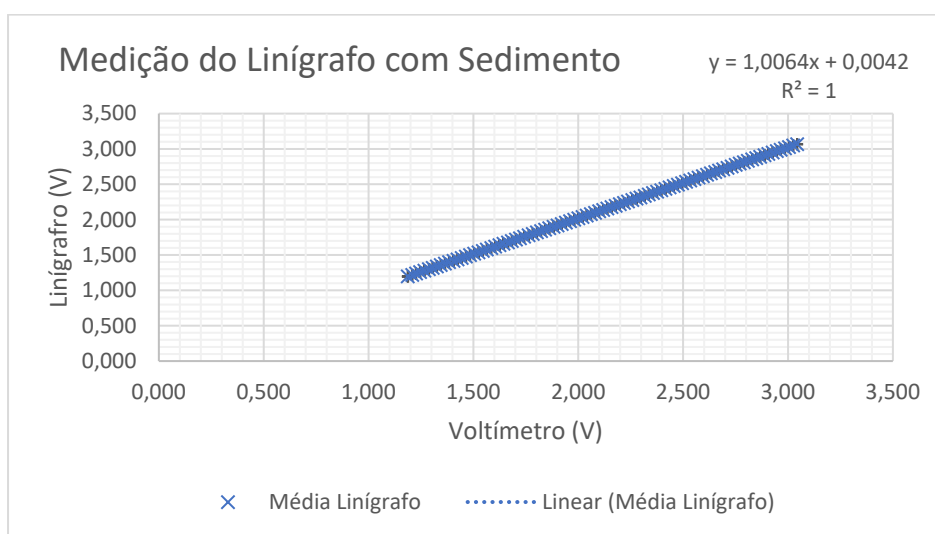
A última sequência de testes se deu no tanque com presença de sedimento. Foi inserido quantidades semelhantes de uma amostra de solo, retirada no próprio campus da universidade. A fim de padronizar as repetições, foram realizadas análises granulométricas no material seguindo as normas ABNT NBR 6457/1986 para amostragem do solo e a NBR 7181/1984 para a execução da análise que então, foi dividida em parcelas semelhantes de finos, médios e grossos. Com isso, foi possível simular o comportamento do sensor diante da presença de sedimento e com a água turva. Como pode ser verificado no gráfico 5, o comportamento das medições segue linear e o erro padrão baixo. Importante observar que devido a presença do sedimento, as medições não se iniciam na medida 0,00 metros e sim no 0,30 (+0,05) metros da trena métrica. Portanto, a presença de sedimento e conseqüente turbidez da água não impactaram na leitura do sensor a laser e as medições seguiram efetivas.

Figura 12 - Gráfico de medição do sensor a laser no procedimento com sedimento.



O linígrafo também foi efetivo nas medições durante o experimento com sedimento, como pode ser observado na figura 13 abaixo, as medições demonstram que o linígrafo não foi interferido pela presença do sedimento e turbidez no processo, o que já era de se esperar visto que, o equipamento já possui uso comercial para este fim.

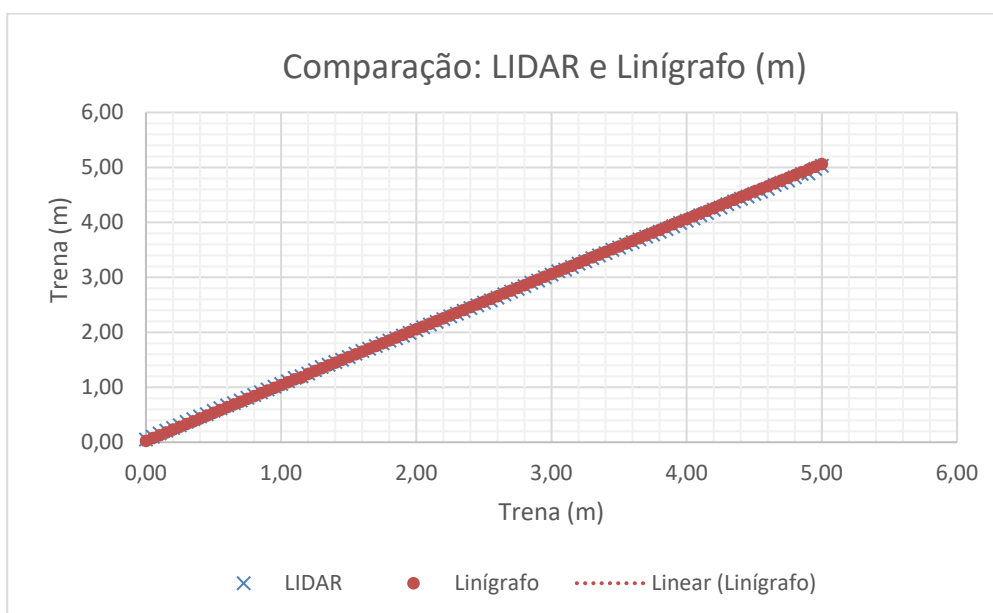
Figura 13 - Gráfico de medição do linígrafo no procedimento experimental com sedimento.



Por fim, foi desenvolvido um gráfico comparativo entre o linígrafo e o LIDAR, com eixos de medição em comum pertinentes a trena em metros. Os valores do

linígrafo foram interpolados para metros, assim foi possível comparar as ferramentas de medição, e como pode ser visualizado na figura 14 abaixo, as retas se sobrepõem, demonstrando grande similaridade nas medições e corroborando a credibilidade de ambos os medidores.

Figura 14 - Gráfico comparativo entre linígrafo e LIDAR com água de abastecimento em regime estacionário.



A tabela 2 abaixo resulta da combinação de análises de campo combinadas com densa revisão bibliográfica, envolvendo artigos de: Calvetti et al., (2003), Dionísio (2020), Almeida et al.,(2015), Galina et al., (2004), Miguel et al., (2020), De Lara (2015), Greiner (2014), Oiveira (2017), Pontes et al., (2021) e De Oliveira et al., 2019). Esta tabela, visa contribuir na escolha do equipamento a ser usado nos diferentes contextos de levantamento hidro meteorológico e demonstra visualmente por meio de cores: vermelho, amarelo e verde, uma análise das diferentes variáveis aplicadas a cada tecnologia abaixo.

Tabela 2 - Comparação de tecnologias de medição.

	Sensor LiDAR	Sensor Linígrafo	Radar Meteorológico	Réguas Linígrafas
Precisão	Verde	Verde	Amarelo	Vermelho
Alcance	Vermelho	Vermelho	Verde	Vermelho
Vulnerabilidade	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Vermelho
Calibração e Manutenção	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
Continuidade de Medição	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Dados em tempo real	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Dados remotos	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Integração de Sistemas	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Dependência energética	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Verde
Conectividade	Verde	Verde	Verde	Vermelho
Representatividade Espacial	Vermelho	Vermelho	Verde	Vermelho
Custo de Aquisição	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde
Custo de Instalação	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde
Custo de Manutenção	Verde	Vermelho	Vermelho	Verde

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O sensor LIDAR no comparativo indicado na tabela acima, demonstra poucos pontos negativos, que estão atrelados principalmente ao alcance de medição do equipamento, e na representatividade espacial da medição que é pontual.

O sensor linígrafo, apesar de demonstrar precisão e efetividade no monitoramento e transmissão dos dados, é um equipamento de custo bem mais alto que os sensores LIDAR, e são vulneráveis a intemperes.

A tabela acima demonstra como o radar meteorológico é eficiente no contexto geral, seus pontos negativos ficam atrelados principalmente ao altíssimo custo e precisão para medições de pequenos corpos hídricos.

As réguas linígrafas apesar de sua simplicidade e dependência de um observador para operar, tem um ponto positivo em relação a todos os outros que é não depender de fontes de energia no seu funcionamento.

5.4 CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que este sensor a laser (LIDAR) tem precisão adequada, comparado ao linígrafo, que já é um equipamento consolidado, e também, comparado com o valor real do nível medido na mangueira com fita métrica. Por se tratar de medição de nível de curso hídrico, no qual a precisão milimétrica não é necessária, o desempenho fica ainda mais aplicável.

As diferentes situações em que os sensores foram submetidos não reduziram significativamente a exatidão dos dados medidos. Isto posto, comparando o linígrafo e o sensor a laser, é possível verificar que o sensor a laser desenvolvido e testado apresenta duas grandes vantagens na medição pluviométrica, especificamente em situações de altos índices pluviométricos, são elas, primeiramente o baixo custo do equipamento e a fato do sensor a laser diferentemente do linígrafo, não precisa ser acoplado dentro do corpo hídrico (submerso), o que simplifica a instalação do equipamento e reduz problemas operacionais principalmente em situações de precipitação intensa e conseqüente possibilidade de desastres hídricos. Nestas situações o LIDAR, consegue seguir monitorando sem riscos de rompimento de cabos, pois não tem contato direto com corpo hídrico nem com o possível acúmulo de resíduos e sedimentos.

O estudo e o desenvolvimento do sensor podem ser considerados então, uma opção de baixo custo capaz de gerar dados com boa exatidão e conseqüentemente, com grande utilidade para projetos de monitoramento hídrico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto abriu diversas vertentes de pesquisa e gerou questionamentos perante o funcionamento dos equipamentos de medição de chuva e nível de rio

comumente vendidos no mercado, quando aplicados a análise de desastres. Os diversos testes de campo das estações totais demonstraram as dificuldades do equipamento em situações extremas e problemas técnicos do equipamento. Estas questões impactaram diretamente na geração do banco de dados objetivado na pesquisa e abriu novos rumos na pesquisa para sanar os problemas encontrados.

O sensor a laser de baixo custo (LIDAR) tem potencial para substituir o sensor linígrafo anteriormente utilizado, como demonstrado no artigo supracitado. Os testes em laboratório foram eficientes, sendo indicado para consolidação dos dados, a instalação dos equipamentos em campo com as devidas adaptações e assim verificar no médio longo prazo a confiabilidade do equipamento e suas medições. As diferentes situações em que os sensores foram submetidos não reduziram significativamente a exatidão dos dados medidos. O que pode ser considerado um forte indicativo da eficiência do LIDAR em campo.

Os resultados deste estudo demonstram a complexidade de se gerar um banco de dados consistente e indicam que a substituição de sensores linígrafos por sensores lidar na medição de nível de rios é uma abordagem altamente promissora e vantajosa para o monitoramento ambiental. Embora apresente desafios técnicos iniciais, essa mudança pode melhorar substancialmente nossa capacidade de coletar dados precisos e valiosos para a gestão sustentável dos recursos hídricos e a compreensão das dinâmicas ambientais. Futuras pesquisas podem se concentrar na otimização dos métodos de processamento de dados do LiDAR, em testes de campo e na expansão de seu uso em outras áreas da ciência ambiental

O referencial bibliográfico indicou diversos métodos e técnicas utilizados em medições hidrológicas, desde os mais simples aos mais robustos e tecnológicos, fato é, que todos possuem sua aplicação, cabe então, analisar cada contexto e aplicação, avaliando viabilidade técnico-econômica. Quanto maior a rede de medição e interligação destes dados, mais eficientes serão os sistemas de monitoramento, maior será nossa capacidade de controle e mitigação de desastres, podendo evitar assim tragédias que atualmente ocorrem com frequência.

REFERÊNCIAS

AHMADALIPOUR, A.; MORADKHANI, H. A data-driven analysis of flash flood hazard, fatalities, and damages over the CONUS during 1996–2017. *Journal of Hydrology*, v. 578, n. September, p. 124106, 2019

ALMEIDA, Dilton Brandão de et al. Utilização de radar meteorológico e disdrômetro na previsão da vazão da bacia hidrográfica do rio Mundaú. 2015.

ALPINO, Tais de Moura Ariza; FREITAS, Carlos Machado de; COSTA, André Monteiro. Seca como um desastre. *Ciência & Trópico*, v. 38, n. 2, p. 1-26, 2014.

ALVES, Fellipe Henrique Borba. Sistema de previsão de enchentes: integração de modelos de previsão de chuva, simulação hidrológica e hidrodinâmica. 2017. Master's Thesis. Universidade Federal de Pernambuco.

ANDERSEN, H.-E.; REUTEBUCH, S. E.; MCGAUGHEY, R. J. **A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne LiDAR and conventional field methods.** *Canadian Journal of Remote Sensing*, v. 32, n. 5, p. 355-366, 2006.

ARTAXO, Paulo. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil: a construção de uma sociedade minimamente sustentável requer esforços da sociedade com colaboração entre a ciência e os formuladores de políticas públicas. *Ciência e Cultura*, 2022, 74.4: 01-14.

BRANCO, I. C. et al. Sistema aéreo de volumetria automática para controle de estoque de carvão mineral em termelétricas. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020**, 15 ago. 2020.

CALVETTI, Leonardo; BENETI, Cesar; PEREIRA FILHO, Augusto José. Integração do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para a estimativa da precipitação. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte**, p. 1137-1144, 2003.

CAPONE, Thiago. Considerações sobre as consequências dos Desastres Hidrometeorológicos no Brasil de 2009 a 2011. 2012. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/118514>>.

CARRASCO, A. R. et al. Explorando as Particularidades do Método Orientado a Objetos na Avaliação das Previsões de Precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 317–333, 2020.

CINTRA, Luanna Alertsea Rodrigues, et al. A Gestão Pública na prevenção de desastres: o caso de Sertânia, Pernambuco, nas chuvas de 2020. 2022.

CORREIA, E. F. G.; RIBEIRO, G. P.; BAPTISTA, A. C. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco à inundação. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 6, p. 1183–1202, 2015.

DE LARA, Pedro Guilherme et al. SPEHC–Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos.

DE OLIVEIRA, Danilo Mildemberger et al. Estimativa de áreas inundáveis com base em dados de elevação do rio em estação fluviométrica e topografia a laser (LiDAR). 2019.

DE VASCONCELLOS, Andréa Araujo. Infraestrutura verde aplicada ao planejamento da ocupação urbana. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2015.

do Amaral, G. C., Ferreira, A. M., Sardinha, D. de S., Menezes, P. H. B. J., Marchezini, V., & Tiezzi, R. de O. (2023). Official and unofficial data supporting disaster risk management in medium-sized cities. *Natural Hazards Research*, 3(January), 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.01.004>

DOS SANTOS, Thiago Oliveira, et al. O USO DA TÉCNICA DE ALTIMETRIA

ESPACIAL COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIO JAVARI.

EDUCATION, U. I. for W. Global Floods. Disponível em: <https://www.globalfloods.eu/>. Acesso em: 02/01/2023.

FREITAS, Carlos Machado de et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil.: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 19, n. 9, p. 3645-3656, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

FROTA, Sarah Martins Novais Frota. Relação entre área de inundação e cota fluviométrica na sub-bacia do Alto rio Negro: uma análise baseada em dados de radar (Sentinel-1A). 2019.

GALINA, Márcia Helena; VERONA, Juliana Augusta. Fontes de observações meteorológicas no estado de São Paulo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 2, n. 1, p. 107-118, 2004.

GERMANY, B. Data collection for a damage assessment after the flash flood in. v. 2016, n. May 2016, 2017.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. do A.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 30, n. 63, p. 231, 2010. DOI: 10.4336/2010.pfb.30.63.231. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/148>. Acesso em: 11 nov. 2023.

GREINER, Claiton. Avaliação do referencial de nível das inundações da cidade de Lajeado/RS com relação à régua linimétrica do Porto de Estrela/RS. 2014.

GUASSELLI, L. A. et al. Modelagem Hidrológica E Espacialização De Áreas Suscetíveis Às Inundações No Município De Igrejinha, Rs. *Geo UERJ*, v. 0, n. 28, 2016.

GUIERA, A. J. A.; CENTENO, T. M.; DELGADO, M. R.; MÜLLER, M.

Segmentação por agrupamentos fuzzy cmeans em imagens LiDAR aplicados na identificação de linhas de transmissão de energia elétrica. Espaço Energia, n. 3, 2005. Disponível em: < <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/3/003-04.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2009.

HIDROWEB Poços de Caldas. Disponível em: <http://hidroweb.pocosdecaldas.mg.gov.br/>.

HSIAO, Edward; OLIVEIRA, Tiago de; STRINGHINI, Denise; MARTINS, Luiz E. G.; KIMURA, Bruno Y. L. Implementação em Hardware de uma Rede de Sensores para Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO URBANA (COURB), 1., 2017, Belém. Anais do I Workshop de Computação Urbana. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, may 2017. ISSN 2595-2706.

HUSSEIN, S. et al. Using remote sensing data for predicting potential areas to flash flood hazards and water resources. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 16, n. July, p. 100254, 2019.

KELMAN, I. Axioms and actions for preventing disasters. Progress in Disaster Science, v. 2, p. 100008, 2019.

Khedo, K.K. (2013). REAL-TIME FLOOD MONITORING USING WIRELESS SENSOR NETWORKS.

LLASAT, M. C. et al. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: The FLASH preliminary database. Advances in Geosciences, v. 23, p. 47–55, 2010.

LOU, R. F. Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ. Dissertação (Mestrado), p. 190, 2010.

LOVAT, A.; VINCENDON, B.; DUCROCQ, V. Assessing the impact of resolution and soil datasets on flash-flood modelling. Hydrology and Earth System Sciences, v. 23, n. 3, p. 1801–1818, 2019.

MARCHEZINI, V. As ciências sociais nos desastres: um campo de pesquisa em construção. *Bib*, v. 2017, n. February, p. 43–72, 2018.

MIGUEL, Bárbara Hass; RENNÓ, Camilo Daleles. Uso de dados de radar meteorológico em modelo hidrológico SCS-CN para a estimativa de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 3, p. 501-516, 2020.

MIQUELES, M. A.; CENTENO, J. A. S. Detecção e caracterização de vegetação usando dados do laser scanner aerotransportado. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. *Novos desenvolvimentos em ciencias geodésicas: anais Curitiba: UFPR/Curso de Pós-Graduação em Ciencias Geodésicas*, 2003. p. 1-12

MODRICK, T. M. et al. Operational quality control and enhancement of radar data to support regional flash flood warning systems. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 22, n. 5, p. 1–10, 2017.

MOHAMED, S. A.; EL-RAEY, M. E. Vulnerability assessment for flash floods using GIS spatial modeling and remotely sensed data in El-Arish City, North Sinai, Egypt. *Natural Hazards*, v. 102, n. 2, p. 707–728, 2020.

MOTA, W. N. et al. NOTA TÉCNICA: CONSTRUÇÃO DE UM LINÍGRAFO DE BAIXO CUSTO COM A PLATAFORMA ARDUINO. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 24, n. 6, p. 523–530, 17 mar. 2017.

MOURA, Graça Maria Gomes, et al. Determinação de tensões a partir de extensões observadas em barragens de betão. 2005.

NASA. SERVIR GLOBAL. Disponível em: <https://www.servirglobal.net/>. Acesso em: 02/01/2023.

NILSSON, M. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using an Airborne LiDAR System. *Remote Sensing of Environment*, v. 56, p. 1-7, 1996

O'KEEFE, P.; WESTGATE, K.; WISNER, B. Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*, v. 260, n. 5552, p. 566–567, 1976.

OLIVEIRA, Ilana Sarah dos Santos. Variação da vazão medida com linígrafo e réguas linimétricas na bacia do Ribeirão Pipiripau. 2017. 39 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) —Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PAIVA, R. C. D. DE. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões. *Dissertação (Mestrado)*, p. 182, 2009.

PANGALI SHARMA, T. P. et al. Review of flood disaster studies in Nepal: A remote sensing perspective. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 34, n. 9, p. 18–27, 2019.

PECHOTO, M. M.; UEYAMA, J.; ALBUQUERQUE, J. P. de. E-noé: Rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos. São Carlos - SP: [s.n.]. Disponível em: <https://sites.icmc.usp.br/jporto/papers/PEchoto%20et%20al.%20eNOE.pdf>

PEREIRA, Maria Cristina Santana, et al. EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA LEVANTAMENTO DE NÍVEL DA ÁGUA EM SISTEMAS DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E CORPOS D'ÁGUA.

PONTES, G. et al. Estação de controle e monitoramento de drenagens pluviais. repositorio.animaeducacao.com.br, 30 nov. 2021.

REI, R. DA S. **Análise do Desempenho de Sistemas LiDAR Indoor de Baixo Custo em Aplicações Outdoor.** Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.6/13324>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

RIBEIRO, L. **Tempestade 'histórica' que atingiu Poços de Caldas completa 1 ano.** 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2017/01/tempestade-historica-que-atingiu-pocos-de-caldas-completa-1-ano.html>

SANTOS, J. T. et al. Desenvolvimento de Instrumentação para Geração de

Nuvem de Pontos Usando Sensores Inerciais e LiDAR. **repositorio.ufc.br**, 2019.

SARDINHA, Diego de Souza et al. Base de dados de desastres naturais no município de Poços de Caldas/MG: ferramenta para o planejamento e a gestão territorial. *urbe*, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 318-331, dez. 2016. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692016000300318&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 23 jul. 2020. Epub 20-Jun-2016. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.008.003.AO03>

SILVA, Julia Lopes da. Gestão de desastres no Brasil: uma perspectiva de gênero. 2022.

SOARES, Natália Cristino. Sistema para monitoramento de nascentes e cursos de água via SMS. 2015.

VALENCIO, N. et al. Da morte da Quimera à procura de Pégaso: a importância da interpretação sociológica na análise do fenômeno denominado desastre.

VICTOR MARCHEZINI et al. Sistema de alerta de risco de desastres no Brasil: desafios à redução da vulnerabilidade institucional. v. 1, n. November, p. 287–310, 2017.

V DIONÍSIO, R. Sensores de nível por RADAR. **Robótica**, 2020.

SEYLER, Frédérique, et al. Trajetórias de pesquisa na Amazônia brasileira: o IRD e seus parceiros. 2022.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi. Sensoriamento remoto para desastres. Oficina de Textos, 2015.

WAGNER, W.; ULLRICH, A.; MELZER, T.; BRIESE, C.; KRAUS, K. From single-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. In: ISPRS Congress, 20., 2004, Istanbul, Turkey. *Geo-Imagery Bridging Continents: proceedings...Istanbul*, 2004. p. 201-206. (International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, v. 35, pt. B3). Commission 3.

Disponível em: <
<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/267.pdf> >. Acesso
em: 10 out. 2022.