

Dispositivo IoT para monitoramento da inclinação de contenção em gabião caixa

Anderson Bezerra da Silva

Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Brasil
andersonbezerra@uni9.edu.br

João Alexandre Paschoalin Filho

Professor Doutor, Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Brasil
paschoalinfilho@yahoo.com

Joana Paula Machado Ribeiro

Professora Doutora, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia
joana.ribeiro@uc.pt

António José Guerner Dias

Professor Doutor, Universidade do Porto, Faculdade de Ciências
agdias@fc.up.pt

RESUMO

No presente trabalho, foi desenvolvido, utilizado e avaliado um dispositivo eletrônico IoT (Internet of Things), para realizar o acompanhamento e mensuração da inclinação de uma estrutura de contenção executada em gabiões caixa. Esse dispositivo coletou as informações de um acelerômetro, enviando-as por meio da internet para um servidor em nuvem, onde esses dados foram armazenados, permitindo o acesso ao histórico da variação da inclinação. As leituras coletadas pelo equipamento possibilitaram correlacionar suas variações às fases executivas da contenção e realizar análises estatísticas, para verificar se as variações capturadas pelo sensor consistiam ou não, em um possível desaprumo da contenção.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento de Integridade Estrutural. Nuvem. IoT.

1 INTRODUÇÃO

As estruturas de contenção ou muros de arrimo, são utilizadas para assegurar a estabilidade de maciços. Após construídas, essas estruturas necessitam ser inspecionadas, a fim de garantir que estas se encontrem sob as condições previstas no projeto. Todavia, muitas vezes os locais que devem ser inspecionados são de difícil acesso e perigosos tornando inviável e oneroso a realização de inspeções periódicas. Ainda que técnicos munidos de instrumentos se desloquem até uma estrutura para analisá-la, o intervalo entre inspeções pode ser grande o suficiente para que ocorra a evolução de uma possível patologia. (ARAUJO, 2017).

A estratégia de um sistema capaz de monitorar continuamente as condições de integridade de uma estrutura é chamada de Structural Health Monitoring (SHM). O SHM possibilita verificar não só as condições atuais, mas também acompanhar a evolução de danos e, em muitos casos, prever o desempenho futuro das obras monitoradas, uma vez que o acompanhamento é conduzido de forma contínua (FARRAR; WORDEN; DULIEU-BARTON, 2009).

A indústria 4,0 contribuiu para que as tecnologias sejam aplicadas para todos os segmentos industriais, reduzindo custos e aumentando ritmos de produção sem que houvesse impactos negativos na qualidade do produto entregue. Os profissionais de engenharia civil podem se beneficiar das ferramentas tecnológicas disponibilizadas pela indústria 4.0, para planejar e desenvolver atividades na indústria da construção civil (SOUZA, 2019). A construção civil tem utilizado, gradativamente, ferramentas e recursos que permitem automatizar e controlar processos, além de utilizar metadados de clientes para formação de uma rede de produção mais complexa (MIYASAKA; FABRICIO; PAOLETTI, 2018).

Existe uma expectativa que no futuro será possível automatizar todo o canteiro de obras, entretanto, sem a Internet das Coisas (IoT), o canteiro de obra totalmente automatizado é uma ideia distante, pois é a IoT que permite a comunicação e o gerenciamento de informações entre objetos do mundo físico e o mundo virtual.

Tendo conhecimento e o intuito de se adequar ao avanço tecnológico, decidiu-se nessa pesquisa pelo desenvolvimento e utilização de um sistema IoT, que conduziu o monitoramento da inclinação de uma estrutura da contenção de um trecho da margem do Córrego dos Machados, situado na Zona Leste de São Paulo, registrando todas as leituras referentes ao comportamento da obra de forma contínua em um servidor na nuvem, disponibilizando em tempo real dashboards e relatórios gráficos que poderão ser acessados a partir de qualquer dispositivo que possua um navegador web e que podem ser exportados para realização de análises estatísticas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Movimentos de massa: Aspectos gerais

O termo movimento de massa refere-se ao deslocamento de um determinado volume de maciço de solo ou de rocha, orientado por meio de uma superfície de ruptura característica, podendo ser classificados como: queda, rolamento, tombamento e escorregamento (ABNT, 2009). A principal causa da movimentação de um maciço é a redução da capacidade de resistir a tensões solicitantes no solo. A diminuição da resistência de um maciço pode acontecer por processos intempéricos ou também em decorrência da intervenção antrópica (PINTO e DORTAS, 2020). O Quadro 1 demonstra a terminologia estabelecida pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) em relação aos diferentes tipos de movimentação de massa:

Quadro 1 – Terminologias adequadas para os tipos de movimento de massas

Terminologia dos tipos de movimento de massas	Definição
Queda/Rolamento	Desprendimento de fragmentos do terreno, independentemente do tamanho, que precipitam em queda livre ou qualquer tipo de trajetória.
Tombamento	Movimento de massa em forma de balsa com eixo na base.
Escorregamento	Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies.
Escoamento	Movimento de massa com propriedades de fluido com escoamento lento ou rápido.

Fonte: adaptado da norma NBR 11.682 (ABNT, 2009).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), publicou um estudo referente a suscetibilidade de deslizamento de terras no Brasil, indicando que 5,7% da extensão territorial nacional possui alta suscetibilidade a deslizamentos e que a maioria desse risco está concentrado nos estados da região sudeste com 23,2% de áreas caracterizada como de muito alto risco (BELANDI e COSTA, 2019).

A definição do fator de segurança a ser utilizado em uma análise de estabilidade de talude está diretamente relacionada ao impacto de uma eventual instabilidade no maciço contido, considerando os impactos decorrentes de tal sinistro, como a verificação de possíveis perdas de vidas humanas e a possibilidade de danos materiais e ambientais. O Quadro 2 exhibe os critérios estabelecidos pela NBR 11.682 (ABNT, 2009) para a determinação do fator de segurança mínimo a ser obtido nas análises de estabilidade:

Quadro 2 - Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos a vidas humanas \ Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	ALTO	MÉDIO	BAIXO
	ALTO	1,5	1,5
MÉDIO	1,5	1,4	1,3
BAIXO	1,4	1,3	1,2

- No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima deverão ser majorados em 10%. Alternativamente, poderá ser usado o enfoque semi-probabilístico indicado no anexo D.
 - No caso de estabilidade de lascas/ blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incidindo sobre os parâmetros γ , ϕ , c , em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser justificado pelo engenheiro civil geotécnico.
 - Esta tabela não se aplica para os casos de rastejo, voçorocas, ravinas, e queda ou rolamento de blocos.

Fonte: adaptado da norma NBR 11.682 (ABNT, 2009).

2.2 Estruturas de contenção

As estruturas de contenção (ou muros de arrimo), são elementos utilizados para realizar a estabilização de um maciço de solo e devem suportar todos os esforços provenientes do maciço contido, como também uma carga accidental de 20kPa, distribuída de maneira uniforme sobre a superfície do terrapleno a fim de que não ocorram instabilidades no solo contido (ABNT, 2009). Os principais tipos de estruturas de contenção são:

Muros de gravidade: Esse tipo de estrutura garante a contenção do maciço de solo através do seu peso próprio, os muros de gravidade se opõem aos empuxos horizontais através do seu peso próprio e são utilizados para conter desníveis abaixo de 5m, podem ser construídos de concreto, pedra, gabiões e até mesmo pneus usados (GERSCOVICH; SARAMAGO; DANZINGER, 2019).

Muros de flexão: Esses tipos de contenção são resistentes aos empuxos por flexão esse tipo de muro utiliza parte do peso próprio do maciço arrimado e possui uma seção transversal em forma de “L”, na qual se apoia para que se mantenha em equilíbrio (ABNT, 2009)

Estruturas ancoradas: São estruturas que garantem a estabilidade do maciço através de tirantes ancorados, podendo ter a sua estrutura contínua, em grelha, em placas ou em contrafortes (ABNT, 2009).

Estruturas de solo reforçado: São estruturas construídas através da introdução de elementos resistentes à tração no solo, tais como fitas metálicas, mantas geotêxteis, malhas de aço, etc. Sendo os seus principais componentes o solo do aterro, os elementos de reforço e os elementos da face, entretanto os elementos da face não possuem função estrutural (BENJAMIN, 2006).

2.2.1 Estruturas de Contenção em Gabiões

Gabiões são gaiolas feitas com a utilização de telas metálicas em malha hexagonal de dupla torção, que são preenchidas com rochas e unidas por meio de amarração, formando uma estrutura monolítica para contenção de maciços terrosos, (SANTA et al., 2022). A Figura 1 demonstra os componentes estruturais de um gabião tipo caixa, que possui o formato de paralelepípedo e adequado para construção de obras de contenção.

Figura 1- Estrutura de contenção feita com gabião



Fonte: Barros et al. (2017).

Os muros de contenção executados com gabiões são classificados como muros de gravidade e, da mesma forma que outros tipos de estruturas de contenção, análises de estabilidade deverão ser conduzidas. As análises a serem conduzidas são as seguintes: estabilidade global; estabilidade local e interna (SANTOS JUNIOR, 2018).

Além do gabiões caixa, existem dois outros tipos, que são o gabiões tipo saco e os gabiões tipo colchão. Os gabiões tipo saco possuem um formato cilíndrico e geralmente são utilizados como apoio para estruturas de contenção, em casos de presença de água ou de solos com baixa capacidade de suporte (SANTA et al., 2022).

Os gabiões tipo colchão Reno®, também possuem o formato de paralelepípedo, entretanto possuem pequena espessura, quando comparados aos gabiões tipo caixa. Esse tipo de gabião é utilizado principalmente como revestimento de margens e fundos de cursos d'água, mas possui aplicações complementares tais como canaleta para drenagem, revestimento de taludes e plataforma de deformação que servem de proteção a bases dos muros (BARROS et al., 2017).

2.2 Structural Health Monitoring — SHM

A estratégia de monitoramento contínuo, utilizando um sistema de detecção que consiga disponibilizar informações que possibilitem a localização, a avaliação e o acompanhamento da evolução de possíveis danos em uma estrutura, é chamado de Structural Health Monitoring (SHM). Sendo denominados danos ou anomalias, as alterações nos elementos, propriedades materiais e geométricas de uma estrutura, que podem afetar seu desempenho atual ou futuro, impossibilitando sua utilização parcialmente ou completa (FARRAR; WORDEN; DULIEU-BARTON, 2009).

O engenheiro geotécnico responsável pelo projeto de uma estrutura de contenção, deve considerar no projeto executivo a possibilidade de monitoramento da estrutura, definindo quais instrumentos deverão ser instalados em uma obra de contenção, indicando a periodicidade das inspeções a serem realizadas (ABNT, 2009).

Em suma, o objetivo do SHM é a detecção de danos e avaliação de condições. Sendo possível encontrar na sua implementação a utilização de vários tipos de sensores, dispositivos de aquisição de dados, métodos de transmissão de dados, banco de dados para gerenciamento, análise e modelagem dos dados e interfaces de usuário para visualização (SUN et al., 2020).

Segundo Milititsky (2016), existem instrumentações adequadas para realização do monitoramento de variáveis referentes ao comportamento de taludes e de estruturas de contenção e que as atuais técnicas permitem não somente o monitoramento local, mas possibilitam que essas informações sejam registradas e transmitidas à distância para os responsáveis pela avaliação da estrutura.

Na pesquisa desenvolvida por Wong e Ni (2009), existe a referência ao SHM composto de 283 instrumentos, divididos em 8 grupos de sensores, associados a 3 estações de aquisição de dados, que estão em funcionamento na ponte Tsing Ma em Hong Kong, desde a sua inauguração em 1997, permitem o monitoramento do comportamento da estrutura durante toda a sua vida útil.

Em Mello (2020), foi realizado o monitoramento geotécnico e a avaliação de uma obra de escavação e contenção com aproximadamente 30m de profundidade, utilizando quatro inclinômetros, marcos superficiais para apoio de miras topográficas e tell tales nos taludes contidos.

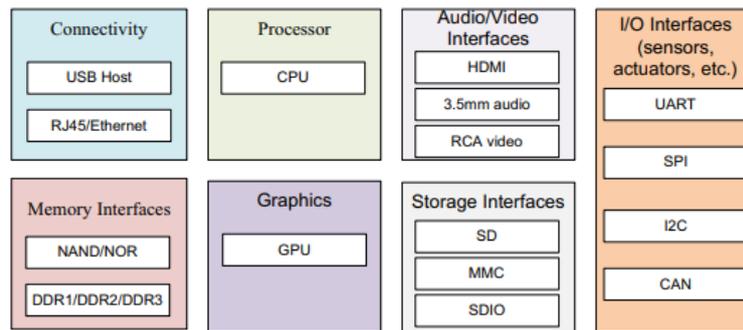
No artigo de Oliveira e Guimarães (2019), realizou-se o monitoramento de uma barragem de terra de uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica), no estado de Minas Gerais. Os deslocamentos horizontais e verticais do maciço, foram medidos através de instrumentação topográfica e para o monitoramento da evolução das pressões que atuam no aterro e nas fundações da barragem foram utilizados quatro piezômetros.

2.4 Internet das Coisas (IoT) e Cloud Computing

A Internet das Coisas não se trata de uma nova tecnologia, mas em uma divisão da Tecnologia da Informação, resultado do desenvolvimento contínuo da tecnologia, especialmente na miniaturização de dispositivos eletrônicos e de novos protocolos de comunicação. O termo Internet das Coisas, foi mencionado pela primeira vez em 1999, por Kevin Ashton em uma apresentação para a Procter & Gamble (MOUHA, 2021).

Os dispositivos IoT devem possuir capacidade computacional e possibilidade de conexão à internet (PEDOTTI, 2019). Um dispositivo IoT, basicamente deve possuir interfaces que permitam coletar dados externos, capacidade de processamento e conectividade para transmissão de dados através da internet (RAY, 2018), tal como se verifica na figura seguinte:

Figura 2- Componentes de um dispositivo IoT



Fonte: Ray, 2018

A utilização de um sensoriamento adequado, de dispositivos IoT, em conjunto com as funcionalidades encontradas nas plataformas em nuvem para armazenamento e modelamento de dados, possibilitam a criação de estratégias de SHM, para o monitoramento das condições de integridade para praticamente todos os tipos de estruturas da construção civil.

Miao et al. (2019), apresentam em seu artigo científico o desenvolvimento de um sensor de aceleração sem fio de baixa potência que se conecta a nuvem através de um gateway. O sistema desenvolvido foi validado em um teste de campo na ponte Chijing em Xangai. Considerado pelos autores como um sistema IoT promissor, completo, prático, prontamente disponível e de baixo custo para monitoramento da integridade de pontes.

Cloud Computing ou Computação em nuvem é o termo utilizado para designar para a servidores virtuais distribuídos ao redor do planeta sendo acessados através da internet. Esses servidores podem armazenar informações específicas, sistemas, podem executar programas e até mesmo fornecer conteúdo.

A possibilidade de contratar uma determinada configuração de hardwares e pacotes de softwares para manipulação ou armazenamento de informações, pagando em muitos casos somente pelo volume de dados trafegado ou armazenado, destaca um dos principais benefícios da computação em nuvem que é a redução de custos (SRIVASTAVA e KHAN, 2018).

O acesso à tecnologia de computação à nuvem possibilita a implementação de soluções mais rápidas e econômicas, quando comparada ao investimento de tempo e recursos que seriam destinados à criação de uma infraestrutura para operação de softwares e plataformas, pois atualmente os provedores de soluções em nuvem fornecem tal infraestrutura a preços acessíveis (AHAD et al., 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

Quanto a sua abordagem, essa pesquisa caracteriza-se como quantitativa de natureza aplicada, pois apresenta o levantamento e o registro de características do comportamento de um fenômeno, sendo no caso desse trabalho, a inclinação do muro de contenção monitorado e o correlaciona com as atividades de execução durante o período de monitoramento.

No que se refere aos procedimentos tomados, este trabalho possui características práticas de pesquisa compatíveis com o procedimento metodológico do tipo pesquisa-ação. A pesquisa-ação propõe que o pesquisador adote uma postura colaborativa e interativa, para que com os participantes sejam realizadas as compreensões de situações e transformações de práticas, a fim de promover processos de mudança em um determinado ambiente (THIOLLENT, 2022).

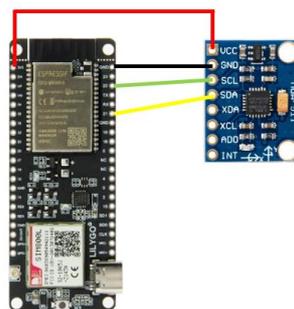
Neste item serão descritos os componentes de hardware e software, bem como detalhes da programação feita, tanto no dispositivo, quanto na plataforma em nuvem, além de detalhar acerca do método de transmissão e armazenamento de dados utilizados para criação do dispositivo IoT responsável pelo monitoramento da inclinação do muro de contenção em gabião caixa executado na zona leste de São Paulo.

3.2 Sensor MPU6050 e Placa de Desenvolvimento TTGO T-Call ESP32

O MPU6050, utiliza a tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), possuindo no invólucro do seu chip, um sensor de aceleração (acelerômetro) e um sensor de giro (giroscópio), ambos triaxiais, permitindo o monitoramento da aceleração (m/s^2) e da velocidade angular (rad/s) nos eixos x, y e z.

O TTGO T-Call ESP32 é uma placa de desenvolvimento composta de dois módulos principais, sendo o primeiro um microcontrolador ESP32 dual core de 32 bits, com clock de 240MHz de clock, 4MB de memória Flash e 8MB de memória PSRAM. Esse microcontrolador possui entradas e saídas digitais, analógicas, interfaces de comunicação do tipo I2C, SPI, UART, SDIO, I2S, CAN e opções de conectividade através de Wi-Fi e Bluetooth. O segundo módulo da placa de desenvolvimento TTGO T-Call ESP32, é o modem GSM/GPRS, modelo SIM800L, com entrada para SIM Card, que permite o envio e recebimento de dados, utilizando o plano de internet de operadoras de telefonia celular de mercado.

Figura 3- Conexão entre TTGO T-Call e MPU6050

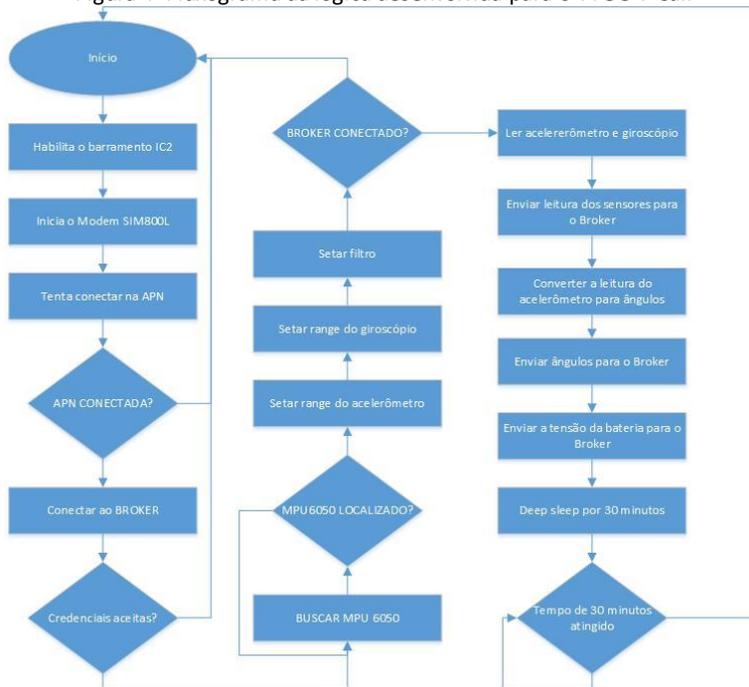


Fonte: Dados da pesquisa

3.2.1 Desenvolvimento do código-fonte do TTGO T-Call ESP32

A programação da placa de desenvolvimento foi realizada segundo o fluxograma exibido na Figura 4.

Figura 4- Fluxograma da lógica desenvolvida para o TTGOT-Call



Fonte: Dados da pesquisa

3.2.2 Desenvolvimento da interface web e do banco de dados

O Node-RED é uma plataforma low-code criada pela IBM para desenvolvimento de aplicações que utilizam tecnologias tais como hardwares, serviços, protocolos e APIs compatíveis com IoT (do inglês Internet of Things). A programação da aplicação é feita em páginas denominadas “Flows” e as bibliotecas de funções podem ser importadas para aumentar as possibilidades de manipulação dos dados. A manipulação de dados no Node-RED é feita por funções chamadas nós.

As telas para a visualização dos dados coletados pelo TTGO T-Call ESP 32 através do sensor MPU6050, foram desenvolvidas utilizando os nós disponíveis na biblioteca dashboard. O usuário deve utilizar um navegador web (Google Chrome, Safari, Internet Explorer), e acessar um endereço web, para poder visualizar os dados em tempo real e ter acesso ao histórico das variáveis, que estão armazenadas no banco de dados (Figura 5).

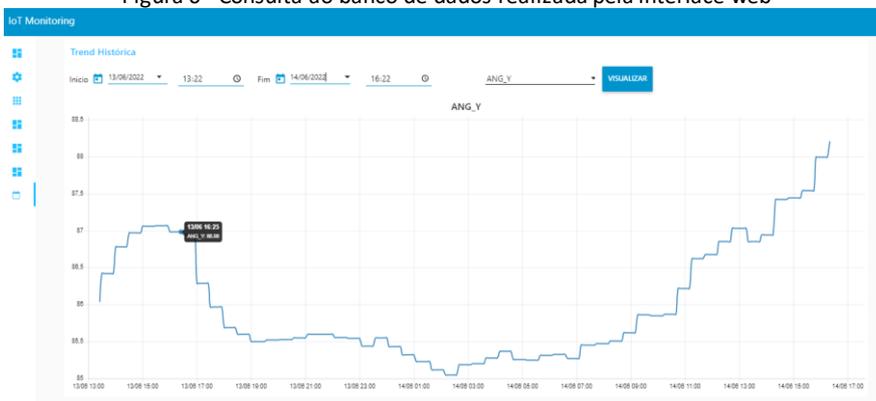
Figura 5- Tela de visualização ângulos recebidos no Node-RED



Fonte: Dados da pesquisa

Não foi permitido ao usuário do sistema, acessar diretamente a base de dados SQL, entretanto criou-se uma aba de consulta, para que a pessoa que tivesse acesso ao sistema utilizando um navegador web, pudesse selecionar um intervalo entre datas e obtivesse acesso ao histórico da variável desejada (Figura 6).

Figura 6 - Consulta ao banco de dados realizada pela interface web



Fonte: Dados da pesquisa

3.4 Caracterização da obra monitorada e instalação do dispositivo

Durante um período de ocorrência de chuvas intensas, as quais causaram incremento no fluxo do córrego dos Machados, localizado na zona leste de São Paulo, houve o colapso da contenção da margem direita do curso d'água do mesmo. A contenção da margem do córrego é composta por gabiões caixas.

Segundo os moradores locais, o mesmo trecho do córrego já havia apresentado ruptura antes. Este foi recuperado, no entanto, voltou a entrar em colapso. Em frente ao local do sinistro, encontra-se uma galeria de águas pluviais de seção quadrangular de grandes dimensões. Adicionalmente, leito do córrego encontra-se assoreado e notou-se um grande volume de lixo e entulho retido nas contenções. Dentre as possíveis causas do colapso, poder-se aventar a hipótese de erosão das fundações da contenção da margem rompida pelo grande

fluxo advindo da galeria, a qual descarrega o fluxo pluvial praticamente diretamente na contenção rompida. A Figura 7 apresenta o local onde ocorreu a ruptura da contenção em estudos:

Figura 7 - Vista geral do local e contenção provisória.



Fonte: Dados da pesquisa

A contenção utilizada nas margens no córrego dos Machados já era composta por gabiões caixas e para que não fossem introduzidos elementos com comportamentos mecânicos diferentes em relação à contenção existente, optou-se por continuar utilizando a mesma solução de contenção na recuperação da margem colapsada. O revestimento do fundo do curso d'água do córrego, no trecho recuperado, foi conduzido com gabiões colchões.

3.4.1 Instalação do dispositivo IoT

Durante a execução da obra, colocou-se uma placa de MDF de 50 cm x 1,5 cm x 50 cm (C x L x A), em uma das gaiolas da contenção, localizada na última fiada desta, de modo que essa placa ficou posicionada entre as pedras e a malha na face da contenção, servindo de base para a instalação do dispositivo IoT. O dispositivo desenvolvido foi posicionado no centro da caixa hermética IP65, que no que lhe concerne foi fixada no centro da placa de MDF, de tal forma que caso houvesse movimentações na placa de MDF a mesma fosse transmitida para a caixa contendo equipamento, tal como se verifica na figura a seguir:

Figura 8 - Componentes do dispositivo IoT na caixa de proteção



Fonte: Dados da pesquisa

O local da instalação da caixa contendo o IoT foi escolhido devido ao fato que as possíveis instabilidades, tais como a ruptura global, a ruptura da fundação, o deslizamento, o tombamento e a ruptura interna seriam sentidos com mais intensidade nesse ponto, todas essas instabilidades influenciarão diretamente na inclinação da face do paramento externo da estrutura (Figura 9).

Figura 9 - Dispositivo IoT instalado na contenção



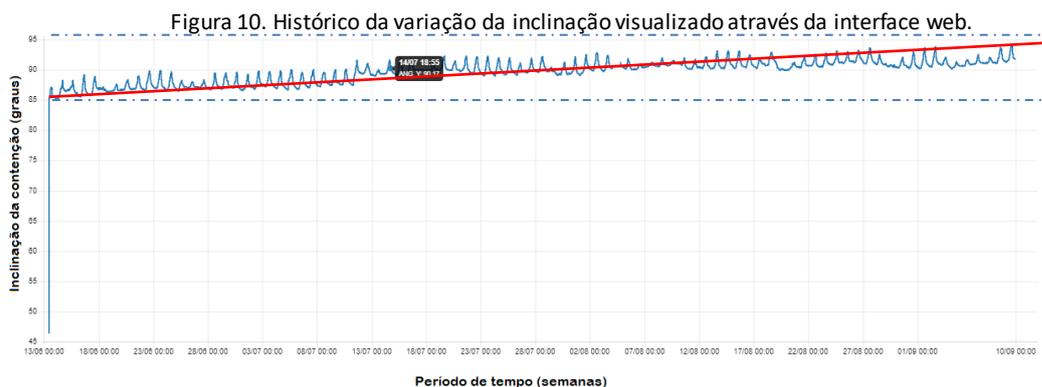
Fonte: Dados da pesquisa

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento remoto da inclinação da contenção em gabião caixa foi realizado na fase de execução da obra, durante um período de 89 dias consecutivos, iniciando no dia 13 de junho e encerrando no dia 9 de setembro de 2022. O dispositivo foi configurado para realizar a leitura dos giroscópios e acelerômetros do sensor MPU6050, calculando os ângulos de inclinação e transmitindo essas variáveis em intervalos de 30 minutos para o servidor em nuvem, resultando em total de mais de duas mil leituras, durante o período monitoramento da estrutura.

Para fins de análise e discussões sobre os resultados coletados pelo dispositivo IoT, optou-se por exportar as leituras da variável ANG_Y (pois essa variável representa a inclinação medida paralelamente a face da estrutura), armazenadas no banco de dados SQL, para uma

planilha eletrônica (Microsoft Excel), semelhante a criar representações gráficas para melhor visualização e compreensão da variação da inclinação, que também é influenciada pelas vibrações captadas pelo sensor de aceleração da placa MPU6050, sendo assim os valores apresentados nos gráficos apresentam a variação média da inclinação em função do período de monitoramento da estrutura. A Figura 10 exhibe o gráfico da variação da inclinação durante todo período da coleta realizada pelo dispositivo IoT, visto a partir da interface web e a Figura 11 exhibe o gráfico tratado a partir do Excel para exibição da inclinação média com a mesma escala do gráfico da interface web.



Fonte: Dados da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa

Observando-se a Figura 11, pode-se verificar que durante a execução da contenção o sensor indicou variações em seu prumo, indicadas por uma correlação binomial bem ajustada, ou seja, valor de R^2 de 0,95. Tal coeficiente também indica a baixa variação em relação às leituras feias pelo sensor, comprovando o bom funcionamento deste durante o período de acompanhamento.

As variações das leituras podem ser correlacionadas a períodos específicos da obra. A maiores variações de inclinação ocorreram entre as semanas de 11 de junho e 18 de julho, período este que obras compactação do aterro de montante da contenção estava sendo executadas. Neste intervalo de tempo houve uma variação angular de 4%. A partir do final da

compactação, até o término das leituras, a variação angular foi de 1,4%. A seguir é apresentada a análise estatística das inclinações mensuradas:

Tabela 1 - Análise estatística das leituras obtidas

Média	89,71°
Limite inferior da média (95% de confiança)	88,69°
Limite superior da média (95% de confiança)	90,73°
Mediana	90,28°
Desvio Padrão	1,67°
Máximo	91,56°
Mínimo	86,61°
Coeficiente de variação	1,8%

Fonte: Dados da pesquisa

Para a interpretação da média das leituras obtida, no intuito de verificar se esta é significativa em relação a desejada para a contenção (90°), o que indicaria o prumo desta (inclinação=0), foi realizado teste T nas médias das leituras apresentadas na Figura 19. Para tal foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Ho= leitura média igual a 90° ($p>0,05$);
- Ho= leitura média diferente de 90° ($p<0,05$).

A Tabela a seguir apresenta a análise conduzida:

Tabela 2 - Análise estatística das leituras médias obtidas por meio de teste T

Média	89,71°
Valor de referência	90°
Distribuição normal	ok
Valor de p	0,55

Fonte: Dados da pesquisa

Dessa forma, com base na Tabela 2 apresentada, pode-se constatar que o valor de p é superior a 0,05, indicando a validade da hipótese Ho, ou seja, a média não se diferencia estatisticamente do valor de referência de 90°. Assim, verifica-se que, apesar de durante sua etapa construtiva a contenção ter apresentado variações de inclinação (indicadas pelo sensor) estas não são estatisticamente significativas a ponto de consistirem em desaprumo da contenção.

5 CONCLUSÕES

O dispositivo IoT conseguiu calcular a inclinação do muro de contenção em gabião caixa, usando como referências os valores medidos pelo acelerômetro do MPU6050. Os valores da inclinação foram transferidos através do modem GSM/GPRS da placa de desenvolvimento TTGO- TCall ESP32, utilizando o protocolo de comunicação MQTT que enviou os dados através da internet para o Node-RED instalado em um servidor virtual, hospedado no Uol Cloud Server. Através dos recursos de programação disponíveis no Node-RED, foi possível estabelecer a comunicação com o banco de dados SQL instalado no servidor virtual e armazenar o histórico da variação da inclinação durante todo período de coleta. Os dashboards desenvolvidos,

permitiram que usuários com acesso ao link da aplicação, o valor da última leitura da inclinação e também buscar o histórico da variável armazenado utilizando um navegador web.

Em relação à variação da inclinação do muro de contenção, baseando-se na análise do histórico do comportamento da variável, verificou-se que os valores médios, mínimos e máximos da inclinação, possuem um aumento em função do tempo, existindo uma diferença de 4,95° da inclinação média, entre a primeira e a última semana de coleta. Atribui-se o aumento do valor da inclinação, durante o período de coleta, às atividades de aterramento, compactação e pavimentação, realizadas no maciço contido e que tiveram a utilização de ferramentas e maquinários pesados, que influenciaram na mudança dos valores da aceleração medida pelo sensor MPU6050, pois quando as atividades estavam concentradas em outras áreas da obra, como quando foi realizada a execução do colchão de gabião no córrego, a variação da inclinação foi praticamente nula (0,25°). Entretanto, após a execução da pavimentação, o qual foi a última intervenção no maciço contido, houve um aumento de 0,89°. Após a reabertura da via o valor máximo da inclinação foi de 91,56°, uma variação de 0,64° em relação à inclinação medida durante a execução da pavimentação.

As análises estatísticas dos valores do ângulo de inclinação do eixo y, indicaram um bom funcionamento do equipamento, já que a correlação binomial calculada foi de 0,95, indicando uma baixa variação em relação às leituras feitas. As variações angulares indicaram que as variações da inclinação medidas pelo dispositivo foram maiores no período de execução de aterro e compactação do montante da contenção. Através da realização do teste T verificou-se que apesar das variações das inclinações, as mesmas não são significativas a ponto de considerarmos um desaprumo da contenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682**: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, ABNT, 2009, 2009.

BARROS, P. L. A.; FRACASSI, G.; DURAN, J. S.; TEIXEIRA, M. A. **Obras de Contenção -Manual técnico Maccaferri**. São Paulo. 2017, 45p.

FARRAR, C.R.; WORDEN, K.; DULIEU-BARTON, J. **Principles of structural degradation monitoring**. Encyclopedia of Structural Health Monitoring. Boller. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2009, 320p.

GERSCOVICH, D.; SARAMAGO, R. P.; DANZIGER, B. R. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 240p.

MELLO, L.D. **Análise do comportamento de uma escavação provisória em solo grampeado**. 2020. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

MIAO, Y.; YANG, H.; WANG, L.; TONG, X. The development and field evaluation of an IoT system of low-power vibration for bridge health monitoring. **Sensors**, n. 5, p. 1222-1230, 2019.

MILITITSKY, J. **Grandes escavações em perímetro urbano**. 1. ed. São Paulo: Editora Signer, 2016. 144p.

MIYASAKA, E. L.; FABRICIO, M. M.; PAOLETTI, I. Industry 4.0 and the civil construction in Brazil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 22., 2018, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos, 2018, 6p.

MOUHA, R. A. Internet of Things (IoT). **Journal of Data Analysis and Information Processing**, v. 9, n. 2, p. 77-101, 2021.

OLIVEIRA, A. S.; GUIMARÃES, M. M. Monitoramento geotécnico da barragem de terra de uma pequena central hidrelétrica no estado de Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 10., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: CBGA. Trabalho XI-098.

PEDOTTI, L. A. S. **Dispositivo IoT de baixo custo para diagnóstico de falhas em máquinas rotativas**. 2019. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2019.

PINTO, S. M. M.; DORTAS, I.S. Dimensionamento de Muro de Arrimo Utilizando Blocos Estruturais como Elementos de Contenção. **Revista da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Tiradentes**, v.6, n.1, 11p. 2020.

RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, v. 30, n. 3, p. 291-319, 2018.

SANTA, L. D. O. R.; NETO, P. P. C.; SILVA, F.; PIRES, R. C. S. Estabilidade de Encostas Utilizando Muro de Arrimo de Gabião. **Epitaya**, v. 1, n. 15, p. 29-45, 2022.

SANTOS JUNIOR, P. J. **Gabiões e estruturas de arrimo: análise teórico-numérico-experimental do comportamento mecânico**. 2018. 192f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018.

SOUZA, C.F. **A Engenharia Civil no Planejamento e Desenvolvimento da Indústria 4.0**. 2019. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, 2019.

SRIVASTAVA, P.; KHAN, R. A review paper on cloud computing. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v. 8, n. 6, p. 17-20, 2018.

SUN, L.; SHANG, Z.; XIA, Y.; BHOWMICK, S.; NAGARAJIAH, S. Review of bridge structural health monitoring aided by big data and artificial intelligence: From condition assessment to damage detection. **Journal of Structural Engineering**, v. 146, n.5, p. 15-25, 2020.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18 ed. São Paulo: Cortez, 2022. 136p.

WONG, K. Y.; NI, Y. Q. Structural health monitoring of cable-supported bridges in Hong Kong. **Structural health monitoring of civil infrastructure systems**. Hong Kong: Woodhead Publishing, 2009, p. 371-411.