



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANTONIO NATANAEL XAVIER MOURA

**AUTOMATIZAÇÃO DE COLETA DE DADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE UMA
ESCAVADEIRA UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

FORTALEZA

2018

ANTONIO NATANAEL XAVIER MOURA

AUTOMATIZAÇÃO DE COLETA DE DADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE UMA
ESCAVADEIRA UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça

Coorientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M884a Moura, Antonio Natanael Xavier.
Automatização de coleta de dados de movimentação de uma escavadeira utilizando internet das coisas /
Antonio Natanael Xavier Moura. – 2018.
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça.

Coorientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.

1. Terraplenagem. 2. Escavadeira. 3. Automatização. I. Título.

CDD 621.3

ANTONIO NATANAEL XAVIER MOURA

AUTOMATIZAÇÃO DE COLETA DE DADOS DE MOVIMENTAÇÃO DE UMA
ESCAVADEIRA UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça

Coorientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior

Aprovada em: 29 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Dalton de Araújo Honório
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais e à minha família, em especial a minha irmã Maria Rita, por tudo que puderam me proporcionar.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida que me tem dado.

Aos meus pais José Ferreira e Maria Jacinta. Aos meus irmãos Fátima, Antônio, Anchieta, Sebastião, Socorro, Graziella, Mel e, em especial, a minha irmã Maria Rita e seu esposo José Maria, por tudo que me puderam proporcionar com a educação.

A minha tia Irene, madrinha Zélia e a minha família em geral.

Aos meus avós, Raimunda Maria (*in memoriam*) e Alexandre Xavier (*in memoriam*).

Ao Lucas Fonseca pelo companheirismo e carinho.

Aos professores que passaram por toda minha vida, por seus ensinamentos e dedicações.

A Universidade Federal do Ceará e seu assistencialismo, por promover meu direito ao estudo e moradia durante toda a graduação.

Aos amigos que conheci durante essa caminhada e que torcem pelo meu sucesso. Em especial a Débora, Monilson, Rayssa, Judá, Rodrigo, Isadora, Jander, Graça e Sérgio que tornaram o curso da engenharia mais leve e alegre.

Ao professor Dr. Ernesto Nobre, pela orientação e ensinamentos.

Ao professor Dr. Paulo Praça, pela atenção e orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Paulo Praça, Dr. Dalton Honório e Dr. Ernesto Nobre.

"Antes de ecoar 'Amém' na sua casa e no lugar de adoração, pensem. Pensem e lembrem-se. Uma criança está ouvindo".

(Mary Griffith)

RESUMO

Numa obra de terraplenagem, os tempos de operação de cada máquina são um importante indicativo da eficiência da obra. Neste contexto, este trabalho final de curso tem como objetivo levantar dados de movimentação de forma sistemática e automatizada de uma escavadeira. Neste documento são apresentadas as formas de obtenção dos dados, os materiais, softwares e hardwares empregados na automatização do monitoramento de movimentação de uma escavadeira juntamente com o tratamento destes dados a fim de se avaliar a possibilidade de implementação no setor de terraplenagem. Os dados em questão são deslocamentos de pistões hidráulicos encontrados diariamente em máquinas nas obras de terraplenagem. Para modelar uma escavadeira, foi construído um protótipo a fim de simular os movimentos de uma máquina real. As planilhas online e o Excel do Google Docs foram as ferramentas encontradas para armazenagem e tratamento dos dados obtidos. Espera-se que o sistema de automatização desenvolvido neste trabalho possa ser utilizado em escala real com dados confiáveis.

Palavras-chave: terraplenagem, escavadeira, automatização.

ABSTRACT

In an earthmoving work, times of operation for each machine are an important indicator of its efficiency. In this context the present work is aimed to acquire data about the moving of a bulldozer in a systematic and automatic way. This project presents ways of data acquirement, materials, softwares and hardwares used for automate monitoring of a bulldozer. The processing of this data can be used to evaluate the possibility of implementation of this system in earthmoving sector. Those data are about hydraulic piston displacement found dailly in earthmoving. In order to model a bulldozer, a prototype was built to simulate the moves of a real machine. Spreadsheets on line and Google Docs Excel were the tools found to store the obtained data. It's expect this system developed in this work to be able to be used in real scale with reliable data.

Keywords: earthmoving, bulldozer, automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Escavadeira modelo 300.9D da fabricante Caterpillar.....	16
Figura 02 – (a) Caminhão basculante comum. (b) dumper.....	18
Figura 03 – Sensor ultrassônico modelo HS – SR04.....	21
Figura 04 – NodeMCU ESP 8266.....	22
Figura 05 – Escavadeira Caterpillar e alocação de pistões.....	23
Figura 06 – Escavadeira feita de materiais plásticos.....	24
Figura 07 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 3.....	25
Figura 08 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 2.....	25
Figura 09 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 1.....	25
Figura 10 – Esquemático e leituras e transferência de dados à nuvem.....	26
Figura 11 – Sensor ultrassônico e anteparo para medição de deslocamento do pistão.....	26
Figura 12 – Ilustração de emprego de sensores e anteparo em uma máquina real.....	27
Figura 13 – Esquemático da posição da escavadeira.....	27
Figura 14 – Esquemática de obtenção de dados.....	28
Figura 15 – Posição da escavadeira em repouso.....	31
Figura 16 – Posição da escavadeira para dados da tabela 06.....	33
Figura 17 – Posição da escavadeira para dados da tabela 08.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Posição da escavadeira em repouso, quando $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0^\circ$	31
Gráfico 02 – Posição da escavadeira para dados da tabela 06.....	33
Gráfico 03 – Posição da escavadeira para dados da tabela 09.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.....	29
Tabela 02 – Tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira..	30
Tabela 03 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores segundo a tabela 02.....	30
Tabela 04 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.....	32
Tabela 05 - tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira....	32
Tabela 06 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores.....	32
Tabela 07 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.....	33
Tabela 08 - tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira...	34
Tabela 09 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT	<i>Internet of Things.</i>
PVC	Policloreto de Vinila.
CFTV	Circuito Fechado de Televisão.
GPS	<i>Global Positioning System</i>
RFID	<i>Radio-frequency Identification</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2 <i>Objetivo Específico</i>	15
1.3 Estrutura da Monografia	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Escavadeira	16
2.2 Unidades de transporte.....	17
2.3 Tempos de ciclos de uma escavadeira	18
2.4 Recepção de dados	19
2.4.1 <i>Internet of Things</i>	19
2.4.2 <i>Sensor Ultrassônico</i>	20
2.4.3 <i>IoT Hardware</i>	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4 RESULTADOS	29
5 CONCLUSÕES	36
5.1 Limitações do trabalho.....	37
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	37
REFERÊNCIAS.....	38
APÊNDICE.....	39

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com o avanço da tecnologia e da presença cada vez mais forte da internet em diversas partes da vida do ser humano, torna-se quase impossível não fazer uso desta tecnologia que unem pessoas e objetos. Seja em nossas casas, na rua, no supermercado, na indústria ou nos meios de transportes é observado o uso de novas formas de agilizar algum processo usando internet. Ultimamente com o conceito de *Internet of Things (IoT)*, ou internet das coisas, objetos tem ganhado novas funcionalidades e são capazes de se comunicarem entre si, aumentando, assim, uma série de novas aplicações ao que antes era uma simples ‘coisa’. As máquinas em geral estão cada vez mais usando IoT para trazer comodidade, aumentar a produtividade, reduzir custos e aumentar a robustez do sistema.

Um setor-chave no processo de industrialização e desenvolvimento econômico do país é a indústria de máquinas. Esta nos fornece equipamentos e maquinário que transformam as condições de produção de indústrias, agricultura, etc. e elevam a produtividade e eficiência do sistema econômico (Michel Marson, 2014). Máquinas do setor de terraplenagem são essenciais à construção de rodovias, pavimentos, etc, visto que qualquer obra de engenharia civil, por menor que seja o porte, exige trabalhos prévios de movimentação de terras (Catalani, 2007).

As máquinas usadas em terraplenagem podem ser usadas em sua máxima eficiência ou não, a depender do operador que manuseia a máquina, a partir daí pode-se estimar como cada máquina está sendo usada e como seus ciclos de trabalho influenciam na eficiência total da obra. Para mensurar a eficiência de uma máquina é levado em conta como o operador se comporta manuseando a máquina. Indicadores de desempenho são ferramentas de gestão que permitem medir e avaliar o desempenho de processo e/ou organizações.

Milhares de reais são gastos com aluguel de maquinário em obras e isto faz com que seja necessário obter dados que mostrem e mensurem a eficiência de uma máquina e de uma obra, visto que há a necessidade de saber como cada máquina está operando dentro do setor de terraplenagem. A obtenção de dados em uma obra de construção civil é uma tarefa ainda difícil, pois é preciso contar com uma grande quantidade de pessoas e equipamentos específicos. Equipes passam dias observando caminhões na estrada de transportes tomando notas de tempo e técnicas de operação para posteriormente usarem estas informações para analisar áreas que podem ser melhoradas (Caterpillar, 2018). No setor de terraplenagem os

indicadores de desempenhos de uma máquina podem ser analisados através do uso do conceito de internet das coisas, onde se podem inserir sensores, microcontroladores e sistemas embarcados que possam monitorar as operações técnicas e fornecer informações da condição da máquina em tempo real via internet de uma forma barata, robusta e eficaz.

Segundo Ricardo e Catalani (2007) a estimativa de produção dos equipamentos de terraplenagem não é um processo preciso, pois além de depender de diversos parâmetros de determinação difícil ainda existem outros fatores aleatórios que influem de forma decisiva no desempenho das máquinas. Dessa forma fica clara a falta de automatização do setor com uso de sistemas inteligentes que possam fornecer informações importantes para levantamentos de indicativos de produção de uma obra.

As tecnologias automatizadas de aquisição de dados têm sido a força motriz por trás de iniciativas para automatizar o processo de rastreamento, controle e relatórios de progresso nas duas últimas décadas. Circuito Fechado de Televisão (CFTV), *Radio-frequency Identification* (RFID), *Global Positioning System* (GPS), códigos de barra e tablets são alguns exemplos de equipamentos usados no setor de terraplenagem para automatizar a recepção e tratamento de dados de uma obra (Ali Montaser e Osama Moselhi, 2014).

1.1 Justificativa

Sabendo-se que na terraplenagem a obtenção de dados em campo é uma necessidade, e a implementação de novas técnicas para a sua obtenção em tempo real e de forma eficaz torna-se urgente e de grande importância na formação dos custos da terraplenagem. Dados obtidos de uma escavadeira, por exemplo, poderá fornecer informações da posição da mesma em tempo real, de forma que se poderá saber quanto tempo a máquina levou para carregar um caminhão com determinado material, por exemplo. Estes dados serão usados para mensurar a eficiência daquela máquina naquela obra. Atualmente dispositivos que realizem essas operações têm um elevado custo, o que dificulta a modernização na captura destes dados que permitam a determinação de indicadores da produção. Para tal, o desenvolvimento de procedimentos que apresentem possíveis soluções para a captura destes dados de maneira eficiente, segura e econômica se torna imperativo na redução dos custos operacionais dos equipamentos de terraplenagem. Este trabalho visa criar um sistema que possa ser alocado em escavadeiras antigas que não contenham tecnologia de recepção de dados de movimentação da mesma.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Criar um dispositivo de captura de dados de movimentação dos braços de uma escavadeira e um sistema para recepção daqueles mesmos dados, utilizando sistemas embarcados, sensores, Wi-Fi e IoT (*Internet of Things*).

1.2.2 Objetivo Específico

- Criar um protótipo de leitura de dados de movimentação de uma escavadeira utilizando sensores ultrassônicos, microcontroladores, Wi-Fi e *IoT*.
- Criar um banco de dados em nuvem para recepção e tratamento de dados em tempo real.

1.3 Estrutura da Monografia

Esta monografia encontra-se organizada em 5 capítulos como listados e nomeados a seguir:

Capítulo 01 – Introdução, justificativa e objetivos apresentados pela pesquisa.

Capítulo 02 – Fundamentação Teórica – Explicação sobre os ciclos de operação da escavadeira e da utilização dos sensores, microcontroladores e sistemas usados neste trabalho.

Capítulo 03 – Materiais e Métodos – Explicação das metodologias aplicadas neste trabalho e suas considerações.

Capítulo 04 – Resultados e Discussão dos resultados obtidos – apresentação e análise dos resultados obtidos com a sistematização proposta

Capítulo 05 – Conclusões – são apresentadas as conclusões acerca dos métodos usados, suas limitações e as proposição de melhoria em projetos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta etapa do trabalho serão apresentadas características de uma escavadeira e seus modos de operação, assim como também serão mostrados todos os equipamentos físicos usados para a recepção de dados, como micro-controladores, sensores, bem como os não físicos, como Wi-Fi e armazenamento de dados em nuvem. Será explanada também a importância da captura de dados indicativos para uma melhor eficiência da máquina.

2.1 Escavadeira

As escavadeiras são máquinas de escavar bastante antigas, surgiram nos Estados Unidos em meados do século XIX, e eram inicialmente movidas a vapor. É um equipamento que trabalha parado, isto é, a sua estrutura portante se destaca apenas a lhe permitir o deslocamento sem, contudo, participar do ciclo de trabalho. São equipamentos usados para carregar as unidades de transporte que movimentarão o material escavado a ser utilizado na construção da obra viária em um outro local mais distante, chamado local de descarga (Ricardo e Catalani, 2007). A escavadeira é um dos equipamentos mais usados no setor de terraplenagem. A figura 01 mostra um modelo de uma escavadeira da fabricante Caterpillar.

Figura 01 – Escavadeira modelo 300.9D da fabricante Caterpillar.



Fonte: Caterpillar (2008).

A produção no setor de terraplenagem tem sido estudada de forma empírico-determinística considerando, sobretudo a experiência e a obtenção de dados anotados manualmente. Equipes munidas de prancheta registram os tempos de trabalho de cada equipamento no setor de terraplenagem e analisam os tempos de ciclo e as técnicas de operação destes equipamentos cronometrando os tempos associados a cada atividade. Estes dados ajudarão na determinação de fatores de rendimento da operação e permitirão que os gerentes das obras programem seus equipamentos a fim de maximizarem a produção diminuindo os tempos inservíveis de serviço.

Segundo Prata *et al.* (2008) as máquinas de terraplenagem executam em seus trabalhos quatro operações básicas: escavação ou corte; carga da caçamba; transporte; descarga, espalhamento ou compactação.

O acionamento dos diversos elementos móveis da escavadeira pode ser feitos por cilindros hidráulicos ou motores elétricos independentes. Hoje em dia muitos fabricantes de equipamento tem preferido o acionamento hidráulico por adaptar-se a baixa velocidade da máquina. Toda a força dos cilindros da escavadeira hidráulica é aplicada aos seus braços, fazendo com que a caçamba se movimente e realize as devidas operações.

2.2 Unidades de transporte

As unidades transportadoras são usadas na terraplenagem quando as distâncias são grandes a ponto de tornar inviável o uso de “*motoscraper*”, no caso de grandes volumes a serem movimentados. Logo, a solução encontrada é optar pelo uso de equipamentos mais rápidos, mesmo que em maiores quantidades.

Uma unidade de transporte bastante conhecida é o caminhão basculante comum, popularmente conhecido por “caçamba”. Vagões, “*dumpers*” e caminhões “fora-de-estrada” são exemplos de outras unidades transportadoras. A figura 02 ilustra alguns exemplos destas unidades usadas na terraplenagem.

Figura 02 – (a) Caminhão basculante comum. (b) *dumper*.



Fontes: JCB *Dumpers* e Trução Comunicações (2018).

2.3 Tempos de ciclos de uma escavadeira

Como visto na seção anterior, a escavadeira consegue sozinha realizar quatro operações: escavação, carga da caçamba, transporte e descarga. Os ciclos das escavadeiras se considerarmos o ciclo total das unidades de transportes, representam apenas os tempos correspondentes aos ciclos de carga que é apenas um dos tempos associados ao ciclo total da unidade de transporte. O objetivo de se analisar as movimentações e os tempos gastos pelos equipamentos é diminuir o tempo perdido entre as ações e aproveitar melhor os movimentos exercidos por cada operador nas suas funções.

Quando se analisam dados de movimentação de uma escavadeira, por exemplo, podem-se definir os tempos reais para execução do trabalho, sendo possível mensurar um indicativo de produção tanto da máquina quanto do operador. Suponha-se que o operador 1 leve 15 segundos para escavar determinado material, 3 segundos para carregador a caçamba, 8 segundos para transportar o material até um caminhão basculante (considerando que o mesmo esteja próximo) e mais 4 segundos para descarregar e o operador 2 leve 13, 2, 6 e 3 segundos para realizar, respectivamente, os mesmos procedimentos que o operador 1 realizou. Fica claro que o operador 2 usa a máquina de uma maneira mais eficiente e conseguirá executar mais vezes o mesmo trabalho que o operador 1 em um mesmo intervalo de tempo. Esses dados de tempo são calculados indiretamente de forma manual.

Nesse projeto será dada maior importância à movimentação da escavadeira, a fim de se saber a posição em tempo real da máquina. Este será um passo para se possa, futuramente, obter os tempos de movimentação da escavadeira.

2.4 Recepção de dados

Atualmente as técnicas usadas para captura de dados em canteiros de obras são manuais e trabalhosas. Estes dados podem ser perdidos ou deturpados e podem não ser confiáveis por completo. As limitações dos modelos existentes, por se mostrarem incapaz de medir o progresso de diferentes tipos de atividade em tempo real, fez com que houvesse iniciativas de para automatizar o processo de rastreamento e controle de máquinas do setor de terraplenagem, a fim de se melhorar a confiabilidade do sistema.

Alguns fabricantes já têm incorporado essas tecnologias às suas máquinas, como é o caso da Caterpillar, que conta com maquinários que fornecem informações que podem aumentar as operações do cliente. Porém o uso desta tecnologia só está presente em máquinas que foram recentemente fabricadas.

Para captação e envio de dados de movimentação de uma escavadeira há como fazer uso de sensores, microcontroladores, dispositivos como Arduino e sistemas embarcados. Estas tecnologias são bastante usadas hoje como objetos de estudos de forma barata e têm se mostrado útil para o desenvolvimento de protótipos para diversas finalidades.

A seguir serão mostrados os dispositivos e os sistemas usados para aquisição de dados neste projeto.

2.4.1 Internet of Things

A origem do *IoT*, assim como vários conceitos novos estão ligadas diretamente ao MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). De acordo com o *Cisco Internet Business Solutions Group* (IBSG), a *IoT* é o momento exato em que foram conectados à Internet mais "coisas ou objetos" do que pessoas (Evans, 2011).

Para o pesquisador na área de tecnologia Silvio Meira (“*IoT*: Uma estratégia para o Brasil) “coisas”, no sentido da internet das coisas, é definido como dispositivos que possuem, simultaneamente, capacidades de computação, comunicação e controle. Ou seja, são objetos que têm capacidade de receber sinais através de sensores e atuar ou não de acordo com sua finalidade, tudo isso através da internet.

Com a facilidade ofertada pelas novas tecnologias, é cada vez mais comum não usar mão de obra em serviços que podem ser totalmente substituídos por máquinas interconectadas e conectadas a internet.

Sistemas que possuem conexão com a internet e que podem fornecer dados e/ou executar ações a partir destes dados são considerados sistemas inteligentes que usam *IoT*. Logo, é comum nos dias de hoje encontrar o conceito de *IoT* presente em automação residencial, por exemplo, com uso do celular como interruptor de lâmpadas e aparelhos de ar, portões eletrônicos com conexão à internet, eletrodomésticos inteligentes, etc., dentre outras aplicações.

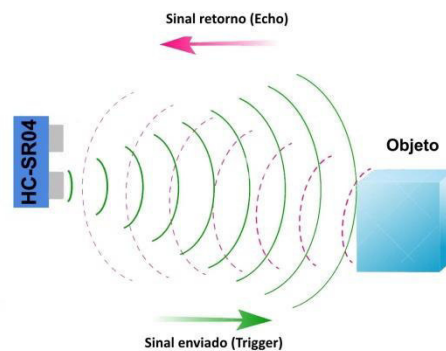
2.4.2 Sensor Ultrassônico

O sensor ultrassônico opera usando as propriedades do som para detectar presença de obstáculos e medir distâncias. Estes sensores são também conhecidos como transceptores, e são capazes de operar semelhante ao sonar. Enquanto o sonar é principalmente utilizado debaixo da água, os transceptores de ultrassom podem ser utilizados no ambiente terrestre, tendo o ar como meio de transmissão. Os sensores de ondas ultrassônicas são comuns em aplicações industriais e médicas, além de outras aplicações.

Sensores ultrassônicos consistem tipicamente de uma unidade de sensor único capaz de emitir e detectar o som. Este dispositivo baseia-se na medição do tempo de trânsito que gasta uma onda ultrassônica em percorrer o trajeto de ida e volta. Logo, tal sensor trata de medir com a maior precisão possível o tempo transcorrido entre o momento da emissão da onda ultrassônica e o instante de detecção do eco refletido.

Tais sensores podem ser conectados a microcontroladores que por sua vez interpretam os sinais de eco e o transformam em medidas de distâncias. Os sensores usados neste trabalho são do modelo HC – SR04. A figura 03 a seguir mostra como funciona o sensor ultrassônico.

Figura 03 – Sensor ultrassônico modelo HS – SR04.



Fonte: colégio água (2018).

Como se pode notar na figura 03, uma onda ultrassônica é enviada pelo terminal *trigger*, percorre o meio (ar, no caso) até encontrar um obstáculo e é refletida de volta até encontrar o terminal *echo*. Como a velocidade do som no ar é conhecida, pode-se definir, assim, a distância entre o sensor e o obstáculo com precisão.

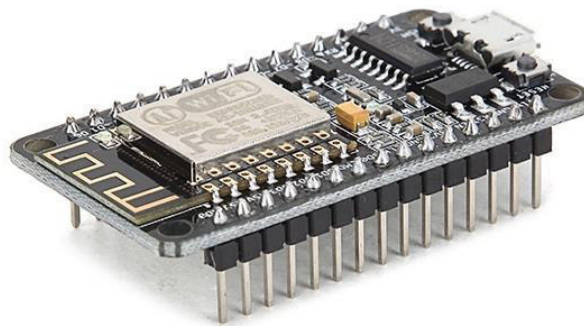
Cada sensor conta com 4 pinos de alimentação: um pino 5 V, um pino *trigger* responsável por enviar o pulso de envio da onda ultrassônica, um pino *echo* responsável por receber o pulso que indica o retorno da onda e um pino GND para aterramento. O pino *trigger* é comum a todos os sensores, já para os pinos *echo* há uma leitura para cada sensor, que poderá medir diferentes distâncias.

2.4.3 IoT Hardware

Os sistemas embarcados são compostos por placas com microcontroladores, portas analógicas e digitais que podem operar como entradas e/ou saídas, portas de comunicação serial (em alguns casos), conversores analógico-digital e vice-versa, e entradas para alimentação. O microprocessador da placa é o cérebro do sistema e é o responsável pela leitura de sensores ligados a ele. Todas as funcionalidades do sistema são executadas de acordo com a necessidade do usuário, que comandará as ações dos atuadores a partir de uma leitura dos sensores através da programação dos módulos. O microcontrolador coleta, processa os dados (sinais dos sensores) de forma lógica e transmite à nuvem usando módulos de comunicação de acordo com sua programação e finalidade.

O módulo usado neste trabalho é o ESP 8266 NodeMCU, placa que conta com entradas analógicas e digitais, capazes de fazer a leitura dos sensores ultrassônicos e enviar dados via Wi-Fi à nuvem, onde os dados poderão ser tratados e interpretados. O módulo conta com antena embutida e conexão micro-usb para conexão com o computador, tensão de operação de 3 a 3,6 V, pode ser usado em temperaturas entre - 40° C e 125° C e seu modo wi-fi pode funcionar de três maneiras: *station*, *SoftAP* e *SoftAP + station*, basicamente ele pode se conectar à internet, pode funcionar como um ponto de acesso à internet ou trabalhar em combinação com os dois. Trata-se de um módulo bastante utilizado em internet das coisas e suas principais aplicações incluem eletrodomésticos, automação residencial (tomadas e luzes inteligentes), monitores de bebê e câmeras IP. A figura 04 a seguir mostra o módulo do NodeMCU ESP 8266.

Figura 04 – NodeMCU ESP 8266



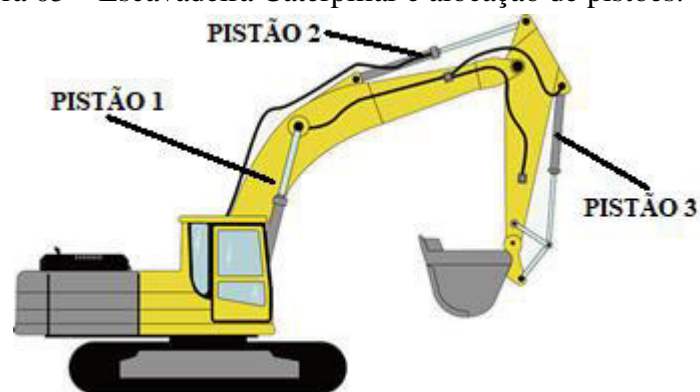
Fonte: Loja FilipeFlop (2018).

Para a programação do NodeMCU pode-se usar a IDE do Arduino, *software* disponível para a programação de *hardwares* diversos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A escavadeira da fabricante Caterpillar conta com três braços hidráulicos, como mostra a figura 05. A partir desta configuração de escavadeira montou-se um protótipo com o mesmo número de braços a fim de tornar o protótipo um modelo com movimentos parecidos com o real.

Figura 05 – Escavadeira Caterpillar e alocação de pistões.



Fonte: Caterpillar (editado pelo autor).

Inicialmente foi criado um protótipo de uma escavadeira usando canos de PVC (*Polyvinyl chloride* - Policloreto de polivinila) de 25 mm de diâmetro, joelhos, tê's, cola, madeira, seringas hospitalares de 20 mL, equipos (dosadores de soro fisiológicos), entre outros materiais. O protótipo tem os movimentos similares ao de uma máquina real com mecanismos também reais (hidráulicos), porém com algumas limitações, como o distanciamento máximo. Cada braço inicia-se seus movimentos a partir de 90° graus, mas podem alcançar ângulos superiores a 140°, porém menos que 90° é fisicamente não aplicável.

Com o protótipo de braço da escavadeira pronto, foi pensado em qual sensor usar para fazer as medições dos deslocamentos dos pistões. Para isso foi pensando em três sensores: sensor de deslocamento linear, sensor ultrassônico e acelerômetro. O sensor de deslocamento linear e o sensor ultrassônico fazem medições de distância, já o acelerômetro mostra a posição do próprio sensor em três dimensões (*xyz*), porém numa situação prática seria inviável seu uso acoplado a caçamba da escavadeira. O sensor ultrassônico foi escolhido por apresentar um baixo custo e ser facilmente encontrado para venda. Após feita a escolha de qual sensor usar, acoplaram-se ao protótipo um sensor ultrassônico em cada pistão, totalizando 3 sensores. Cada sensor se conecta com o ESP8266 NodeMCU através de fios. O

ESP8266, como explicado anteriormente se comunica com a internet e envia sinais a uma plataforma que recebe os dados e os interpreta.

Há uma relação entre a distância percorrida pelos pistões hidráulicos e o movimento real do protótipo. O objetivo de se medir esses movimentos é levantar indicadores de eficiência de uma operação de escavação, porém neste trabalho o objetivo é captar apenas a posição da escavadeira em tempo real.

Como o objetivo final dos sensores é captar a posição do braço do equipamento, os sinais são enviados a um formulário do *Google*, que cria uma planilha *online*. Na programação do ESP8266 NodeMCU, usando o *software* Arduino IDE foram inseridos códigos para enviar os dados coletados pelos sensores ultrassônicos ao formulário do *Google* de forma automática e em tempo real. Antes disso estabeleceu-se a comunicação entre esse formulário e uma planilha *online* do *google* através de códigos na programação do ESP 8266.

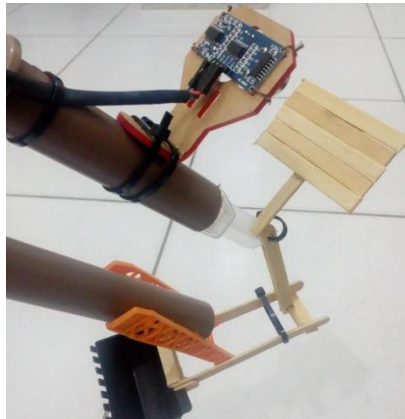
A figura 06 a seguir mostra o protótipo final da escavadeira com a alocação dos sensores. As figuras 07, 08 e 09 mostram, respectivamente, a alocação dos sensores ultrassônicos para leitura de distâncias do pistão da pá-carregadeira (pistão 3), do pistão do meio (pistão 2) e do pistão da base (pistão 1).

Figura 06 – Escavadeira feita de materiais plásticos.



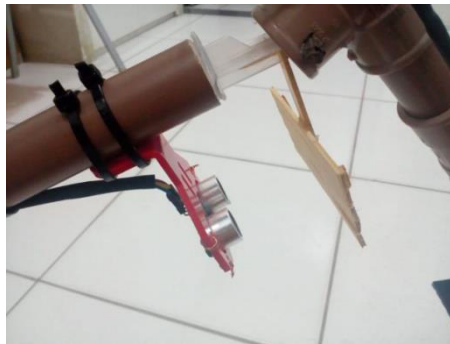
Fonte: próprio autor.

Figura 07 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 3.



Fonte: próprio autor.

Figura 08 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 2.



Fonte: próprio autor.

Figura 09 – Sensor responsável por ler o movimento do pistão 1.

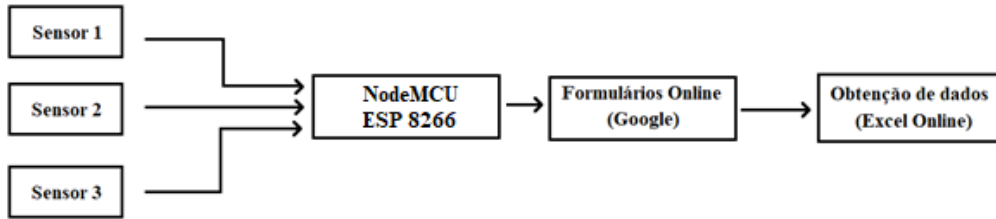


Fonte: próprio autor.

Para obtenção dos dados foram feitos testes com os movimentos do protótipo. Com os dados obtidos e vendo qual a posição real da máquina, foi possível fazer uma analogia com as medidas.

O esquemático da figura 10 a seguir mostra as etapas desde a leitura dos sensores até a chegada da informação ao banco de dados. Posteriormente será mostrado como os dados foram interpretados.

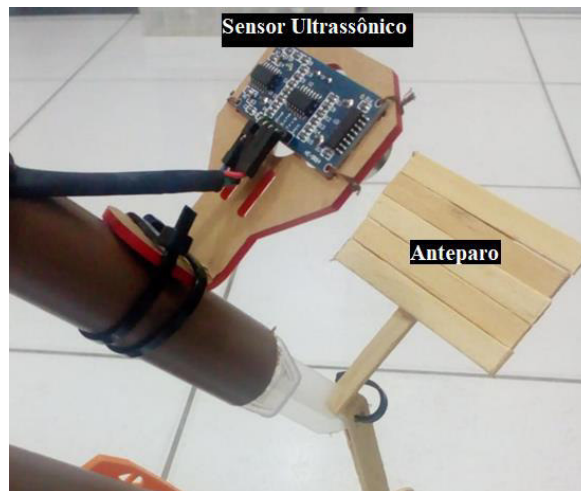
Figura 10 - Esquemático e leituras e transferência de dados à nuvem.



Fonte: próprio autor.

Cada sensor faz a leitura da distância entre o próprio sensor e o anteparo que está acoplado à parte móvel do pistão. A partir daí é possível saber se houve ou não um movimento de uma determinada parte da escavadeira. A figura 11 mostra os detalhes do sensor do pistão 3 e do anteparo responsável por ler o movimento da pá-carregadeira da máquina.

Figura 11 - Sensor ultrassônico e anteparo para medição de deslocamento do pistão.

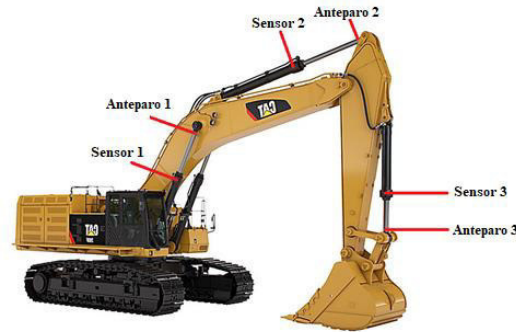


Fonte: próprio autor.

As metodologias usadas para saber exatamente a posição da máquina em cada ciclo de trabalho foram analisadas de acordo com observações dos eixos hidráulicos em máquinas reais. A figura 12 a seguir relaciona o emprego dos sensores e anteparos em uma máquina real da fabricante Caterpillar.

Neste trabalho não foi considerado o movimento de rotação sobre o próprio eixo e foi considerado que a máquina está perpendicular ao solo, para que se pudesse ter um referencial para as medidas.

Figura 12 – Ilustração de emprego de sensores e anteparo em uma máquina real.

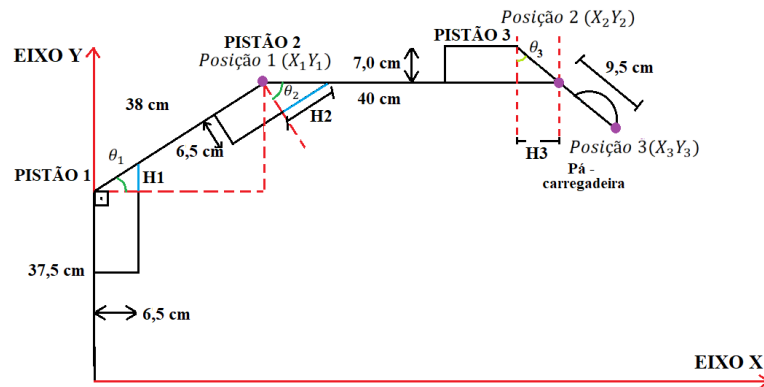


Fonte: Caterpillar (2018).

A lógica usada para saber a posição da escaveira foi a seguinte:

A posição de cada ponto foi definida usando trigonometria (semelhança de triângulos). Como se pode observar na figura 13 a seguir a posição 1 da escavadeira será definida de acordo com o deslocamento do pistão 1 usando semelhança de triângulos. (H_1 = distância medida entre o sensor 1 e o anteparo 1; H_2 = distância medida entre o sensor 2 e o anteparo 2; H_3 = distância medida entre o sensor 3 e o anteparo 3). Os valores fixos, em centímetros, encontrados na figura 13 são os valores reais do protótipo.

Figura 13 – Esquemático da posição da escavadeira.



Fonte: próprio autor.

Analisando a figura 13 mostrada anteriormente, tem-se que:

Para a posição 1:

$$\theta_1 = \text{atan}\left(\frac{H_1}{6,5}\right) \quad (1)$$

$$X_1 = 38 \cos \theta_1 \quad (2)$$

$$Y_1 = 37,5 + 38 \sin \theta_1 \quad (3)$$

Para a posição 2, tem-se:

$$\theta_2 = \text{atan}\left(\frac{H_2}{6,5}\right) \quad (4)$$

$$X_2 = X_1 + 40 \text{ sen}(\theta_1 + \theta_2) \quad (5)$$

$$Y_2 = 37,5 - 40 \cos(\theta_1 + \theta_2) + 38 \text{ sen} \theta_1 \quad (6)$$

Para a posição 3, tem-se:

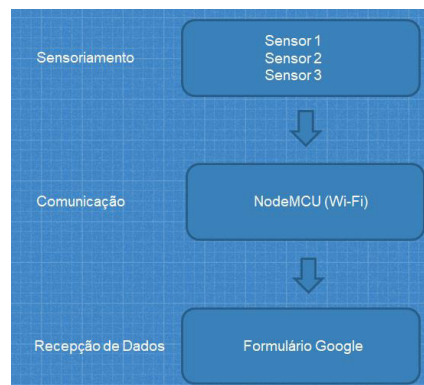
$$\theta_3 = \text{atan}\left(\frac{H_3}{7}\right) + \theta_1 + \theta_2 \quad (7)$$

$$X_3 = X_2 - 9,5 \cos \theta_3 \quad (8)$$

$$Y_3 = Y_2 - 9,5 \text{ sen} \theta_3 \quad (9)$$

Para recepção das informações (valores medidos dos pistões 1, 2 e 3) foi usado o *Google Docs*, que recebe os dados enviados pelo NodeMCU ESP8266 através da internet. Os arquivos foram enviados através de formulário eletrônico a uma planilha *online* de Excel. As medidas são tratadas, interpretadas e podem ser usadas como indicativo de produção a partir deste *software*. A figura 14 mostra o esquemático usado para a transferência de dados a nuvem.

Figura 14 – Esquemática de obtenção de dados.



Fonte: próprio autor.

Como se pode notar na figura 14, os sensores 1, 2 e 3 fazem as medidas usando o NodeMCU e este última envia ao formulário, como já explicado anteriormente.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da metodologia descrita anteriormente para captação de dados de movimentação da escavadeira. Os dados obtidos em questão foram do protótipo e não de uma máquina real, porém o objetivo é garantir a confiabilidade do sistema de medição de movimentação de uma escavadeira. Estes dados são importantes para que em um estudo futuro se possam ter medições de tempos de ciclos de uma escavadeira ou outro equipamento a partir das posições em tempo real da máquina e a partir daí se possa mensurar a eficiência de operação de uma máquina operador por um determinado operador. Isso fará com que os tempos usados nas operações sejam diminuídos e as empresas economizem mais com o menor tempo de uso da máquina.

Os valores de distância medidos pelos pistões 1, 2 e 3 foram encaminhados a uma planilha de Excel, juntamente com a data e a hora que os dados foram obtidos. Os dados foram captados a cada 2 segundos aproximadamente, porém não foi possível conseguir o recebimento simultâneo das medidas dos três pistões, assim, cada medição foi enviada a cada 2 segundos até completar o ciclo das três medidas, totalizando 6 s. A tabela 01 a seguir mostra a planilha com os valores medidos em centímetros.

Tabela 01 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.

	A	B	C	D	E
1	Carimbo de data/hora	Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	
860	20/11/2018 17:13:18	0			
861	20/11/2018 17:13:20		0		
862	20/11/2018 17:13:22			0	
863	20/11/2018 17:13:24	0			
864	20/11/2018 17:13:26		0		
865	20/11/2018 17:13:28			0	

Fonte: próprio autor.

Vale salientar que na própria alocação do anteparo e do sensor ultrassônico em cada pistão da escavadeira existe uma distância entre eles e ela deve ser considerada para que se possa ser feito o cálculo correto de deslocamento. Essa distância já é considerada no próprio código de programação, ou seja, os valores enviados são os valores reais de deslocamentos dos pistões.

A partir da planilha mostrada na tabela 01 uma nova planilha foi criada para tratamentos de dados. Os valores medidos foram transferidos à nova planilha e as equações anteriormente descritas foram aplicadas. A tabela 02 a seguir mostra as variáveis usadas para o cálculo da posição da escavadeira.

Tabela 02 – tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira.

Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	teta 1	teta 2	teta 3	teta 1	teta 2	teta 3	posição X1	posição Y1	posição X2	posição Y2	posição X3	posição Y3
(cm)			graus			radianos			(cm)					
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,00	37,50	38,00	-2,50	28,50	-2,50

Fonte: próprio autor.

As colunas C, D e E mostram os valores obtidos pela leitura dos sensores ultrassônicos, enviados através dos sensores à planilha. As colunas F, G e H mostram respectivamente os ângulos em graus calculados de acordo com as equações 1, 4 e 7 mostradas anteriormente. As colunas I, J e K mostram estes mesmos ângulos em radianos e, por último as colunas L, M, N, O, P e Q mostram as posições de cada parte da escavadeira, em centímetros, em um plano cartesiano xy.

A partir da obtenção dos valores X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 , X_3 e Y_3 foi possível montar gráficos que mostram exatamente a posição da escavadeira de acordo com as leituras. Para isso, outra planilha foi criada para separar as variáveis obtidas e se gerar os gráficos. A tabela 02 mostra um exemplo de leitura de sensores quando a escavadeira está parada, ou seja, com ângulo θ_1 , θ_2 e θ_3 iguais a zero. O ponto $(x, y) = (0, 0)$ e $(x, y) = (0; 37,5)$ é comum a todos os gráficos pois desconsideramos o movimento fixo do primeiro braço.

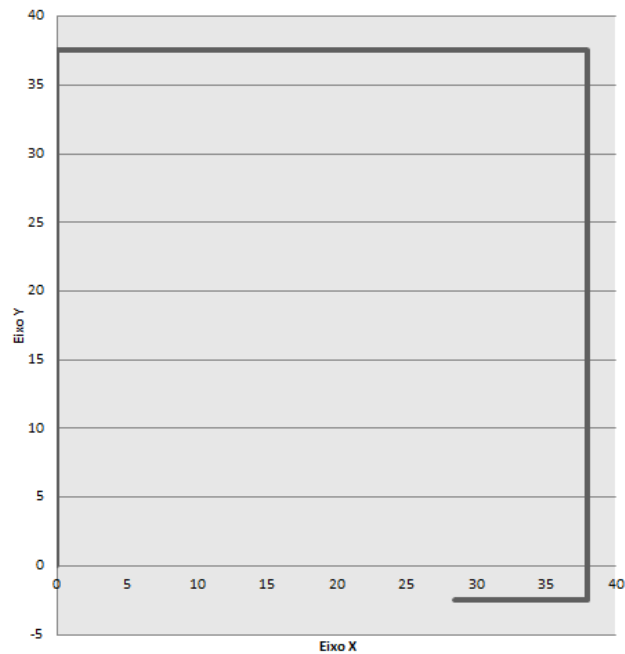
Tabela 03 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores segundo a tabela 02.

Gráfico 1	
x	y
0	0
0	37,5
38,0	37,5
38,0	-2,5
28,5	-2,5

Fonte: próprio autor.

Dos dados da tabela 03 resulta o gráfico 01.

Gráfico 01 – Posição da escavadeira em repouso, quando $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0^\circ$.



Fonte: próprio autor.

A figura 15 mostra a posição da escavadeira para os dados obtidos na tabela 02.

Figura 15 – Posição da escavadeira em repouso.



Fonte: próprio autor.

A seguir são mostradas tabelas, gráfico e figuras de posições reais da escavadeira com os devidos valores medidos pelos sensores ultrassônicos.

Tabela 04 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.

	A	B	C	D	E
1	Carimbo de data/hora	Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	
956	20/11/2018 17:20:12	0			
957	20/11/2018 17:20:14		8		
958	20/11/2018 17:20:16			0	
959	20/11/2018 17:20:18	0			
960	20/11/2018 17:20:20		8		
961	20/11/2018 17:20:22			0	

Fonte: próprio autor.

Da tabela 04 os dados foram equacionados, como mostrado na tabela 05, a fim de se calcular a posição da máquina.

Tabela 05 - tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira.

Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	teta 1	teta 2	teta 3	teta 1	teta 2	teta 3	posição X1	posição Y1	posição X2	posição Y2	posição X3	posição Y3
(cm)			graus			radianos			(cm)					
0	8	0	0,00	50,91	50,91	0,00	0,89	0,89	38,00	37,50	69,04	12,28	63,05	4,90

Fonte: próprio autor.

Da tabela 05 monta-se a tabela 06 mostrada a seguir.

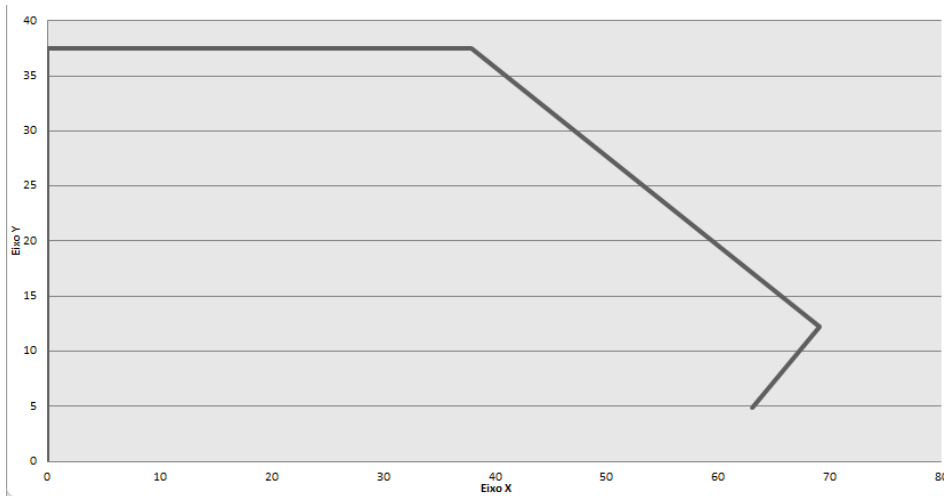
Tabela 06 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores.

Gráfico 2	
x	y
0	0
0	37,5
38,00	37,50
69,04	12,28
63,05	4,90

Fonte: próprio autor.

O gráfico 02 mostra a posição da escavadeira para os dados da Tabela 06.

Gráfico 02 – Posição da escavadeira para dados da tabela 06.



Fonte: próprio autor.

A figura 16 mostra a posição da escavadeira para os dados obtidos na tabela 06.

Figura 16 - Posição da escavadeira para dados da tabela 06.



Fonte: próprio autor.

Em outro instante de tempo, foram recebidos os dados mostrados pela tabela 07.

Tabela 07 – Planilha com valores medidos pelos sensores ultrassônicos.

	A	B	C	D	E
1	Carimbo de data/hora	Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	
1013	20/11/2018 17:25:48	5			
1014	20/11/2018 17:25:50		0		
1015	20/11/2018 17:25:52			0	
1016	20/11/2018 17:25:54	5			
1017	20/11/2018 17:25:56		0		
1018	20/11/2018 17:25:58			0	

Fonte: próprio autor.

Da tabela 07 os dados foram equacionados, como mostrada na tabela 08, a fim de se calcular a posição do equipamento.

Tabela 08 - tabela com valores medidos pelos pistões e cálculo da posição da escavadeira.

Pistão 1	Pistão 2	Pistão 3	teta 1	teta 2	teta 3	teta 1	teta 2	teta 3	posição X1	posição Y1	posição X2	posição Y2	posição X3	posição Y3
(cm)			graus			radianos			(cm)					
5	0	0	37,57	0,00	37,57	0,66	0,00	0,66	30,12	60,67	54,51	28,96	46,98	23,17

Fonte: próprio autor.

Da tabela 08 monta-se a tabela 09 mostrada a seguir.

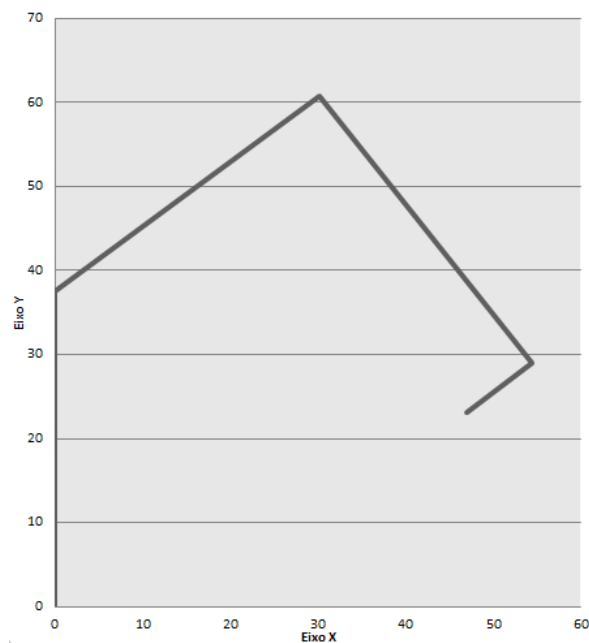
Tabela 09 – Dados de xyz obtidos com a leitura dos sensores.

Gráfico 3	
x	y
0	0
0	37,5
30,12	60,67
54,51	28,96
46,98	23,17

Fonte: próprio autor.

O gráfico 03 mostra a posição da escavadeira para os dados da Tabela 09.

Gráfico 03 – Posição da escavadeira para dados da tabela 09.



Fonte: próprio autor.

A figura 17 mostra a posição da escavadeira para os dados obtidos na tabela 08.

Figura 17 - Posição da escavadeira para dados da tabela 08.



Fonte: próprio autor.

Como se pode notar pelas tabelas, gráficos e figuras anteriores, há uma relação bem próxima entre os dados obtidos e a posição real da escavadeira, confirmando, assim, que a metodologia aplicada é eficiente.

5 CONCLUSÕES

A inserção de novas tecnologias à vida humana e a indústria tem sido um fator relevante para o aumento da produtividade. No setor de terraplenagem as novas tecnologias se encontram instaladas diretamente nas máquinas de última geração. Neste trabalho foi desenvolvida a criação de um protótipo de uma escavadeira e de um sistema automatizado capaz de enviar dados de posição da máquina para uma planilha online utilizando conceitos de internet das coisas. Com estes dados, é possível se obter indicativos de eficiência do uso da máquina pelo operador. Estes dados são de grande importância para o setor de terraplenagem.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que é possível que máquinas antigas, não dotadas de tecnologia de envio de dados, possam ter um sistema de análise e envio de dados acoplado a sua estrutura e que atuem de forma independente.

Os sensores ultrassônicos se mostraram eficientes na medição da distância entre o anteparo e o sensor, sendo capaz de fornecer valores confiáveis. Em uma escala real, acredita-se que sensores mais robustos, como sensores de deslocamento linear, terão uma maior confiabilidade, visto que as distâncias serão maiores. Quanto ao envio de dados, o NodeMCU se mostrou uma boa ferramenta para integração entre o sistema físico e o não físico. O Excel também foi uma importante ferramenta para a análise e tratamentos dos dados, permitindo a visualização em computadores, *tablets* e celulares.

Em uma análise geral, o sistema criado que usa o conceito de Internet das Coisas se mostrou eficiente na visualização da posição de uma máquina do setor de terraplenagem, apesar de algumas limitações que podem ser estudadas e sanadas em trabalhos futuros. Além disso, acredita-se que outros sensores possam ser usados, como sensores de deslocamento linear, servomotores, acelerômetros, etc., em campo, visto que o ambiente de terraplenagem pode apresentar condições de chuva e intensa poeira, fazendo com que seja necessário sensores mais caros e robustos. Apesar de outros sensores terem um maior custo para serem adquiridos, o retorno financeiro acontece de forma rápida quando se automatiza este processo, visto que não será mais necessário que pessoas tomem nota sobre os comportamento da máquina em tempo real e o valor economizado com melhorias de produção a partir da coleta dos dados são muito altos, fazendo, assim, com que o processo de automatização da coleta de dados seja eficiente e de extrema importância.

5.1 Limitações do trabalho

Apesar de se mostrar uma opção pertinente para obtenção de dados, o sistema de medição e envio de dados ainda mostra alguns limitações; tais limitações serão expostas a seguir.

O tratamento dos dados nas planilhas do *google* foram realizadas de forma manual, porém existe a possibilidade de automatizar o tratamento dos dados após a recepção dos mesmos na nuvem. As planilhas *online* tiveram um tempo de aproximadamente dois segundos para a recepção de cada leitura. Ainda houve a limitação de não se conseguir enviar as medidas dos três pistões de uma só vez por limitações do programador, isso fez com que fossem utilizados seis segundos para enviar os dados dos três sensores.

O protótipo de escavadeira usado neste projeto tem uma base fixa perpendicular ao solo. O pistão da base também é fixo e isto não corresponde com uma máquina real, porém, com a adição de novos cálculos é possível considerar ainda mais os movimentos de uma máquina real. Além disso, todo o sistema necessita de conexão de internet sem fio para o envio de dados, isso faz com que as obras de terraplenagem que queiram utilizar este mecanismo de obtenção de dados necessitam de internet. Caso não se tenha internet no local uma alternativa poderia ser usar cartões que gravem os dados para um posterior estudo dos mesmos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O setor de terraplenagem necessita de sistemas confiáveis de medição. Um problema encontrado que deve ser melhorado em um trabalho futuro é o tempo levado para envio de informações, pois isso pode colocar em risco a confiabilidade das medições. É preciso estudar outras plataformas para armazenamento de dados e novos códigos de programação que encurtem o tempo de medição. Existem também outras formas de se obter medições de deslocamento do pistão que podem ser estudados, como servomotores e sensores de deslocamento linear. Acelerômetros também podem ser acoplados ao sistema para aumento da robustez. Há outras máquinas do setor de terraplenagem que também necessitam de novas tecnologias, logo, há um vasto campo de aplicação de *IoT* a ser explorado.

REFERÊNCIAS

CATERPILLAR. **ESCAVADEIRA 300.9D**. Disponível em: <https://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/excavators/mini-excavators/18099279.html>.

EVANS, D. **The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. CISCO white paper.**

JUNIOR, E. L. A; **Automatização de aquisição de dados de tempos de ciclos de equipamentos de terraplenagem utilizando internet das coisas (2018).**

LOJA FILIPE FLOP. **Módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12**. Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12/>>

MONTASER; ALI; MOSELHI, OSAMA. **Automated Site Data Acquisition Technologies for Construction Progress Reporting**

PEIXOTO, EDUARDO; **IoT: Uma estratégia para o Brasil**, 2016.

VIDA DE SILÍCIO. **SENSOR ULTRASSÔNICO HC – SR04**. Disponível em <<https://portal.vidadesilicio.com.br/hc-sr04-sensor-ultrassonico>>

RICARDO, H. d. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplenagem e escavação de Rocha**. 3. ed. São Paulo: PINI, 2007.

APÊNDICE

CÓDIGO-FONTE utilizado na programação do NodeMCU ESP 8266.

```
#include <ESP8266WiFi.h>

const int pingTrigger = D8;
const int Sensor_1 = D7;
const int Sensor_2 = D6;
const int Sensor_3 = D5;

WiFiClientSecure client;
String      textFix1      =      "GET      /forms/d/e/1FAIpQLSeVc-
tI0lrraXhizMCNsNznwaUbCXZZW3534LOiyJRk--
mYnA/formResponse?ifq&entry.798585764=" ;
String      textFix2      =      "GET      /forms/d/e/1FAIpQLSeVc-
tI0lrraXhizMCNsNznwaUbCXZZW3534LOiyJRk--
mYnA/formResponse?ifq&entry.891895522=" ;
String      textFix3      =      "GET      /forms/d/e/1FAIpQLSeVc-
tI0lrraXhizMCNsNznwaUbCXZZW3534LOiyJRk--
mYnA/formResponse?ifq&entry.1890801021=" ;

void setup() {

    pinMode(pingTrigger, OUTPUT);
    pinMode(Sensor_1, INPUT);
    pinMode(Sensor_2, INPUT);
    pinMode(Sensor_3, INPUT);

    Serial.begin(115200);
    WiFi.mode(WIFI_STA);//Habilita o modo estação
    WiFi.begin("LOGIN", "SENHA");

    delay(2000);
}

void loop()
{
    long duration, cm1,cm2, cm3;

    // SENSOR 1
    digitalWrite(pingTrigger, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(pingTrigger, HIGH);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(pingTrigger, LOW);

    duration = pulseIn(Sensor_1, HIGH);

    cm1 = microsecondsToCentimeters(duration);
    Serial.println("Sensor 1");
```

```
Serial.print(cm1);
Serial.print("cm");
Serial.print("\n");
Serial.println();

delay(50);

// SENSOR 2
digitalWrite(pingTrigger, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(pingTrigger, HIGH);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(pingTrigger, LOW);

duration = pulseIn(Sensor_2, HIGH);

cm2 = microsecondsToCentimeters(duration);
Serial.println("Sensor 2");
Serial.print(cm2);
Serial.print("cm");
Serial.print("\n");
Serial.println();

delay(50);

// SENSOR 3

digitalWrite(pingTrigger, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(pingTrigger, HIGH);
delayMicroseconds(5);
digitalWrite(pingTrigger, LOW);

duration = pulseIn(Sensor_3, HIGH);

cm3 = microsecondsToCentimeters(duration);
Serial.println("Sensor 3");
Serial.print(cm3);
Serial.print("cm");
Serial.print("\n");
Serial.println();

delay(50);

if (client.connect("docs.google.com", 443) == 1)
{
    String toSend = textFix1;
```

```
toSend += cm1-2;
toSend += "&submit=Submit HTTP/1.1";

client.println(toSend);
client.println("Host: docs.google.com");
client.println();
client.stop();
Serial.println("Dados enviados.");
}
else
{
    Serial.println("Erro ao se conectar");
}

if (client.connect("docs.google.com", 443) == 1)
{
    String toSend = textFix2;
    toSend += cm2-2;
    toSend += "&submit=Submit HTTP/1.1";

    client.println(toSend);
    client.println("Host: docs.google.com");
    client.println();
    client.stop();
    Serial.println("Dados enviados.");
}
else
{
    Serial.println("Erro ao se conectar");
}
```

```
if (client.connect("docs.google.com", 443) == 1)
{
    String toSend = textFix3;
    toSend += cm3-3;
    toSend += "&submit=Submit HTTP/1.1";

    client.println(toSend);
    client.println("Host: docs.google.com");
    client.println();//-
    client.stop();
    Serial.println("Dados enviados.");
}
else
{
    Serial.println("Erro ao se conectar");
}

}

long microsecondsToInches(long microseconds)
{
    return microseconds / 74 / 2;
}

long microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
    return microseconds / 29 / 2;
}
```