

# SISTEMA EMBARCADO PARA MEDIÇÃO DO VOLUME DE AREIA EM SILOS

## EMBEDDED SYSTEMS FOR MEASURING SAND VOLUME IN SILOS

Anderson Nicodemos dos Reis\*  
Giuliano Lacerda Dall'Armellina\*\*

### RESUMO

A pesquisa tem como objetivo utilizar um sistema embarcado como ferramenta para medir o volume e a massa do volume contido em um silo, neste caso foi utilizado um protótipo para simular as situações que ocorrem no dia a dia de uma mineração, e assim comprovar sua eficiência para a indústria. Este tema foi escolhido pelo fato da indústria, principalmente o ramo da mineração, ter uma carência de tecnologias deste tipo, esse cenário favorece a pesquisa, pois não existe muito conteúdo desse tipo, principalmente com o propósito de avaliar a eficiência de sistemas embarcados na medição do volume de areia em silos. Foram realizadas algumas medições para comprovar os objetivos deste trabalho, comparando com a taxa de erro de um dos autores que foram utilizados como referência, segundo os cálculos realizados a taxa de erro encontrada com a medição de quantidade em gramas, foi menor que a encontrada no trabalho que foi comparado, desta forma a pesquisa comprovou a eficácia de um sistema embarcado na medição de areia de um silo e também comprovou a vantagem que este tipo de tecnologia pode oferecer para a mineração, pois os resultados encontrados estão bem próximos do esperado.

**Palavras-chave:** Sistemas embarcados. Sensor ultrassônico. Volume. Silos.

### ABSTRACT

The research aims to use an embedded system as a tool to measure the volume and mass of the volume contained in a silo, in this case a prototype was used to simulate the situations that occur in the daily life of a mining, and thus prove its efficiency for the industry. This theme was chosen because the industry, especially the mining industry, has a lack of technologies of this type, this scenario favors research, as there is not much content of this type, with the purpose of assessing the efficiency of embedded systems in volume measurement. of sand in silos. Some measurements were made to prove the objectives of this work, comparing with the error rate of one of the authors that were used as a reference, according to the calculations performed, the error rate found with the measurement of quantity in grams, was lower than that found in work that was compared, in this way the research proved the effectiveness of an embedded system in the measurement of sand in a silo and also proved the advantage that this type of technology can offer for mining, as the results found are very close to the expected.

**Keywords:** Embedded systems, Sensor ultrasonic. Volume. Silos.

---

\* Graduação em Ciência da Computação da Faculdade de Tecnologia, Ciências e Educação (FATECE). [anderson97reis@gmail.com](mailto:anderson97reis@gmail.com)

\*\* Mestre em Ciências (Engenharia Elétrica – Tecnologia da Informação), Professor da Faculdade de Tecnologia em Ciências e Educação (FATECE). Orientador do trabalho de conclusão de curso. [giulianold@hotmail.com](mailto:giulianold@hotmail.com)

## **Introdução**

O mundo passou por várias revoluções desde o início dos tempos, não poderia ser diferente com a indústria, foram três grandes revoluções antes dessa que presenciamos. Os avanços da tecnologia trazem para as empresas, soluções de problemas antes vistos como impossíveis de serem solucionados de forma tão simples, como ocorre atualmente. O surgimento de novas tecnologias dentro da indústria vem trazendo cada vez mais confiabilidade aos processos e reduzindo a possibilidade da falha humana, com a necessidade de as empresas terem dados mais precisos.

As empresas estão investindo na automatização de processos através de sistemas embarcados, com a diminuição dos componentes ao longo dos anos torna economicamente viável para as empresas. Empresas de pequeno, médio e grande porte possuem necessidades específicas e estão em busca de se atualizar para que não sejam ultrapassadas por outras empresas.

Os avanços na miniaturização de componentes e na sua capacidade de processamento permitem o desenvolvimento de robustos sistemas embarcados, oportunizando incorporar no processamento industrial técnicas computacionais como processamento de imagens, bem como integrar padrões de comunicação de dados que visam facilitar o fluxo das informações nos processos de produção [...] (RODRIGUES *et al.*, 2013, p. 1).

Os sistemas embarcados têm contribuído muito para a resolução de problemas, aumentando a eficiência, reduzindo tempo e custo envolvidos em alguns processos, seu custo benefício dos sistemas embarcados é considerável tornando assim a detentora da tecnologia mais competitiva no mercado.

No setor de mineração existem muitas oportunidades de aplicações dos sistemas embarcados, uma infinidade de dados de podem ser coletados explorados que podem contribuir para a melhoria de produtos e processos. Um problema muito encontrado atualmente é a forma que se estima o volume exato de produto contido em silos, o problema se torna maior quando o assunto se trata de produtos sólidos, como por exemplo soja, milho ou areia.

A necessidade de dados mais precisos, principalmente na medição de estoque e procura das empresas por tecnologias que otimizem os processos, se torna fator motivador dessa pesquisa, a qual busca responder a seguinte pergunta: é possível verificar a quantidade em estoque contido no silo utilizando sistemas embarcados?

Nesse contexto, os objetivos desta pesquisa são avaliar as vantagens dos sistemas embarcados na indústria e investigar a eficiência da utilização de uma aplicação de um sistema embarcado para realizar a medição do volume de minério em um silo.

Nesta pesquisa irei citar o caso da mineração em que trabalho, mas pode se aplicar em quaisquer outros setores da indústria.

A mineração extrai a matéria prima da lavra e transporta a usina para passar por um processo de industrialização onde o minério é beneficiado, após o beneficiamento do minério ele pode ser lavado ou passa por um secador. O produto úmido é utilizado para argamassa e o produto seco é utilizado para a fabricação de vidros em geral, desde garrafas e vidros para janelas, carros, taças. Após o processo de industrialização o produto é estocado de diferentes formas, o produto úmido é estocado em bicas e o seco em silos.

Todo mês os responsáveis pelos setores realizam um inventário dos estoques, para o produto úmido um drone é responsável pela captação dos dados para estimar volume de estoque, com o produto seco contido nos silos não tem um valor exato, pelo fato do volume ser estimado.

Como se trata de estoque do produto é de suma importância que os dados do volume em estoque sejam os mais exatos possíveis, devido os cálculos do custo do produto serem baseados na quantidade por tonelada.

Em alguns casos pode ocorrer da quantidade estimada seja maior do que o volume real e isso só vai ser notado no momento do carregamento, geralmente a quantidade vendida precisa ser o mais próximo possível da quantidade entregue pois os clientes já tem na fórmula a quantidade que utilizam do minério e caso falte o minério pode atrasar a produção do cliente, fazendo com que o cliente procure outra mineração para suprir as necessidades.

Para evitar a perda de clientes e prejuízo financeiros o intuito da pesquisa a partir protótipo de um sistema embarcado e seus sensores medir o volume contido dentro dos silos, visando uma acurácia maior do que a atual na medição do volume.

## **Referencial teórico**

A busca por inovação está impulsionando o crescimento das indústrias, o investimento em novas tecnologias torna mais competitivas. Atualmente a empresa que se abstém de inovação está ficando para trás, é inevitável que essas empresas sejam massacradas pela concorrência.

A indústria 4.0 é representada por inovações que vão aumentar a eficiência nos processos e ajudam a evidenciar o diferencial das organizações. Os sistemas inteligentes contribuem para os processos tornando-os mais robustos e seguros, desta forma reduzindo custos relacionados a falhas (DEZOT 2017 *apud* NASCIMENTO; MUNIZ JUNIOR, 2017, p. 1).

Para o setor da indústria é muito importante que haja inovação, somente assim é possível reduzir o número de erros cometidos nos processos, elevando cada vez mais a qualidade do processo e dos produtos. A inovação contribui para o setor da indústria simplificando os problemas existentes. Na indústria existem muitos problemas que os sistemas inteligentes podem resolver de forma ágil, diminuindo assim o tempo e proporcionalmente aumentando a eficiência.

Os princípios da indústria 4.0 podem ser classificados como:

- a) Interoperabilidade: a habilidade dos sistemas físicos-cibernéticos, dos humanos e das fábricas de se conectarem e comunicarem entre si através da Internet das coisas e Computação em Nuvem;
- b) Virtualização: uma cópia virtual das Fábricas Inteligentes é criada por sensores de dados interconectados com modelos de plantas virtuais e modelos de simulação, criando um sistema de supervisão completo para monitorar os processos físicos;
- c) Descentralização: a característica dos sistemas físico-cibernéticos das Fábricas de tomarem decisões sem interferência humana;
- d) Capacidade em Tempo Real: a capacidade de fazer análise e coleta de dados e devolver o resultado imediatamente;
- e) Orientação a Serviço: desenvolvimento dos serviços através da Computação em Nuvem;
- f) Modularidade: adaptação das Fábricas para requisitos mutáveis através da reposição ou expansão de módulos individuais (OLIVEIRA, 2019, p. 13).

Os princípios levantados por Oliveira (2019) são fundamentais para que a aplicação da indústria 4.0, cada um dos princípios possui conceitos de ferramentas utilizadas na atualidade em vários outros setores, todos esses itens vão agregar no desenvolvimento de ferramentas para a aplicação desejada devido uma possível economia que pode ocorrer com a aplicação dos princípios.

Com a coleta dos dados a capacidade em tempo real torna possível uma tomada de decisão mais rápida e precisa para que determinada ação seja mais efetiva na prevenção de futuros problemas que podem ocorrer a qualquer momento, isso contribui muito para a redução de custo em vários setores da indústria, como no caso citado por Cardoso (2019) teria redução de custo para estoque e nos equipamentos em si.

De uma forma geral os autores citados explanam sobre os efeitos da tecnologia dentro da indústria (DEZOTO, 2017 *apud* NASCIMENTO; JUNIOR, 2017) chama a

atenção para a contribuição dos sistemas inteligentes enquanto Cardoso (2017) apresenta um exemplo da aplicação diretamente na indústria. Ambos concordam que a tecnologia visa a prevenção de erros e conseqüentemente na redução de custos.

Os sistemas embarcados têm uma importância fundamental na atualidade, a partir deles é possível monitorar, automatizar qualquer processo que atualmente em algumas empresas é feito manualmente, o que gera um ganho enorme em agilidade no trabalho.

Os sensores componentes que são conectados nos sistemas embarcados para recolher dados do ambiente onde ele for inserido, os sensores podem ser divididos em digitais e analógicos, conforme a necessidade um pode ser mais efetivo do que o outro.

Todos esses dispositivos necessitam de uma forma de se conectar entre eles, nestes ambientes é fundamental a conexão sem fio por possibilitar várias aplicações dos dispositivos sem a necessidade da conexão cabeada, que facilita a comunicação entre o dispositivo e a interface criada para ele.

Em aplicações industriais os sistemas embarcados podem ser utilizados, por exemplo, no controle e no monitoramento das variáveis de ambiente de controles em malha fechada com realimentação em tempo real. Neste caso estes sistemas embarcados tendem a ser mais robustos quanto à sua estrutura física, contendo também placas dedicadas e múltiplos sensores de entrada e saída. Também podem estar presentes em dispositivos como os key loggers. Desta forma, cada vez mais investe-se na miniaturização e no poder de processamento dos sistemas embarcados (CHASE, 2013 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2013, p. 3).

Para estruturação dos sistemas de internet das coisas na indústria, são utilizados alguns componentes de hardware para compor inicialmente parte do funcionamento, que estabelecem a comunicação de sensores e atuadores instalados nas máquinas e equipamentos para a coleta de dados e controle dos movimentos e possíveis ajustes, enviando-os por uma conexão rápida e segura (BATISTA, 2018, p. 14).

Uma alternativa para construção de sistemas de monitoramento industrial de baixo custo é a utilização de redes sem fio, que apresentam significativas vantagens, incluindo maior flexibilidade, baixo custo e facilidade de instalação e manutenção [2]. Mais especificamente, as Redes de Sensores sem Fio (RSSF) apresentam ainda outras vantagens, como a capacidade de auto-organização e processamento local, aparecendo como uma plataforma promissora para a implementação de sistemas online e remotos de monitoramento e controle em ambientes industriais (GOMES *et al.*, 2014, p. 1).

Fica evidente que os sistemas embarcados são utilizados para controle ou monitoramento de variáveis do ambiente em tempo real. Faz parte de sua estrutura os sensores que coletam os dados e envia para outros sistemas que vão processar os dados. Um ponto que pode contribuir para a redução dos custos no desenvolvimento dos sistemas

embarcados é a utilização de redes sem fio, devido ter baixo custo e por ser fácil de se instalar e não necessita de mão de obra específica para configurar.

Cada situação tem a necessidade de um sensor específico para a coleta de determinado dado, para a medição de volume em depósitos ou silos podem ser utilizados sensores infravermelhos, mecânicos, ultrassônicos etc. Dependendo da aplicação deve ser utilizado um sensor específico por conta da variação das características do ambiente e do produto que será monitorado.

Conforme Suleiman *et al.* (2015) embora os métodos mecânicos e ultrassônicos sejam principalmente aplicados em nível de materiais sólidos que estão em forma de poeira, foi observado que capacitivo e óptico fornecem os melhores resultados na detecção do nível de fluídos.

Algumas das vantagens do sensor são listadas por Suleiman *et al.* (2015, p. 2, tradução nossa):

1. Em primeiro lugar, é por causa da sua velocidade. Ondas ultrassônicas viajam na velocidade do som que é 343 m/s, este tipo de velocidade não é muito rápida para MCU's em Atmega medir com precisão. Então praticamente vai demorar cerca de 20 ns (nanosegundos) para as frentes de onda refletirem de volta de uma superfície localizada a 3 m de distância.
2. As ondas ultrassônicas viajam mais estreitas, como feixe do que onda sonora normal. Isso realmente ajuda o sensor detectar os obstáculos que estão exatamente em linha com ele só.
3. As ondas ultrassônicas não são perigosas para os humanos.
4. Ultrassônico requer muito pouca complexidade para implementar o sucesso.

Conforme as citações acima os sensores ultrassônicos são mais indicados para medição de materiais sólidos em forma de poeira, por exemplo vários tipos de minérios como a areia. Para a mineração é um grande ganho com o monitoramento do volume contido nos silos para um melhor controle de seus estoques.

Após a coleta dos dados realizada através dos sensores é necessário que seja enviado para alguma interface para que o usuário final visualize os dados em um layout mais amigável.

A tecnologia Wi-Fi é uma solução de comunicação sem fio bastante popular, pois está presente nos mais diversos lugares, fazendo parte do cotidiano de casas, escritórios, indústrias, lojas comerciais e até espaços públicos das cidades. Segundo Santos (2016 *apud* BATISTA) “O Wi-Fi foi desenvolvido como uma alternativa ao padrão cabeado Ethernet, com pouca preocupação com dispositivos que possuem consumo energético limitado, como é o caso das aplicações para internet das coisas.” Contudo, o Wi-Fi possui algumas vantagens, como alcance de

conexão e vazão de dados, o que o torna adequado para navegação na Internet em dispositivos móveis, como smartphones e tablets. A principal desvantagem do Wi-Fi é o maior consumo de energia, quando comparado com outras tecnologias de comunicação sem fio (BATISTA, 2018).

De uma forma geral os sistemas embarcados têm proporcionado para as indústrias muitos benefícios, que vão desde o custo reduzido, o ganho em tempo em determinados casos, dados mais precisos e melhor gestão. Para a medição do volume é de suma importância a utilização do sensor ultrassônico que irá captar os dados e transmitir para uma interface que irá processar os dados e apresentar de forma amigável para o usuário final.

## **Métodos e Materiais**

A pesquisa é voltada para os sistemas embarcados utilizando sensores ultrassônicos, será desenvolvido um protótipo para a medição de volume de areia em um silo. Este projeto se baseia em um problema real que ocorre na mineração em que trabalho, a partir da escolha do problema foram pesquisados vários trabalhos semelhantes para a escolha dos materiais que serão utilizados no protótipo.

A elaboração da referência bibliográfica foi realizada pelo levantamento bibliográfico por meio de artigos científicos nas bases de dados da Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Scholar e também na base de dados da IEEE pela busca de palavras-chave, como: internet das coisas; internet da indústria das coisas, sensor ultrassônico e sistemas embarcados.

Os sensores farão a captação dos dados do nível do silo no protótipo e serão processados pelo microprocessador, utilizando conexão sem fio envia os dados para um display onde serão exibidos as informações do volume e massa.

- As ferramentas que serão utilizadas são:  
Dos itens relacionados a hardware serão utilizados: sensor ultrassônico, micro-controlador arduino UNO, jumpers, potenciômetro, display e protoboard;
- A linguagem utilizada será a linguagem C/C++ e algumas bibliotecas específica para o arduino, será utilizada a Arduino IDE para o desenvolvimento;
- Para a interface de usuário final será utilizado um display.
- Para a simulação de um silo será utilizado um copo medidor.

## **Arduino UNO**

Muito conhecido por ser uma plataforma de desenvolvimento de código aberto que possibilita o desenvolvimento de vários projetos para automatização.

A tensão de entrada é de 7 à 12v, fornece tensão de 5v ou 3.3v para alimentar os circuitos externos.

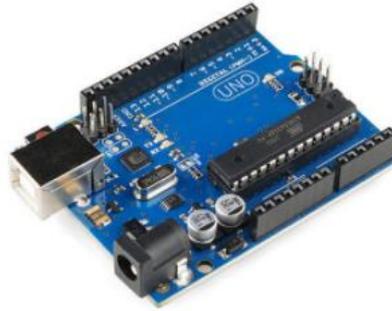


Imagem 1 - Arduino

## **Sensor ultrassônico**

Os sensores ultrassônicos são na grande maioria das vezes utilizados para verificar a distância entre dois pontos, ele utiliza ondas acústicas e ecos para verificar a distância até um objeto, essas ondas são emitidas batem atinge o objeto e voltam para o sensor, esse tipo de sensor é do tipo analógico. Segundo o fabricante Elec Freaks, fornece alcance de 2 cm até 400 cm, sua precisão é de 3mm, a tensão de alimentação é de 5V e a corrente máxima consumida é de 15mA.



Imagem 2 - Sensor ultrassônico

## **Linguagem C/C++**

A linguagem C é muito utilizada em projetos de sistemas embarcados por ser uma linguagem de alto nível, outra opção utilizada pelos desenvolvedores é o assembly uma linguagem a nível de máquina, essas duas linguagens têm vantagens sobre as outras por serem compiladas e não interpretadas como o java.

Linguagens como Java, que usam garbage collectors automáticos pioram ainda mais o controle do tempo de execução, uma vez que não podemos saber a priori quando o garbage collector entrará em execução e por quanto tempo. Além disso, o escalonamento das threads não pode ser definido pelo usuário (BARROS; CAVALCANTE, 2003, p. 12).

Conforme descrito o projeto utilizou linguagem C/C++ para o desenvolvimento do projeto, segue abaixo o algoritmo utilizado:

```
#include "LiquidCrystal.h"

const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
long duration;
float distanceCm;
float volumeCm, volumeOcupado;
float alturaTotal = 18.2;
float raioCirc = 7.5;
float areaCirc = 3.14 * (raioCirc * raioCirc);
float volumeTotal = alturaTotal * areaCirc;
float densidade = 1.99;
float massaG;

//primeira média das leituras
const int bufferSize1 = 16;
float ultraBuffer1[bufferSize1];
int bufferIndex1 = 0;
int bufferLength1 = 0;
float mediaUltra1 = 0;

//faz a média da média da leitura
const int bufferSize2 = 4;
float ultraBuffer2[bufferSize2];
```

```
int bufferIndex2 = 0;
int bufferLength2 = 0;
float mediaUltra2 = 0;

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void DisplayProcedure(){
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Massa: ");
  lcd.print(massaG);
  lcd.print("cm");
  delay(10);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Volume: ");
  lcd.print(volumeOcupado);
  lcd.print("cm3");
  lcd.display();
  delay(10);
  if (distanceCm <= 0) {
    tone(11, 400, 100);
  }
  else {
    noTone(11);
  }
}

void loop() {
  UltrasonicProcedure();

  DisplayProcedure();
}
```

```
    delay(500);
}
void UltrasonicProcedure(){
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distanceCm = duration * 0.034 / 2;
    media1();
    media2();
}
volumeCm = mediaUltra2 * areaCirc;
volumeOcupado = volumeTotal - volumeCm; //volume de areia
massaG = volumeOcupado * densidade;
}

void media1(){
    ultraBuffer1[bufferIndex1] = distanceCm;

    if(bufferLength1 < bufferSize1) {
        bufferLength1++;
    }
    if(bufferIndex1 >= bufferSize1) {
        bufferIndex1 = 0;
    }else{
        bufferIndex1++;
    }
    mediaUltra1 = media(&ultraBuffer1[0],bufferLength1);
}

void media2(){
    ultraBuffer2[bufferIndex2] = media(&ultraBuffer1[0], bufferLength1);
```

```
mediaUltra2 = media(&ultraBuffer2[0], bufferLength2);
if(bufferLength2 < bufferSize2) {
    bufferLength2++;
}
bufferIndex2 = bufferIndex2 >= bufferSize2 ? 0 : bufferIndex2 + 1;// bufferIndex2
recebe o valor resultante da condição (bufferIndex2 >= bufferSize2) se a condição for
verdadeira ele recebe 0, se não ele recebe bufferIndex2+1
}

float media(float *bufferUltra, int bufferLength){
    float media = 0;

    for(int i=0;i<=bufferLength; i++) {
        media += bufferUltra[i];
    }

    return media / bufferLength;
}
```

### **Arduino IDE**

A Arduino IDE é o ambiente de desenvolvimento, nesse ambiente de desenvolvimento é possível utilizar as linguagens C e C++, é compatível com outras placas de vários fornecedores.

É através desse ambiente de desenvolvimento que o código é escrito e feito o upload para a placa, esse ambiente de desenvolvimento roda nos principais sistemas operacionais, o que torna popular essa plataforma.

### **Display**

Neste projeto será utilizado um display LCD 16x2 Backlight azul para exibir as informações ao usuário.



Imagem 3 - Display

### **Copo medidor**

Para simular um silo foi utilizado um copo para armazenar a areia que será medida.



Imagem 4 - Copo medidor

### **Balança**

Foi utilizado neste projeto uma balança de cozinha para verificar o peso real que está contido no copo medidor e assim comparar com a estimativa apresentada pelo sistema embarcado.



Imagem 5 - Balança

### **Potenciômetro**

Para regular a tensão que o display receberá, dessa forma regulando também o contraste do display, este potenciômetro tem resistência de 10k $\Omega$



Imagem 6 - Potenciômetro

### Resultados e discussão

Para demonstrar os resultados para esta pesquisa foi desenvolvido um protótipo utilizando o datasheet dos componentes e do arduíno para garantir o perfeito funcionamento do protótipo, como não foi possível realizar o experimento em escala real foram utilizados dispositivos inferiores e menos precisos para a medição do volume de um silo.

Neste experimento foi utilizado um sensor ultrassônico HC-SR04 para captar o volume a partir das ondas ultrassônicas, o sensor emite ondas ultrassônicas que são refletidas ao colidirem com um objeto e retornam para o receptor, o sensor calcula a distância a partir de uma equação.

$$\text{Distância} = (\text{Tempo de envio do echo} * \text{velocidade do som}) / 2$$

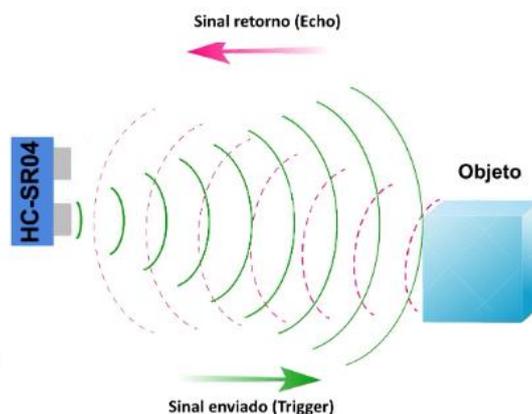


Imagem 7 - Exemplo funcionamento sensor

O tempo é calculado pelo envio e retorno do Trigger, o valor de saída é em microsegundos, a velocidade do som é de 343 m/s então para o projeto converti a velocidade do som para centímetros por microsegundos, ficando assim 0,034 cm/ $\mu$ s.

Para chegar ao volume da areia no recipiente e a massa do volume, foi necessário utilizar a fórmula de volume do cilindro ( $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ ), o raio do recipiente e a altura do

recipiente foram definidos como uma constante devido ao seu valor não ser alterado durante a execução do código. São calculados os volumes do recipiente e do espaço não ocupado pela areia, assim é possível encontrar o volume da areia a partir da subtração do volume total do recipiente com o volume da parte vazia do recipiente.

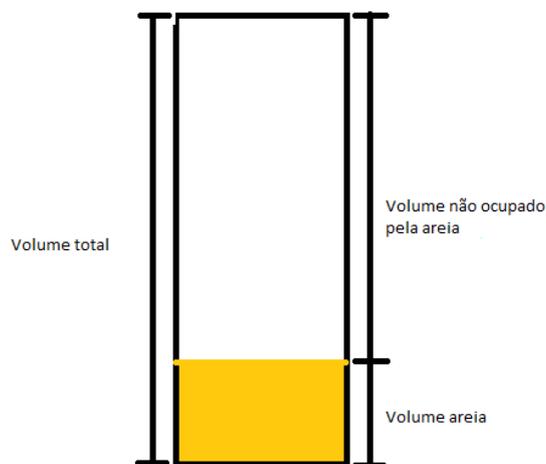


Imagem 8 - Exemplo cálculo volume do recipiente

### **Volume areia = volume total - volume não ocupado pela areia**

Durante os testes encontrei algumas dificuldades para estabilizar as leituras do sensor ultrassônico, foi necessário aplicar alguns buffers para filtrar algumas interferências que estavam causando instabilidade nas leituras. Foram criados dois filtros que armazenam em um vetor dezesseis leituras do sensor e depois faz uma média dessas leituras, o segundo filtro armazena o valor de quatro médias realizadas pelo primeiro filtro e faz uma nova média, desta forma foi possível estabilizar os valores que eram exibidos no display.

Para que os dados fossem mais próximos o possível ao peso real da areia no recipiente, foi necessário alterar o valor da medida do recipiente em inteiro valor para evitar a variação dos resultados, devido a oscilação que ocorreu durante os testes quando foi utilizado um valor real para o cálculo da distância.

Para análise dos dados foram realizadas nove medições com quantidades diferentes para acompanhar a diferença estimada entre as medições.

Tabela 1 - Tabela de comparação de resultados

Nº Medição	Volume (cm <sup>3</sup> ) Estimado	Peso estimado(g)	Peso real (g)	erro (g)
1	50,24	99,98	100	-0,02
2	100,48	199,96	200	-0,04
3	150,72	299,93	300	-0,07
4	200,96	399,91	400	-0,09
5	251,20	499,89	500	-0,11
6	301,44	599,87	600	-0,13
7	351,68	699,84	700	-0,16
8	401,92	799,82	800	-0,18
9	452,16	899,80	900	-0,20

Assim como no trabalho de Suleiman M e col. (2015) utilizei o cálculo de taxa de erro das medições para analisar melhor os resultados obtidos através do sensor ultrassônico.

$$\%erro = [(Pesoestimado - Pesoreal)/Peso real] * 100$$

$$\%Erro = \frac{[(99,98+199,96+299,93+399,91+499,89+599,87+699,84+799,82+899,80) - (100+200+300+400+500+600+700+800+900)]}{(100+200+300+400+500+600+700+800+900)} * 100$$

$$\%Erro = [(4499-4500)/4500]*100$$

$$\%Erro = [-1/4500]*100$$

$$\%Erro = -2,2222*100$$

$$\%Erro = -0,0222*(-1)$$

$$\%Erro = 0,0222$$

Após os testes foi possível notar uma pequena diferença entre as medições . Deve ser levado em consideração que foi feito apenas um protótipo onde o material utilizado tem umidade e granulometria diferente do utilizado em situações reais.

O sensor ultrassônico utilizado de baixo custo para o protótipo, influenciou na leitura das medidas, para o projeto em escala real seria utilizado mais sensores para obter dados mais precisos. No projeto real seria utilizado sensores mais robustos, além disso seria necessário dividir o silo em quadrantes, e em cada quadrante inserir um sensor ultrassônico, semelhante a figura abaixo, onde os sensores são representados pelos retângulos vermelhos, desta forma seriam mais precisos os dados coletados.

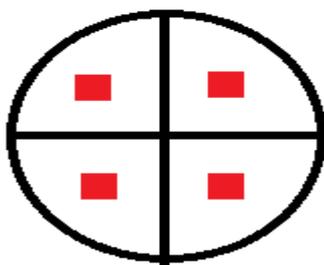


Imagem 9 - Exemplo silo dividido em quadrantes

A maior dificuldade deste projeto foi a estabilização das leituras de distância do sensor, foi necessário utilizar a variável distância do tipo inteiro para que não variasse tanto a medida fornecida pelo sensor, pois quando a distância foi definido com casas decimais o sensor estava variando muito e tornando os dados pouco confiáveis.

De forma geral, esta pesquisa é significativa para a mineração, pois é uma área carente de tecnologia, quando existe uma ferramenta para utilizar na mineração ela têm valores bem altos e acabam inviabilizando a melhoria dos processos na mineração.

O trabalho de Suleiman *et al.* (2015) o sensor ultrassônico foi utilizado para foi utilizada para medição de nível de um líquido em um tanque, a taxa de erro foi de 0,9696.

A pesquisa foi direcionada a um material diferente do que foi proposto no cenário desta pesquisa, o sistema para a medição volume e massa mostrou estimativas mais próximas da realidade com uma taxa de erro de 0,0222. Uma razão para ter resultados mais próximos nas medições é o material, o tipo de material pode gerar interferência nos dados coletados pelo ultrassônico, outro fator que pode gerar a interferência na precisão dos dados é a temperatura que na pesquisa de Suleiman *et al.* (2015), o sensor foi exposto a temperatura de 25 graus, de acordo com o autor aumentou o erro da medição.

O esperado para esta pesquisa eram resultados bem próximos ou até exatos que poderiam proporcionar maior confiabilidade no processo de medição de estoque, os

resultados apresentados foram satisfatórios, porém se trata de um protótipo e em proporções maiores pode ocorrer uma diferença maior do que a encontrada nos testes.

Para uma próxima pesquisa seria interessante avaliar a utilização de outro sensor, como por exemplo um sensor infravermelho, este sensor pode ter menos variações de resultado em relação ao sensor ultrassônico. No caso de um sensor ultrassônico muitos fatores podem influenciar nos resultados, como por exemplo temperatura, ruídos externos e umidade, com a utilização de um infravermelho a tendência é que esses fatores não interfiram nos resultados da mesma maneira.

### **Protótipo**

Para comprovar os objetivos deste artigo foi necessária a criação de um protótipo com algumas condições semelhantes à um caso real.

Nesta primeira imagem o sensor aponta que o recipiente está vazio.



Imagem 10 - Leitura do recipiente vazio.

A primeira medição foi realizada com 100g de areia.

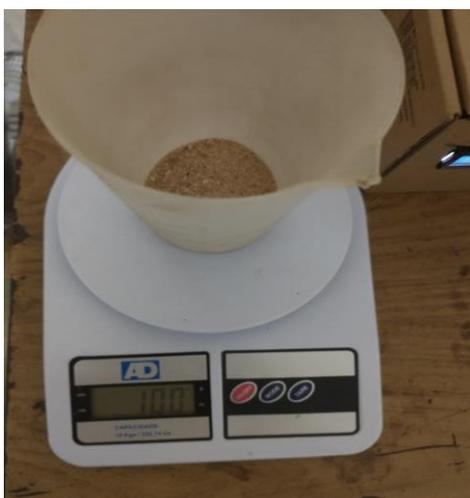


Imagem 11 - Peso balança 100g

A leitura do sensor foi de 99,98 gramas, muito próximo do valor de 100 gramas.



Imagem 12 - Leitura sensor 99,98g.

A próxima medição foi realizada com 200 gramas.



Imagem 13 - Peso balança 200g

O sensor apontou uma quantidade de 199,96 gramas.



Imagem 14 - Leitura sensor 199,96g.

A próxima pesagem foi de 300 gramas.



Imagem 15 - Peso balança 300g.

O valor calculado foi de 299,93 gramas.

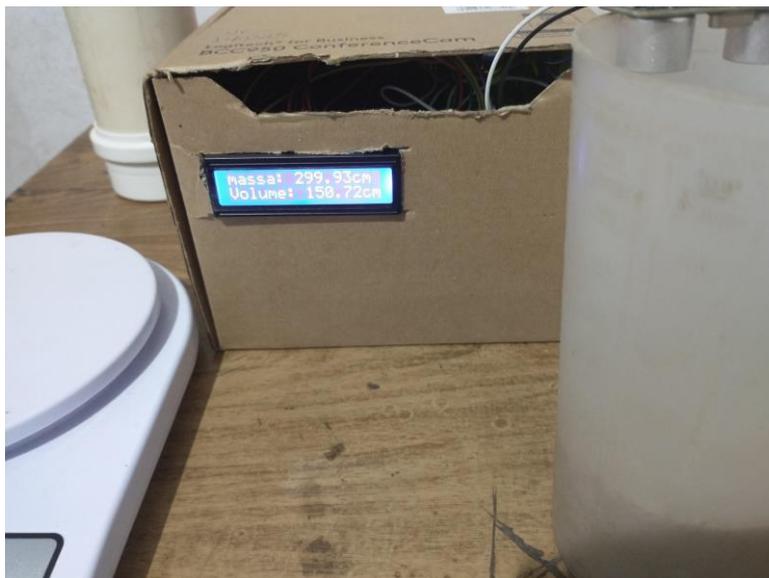


Imagem 16 - Leitura sensor 299,93g.

Após a medição anterior foram feitas leituras com 400, 500, 600, 700, 800 e 900 gramas, todas muito próximas dos resultados desejados.

### **Considerações finais**

Quando iniciei o trabalho, tive a intenção de desenvolver um sistema embarcado para medir o volume contido em silos, para provar a vantagem deste tipo de aplicação. No entanto, durante o desenrolar do projeto percebi que poderia obter mais informações a partir dos dados fornecidos pelo sensor, para ser preciso nas informações fornecendo além do volume, também fornecer a massa do material contido no recipiente.

O objetivo geral proposto para este projeto foi analisar a aplicação de sistemas embarcados na medição de volume de areia em silo, a partir disso, foi possível desenvolver uma ferramenta que mede o volume do material que está no silo e a massa, desta forma acredito que o objetivo geral foi atingido.

Ao avaliar a taxa de erro das medições apresentadas, foi possível responder os objetivos específicos, com uma taxa de erro igual a 0,0222 exibe a maior vantagem desse sistema, a eficiência nas medições, quanto mais preciso é a estimativa, melhor é o controle sobre o material armazenado no silo.

Automaticamente ao responder um objetivo o outro também foi respondido, pelo fato da eficiência nas medições ser uma grande vantagem para a indústria.

Durante o desenvolvimento da pesquisa foi possível responder a pergunta de pesquisa feita no início, é possível verificar a quantidade em estoque contido no silo utilizando sistemas embarcados? Sim, foi possível utilizar um sistema embarcado para medir a quantidade de areia armazenada em silo, embora representado em um protótipo a solução pode ser aplicada em escalas maiores e com outros produtos sólidos.

Para responder os objetivos e as perguntas feitas no início, os dados da pesquisa foram coletados através do experimento com um protótipo, onde foram realizadas medições que comprovaram a eficácia mesmo não tendo cem por cento de precisão.

A maior dificuldade encontrada neste projeto foi controlar a interferência que ocorreu com o sensor ultrassônico quando a foi alterada de um valor inteiro para ponto flutuante, foi necessário aplicar alguns filtros mas mesmo assim os valores variaram muito, devido a essa imprecisão foi necessário retornar para o tipo inteiro a variável, para corrigir o problema.

Este trabalho contribui para a pesquisa na área de sistemas embarcados, principalmente para a pesquisa na mineração, pois se trata de uma área que precisa de alternativas para resolver os problemas existentes aplicando tecnologia embarcada.

## **Referências**

ATMEL, **Atmega328/P**. Disponível em:

<http://datasheets.electrogate.com/ATMEGA328P.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

BARROS, Edna; CAVALCANTE, Sérgio. **Introdução aos Sistemas Embarcados**.

Universidade Federal de Pernambuco, 2003 – UFPE. Disponível em:

<https://www.cin.ufpe.br/~vba/periodos/8th/s.e/aulas/STP%20-%20Intro%20Sist%20Embarcados.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

BATISTA, João Henrique. **Internet das coisas na indústria**. 2018. Disponível em:

<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/592/1/Internet%20das%20Coisas%20na%20Ind%3%bacteria.pdf>. Acesso em: 24 set, 2020.

CARDOSO, João Ricardo. **Novas Tecnologias Aplicadas a Sistemas de Produção**.

2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/165315>. Acesso em: 24 set. 2020.

ELEC FREAKS. **Ultrasonic Ranging Module HC - SR04**. Disponível em:

<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

GOMES, Ruan D.; ALENCAR, Marcelo S.; FONSECA, Iguatemi E.; LIMA FILHO, Abel C. Desafios de Redes de Sensores sem Fio Industriais. **Revista de Tecnologia da**

**Informação e Comunicação**, v. 4, n. 1, jul. 2014. Disponível em:  
<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/44/43>. Acesso em: 24 set. 2020.

GRÖNMAN, J.; RANTANEN, P.; SAARI, M; SILLBERG, P.; VIHervaara, J.  
Low-cost ultrasound measurement system for accurate detection of container utilization rate. *In: INTERNATIONAL CONVENTION ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY*, 41., ELECTRONICS AND MICROELECTRONICS (MIPRO), **Opatija**, 2018, p. 0878-0882, doi: 10.23919/MIPRO.2018.8400162.

NASCIMENTO, Luis de Oliveira; MUNIZ JUNIOR, Jorge. **Indústria 4.0 Transformação e Desafios para o Cenário Brasileiro**. 2017, Disponível em:  
<https://www2.unesp.br/portal#!/noticia/30617/artigo-industria-40/>. Acesso em: 22 set. 2020.

OLIVEIRA, Lucas Manuel Fonseca. **Indústria 4.0: conceitos e análise dos impactos**. 2019. Disponível em:  
[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2141/1/MONOGRAFIA\\_Industria4.0Conceitos.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2141/1/MONOGRAFIA_Industria4.0Conceitos.pdf). Acesso em: 24 set. 2020.

RODRIGUES, Evandro; PEDÓ, Ricardo; TEDESCO, Leonel Pablo. **Sistemas Embarcados e sua aplicação na indústria**. Disponível em:  
<https://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/wspi/article/view/10821>. Acesso em: 24 set. 2020.

SULEIMAN, M. *et al.* Ultrasonic fluid level measuring device. **International Journal of Recent Development in Engineering and Technology**, v. 4, may 2015. Special Issue 1. Disponível em:  
[http://www.makeitortakeit.in/documents/218/12.\\_Contactless\\_liquid\\_measurement\\_using\\_SONAR\\_waves.pdf](http://www.makeitortakeit.in/documents/218/12._Contactless_liquid_measurement_using_SONAR_waves.pdf) . Acesso em: 25 set. 2020.