



# SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE PRODUTOS ARMAZENADOS EM SILOS

**Gypson Dutra Junqueira Ayres  
José Wallace Barbosa do Nascimento  
Paulo Roberto Megna Francisco**

***SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO  
DE PRODUTOS ARMAZENADOS EM SILOS***

S6232 Sistema integrado de monitoramento de produtos armazenados em silos / Ayres et al.

— Campina Grande: EPTEC, 2021.  
81f.: il. color.

ISBN: 978-65-00-17281-2

1. Silos. 2. Sistema Supervisório. 3. Armazenamento e Construção Rural. 4. Monitoramento a Distância. 5. Automação - Blynk - IoT. I. Ayres, Gypson Dutra Junqueira. II. Nascimento, José Wallace Barbosa do. III. Francisco, Paulo Roberto Megna. V. Título.

CDU 630

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



**Créditos de Imagens da Capa**  
Gypson Dutra Junqueira Ayres

**Arte da Capa**  
Gypson Dutra Junqueira Ayres

**Editoração e Revisão**  
Paulo Roberto Megna Francisco

**Conselho Editorial**  
Djail Santos (CCA-UFPB)  
Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)  
George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)  
Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)  
João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)  
José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)  
Juarez Paz Pedroza (CTRN-UFCG)  
Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)  
Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)  
Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)  
Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)  
Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)  
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Gypson Dutra Junqueira Ayres  
José Wallace Barbosa do Nascimento  
Paulo Roberto Megna Francisco

# ***SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE PRODUTOS ARMAZENADOS EM SILOS***



1.a Edição  
Campina Grande-PB  
2021

## Realização



## Apoio



Universidade Federal  
de Campina Grande

## SUMÁRIO

<i>INTRODUÇÃO</i> .....	7
<i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i> .....	8
<i>Silos definições e conceitos</i> .....	8
Armazenamento para a avicultura.....	9
Fluxo de massa e sua variação com a geometria do silo.....	10
Propriedades de fluxo dos sólidos armazenáveis.....	11
Vazão mássica em silos.....	11
Modelos reduzidos.....	12
Termometria.....	12
Granulometria.....	13
Massa específica.....	14
<i>Indústria 4.0</i> .....	14
Internet das Coisas - IoT.....	15
Automação.....	16
Microcontroladores.....	17
Software supervisorio.....	18
<i>Sensores</i> .....	21
<i>Motor vibratório</i> .....	25
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....	27
<i>Materiais</i> .....	27
<i>Métodos</i> .....	27
Montagem e instrumentação do silo modelo reduzido.....	28
Instrumentação e calibração.....	29
Transmissão e recepção de dados dos sensores.....	36
Instalação de motor vibratório.....	37
Módulo microcontrolador de conexão.....	37
Programação do software supervisorio Arduino.....	38
Desenvolvimento da linguagem IoT.....	40
Sistema supervisorio Blynk®.....	40
Sistema Integrado de Monitoramento de Produtos Armazenados em Silos.....	41
Determinação das propriedades físicas.....	41

Ensaio de vazão mássica.....	44
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....	46
<i>Sistema integrado de monitoramento de produtos armazenados em silos</i> .....	46
Silo modelo reduzido.....	46
Dados de umidade .....	47
Dados de temperatura interna .....	48
Dados de gases .....	49
Dados de nível de grãos .....	50
Dados de carga .....	51
Motor vibratório.....	52
Aplicativo SimSilo .....	52
<i>Propriedades físicas do milho</i> .....	56
Granulometria .....	56
Teor de umidade.....	57
Dimensões .....	58
Massa específica .....	58
<i>Vazão mássica</i> .....	59
Volume do silo .....	59
Diâmetro de saída .....	59
Dimensionamento por Beverloo.....	60
Ensaio de vazão.....	60
<i>CONCLUSÃO</i> .....	64
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	65
<i>Curriculum dos Autores</i> .....	81

## INTRODUÇÃO

Silos são estruturas relatadas em textos antigos e ruínas arqueológicas na Grécia antiga no século VIII aC., demonstrando que, a prática de armazenagem de alimentos já era uma necessidade antiga, sendo que, o primeiro silo de madeira destinado ao armazenamento específico de grãos foi construído em 1873 por Fred Hatch em Illinois, EUA.

A agroindústria brasileira cresceu de forma acentuada, garantindo ao país o destaque mundial, como reflexo da produção. A atividade da avicultura depende, basicamente, do fornecimento de uma alimentação balanceada em todas as etapas de crescimento, para garantir uma boa conversão alimentar.

Dessa forma, é imprescindível toda atenção no processo de armazenagem e na expedição da ração nas fábricas, uma vez que, esses produtos apresentam diferentes propriedades que afetam de forma intrínseca, o comportamento durante o processamento e armazenamento. Os silos são utilizados em larga escala em fábricas de ração e nos aviários, por se tratar de estruturas que garantem, se bem projetadas, a qualidade do produto durante bom tempo, além de facilitar o processo de sua distribuição.

Nesse contexto, o controle de estoque que antes era feito de forma manual e com baixa precisão, necessitava de elevada mão de obra e demandava bastante tempo, na atualidade vem evoluindo e migrando para sistemas informatizados e inteligentes.

Dada a necessidade de um melhor monitoramento e controle de ambiência nos silos, inclusive de modo remoto, o conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things*– IoT), é uma solução promissora, possibilitando o monitoramento e gerenciamento remoto de tarefas. A IoT redefine a maneira como interagimos com o mundo físico e viabiliza formas através do uso de técnicas computacionais de empreender, fazer negócios, gerenciar infraestrutura pública e privada, prover segurança e organizar a vida das pessoas.

O conceito de IoT está inserido na era da Indústria 4.0 o qual teve início na indústria de automóveis na cidade alemã de Hannover, sendo difundida nas demais fábricas e segmentos ao redor do globo, devido à completa automatização dos processos vinculados a produção.

Esta pesquisa objetiva desenvolver um sistema de controle de estoque e de ambiência interna de silos verticais por meio de microcontrolador de baixo custo e diversos sensores, e um aplicativo para auxiliar o produtor na tomada de decisão gerencial de seu negócio.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Silos definições e conceitos

Silos são utilizados pela humanidade há milhares de anos com o objetivo de armazenar grãos. Os alimentos eram armazenados em épocas em que a produção era grande para serem utilizados em momentos em que a safra não era suficiente para abastecer toda a população (ANDRADE, 2016).

A palavra silo em grego, *siros* (σίρος), significa receptáculo ou cova para a armazenagem dos cereais, na qual trata-se de uma estrutura cilíndrica constituída de concreto, alvenaria ou chapas metálicas (BADIALE & SÁLES, 1999).

Freitas (2001), define silo como sendo um termo genérico indicado para designar toda e qualquer construção cuja finalidade seja de armazenar produtos granulares ou pulverulentos, podendo o mesmo ser equipado com dispositivos de carregamento, e que seja capaz de ser esvaziado por gravidade, preferencialmente, ou através de meios mecânicos ou pneumáticos.

Batista (2009) comenta que, os silos recebem diversas denominações, internacionalmente, as mais comuns são *bins* e *bunkers* cujas definições se apresentam bastante confusas e variadas de acordo com o país ou autor que as utilize. O mesmo afirma que, não existe entre grande parte dos pesquisadores perfeita concordância sobre os parâmetros definidores de classificação de silos, podendo ser discriminados de acordo com sua geometria, tipo de fluxo desenvolvido no processo de descarregamento, geometria do fluxo e tipo de fundo.

Conforme Mendes e Alamini (2018), o seu objetivo é armazenar e conservar os produtos contidos no mesmo, como, grãos, sementes, cereais e forragens. De acordo com Pozo (2010), armazenagem é um método de gerenciamento do espaço necessário para manter o material estocado.

Por situarem-se em zonas abertas, grande parte dos problemas nos grãos armazenados são, na maioria, causadas pela umidade, temperatura, animais (como insetos, roedores, pássaros) e fungos (SANTOS, 2018). Contudo, a umidade constitui um dos fatores mais importantes dos grãos armazenados nos silos, sendo o mais difícil de controlar, devido ao fato dos grãos possuem uma enorme potencialidade, tanto para absorver quanto para ceder água, causando interferência na temperatura, podendo causar aquecimentos locais e até mesmo em todo o silo.

Silva (2005) afirma que, em uma armazenagem eficiente, procura-se manter o silo com um teor de umidade baixo, normalmente entre 10 a 13%, caso o teor de umidade estiver alto, torna-se propício para o desenvolvimento de fungos, insetos, entre outras pragas. Para combater esses problemas naturais que afetam os grãos armazenados, os silos possuem algumas tecnologias, como, secagem e aeração.

O armazenamento bem-sucedido de grãos depende do controle das variáveis físicas, químicas e biológicas de fontes externas e internas. Uma das principais variáveis a ser controlada é a temperatura, que por falta do controle pode facilitar condições para que variáveis biológicas externas (fungos, bactérias, insetos entre outros) se instalem dentro do mesmo. Outro fator causado pela elevação da temperatura é o aumento da taxa de respiração do grão, fazendo com que se deteriore e libere CO<sub>2</sub> dentro do silo (FARONI, 1998).

De acordo com Lopes Neto et al. (2008), sabe-se que as fábricas de ração possuem forte tendência à arquitetura vertical devido à carência de maior facilidade e rapidez nas etapas de produção interna. A ração avícola possui, em sua composição, teores energéticos e proteicos significativos, que lhe são adicionados por meio de óleos ou produtos oleaginosos que, por sua

vez, proporcionam sérios problemas durante o processo de descarga dos silos (NÓBREGA & NASCIMENTO, 2005).

## **Armazenamento para a avicultura**

Todo e qualquer material requer um procedimento adequado para seu armazenamento ou estocagem. Materiais granulares são usualmente estocados em silos os quais são estruturas de armazenagem de grãos reconhecidamente importantes nas mais diversas áreas (SILVA & BERNARDES, 2016).

O êxito na avicultura depende basicamente, do fornecimento de uma alimentação balanceada ao frango, em todas as etapas de crescimento, para garantir uma boa conversão alimentar (NASCIMENTO, 1996). Os silos são utilizados em larga escala em fábricas de ração, por se tratar de estruturas que garantem, se bem projetadas, a qualidade do produto durante bom tempo, e além de facilitar o processo de sua distribuição (NÓBREGA & NASCIMENTO, 2005).

Armazenamento em silos ou em armazéns equipados com sistemas eficientes para manutenção da qualidade dos grãos, como recursos de termometria, são as formas mais empregadas por cooperativas, agroindústrias e grandes produtores. Se bem dimensionados e manejados corretamente, esses sistemas podem ser empregados também por médios e pequenos produtores (ELIAS, 2003).

A armazenagem de ração constitui recurso de grande importância para empresas de processamento de produtos agrícolas e produtores de frango. Do ponto de vista econômico, é justamente sobre o fator alimentação que recai a maior parcela dos significativos ônus da produção avícola, fazendo com que os benefícios finais da criação sejam sensíveis, conforme variem a eficiência das rações utilizadas e, mais especificamente, os seus custos de produção; a vista disso, existe a preocupação das fábricas de ração em melhorarem o processo de industrialização desses produtos, adotando ou introduzindo tecnologia de fabricação ou construção de silos, cujo objetivo é utilizar o máximo da potencialidade dessas matérias-primas (BANDEIRA et al., 1999).

Atualmente é indiscutível a necessidade do controle da presença de microrganismos nas rações de aves, devido principalmente às mudanças recentes nas questões de regulamentações de segurança dos alimentos e o aumento das exigências dos consumidores. Também, a presença desses microrganismos em rações de aves deve ser considerada no que diz respeito à biossegurança dos próprios lotes e o desempenho dos animais (RICHARDSON & LONGO, 2008).

De acordo como Longo (2010), têm sido destacadas comprovações da relação entre a presença de microrganismos na ração e conseqüentemente nos animais, como em frangos de corte (WIERUP et al., 1988; DAVIES et al., 2001), perus (PRIMM, 1999; NAYAK et al., 2003). Existe uma relação de altos níveis de contaminação por bactérias em rações com perdas de produtividade em aves (TABIB et al., 1981); e o próprio reconhecimento da ração de aves como um vetor de bactérias como a Salmonella para os alimentos (CORRY et al., 2002; SHIROTA et al., 2001, SHIROTA et al., 2002; BASTIANELLI & LE BAS, 2002).

De acordo com Silva (2000), os principais fatores que interferem na qualidade dos grãos durante a armazenagem são a temperatura e o teor de água dos mesmos, estando relacionados com a respiração do produto e a presença de microrganismos.

Para Oliveira et al. (2007) sobre grãos, os autores alertam que durante o armazenamento em silos, os grãos ficam sujeitos às alterações da temperatura ambiente, que aliadas ao teor de água dos grãos, influem diretamente na ocorrência de insetos e microrganismos.

## Fluxo de massa e sua variação com a geometria do silo

Lopes Neto (2005), afirma que o tipo de fluxo desenvolvido por um sólido está intimamente relacionado às características geométricas do silo, podendo, conforme Calil Junior (1990), caracterizar o descarregamento do produto, o tipo de segregação, a formação ou não de zonas de estagnação de movimento, e se o silo pode ser esvaziado completamente. A forma como um produto escoar por gravidade em um silo é restringido, por um lado, pelas próprias propriedades físicas do produto e, por outro, pela geometria e estrutura da superfície de contato (atrito com a parede) da tremonha.

Jenike (1964), define que existem dois modelos básicos de fluxo assim definidos:

- Fluxo de funil: aquele ao qual apenas parte do produto entra em movimento através de um canal vertical (efeito tubo) formado no interior do silo. O fluxo de funil tende a ocorrer quando as paredes da tremonha são rugosas e seu ângulo de inclinação com a vertical é elevado (Figura 1);

- Fluxo de massa: aquele em que o produto entra substancialmente em movimento em todas as partes do silo no momento do processo de descarregamento ocorrendo quando as paredes da tremonha são suficientemente inclinadas e lisas e não existem abruptas transições (Figura 1).

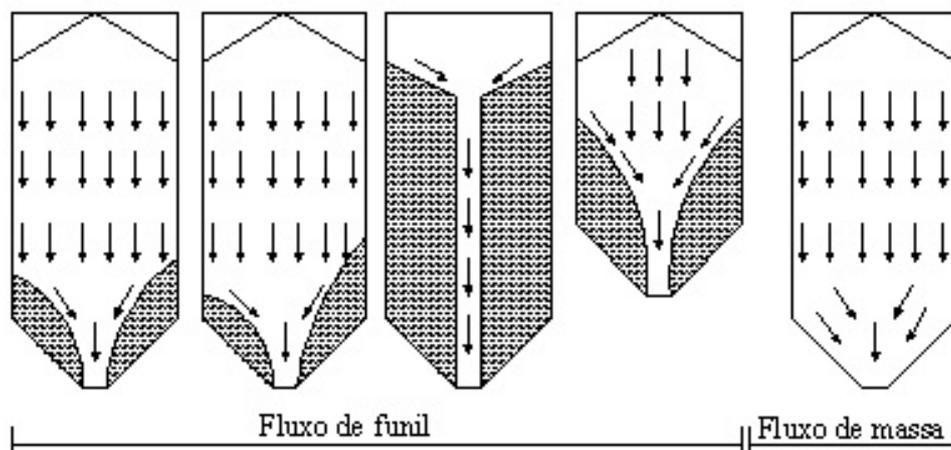


Figura 1. Modelos básicos de fluxo de produtos sólidos.

Fonte: DIN 1055 (1987).

Para Nóbrega e Nascimento (2005) o fluxo em silos pode ocorrer de duas formas: por fluxo de funil, em que, durante a descarga, o material tende a formar um canal até o orifício de descarga, com zonas estáticas e o fluxo de massa, no qual o produto fluirá e não existirão zonas estáticas (JENIKE, 1964; OOI et al., 1998; ZHONG et al., 2001).

Conforme Nascimento (1996), os tipos de silos para produtos granulares normalmente não apresentam problemas com relação ao fluxo.

Outra característica que pode proporcionar problemas de fluxo, é o fato de que a razão, dentro da escala granulométrica, seja um produto pulverulento e, algumas vezes, coesivo, o que exige, dos projetistas, cuidados especiais no dimensionamento de silos que evitem a formação de arcos coesivos e tubos (NÓBREGA & NASCIMENTO, 2005).

O estudo do comportamento do fluxo de um sólido é essencial para identificar problemas durante a descarga, como por exemplo: descarga incompleta, efeito tubo e formação de arco coesivo. Além disso é de fundamental importância para subsidiar o projeto estrutural e o tipo

de fluxo em silos. Torna-se então necessário caracterizar as propriedades de fluxo para se evitar problema de interrupção durante o descarregamento dos sólidos (BATISTA, 2009).

### Propriedades de fluxo dos sólidos armazenáveis

O conhecimento das propriedades físicas e de fluxo dos produtos é de extrema importância no que se refere ao seu manuseio e processamento (LOPES NETO et al., 2007). As características dos sólidos apresentam grande influência nas pressões exercidas nas paredes e fundo de um silo assim como no modelo de fluxo ocorrente, entretanto, pouco se conhece sobre as reais propriedades influentes e seus valores (LOPES NETO, 2005).

Bandeira et al. (1999) afirmam que o conhecimento preciso do comportamento do fluxo é de essencial importância para dimensionar corretamente silos industriais para rações, permitindo um descarregamento uniforme, sem segregações, sem parada no processo industrial e desbalanceamento das rações; portanto, é necessário a utilização de fluxo de massa.

De acordo com Calil Junior (1984), dentre os fatores que influenciam no tipo de fluxo a ser desenvolvidos por produtos sólidos em condição de armazenagem, destacam-se a dimensão das partículas, temperatura, teor de umidade do produto e tempo de armazenamento.

Calil Junior (1990) afirma que o fluxo de um sólido decresce com o aumento do teor de umidade, alcançando um valor máximo de aproximadamente 80 a 90% de saturação. Acima desse teor de umidade, o sólido adquire propriedades viscosas, e testes de cisalhamento podem ser inaplicáveis (LOPES NETO, 2005).

Tabela 1. Propriedades de fluxo de produtos sólidos

Produto	Y Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Ø Ângulo de atrito interno (°)	Coeficiente de atrito interno		
			Canaletas	Rugosa	Lisa
Milho	8	30	0,6	0,4	0,25
Trigo	9	30	0,6	0,4	0,25
Cevada	8	27	0,5	0,35	0,25
Soja	8	25	0,5	0,4	0,45
Fosfatos	22	27	0,55	0,5	0,4
Calcário	13	27	0,55	0,5	0,25

Fonte: DIN 1055 (1987).

Produtos com compressibilidade relativamente baixa, tais como pós fluidizados e pós granulares, podem formar arcos coesivos ou momentâneos sobre o orifício de descarga durante o descarregamento. Somente uma quantidade pequena de energia, ou seja, uma pequena agitação é requerida para causar a quebra do arco e iniciar a descarga. Esse fenômeno foi denominado de *hanging up* por Gaylord e Gaylord (1984).

### Vazão mássica em silos

O fluxo gravitacional de sólidos granulares é recomendado para silos, no processamento de produtos sólidos. Esse movimento descendente de um conjunto de partículas sob influência da gravidade depende das propriedades físicas e de fluxo do sólido, forma de carregamento e descarregamento e rugosidade das paredes do silo (BATISTA, 2009).

Ainda de acordo com Batista (2009), a autora afirma que o fluxo gravitacional de sólidos granulares é provavelmente o mais encontrado em atividades de operação e estocagem. Esse fluxo corresponde a um movimento descendente de um conjunto de partículas sob influência da gravidade. Alguns fatores importantes que afetam o fluxo de sólidos em um silo de estocagem incluem condições ambientais, propriedades dos produtos, configuração do silo de estocagem e o tempo de repouso.

A análise dimensional proposta por Beverloo et al. (1961), em que, a vazão mássica é proporcional a densidade volumétrica e aceleração devido à gravidade, respectivamente, correlacionados. Os autores em sua pesquisa obtiveram o valor médio de 1,4 para sementes de nabo, espinafre e couve. Já para as sementes de linhaça encontraram valor de 1,5. Para sementes de agrião obtiveram valor de 1,3, e para a areia o valor foi de 2,9.

## **Modelos reduzidos**

A ideia de testar modelos é tão antiga quanto o desejo do homem de compreender os fenômenos naturais. Leonardo da Vinci quase descreveu a existência da lei dos modelos, e a relação matemática para o comportamento das estruturas similares geometricamente. Com base na similaridade ele estabeleceu uma teoria de comparação para algumas formas construtivas simples (CARNEIRO, 1996).

Os modelos reduzidos frequentemente são utilizados para dar subsídio aos projetistas, do fenômeno a ser estudado (STREETER & WYLIE, 1980). Quando a teoria e a prática são deficientes, os modelos reduzidos de silo podem oferecer linhas de ações úteis para que os problemas desses produtos sejam entendidos (BANDEIRA et al., 1999).

Streeter e Wylie (1980), citado por Viana et al. (2007), afirmam que para que se possa trabalhar com modelos é necessário obedecer à semelhança dinâmica entre o modelo e protótipo. Isso é conseguido com uma perfeita semelhança geométrica.

Nóbrega e Nascimento (2005) afirmaram que de acordo com Rotter (1998), existe a preocupação de muitos pesquisadores em desenvolver trabalhos experimentais que simulem, através de protótipos ou de modelos reduzidos, as formas mais desfavoráveis que ocorrem durante o armazenamento, para que se possa desenvolver silos que não acarretem problemas de fluxo. Geralmente, os testes são realizados em escala reduzida, não gerando adversidade quando a situação é convertida para prática. Os modelos reduzidos são muito utilizados devido ao baixo custo e permitem que se multipliquem todos os parâmetros que influenciam na descarga do silo, na situação real (GARNIER, 1998).

Como uma das principais dificuldades no estudo do fluxo em silos é a impossibilidade de verificação *in loco*, autores como Lopes Neto e Nascimento (2013) optaram por construir um silo metálico em modelo reduzido para sua pesquisa.

## **Termometria**

Segundo Puzzi (2000), termometria é um processo de obtenções de valores de temperatura de uma massa de grãos armazenada em silos ou armazéns graneleiros, equipados com dispositivos à base de pares termoelétricos. Tais leituras são efetuadas em diferentes alturas e regiões do interior da massa de grãos, com exatidão e rapidez.

Em um silo, o ar presente entre os grãos não é estático, está em movimento contínuo causado por correntes de convecção resultantes da diferença de densidade entre o ar quente e

o ar frio. Quando ocorre movimentação do ar das regiões mais quentes para as mais frias, o ar quente apresenta maiores índices de umidade causados pelo arrefecimento do ar quente na região fria. Na ocorrência desses acúmulos de umidade, o ambiente torna-se favorável a proliferação de pragas que degradam o grão, provocando perdas na produção (SILVA, 2015).

Para Weber (2001), devido aos sistemas de termometria presentes nos silos de armazenagem, é possível conhecer e avaliar a gravidade dos problemas e os movimentos da temperatura, quando em elevação. O acompanhamento diário dessas temperaturas permite acionar a ventilação de resfriamento dos grãos, de forma preventiva, antes que elas atinjam um valor próximo ao de risco de perda dos produtos armazenados.

O objetivo da termometria, conforme Weber (2001), é captar e transmitir informações atualizadas e precisas sobre as condições de temperatura em todos os pontos estratégicos, nas unidades armazenadoras a granel, quer em silos metálicos, silos de concreto ou armazéns graneleiros. Os valores de temperatura são captados e transmitidos através de um conjunto de equipamentos dispostos de forma precisa e bem distribuídos nos silos.

De acordo com a Equipasa (2017), a termometria é o meio utilizado para medir a temperatura no interior do armazenador, normalmente formado por um conjunto de sensores distribuídos simetricamente no interior de um silo ou graneleiro, e conectados a um painel dotado de instrumento de medição de acordo com Almeida & Cia (2017). Quando a condutibilidade térmica do conteúdo armazenado não é boa, sendo assim, uma mudança em determinada região demora para se espalhar, logo, são necessários os diversos pontos de medição.

Para várias espécies de fungos, a temperatura de 30°C é ideal para o seu crescimento, sendo essa, a temperatura ambiente de países tropicais. Quando existem diferenças de temperaturas na massa de grãos, ocorre a transferência de umidade (quando os vapores de água translocam-se para as camadas mais frias) favorecendo a proliferação fúngica (LORINI et al., 2002).

De acordo com Citolin (2012), os focos de aquecimento devem ser combatidos, pois levam à formação dos gradientes de temperatura, que por sua vez, causam o fenômeno denominado migração de umidade, no qual o vapor de água se desloca de uma região mais fria para uma mais quente, devido às correntes de convecção formadas na unidade de armazenamento.

Pelo aumento de temperatura de forma disforme no armazenamento de grãos é que surge a necessidade de monitorar a temperatura do ambiente interno de armazenagem. (CITOLIN, 2012).

Dessa forma, as unidades armazenadoras de grãos equipam seus silos com sistemas de termometria que geralmente são compostos por uma estação para verificar as condições do ar atmosférico, cabos pêndulos contendo sensores de temperatura os quais ficam dentro do silo imerso aos grãos, um hardware central para coleta dos valores de temperatura e um software que recebe e trata estes valores (STANGA et al., 2018).

## **Granulometria**

Por definição, a granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho (ZANOTTO et al., 1999). A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho.

## Massa específica

Dentre as propriedades físicas, uma das mais importantes é a massa específica. Sendo a mesma uma propriedade intensiva de grãos e sementes que por definição, é a razão entre a massa e o volume. Assim, se essa relação for estabelecida para apenas um grão, a massa específica determinada é dita unitária ou real. Porém, se for para uma parcela de grãos (massa de grãos) naturalmente arranjados, tem-se a massa específica aparente (BOTELHO et al., 2018).

Várias são as metodologias utilizadas para se determinar as massas específicas aparente e unitária. Para a massa específica unitária, a diferença básica entre elas, é a forma como se determina o volume do grão, sendo utilizado, por exemplo: atribuição de uma forma geométrica de um sólido de volume conhecido, complementação de volume em recipiente de volume conhecido, uso do princípio do empuxo, interdependência entre massa específica e porosidade e deslocamento de fluido (MOHSENIN, 1986, RUFFATO et al., 1999; FIGUEIREDO et al., 2011; ARAÚJO et al., 2014), além daquelas em que a determinação é estimada (RESENDE et al., 2008). No caso da massa específica aparente, o diferencial básico é a forma e/ou tipo de recipiente utilizado para quantificar o volume da massa de grãos, sendo usados desde vidrarias à recipientes, comerciais ou não, cujos volumes normalmente variam de 250 a 1000 mL (FIGUEIREDO et al., 2011; SANTOS et al., 2012; AVIARA et al., 2013; ARAUJO et al., 2014; BARAVIERA et al., 2014). Essa diversidade de propostas para se determinar o volume é compreensível, uma vez que produtos agrícolas tem formatos bastante variados.

## Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 surgiu pela primeira vez em 2011, na Alemanha, no evento de Tecnologia Industrial Hannover Fair, onde foi apresentada uma nova tendência: as *smartfactories* (TADEU & SANTOS, 2016). As fábricas inteligentes incidem diretamente nos conceitos atuais de automação industrial, entretanto, com todos os processos, máquinas, pessoas e sistemas conectados por intermédio da internet ao longo de toda a cadeia produtiva (SENHORELI et al., 2018).

De acordo com Lydon (2015), o objetivo da Indústria 4.0 é melhorar os processos de fabricação em uma série de dimensões, incluindo eficiência, capacidade de resposta e a competência de satisfazer as necessidades individuais dos clientes em tempo hábil.

Conforme Senhoreli et al. (2018), a aplicação do conceito da Indústria 4.0 fará com que as fábricas sejam inteligentes o suficiente para ter a capacidade e a autonomia para programar manutenções, antecipar falhas e adaptar aos requisitos de mudanças não planejadas no processo produtivo. A propagação dessa manufatura avançada consiste no conjunto de tecnologias da informação e da engenharia, que são os chamados Pilares da Indústria.

O McKinsey Global Institute estima que, até 2025, os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir custos de manutenção de equipamentos entre 10 e 40%, reduzir o consumo de energia entre 10 e 20% e aumentar a eficiência do trabalho entre 10 e 25% (MGI, 2016).

No médio e longo prazo, a incorporação das novas tecnologias em uma estratégia para o desenvolvimento da indústria brasileira será essencial para a competitividade do País e para melhorar a sua participação nas cadeias globais de valor (CNI, 2016).

Ao longo dos anos, a indústria tem passado por transformações que a história intitula de Revolução Industrial. Na segunda década do século XXI, o mundo se prepara para viver a Indústria 4.0, caracterizada pelos avanços tecnológicos (BANZATO, 2015). Avanços esses, que afetam diretamente os processos, os produtos e o comportamento do consumidor final.

A incorporação da digitalização à atividade industrial, resultou no conceito de Indústria 4.0, em referência ao que seria a 4ª Revolução Industrial, caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual, criando os chamados sistemas ciberfísicos e viabilizando o emprego da inteligência artificial (CNI, 2016).

Ao que concerne à indústria brasileira, o setor carece de muitos avanços tecnológicos e estruturais para acompanhar essa nova revolução. Logo, o tema abordado justifica-se devido à grande importância das transformações necessárias que o setor industrial irá enfrentar ao longo dos anos e pela sua representatividade na economia brasileira (SENHORELI et al., 2018).

## **Internet das Coisas - IoT**

A IoT - Internet das Coisas (*Internet of Things*), é uma integração de vários dispositivos que se comunicam, detectam e interagem com seus estados internos e externos através da tecnologia incorporada que a IoT contém (LEE & LEE, 2015).

Para Munir (2017), Internet of Things (IoT) é um conceito de redes de computadores que introduz objetos do mundo real ao virtual, com o propósito de possibilitar a comunicação entre eles. Dentro dessa rede encontram-se sensores, atuadores, computadores pessoais e qualquer outro dispositivo considerado inteligente.

Um ponto comum a todas as tecnologias é o emprego da internet como plataforma de intercâmbio de informações, permitindo a comunicação entre um número ilimitado de dispositivos, dando origem ao que se convencionou chamar internet das coisas, ou IoT, na sigla em inglês (CNI, 2016).

A IoT se tornou a megatendência para a próxima geração de tecnologias que pode impactar todo o espectro de negócios estendidos com benefícios avançados e conectividade de dispositivos finais e sistema e serviços. IoT oferece soluções apropriadas para vários aplicativos, como assistência médica, cidades inteligentes, segurança, varejo, congestionamento de tráfego, controle industrial e para a agricultura (CHEN et al., 2014).

Uma quantidade significativa de estudos foi realizada em relação a Tecnologia IoT na área agrícola para desenvolver uma agricultura com soluções inteligentes (STOCES et al., 2016). A IoT trouxe uma grande revolução no desenvolvimento da agricultura, estudando múltiplas complicações e desafios (RAY, 2017).

Atualmente, com o avanço da tecnologia, espera-se que, com o uso da IoT, encontrem-se soluções para os problemas que os agricultores enfrentam, como escassez de água, questões de gerenciamento de custos e produtividade (KAMIENSKI et al., 2019; ELIJAH et al., 2018).

De acordo com a Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016) na Índia, a Agricultura Inteligente é um dos programas utilizados, uma vez que a agricultura possui papel fundamental na economia do país. Nele, agricultores utilizam a IoT Industrial (IIoT) para monitorar digitalmente os recipientes de grão e sementes e recebem alertas quando as temperaturas atingem níveis perigosos. Já Shin (2014) afirma que na China a internet das coisas (IoT) tem sido uma iniciativa central e estratégica para o país desde 2011. Esta iniciativa se materializou na última política econômica onde o foco de investimento e desenvolvimento está centrado em *smart grid*; transporte inteligente; logística inteligente; casas inteligentes; ambiente e testes de segurança; controle e automação industrial; agricultura; finanças e serviços; etc.

Aplicações da agricultura inteligente baseada em IoT, podem ser novos impulsos para a agricultura biológica, agricultura familiar; a agricultura inteligente baseada em IoT pode assim

oferecer importantes benefícios, como melhor tratamento de insumos, uso mais racional da água, etc. (BURANELLO, 2017).

Nesse contexto, a agricultura de precisão pode ser a prática agrícola mais precisa para a criação de gado e cultivo de culturas. A tecnologia de sonda de umidade do solo otimiza a eficiência do uso da água. O otimizador virtual combina tecnologias para gerenciamento de água, consultores e produtores usufruem dos benefícios da irrigação de precisão através de interface simplificada (COELHO, 2015).

Uma das soluções ajuda a observar vacas grávidas e prestes a parir, um sensor alimentado por bateria é expelido quando sua água se rompe, enviando informações ao gerenciador. A agricultura de estufa, ajuda a aumentar o rendimento de vegetais, frutos, culturas, entre outros. Uma estufa inteligente pode ser projetada com a ajuda da internet das coisas; monitorando e controlando o clima, são usados sensores que medem os parâmetros ambientais de acordo com a planta. Podendo ser criado um servidor para acessar o sistema usando a internet das coisas (ROCHA, 2018).

De acordo com Rocha (2018), as soluções de IoT são imprescindíveis no setor da agricultura, face à superação da Lei de Malthus, de que a população crescerá em proporção maior do que a de produção de alimentos. Portanto, por meio do implemento de tecnologias como a da Internet das coisas em conjugação ao aplicativo Blynk®, fica perceptível as amplas possibilidades de aumento da produção de alimentos, em níveis suficientes para suprir as necessidades populacionais.

Tecnologias IoT com o suporte do aplicativo Blynk®, podem ser utilizadas para aumentar bastante o desempenho das metodologias e tecnologias atuais, produzindo possibilidades mais em conta e ainda menos invasivas; entre outros (MANCINI, 2018).

## **Automação**

Automação pode ser definido como a utilização da eletroeletrônica e da mecânica para controlar seu próprio funcionamento praticamente sem a intervenção do homem. Os processos de automação dividem-se em cinco elementos, são eles: acionamento, sensoramento, controle, comparador ou elemento de decisão, e programas (SENAI, 2000).

O controle automático, particularmente a aplicação do feedback, foi fundamental no desenvolvimento da automação. Sua origem está no controle de nível, relógio de água, e pneumáticos ou hidráulicos do mundo antigo (BISSEL, 2009). Outrora, no final do século XIX, durante a Revolução Industrial foram desenvolvidos os primeiros sistemas de controle automático. As funções de controle eram implementadas por engenhosos dispositivos mecânicos, os quais automatizavam algumas tarefas críticas e repetitivas das linhas de montagem da época (FRANCHI & CAMARGO, 2010).

De acordo com Groover (2011), algumas razões mais comuns que justificam a automação são: aumentar a produtividade, reduzir custos do trabalho, minimizar os efeitos da falta de trabalhadores, reduzir ou eliminar as rotinas manuais, aumentar a segurança do trabalhador, melhorar a qualidade do produto, diminuir o tempo de produção ou reduzir processos que não podem ser executados manualmente.

Marques (2007) afirma que a possibilidade de fazer e executar várias partes do processo por sistemas informáticos melhora a eficácia e estrutura na arquitetura dos sistemas de informação. E ainda que uma automatização de processos permite obter um manancial enorme de indicadores extremamente úteis para a gestão.

Valnelli e Silva (2017) apontam que, com os avanços tecnológicos ocorrido nos últimos anos é possível promover a interconexão de diversos dispositivos, dando agilidade ao

transporte e interpretação de dados, colaborando para que a tomada de decisão pelo usuário seja mais rápida e eficaz.

## Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de Circuito Integrado que faz a integração de todas as partes básicas de um microcomputador, como o microprocessador, memórias voláteis e não-voláteis, portas de entrada e saída. É um microprocessador simples, no qual se incorpora uma grande quantidade de dispositivos com o intuito de usá-lo nas mais diversas aplicações de controle. Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória principalmente no que diz respeito à memória de dados, e sendo utilizado em aplicações específicas, isto é, naquelas que não necessitam de armazenar grandes quantidades de dados. Apresenta um custo bastante baixo e possui vários fornecedores (GIMENEZ, 2005; ZELENOVSKY & MENDONÇA, 2017).

Segundo Citolin (2012), o microcontrolador possui elementos lógicos e aritméticos além de possuir integrado internamente uma série de periféricos e permite conexões elétricas na forma de carga em suas portas. Elementos comuns de um microcontrolador são a memória interna para escrita e leitura para armazenamento de dados; memória de programa volátil; memória eeprom para armazenamento de dados permanentes; conversores analógico-digitais; comparadores de tensão; interface de comunicação serial; oscilador (relógio) interno; contadores e temporizadores.

O Arduino é uma plataforma microcontrolada baseada nos microcontroladores da Atmel, com uma ampla disponibilidade de modelos para atender a inúmeras atividades (MARTINAZZA & ORLANDO, 2016).

O Arduino pode ser definido como uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, composto por um microcontrolador, com uma estrutura de entradas e saídas acopladas que podem ser conectados a outros circuitos e sensores. São processos digitais interligados a sensores e atuadores, permitindo a construção de sistemas que possam captar valores da realidade e conseqüentemente responder ações físicas programadas (FONSECA & BEPPU, 2010).

O Arduino é uma plataforma *open-source* que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. O mesmo é capaz de sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com a plataforma citada, podem ser autônomos ou comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (ex: Flash, Processing, MaxMSP) (ARDUINO, 2018).

Arduino é uma plataforma que vem sendo muito utilizado atualmente pela sua facilidade de uso e seu baixo custo. Arduino possui pinos de entrada os quais recebem informações (dados) de sensores ligados ao mesmo, e de saída que recebem dados do Arduino para atuadores. Entre a entrada e a saída da plataforma, há o microcontrolador que faz o controle dos dados (SANTOS JÚNIOR, 2018).

A plataforma Arduino, é um sistema de desenvolvimento de protótipos, que conta com uma placa eletrônica dotada de um microcontrolador. A plataforma contém um ambiente computacional (IDE - *Integrated Development Environment*) próprio onde é desenvolvida a lógica de funcionamento do dispositivo a partir de uma sequência de instruções de alto nível (linguagem de programação). O Arduino é o elemento intermediário no sistema. A placa

Arduino Uno possui um canal de comunicação serial, no qual contém 13 portas de entrada e saída digitais, 6 portas analógicas e um processador ATMEGA 328P (BICA et al., 2018).

Dessa maneira, as características do Arduino em um ambiente profissional, o tornam uma excelente ferramenta na criação de protótipos rápidos e de projetos simplificados (RENNA et al., 2013).

## **Software supervisorio**

Os sistemas supervisórios, conhecidos como Interface Homem Máquina (IHM) ou Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA), iniciaram-se com interfaces bem simples e, conseqüentemente, funções dedicadas amadureceram e mudaram em poucas décadas para tornar-se possivelmente a maior influência no meio industrial atualmente (PEIXOTO FILHO, 2017).

De acordo com Nunes (2018), sistemas supervisórios permitem que informações de um processo produtivo ou instalação física sejam monitoradas e rastreadas. As informações são coletadas por meio de equipamentos de aquisição de dados, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente apresentadas ao usuário. Um sistema supervisório normalmente recebe o nome de Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados e tem por objetivo facilitar a interação do usuário com o chão de fábrica.

Quando o monitoramento e o controle de um processo são feitos por meio de um sistema supervisório, segundo Coelho (2009), o processamento das variáveis de campo é mais rápido e eficiente. Um incidente no processo pode ser rapidamente detectado e mudanças nos *setpoints* são imediatamente providenciadas pelo sistema, estabilizando a situação.

Um sistema supervisório possui dois fatores principais, os algoritmos de controle e telas gráficas de supervisão. As telas gráficas são as visualizadas pelo homem, que possuem informações essenciais para a operação do sistema, bem como botões para realizar certas funções. Nos algoritmos de controle, são associados eventos a cada objeto. Como por exemplo, o acionamento de um botão em que uma das telas gráficas informa ao sistema, seja ele um CLP (Controlador Logico Programável) ou um microcontrolador, que queremos que determinada função ou elemento do campo seja ativado (JURIZATO & PEREIRA, 2003). Os algoritmos de controle são todos os dados não visualizados pelo operador das telas, e são essenciais para o funcionamento do sistema (MAESTRELLI & NAPOLEÃO, 2018).

Os sistemas de automação atuais atingiram tal nível que apenas a intuição humana não é mais suficiente para construir modelos bem definidos dos mesmos. Nessas circunstâncias, um ambiente de modelagem torna-se necessário para que se alcance esse objetivo. O software reconhecido como supervisório permite a operação e visualização através de telas gráficas elaboradas para qualquer processo residencial, industrial ou comercial, independentemente do tamanho do projeto (JURIZATO & PEREIRA, 2003).

Atualmente existem no mercado diversos softwares voltados para o desenvolvimento de sistemas supervisórios, com o intuito de auxiliar o projetista na criação de sistemas com diversas telas e dados na forma gráfica (MAESTRELLI & NAPOLEÃO, 2018).

## **Aplicativo Blynk®**

O aplicativo Blynk® surge como proposta integradora de plataformas a serem conectadas entre o mundo físico e o digital (ROCHA, 2018). O Blynk® foi um projeto

desenvolvido pela Massachusetts Institute of Technology (MIT), com a finalidade de contribuir para o ensino e promover a aderência de mais pessoas para o conceito de Internet das Coisas (DIOGENES, 2019).

O Blynk<sup>®</sup> é uma plataforma desenvolvida para iOS e Android para controlar Arduino, Raspberry Pi e outros dispositivos através da internet de uma forma simplificada. Consiste em um painel digital onde é possível construir uma interface gráfica para projetos, simplesmente arrastando e soltando widgets, sem complicações com plataformas mais complexas. O Blynk<sup>®</sup> não está vinculado a algum dispositivo ou *shield* específico. Se um Arduino ou Raspberry Pi está ligado à internet através de Wi-Fi, Ethernet ou o chip ESP8266, o Blynk<sup>®</sup> poderá apresentar todas as informações importantes processadas que o projetista desejar (DIOGENES, 2019).

De acordo com Brito (2016), o Blynk<sup>®</sup> não está vinculado a algum dispositivo ou shield específico. Em vez disso, ele está apoiando hardware de sua escolha. Se um Arduino ou Raspberry Pi está ligado à Internet através de Wi-Fi, Ethernet ou o chip ESP8266, o Blynk<sup>®</sup> poderá ir on-line e expor todas as informações importantes processadas que o projetista desejar.

## **Painel de supervisão - Dashboard**

De acordo com Few (2006), um dashboard é uma exibição visual das informações mais importantes necessárias para alcançar um ou mais objetivos; consolidados e organizados em uma única tela para que as informações possam ser monitoradas em um piscar de olhos. Quando projetado corretamente, um dashboard fornece uma visão geral do que está acontecendo, de forma clara e rapidamente.

Barros (2013) afirma que os dashboards são uma das ferramentas de visualização de dados mais usadas, se não a mais utilizada, destacando-se como uma das técnicas de visualização de dados mais eficiente e popular. Já Yigitbasioglu e Velcu (2012), definem dashboards como ferramentas de diagnóstico concebidas com o objetivo de fornecer aos usuários uma tela com informações relevantes, permitindo identificar, explorar e comunicar nas diversas áreas. O autor acrescenta ainda que o uso de dashboards incorpora características visuais e funcionais, combinadas para ajudar a melhorar a cognição e interpretação.

De acordo com Caldeira (2010), o dashboard pode ser interpretado como um veículo de comunicação, essencialmente de visualização gráfica, no qual se expõe um conjunto de informação muito relevante. É também um instrumento que possibilita a monitorização sistemática de informação empresarial de apoio à gestão, nomeadamente no âmbito do suporte à tomada de decisão.

Para Sezões et al. (2006), os dashboards apresentam como principal vantagem a capacidade de comunicarem quantidades complexas de informação de uma forma rápida e intuitiva. Mais concretamente, traduzem os dados recebidos dos sistemas operacionais de uma forma graficamente apelativa e amigável ao usuário, por meio de mapas, gráficos diversos, tabelas, entre outros (SANTOS, 2017).

Ainda, de acordo com Few (2006), os dashboards podem ser classificados por tipo de dados (quantitativo ou não quantitativo), área de negócio (vendas, recursos humanos, finanças), interatividade (estático ou interativo), por frequência de atualização (anual, mensal, trimestral, quinzenal, diário ou real time), dentre outras.

Para Turban et al. (2010), os dashboards fornecem uma visão abrangente das mensurações de desempenho organizacional, conhecidas como indicadores de performance, tendências e exceções. Santos (2017) relata que os autores ainda afirmam que os dashboards

integram informações de múltiplas áreas de negócio e apresentam gráficos que mostram o desempenho real comparado com o planejado.

Barros (2013) afirma que um dashboard é uma representação visual das informações mais importantes e necessárias para atingir um ou mais objetivos, consolidada e organizada em uma única tela de modo que a informação possa ser monitorada rapidamente.

De acordo com Barros (2013), os dashboards têm um papel fundamental no monitoramento de uma empresa e no auxílio à tomada de decisão, já que permitem que um indivíduo, por exemplo um gestor ou um diretor de vendas, sem grandes conhecimentos relacionados com a extração e manipulação de informação proveniente de diversas fontes digitais, como bases de dados ou data warehouse, obtenha de forma fácil e rápida a informação que necessita para o suporte das suas ações na tomada de decisão. Essa informação é disponibilizada ao usuário por componentes gráficos, com os quais o usuário, que se assume ter conhecimentos de gestão ou análise de informação, está mais familiarizado, atendendo ao fato de saber lidar com este tipo de representações no dia a dia (SANTOS, 2017).

## **Cloud computing**

Cloud Computing é um conceito computacional que fornece uma gama de recursos a outros computadores e dispositivos, os quais ficam disponíveis de forma compartilhada, a qualquer hora e lugar, sendo acessados através da Internet. Como exemplo tem-se o processamento e armazenamento de dados, serviços, aplicativos e servidores (MUNIR, 2017).

A computação em nuvem é uma evolução dos serviços e produtos de tecnologia da informação sob demanda, também chamada de Utility Computing (BRANTNER et al., 2008).

A origem do conceito de virtualização dos componentes e recursos de TI (Tecnologia da Informação), desde a década de 1960, vem sendo apresentada por Jonh McCarthy como computação utilitária (PARKHILL, 1966).

Tendências anteriores à computação em nuvem foram limitadas à uma determinada classe de usuários ou focadas em tornar disponível uma demanda específica de recursos de TI, principalmente de informática (BUYA et al., 2009).

Computação em nuvem está se tornando uma das palavras chaves da indústria de TI. A nuvem é uma representação para a Internet ou infraestrutura de comunicação entre os componentes arquiteturais, baseada em uma abstração que oculta à complexidade de infraestrutura. Cada parte desta infraestrutura é provida como um serviço e, esses serviços são normalmente alocados em data-centers, utilizando hardware compartilhado para computação e armazenamento (TAURION, 2009).

Ainda de acordo com Taurion (2009), a computação em nuvem é, portanto, uma maneira bastante eficiente de maximizar e flexibilizar os recursos computacionais. Além disso, uma nuvem computacional é um ambiente redundante e resiliente por natureza. Resiliente pode ser definido como a capacidade de um sistema de informação continuar a funcionar corretamente, apesar do mau funcionamento de um ou mais dos seus componentes.

A infraestrutura do ambiente de computação em nuvem normalmente é composta por um grande número, centenas ou milhares de máquinas físicas ou nós físicos de baixo custo, conectadas por meio de uma rede. Cada máquina física tem as mesmas configurações de software, mas pode ter variação na capacidade de hardware em termos de CPU, memória e armazenamento em disco (SOROR et al., 2010).

Diversos tipos de aplicações baseadas em computação em nuvem estão disponíveis. Serviços de webmail, sites, sistemas de software como serviços em geral são alguns exemplos.

Outras aplicações estão relacionadas à bioinformática (DEELMAN et al., 2008) e processamento de imagens (SOUSA et al., 2009).

## **Sensores**

De acordo com Wendling (2010), para o estudo da automação em indústrias, automobilísticas, domésticos, entre outros, é preciso determinar as variáveis ou condições do sistema. Para isso é necessário obter as informações das variáveis físicas do ambiente monitorado, esse é o trabalho dos sensores, que informam um circuito eletrônico os eventos que ocorrem no ambiente externo, determinando a maneira que ele deve atuar, ou mesmo que comandos ele deve executar. Com isso os sensores e atuadores são os elementos principais que atuam sobre a automação, uma vez que, verificam e interferem no meio controlado.

Sensor é um termo empregado para designar dispositivos sensíveis a algum tipo de energia do ambiente controlado, podendo ser luminosa, térmica, cinética e outros, de maneira a relacionar as informações sobre as grandezas físicas que irão ser medidas, como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, tensão, aceleração, posição e etc. (WENDLING, 2010).

A palavra sensor pode ser definida como aquilo que sente. Para a eletrônica, um dispositivo ou componente que seja capaz de ler e extrair dados do ambiente pode ser classificado como um sensor. Os sensores podem detectar sinais dos mais variados fenômenos físicos, como temperatura, luminosidade, rotação, radiação, entre outros (MARTINAZZA & ORLANDO, 2016).

De acordo com Papavassiliou (2008), sensores podem ser definidos como dispositivos capazes de converter alguma grandeza ou energia mensurável em uma grandeza elétrica. Segundo Fraden (2004), Thomazini e Albuquerque (2007), um sensor é um dispositivo que recebe um sinal ou estímulo e o converte em um sinal elétrico que seja compatível com circuitos eletrônicos. O sinal de entrada pode ser uma quantidade, uma propriedade ou um estado, o qual o sensor converte em tensão ou corrente, podendo ser amplificada e modificada por circuitos eletrônicos de aquisição.

Os sensores podem ser analógicos ou digitais, sendo que os analógicos são os mais comuns. Esses sensores comunicam-se com sinais analógicos, isto é, podem assumir infinitos valores dentro de um intervalo determinado, porém isso vai depender da resolução utilizada (MARTINAZZA & ORLANDO, 2016).

No estudo da automação é necessário definir condições para o sistema obter valores de variáveis físicas do ambiente a ser controlado e esta é a atividade dos sensores. Sensores têm a função de informar ao circuito eletrônico um fato que ocorra fora, sobre o qual ele deve agir ou a partir de um fato que ele deva gerenciar a uma determinada ação (WENDLING, 2010).

Com dados de umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente externo é possível a tomada de decisões sobre o ar de entrada, como: aquecer ou resfriar esse ar, com o intuito de diminuir sua umidade. Outro fator importante é a massa de grãos ter comportamento de isolante térmico, isso significa que diferentes regiões do silo podem estar com diferentes temperaturas, dessa forma é necessário o mapeamento de diversas regiões com sensores não mais próximos do que dois metros (D'ARCE, 2011).

Um sensor de temperatura torna possível a avaliação das condições de armazenamento pelo fato de o aumento da temperatura estar relacionada com focos de pragas ou movimentação de umidade (D'ARCE, 2011).

## Sensores de umidade do ar

Quando se mede a umidade, na maioria das vezes nos referimos à umidade relativa do ar. Os sensores responsáveis por realizar essa medida podem ser divididos em 2 tipos distintos, os baseados no efeito capacitivo e no efeito resistivo. O princípio de ambos é relativamente parecido, sendo formados por eletrodos separados por um polímero capaz de absorver o vapor de água presente no ar, e com isso mudar suas características elétricas (JAIN, 2012).

Como o nome sugere, em um sensor baseado no efeito capacitivo os eletrodos formam um capacitor e o polímero tem a função de dielétrico, ao absorver ou perder água a capacitância é modificada, e com isso obtém-se o valor da umidade relativa do ar. Já os de efeito resistivo, possuem os eletrodos e o polímero montados de tal forma que atuam como um resistor, de forma análoga ao caso anterior, sua resistência é modificada pela absorção ou perda de água (SIVIERO, 2017).

O DHT22 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre -40 a +80°C e umidade entre 0 a 100%. É muito fácil de usar com Arduino, Raspberry Pi e outros microcontroladores, pois possui apenas 1 pino com saída digital. Este sensor AM2302 é compatível com os modelos DHT22/AM2303 e snedo formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar ao redor, enviando no pino de dados um sinal digital (AOSONG, 2019).

## Sensores de temperatura

A temperatura é uma medida que relaciona o nível de agitação das moléculas com a transferência da energia cinética entre os átomos de um material, expressa em unidades de graus Celsius, ou em outra escala. Para a realização de medidas de temperatura, na maioria dos casos, é utilizada a propriedade física do aumento da resistência elétrica com o aumento da temperatura, em que um sistema monitorado é possível ler esta variação. Os sensores que se utilizam dessa propriedade são os chamados RTDs (*Resistance Temperature Detectors*), termorresistências em português (MARTINAZZA & ORLANDO, 2016).

Conforme Siviero (2017), como o próprio nome sugere, estês dispositivos conseguem mudar suas características elétricas a partir de uma mudança de temperatura, os tipos mais comuns são as termo resistências, os termopares e os termistores.

Os Termoresistências, também conhecidos como RTDs (*Resistance Temperature Detector*), são dispositivos que variam a resistência de acordo com sua temperatura. Normalmente fabricados utilizando um metal puro como a platina, ou ligas metálicas à base de níquel ou cobre. Têm como características principais a linearidade em ampla faixa de operação e o alto tempo de resposta (ALUTAL, 2016).

Shtarget e Mirza (2011) afirmam que os Termopares são dispositivos formados pela junção de dois metais diferentes, devido ao Efeito de Seebeck que geram uma diferença de potencial entre seus terminais a partir da temperatura à que são submetidos. Apresentam altíssimas temperaturas máximas de funcionamento, porém não possuem comportamento linear.

Os Termistores, assim como os RTDs, variam sua resistência conforme a temperatura que atingem, pois são normalmente feitos de polímeros ou materiais cerâmicos que impedem seu uso em altas temperaturas, além de apresentarem uma curva de Resistência x Temperatura exponencial (CORRADI, s/d). Essa curva também define os dois tipos possíveis, o NTC, no qual

a resistência diminui conforme a temperatura aumenta, e PTC, no qual a resistência e temperatura são diretamente proporcionais (SILVA, 2011; ZAGO, 2016).

De acordo com a Maximintegrated (2019), o termômetro digital DS18B20 fornece 9-bit à 12-bit para as medições de temperatura em graus Celsius e tem uma função de alarme não volátil programável com pontos de disparo superior e inferior. O DS18B20 comunica através de um barramento 1-Wire que, por definição, requer apenas uma linha de dados para a comunicação com um microprocessador central. Tem uma temperatura de operação na gama de -55 a + 125°C e tem uma precisão de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  ao longo da faixa de -10 a + 85°C. Internamente, o DS18B20 pode derivar energia diretamente a partir da linha de dados (energia parasita), eliminando a necessidade de uma fonte de alimentação externa.

Ainda, de acordo com a Maximintegrated (2019), cada sensor DS18B20 tem um código de série exclusivo de 64 bits, permitindo, assim, que vários sensores DS18B20s possam funcionar na mesma linha (1-Wire), ou seja, utilizando um único pino de dados do Arduino.

Para Martinazza e Orlando (2016) o melhor sensor, considerando que é digital, e que, portanto, não tem a necessidade de conversão do sinal analógico para digital, é o DS18B20. Não obstante, seu custo relativamente elevado, é mais apropriado para aplicações em que se exija maior precisão e repetitividade.

## **Sensores de gases**

Nos espaços confinados pode ocorrer formação de gases tóxicos invisíveis e inodoros; sua ação tóxica muda sensivelmente com a temperatura e pressão, o que dificulta a prevenção de seus efeitos (SILVA, 2005). Isso corrobora com a importância de monitorar a temperatura e a umidade relativa nos locais de concentração de gases (KOELLN, 2017).

O manuseio e o armazenamento de grãos estão suscetíveis a diversos riscos relacionados à combustão do material armazenado (ROSA et al., 2018). De acordo com Krause (2009), existem três possíveis substâncias capazes de inflamar: gases inflamáveis ou combustíveis, nuvens de poeira e uma camada de material granular ou particulado.

Santos et al. (2016) afirmam que quando um sensor determina a concentração de um parâmetro a partir de reações oxidação e redução, trata-se de um sensor eletroquímico.

O sensor de gás MQ-135 para Gases Tóxicos, é um módulo capaz de detectar vários tipos de gases tóxicos como amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, enxofre, compostos aromáticos, sulfeto, dentre outros gases. Além disso, o sensor pode detectar também níveis de álcool e fumaça (HANWEI, 2019).

O módulo MQ-135, pode detectar concentrações na faixa de 100 a 10.000ppm, possuindo um range de tensão de 0 - 5V. Os módulos do MQ135 são capazes de operar na faixa de temperatura de -10 a 70°C, consumindo uma corrente aproximada de 150mA (JESUS, 2017).

Esse sensor é usado, principalmente, em conjunto com microcontroladores ou placas de prototipagem como Arduino, Raspberry, NodeMCU, entre outras, para a partir da detecção de gases, o sistema de controle possa tomar uma ou várias ações que o usuário determinar. Basicamente, o sensor possui duas saídas, uma analógica que retorna uma tensão proporcional ao nível do gás ou fumaça no ambiente e outra digital que indica a presença, ou não, de gás ou fumaça. A sensibilidade do sensor pode ser ajustada por meio de um pequeno trimpot presente na placa (VOLTRIZ, 2019).

## **Sensores ultrassônicos de distância**

O controle de nível possui importância extrema em processos industriais, quando se considera a necessidade de avaliar e controlar volumes de estocagem e recipientes de armazenamento. Através da quantificação de dados através de sensores, é possível medir a variação do nível, possibilitando correções em outras variáveis, como vazão, caso haja necessidade. Isso garante que os parâmetros de operação se mantenham dentro de uma faixa, o que se faz necessário para atribuir confiança de operação aos processos industriais (TAIRA & SIQUEIRA, 2018).

Simmonds-Mendoza et al. (2018) consideraram a importância do controle de nível na indústria química e de alimentos, acompanhado de uma instrumentação adequada.

Para sensores ultrassônicos se encontra aplicações na indústria, podendo ser usado para detectar a passagem de objetos ou pessoas, medir distâncias, ou até mesmo medir o nível em reservatórios (BRAGA, 2013).

As utilidades dos sistemas ultrassônicos aliados a seu baixo custo indicam o seu emprego em muitas aplicações. Os dispositivos baseados no método de pulso-eco, por transdutores elétricos, foram utilizados amplamente na medição de distâncias sendo historicamente sua aplicação mais habitual. Na técnica de pulso-eco, os métodos de medida de distância baseiam-se na determinação do tempo de trânsito que gasta uma onda ultrassônica em percorrer o trajeto de ida e volta (BASTOS et al., 1992).

Seu funcionamento é baseado no princípio de reflexão de ondas mecânicas, similar a um sonar. O dispositivo é formado por um par transmissor/receptor de ondas ultrassônicas, normalmente na faixa de 40 kHz, gerando sinais elétricos no envio e na recepção destas ondas. Quando se deseja medir a distância entre o sensor e o objeto, basta verificar o tempo entre a transmissão e a detecção da onda refletida, multiplicá-lo pela velocidade do som ao meio, e dividir por dois, já que a onda percorreu duas vezes a distância (SIVIERO, 2017).

Um método convencional para determinar o instante de chegada do eco consiste em estabelecer um valor de referência e considerar que se produz a recepção quando a amplitude do eco supera tal valor. Esse valor é convenientemente escolhido acima do nível de ruído existente no sinal (BASTOS et al., 1992).

## **Sensores de carga**

A instrumentação dos silos por meio de células de carga permite o estudo das tensões relativas aos produtos armazenados tanto nas condições estáticas quanto dinâmicas (BRAUER et al., 2006; DINIZ & NASCIMENTO, 2006; CHEN et al., 2007; LOPES NETO et al., 2014).

Células de carga são transdutores utilizados exclusivamente para medições de cargas, os quais convertem a grandeza desejada em sinais elétricos (SILVA, 2012).

Uma célula de carga, também conhecida como transdutor extensiométrico, pode ser utilizada para medir solicitações mecânicas, como força, momento e pressão a partir do uso de extensômetros (FIALHO et al., 2014).

Os elementos elásticos utilizados em células de carga podem ser barras com arranjos de extensômetros, vigas engastadas, anéis ou elementos de aço que resistem a esforços cortantes (DALLY et al., 1993).

Células de carga podem medir forças da ordem de dezenas à dezenas de milhares de newtons. Isso porque a força é, na maioria dos casos, medida através da deformação de um

material, o qual pode ser escolhido dependendo da aplicação para que sejam suportadas as cargas necessárias (CON-TECH SYSTEMS, 2011).

As células de carga com elemento de aço são basicamente constituídas de uma estrutura para suporte sobre a qual é colocado um elemento de aço, o qual é preso ao suporte por meio de parafusos e os extensômetros são colados em pequenos furos localizados na superfície neutra do elemento (DALLY et al., 1993).

A maioria das células de carga é fabricada com os extensômetros elétricos de resistência ligados entre si através de uma ponte de Wheatstone equilibrada. Essa configuração amplifica os sinais obtidos nas medições, permitindo que se avalie a variação ôhmica dos extensômetros de resistência de modo mais exato. Uma vez identificada essa variação ôhmica, é possível, através de relações de calibração e/ou dados fornecidos pelo fabricante da célula de carga, avaliar as tensões e/ou forças a que a mesma está submetida (BARBOSA et al., 2004).

Célula de carga com extensômetro de folha é o tipo mais comum de célula de carga. Utiliza um ou mais extensômetros de folha, ou extensômetro de resistência, acoplados em um circuito de ponte de Wheatstone. Os extensômetros são acoplados num material que deformará com a força aplicada. Com a deformação, a resistência dos extensômetros muda e pode-se calcular a deformação do material. A partir disso e conhecendo as propriedades do material (módulo de Young, coeficiente de Poisson, etc.), calcula-se a força aplicada. O material utilizado sempre trabalha na sua região de deformação elástica. Caso seja aplicada uma carga maior que a sobrecarga especificada, a célula de carga pode deformar plasticamente e deve ser recalibrada ou substituída (HOFFMANN, 2014; BARBOSA et al., 2009).

## **Motor vibratório**

A avaliação e o uso da vibração mecânica no comportamento dinâmico de materiais particulados é um tema de grande interesse na Engenharia de Processo, destacando-se a carga e descarga de silos, além de outros (PAKOWSKI et al., 1984). De acordo com Roberts (1984), as forças resistivas entre material particulado e as superfícies adjacentes podem ser reduzidas com a aplicação de vibrações mecânicas. O movimento de partículas sob vibração é promovido por dispositivos geradores de ação vibratória.

O motor vibratório, de acordo com a VIBRAMAX (2019), auxilia na descarga do silo controlando e mantendo o fluxo constante e uniforme para diversos tipos de produtos armazenados em silos e tremonhas. O uso do motor vibratório é fundamental para descarregamento, usado para garantir que o produto seja descarregado de forma eficiente e eficaz, de uma forma controlada a partir de um silo ou tremonha. Muitos produtos não fluem livremente e o motor vibratório garante que o produto seja descarregado em uma condição de fluxo de massa, mesmo que sejam do tipo fibroso, granular, flocos ou de finas partículas.

O motor vibratório, quando acoplado aos silos, movimentam o material por toda a seção do silo. Isso significa que o fluxo é aumentado por sua influência, ocorrendo uma descarga conveniente.

Isso é necessário, pois frequentemente ocorrem problemas em silos:

1. Formação de arcos: em alguns materiais, quando os silos são mal dimensionados ou quando seu dimensionamento correto os tornaria gigantescos, ocorrem formações de pontes devido à resistência interna do material;
2. Formação de abóbodas: apenas a parte central do material escoar, ou seja, aquela parte que se encontra sobre o bocal de saída do silo;

3. Demiscelação: somente as partículas finas tendem ao escoamento ótimo, permanecendo as maiores no silo. Esse escoamento de material fino também é central, incorrendo-se na demiscelação do material.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande.

### Materiais

Como material básico neste estudo foi utilizado aço zincado para a construção de um modelo reduzido.

Como instrumentos para obtenção de dados e supervisão foram utilizados sensores: de umidade; temperatura; gases; carga e nível; e para a obtenção e manipulação dos dados e controle utilizou-se um microcontrolador marca Arduino®.

Como instrumento para o desenvolvimento da programação, obtenção e manipulação dos dados foi utilizado um notebook. Para a programação e transferência dos dados foi aplicado um programa fornecido pela plataforma Arduino®.

Para transmitir as informações dos dados obtidos para o App foi usado um módulo microcontrolador com conexão WiFi.

O desenvolvimento da comunicação entre as plataformas Arduino e o Blynk® foi feito através do Cloud Computing.

Para o desenvolvimento do Sistema Integrado de Monitoramento de Processos de Armazenamento utilizou-se do Dashboard do Blynk®.

Na análise das propriedades físicas do produto utilizado nos ensaios de vazão mássica foram empregadas amostras de grãos de milho (*Zea mays*).

### Métodos

No fluxograma apresentado na Figura 2 observa-se os passos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do silo modelo reduzido, que estão sequencialmente descritos nos itens a seguir.

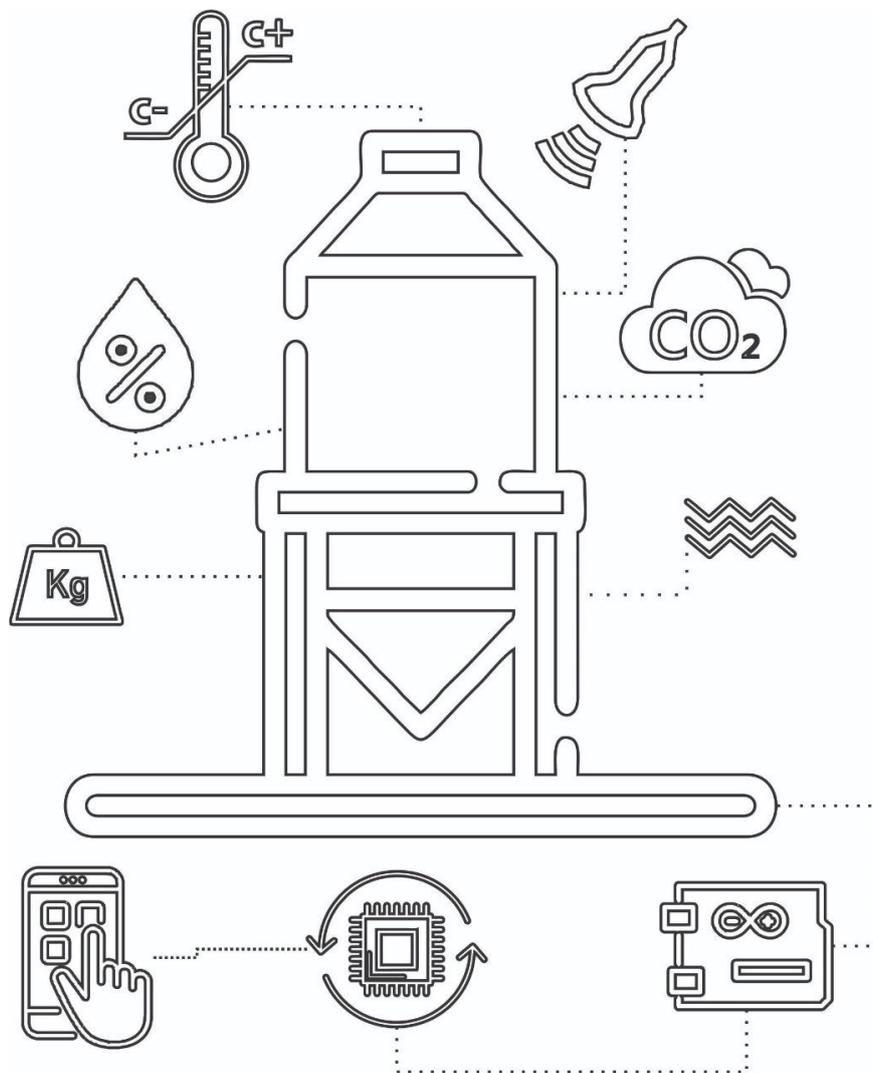


Figura 2. Fluxograma simplificado das etapas de elaboração do silo modelo reduzido.

### Montagem e instrumentação do silo modelo reduzido

Neste trabalho foi construído um silo metálico modelo reduzido armazenador de grãos com o objetivo de testar o funcionamento dos sensores e o grau de confiabilidade e sua resposta. Para a construção do silo foram adotadas as dimensões de 83 cm de altura, sendo 55 cm de montante e 40 cm de corpo do silo e 30 cm de diâmetro, com uma tremonha em aço zincado de espessura nominal de 1,5mm, com inclinação de 37° e entre a tremonha e o orifício de descarga foi conectada uma manta emborrachada que desobstrui caso haja a possível formação de arcos coesivos, por meio de motor vibratório de alta rotação.

O silo foi composto por três pilares apoiados sobre uma base onde encontram-se as células de carga (Figura 3). A base tem a forma anelar apoiada em quatro suportes com a finalidade de absorverem o peso e regular o nível do silo. Na base foram instaladas três células de cargas tipo A0455 com capacidade para 20 kg cada, conectadas ao sistema de aquisição de dados, permitindo obter assim a variação da massa de sólido no interior do silo ao longo do tempo.

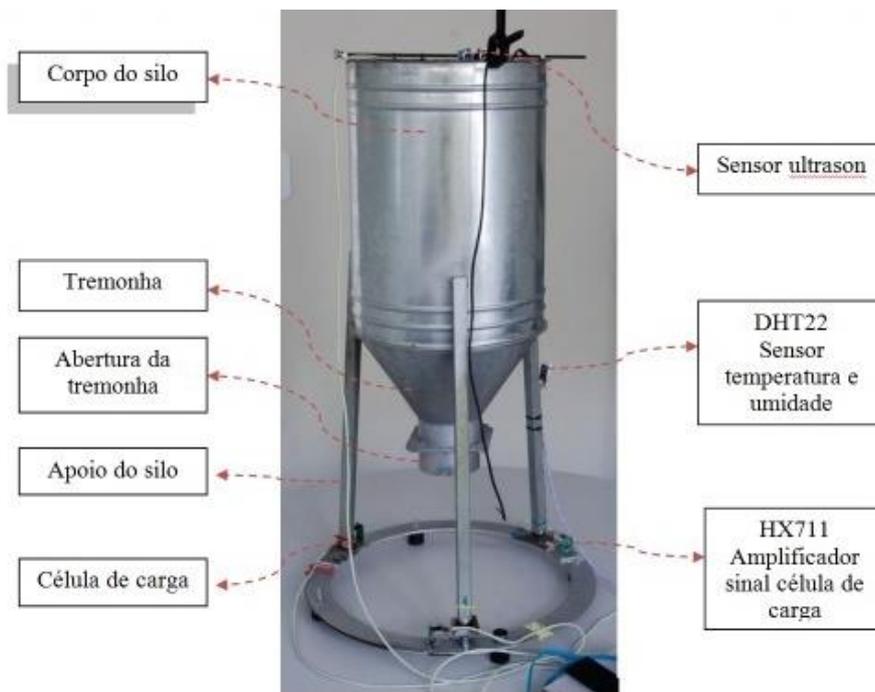


Figura 3. Modelo de silo utilizado.

### Instrumentação e calibração

Para a aquisição de dados de umidade, temperatura, gases, carga e nível de grãos utilizou-se da instalação de sensores no silo.

### Aquisição de dados de umidade e temperatura externa

Como uma das funções do silo modelo reduzido é diagnosticar a termometria dos grãos armazenados, nesse procedimento realizou-se a instalação dos sensores de umidade e temperatura na parte externa do silo para captar os dados de temperatura, nos quais foram utilizados o modelo AM2302 DHT22 formado por um sensor de umidade capacitivo e um termistor (AOSONG, 2019).

Na Tabela 2 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 4 a sua representação.

Tabela 2. Especificações do sensor Modelo AM2302

Especificação	Valor
Tensão de operação	3,3 - 5,5 VDC
Faixa de medição de umidade	0 a 99,9% UR
Corrente: 2,5mA máx. durante uso, em stand by	100uA a 150 uA
Precisão de umidade de medição	± 2,0% UR
Resolução	0,1% UR
Tempo de resposta	2 s
Dimensão	25 x 15 x 7mm (sem terminais)

Fonte: Adaptado de Aosong (2019).

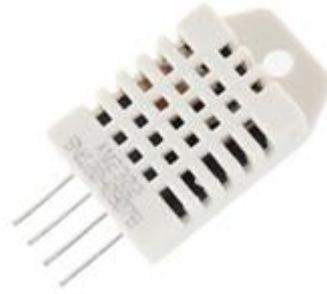


Figura 4. Sensor AM2302 DHT22.  
Fonte: Aosong (2019a).

A instalação do sensor de temperatura e umidade relativa foi instalado no 1.º terço do silo modelo reduzido, como pode ser conferido na Figura 5. Após instalado sensor de temperatura e umidade foi adicionado um Widget box ao Blynk, usando o ESP32 como microcontrolador para enviar os valores obtidos para o Blynk via Wi-Fi.

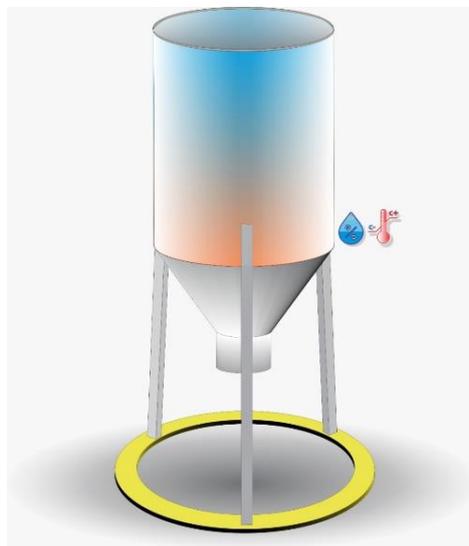


Figura 5. Disposição dos sensores de umidade no silo.

### **Aquisição de dados de temperatura interna**

Na parte interna do silo modelo reduzido foram instalados os sensores de temperatura modelo DS18B20 que controla equipamentos de acordo com a temperatura. É um sensor com precisão de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Na parte interna optou-se por usar esse sensor porque não sofre interferência e pode ser ligado em série.

Na Tabela 3 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 6 a sua representação.

Tabela 3. Especificações do sensor de temperatura Modelo DS18B20

Especificação	Valor
Chip	DS18B20
Tensão de operação	3,0 - 5,5 V
Faixa de medição	-55 a +125°C
Precisão	±0.5°C entre -10 e +85°C
Dimensão ponta de aço	6 x 50mm

Fonte: Adaptado de Maxim Integrated Products (2019).



Figura 6. Sensor DS18B20.  
Fonte: Maxim Integrated Products (2019).

A instalação dos sensores de temperatura foi disposta ao longo do silo verticalmente, como pode ser conferido na Figura 7. Após instalado o sensor de temperatura foi adicionado um Widget box ao Blynk, usando o ESP32 como microcontrolador para enviar os valores obtidos para o Blynk via Wi-Fi.

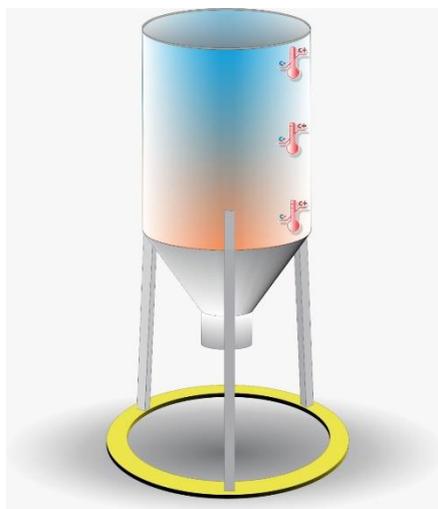


Figura 7. Disposição dos sensores de temperatura no silo.

### Aquisição de dados de gases

Para detectar os gases tóxicos, foi instalado na parte interna superior o sensor de Gás MQ-135 (Figura 8), sendo um módulo capaz de detectar vários tipos de gases, conforme indicado na Tabela 4. Basicamente o sensor possui duas saídas, uma analógica que retorna uma tensão proporcional ao nível do gás ou fumaça no ambiente e outra digital que indica a presença, ou não, de gás ou fumaça. A sensibilidade do sensor foi ajustada por meio de um pequeno trimpot presente na placa do microcontrolador. Após instalado o sensor de gases foi

adicionado um Widget box ao Blynk, usando o ESP32 como microcontrolador para enviar os valores obtidos para o Blynk via Wi-Fi.

Na Tabela 4 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 8 a sua representação.



Figura 8. Sensor MQ-135.  
Fonte: Hanwei (2019).

Tabela 4. Especificações do sensor de gases Modelo MQ-135

<b>Especificações</b>	<b>Valores</b>
Alimentação	5 VDC
Detecção de gases tóxicos	amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, fumaça e álcool
Faixa de detecção amônia	10 a 300ppm
Faixa de detecção benzeno	10 a 1000ppm
Faixa de detecção álcool	10 a 300ppm
CI LM393	
Saídas digital e analógica	
Dimensões	40 x 25 x 22mm

Fonte: Adaptado de Hanwei (2019).

### Aquisição de dados do nível de grãos

Partindo do princípio que uma detecção positiva no qual indica que existem grãos no silo, basta saber sua localização para estimar a altura da coluna de grãos.

Para tal, na parte interna superior do silo modelo reduzido, foi instalado um sensor ultrassônico modelo HC-SR04 para medir o nível e informar para o sistema quando alcançou o nível crítico, tanto superior, quanto o inferior. O Sensor de Distância é capaz de medir distâncias de 0,2 a 4 m com ótima precisão. Este módulo possui um circuito com emissor e receptor acoplados e 4 pinos para medição.

Na Tabela 5 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 9 a sua representação.

Tabela 5. Especificações do sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04

Especificações	Valores
Alimentação	5 VDC
Corrente de Operação	2 mA
Ângulo de efeito	15°
Alcance	2cm ~ 4m
Precisão	3mm

Fonte: Adaptado de Elecfreaks (2019).



Figura 9. Sensor HC-SR04.  
Fonte: Elecfreaks (2019).

Para a medição foi necessário alimentar o módulo e colocar o pino Trigger em nível alto por mais de 10us, no qual a onda sonora que, ao encontrar um obstáculo, rebateu de volta em direção ao módulo. Foi realizado o cálculo da distância através da Equação 1.

$$\text{Distância} = (\text{Tempo ECHO em nível alto} * \text{Velocidade do Som}) / 2 \text{ (Eq.1)}$$

Onde: velocidade do som = 340 m/s.

Sendo usado apenas para detectar presença, o sensor não tem seu funcionamento modificado, bastando determinar um limiar máximo para o tempo de reflexão, e tudo que for maior que esse valor representa que não há grãos.

Antes da realização dos testes foi calibrado o limiar máximo e mínimo do nível de grãos com o objetivo de sincronizar o silo com o sistema supervisorio (Figura 10).



Figura 10. Calibração do sensor de nível de grãos.

Após instalado o sensor de nível de grãos foi adicionado um Widget box ao Blynk, no Level V, usando o ESP32 como microcontrolador para enviar os valores obtidos para o Blynk via Wi-Fi. Depois, no Widget Level V settings foi selecionado o Virtual Pin V6 com 5 o mínimo e 60 o máximo, onde o Flip axis (eixo de rotação) em função ligado (*on*), com taxa de leitura a 2 segundos.

### Aquisição de dados de carga e módulo

Para medir o nível de carga do silo, foram instaladas na base anelar três células de carga com capacidade de 20 kg cada, modelo A0455 (Figura 11) e um amplificador de sinal modelo HX711 ADC 24 Bits.

Na Tabela 6 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 13 a sua representação.

Tabela 6. Especificações técnicas da célula de carga

Especificações	Valores
Tensão de operação (recomendada)	5 a 10V DC
Tensão de operação (máxima)	10V DC
Capacidade de peso	até 20 Kg
Quantidade de fios	4
Potência nominal	$1.0 \pm 0.1\text{mV/V}$
Zero Saída	$\pm 0.1\text{mV/V}$
Creep	0.05% F.S/5 min
Impedância de entrada	$1066 \pm 10\% \Omega$
Impedância de saída	$1000 \pm 10\% \Omega$
Comprimento dos fios	20 cm
Temperatura de operação	-20 ~ 65° C
Material	Liga de alumínio
Classe da proteção	IP65
Dimensões	11 x 11 x 80mm
Peso	30 g

Fonte: Adaptado de Phidgets (2019).



Figura 11. Célula de carga.  
Fonte: Phidgets (2019).

Devido o sinal emitido pela célula do Sensor de Peso – Célula de Carga – 20 kg ser baixo, foi necessário o uso do módulo HX711 ADC 24 Bits como amplificador de sinal, fazendo a interligação entre essas células e o microcontrolador.

Na Tabela 7 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 12 a sua representação.

Tabela 7. Especificações técnicas do módulo HX711

<b>Especificações</b>	<b>Valores</b>
Tensão de operação	4,8 a 5,5V DC
Corrente de operação	1,6 mA
Temperatura de operação	-20 a 85°C
Interface	SPI
Dimensões	29 x 17 x 4mm (sem os pinos)

Fonte: Adaptado de Avia (2019).

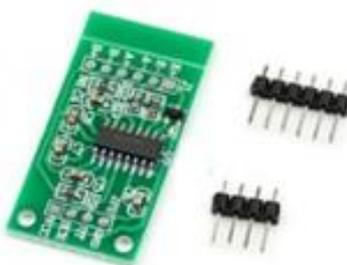


Figura 12. Amplificador de sinal.  
Fonte: Avia (2019).

A calibração das células de carga ocorreu através de uma série de medições que estabelecem a relação precisa entre a leitura e os valores reais de medição. Foi realizada utilizando uma biblioteca do Arduino do amplificador HX711, onde foi feita a leitura sem o peso, logo após foi colocado um peso conhecido e obtido outro valor. A relação entre os dois valores foi utilizada como fator de calibração na programação.

Utilizando o Arduino foi programado a linguagem c++ usando a biblioteca Blynk versão 0.5.4 obtido em <https://github.com/blynkkk/blynk-library> (Figura 13), onde a imagem no sistema integrado que representa o silo irá variar conforme a quantidade de material existente no silo.

```
UTRSOM_BLANCAS__TEMPER_3S__BM280_BLYNK
//Balanca_2 = (balanca_2.get_units() +0.4);
// Balanca_3 = (balanca_3.get_units() +0.3);
//Soma = ((Balanca_1)+(Balanca_2)+(Balanca_3));

Serial.print(distance);
Serial.println("cm");
lcd.print(1, 1, distance);

// void printValues()

Blynk.virtualWrite(V6,distance);
Blynk.virtualWrite(V7,Balanca_1);
Blynk.virtualWrite(V8,Balanca_2);
Blynk.virtualWrite(V9,Balanca_3);
// Blynk.virtualWrite(V10,Soma);

Blynk.virtualWrite(V4,sensors.getTempC(sensor1));
Blynk.virtualWrite(V2,sensors.getTempC(sensor2));
Blynk.virtualWrite(V3,sensors.getTempC(sensor3));

Blynk.virtualWrite(V11,bme.readTemperature());
Blynk.virtualWrite(V12,bme.readHumidity());
Blynk.virtualWrite(V13,bme.readPressure() / 100.0F);
Blynk.virtualWrite(V14,bme.readAltitude(SEALEVELPRESSURE_HPA));

Blynk.run();

delay(3500);

Carregado
Leaving...
Hard resetting via RTS pin...
127
```

Figura 13. Linguagem código para dados de carga.

Após instaladas as células de carga foi adicionado um novo Widget ao Blynk, o Value Display, um para cada célula de carga e o Super Chart usando o ESP32 como microcontrolador onde foram enviados os valores obtidos para o Blynk via Wi-Fi.

No Widget Value Display settings foi incluído o Título B1, B2 e B3 respectivamente referente a cada célula de carga em que foi selecionado o Virtual Pin V7, V9 e V8 onde foi selecionado valores como 0 o mínimo, e 20 o máximo, devido as células de carga só suportarem 20 Kg.

No Widget SuperChart settings foi incluído o Título Montante 1, 2 e 3 respectivamente referente a cada célula de carga onde após foram selecionados o Virtual Pin V7, V9 e V8, com valores como 0 o mínimo, e 20 o máximo, isso devido as células de carga só suportarem 20 Kg.

Essas foram ligadas separadamente para visualizar o valor individual de cada uma, e verificar se todas estão funcionando, como também qual a carga recebida separadamente por cada montante.

## Transmissão e recepção de dados dos sensores

Os circuitos e componentes eletrônicos que compõem as unidades transmissora e receptora foram implementados conforme indicado por Ferrasa (2008), no que se denomina matriz de contatos ou *prototype board*, que proporciona flexibilidade na adição de componentes eletrônicos, bem como na disposição das trilhas de contatos entre esses componentes. Em um

*prototype board* não há soldagem dos elementos inseridos, pois sua utilização se configura somente na fase experimental de um projeto eletrônico.

### Instalação de motor vibratório

Foi instalado no silo modelo reduzido um motor AC (Figura 12), sendo acionado cada vez que a abertura do orifício da tremonha é aberta, com o intuito de impedir a formação de arcos coesivos que impedem o descarregamento parcial ou total do silo.

Na Tabela 8 observa-se a descrição das características do motor e na Figura 14 a sua representação.

Tabela 8. Especificações técnicas do motor vibratório Rapid S-10 2270 38Z

Especificações	Valores
Tensão de operação	3 a 6 V DC
Corrente sem carga	~200mA (ligado em 6V) / ~150mA (ligado em 3V)
Velocidade de operação	5000 RPM em 3V a 10.000 RPM em 6V
Interface	SPI
Dimensões do motor	15 x 20 x 29mm
Medidas do eixo	2 x 9mm
Peso	14 g

Fonte: Adaptado de Rapidelec (2019).



Figura 14. Motor vibratório.  
Fonte: Rapidelec (2019).

### Módulo microcontrolador de conexão

O microcontrolador utilizado para a conexão entre o dispositivo e o sistema Wi-Fi foi módulo ESP32 Devkit V1.

Na Tabela 9 observa-se a descrição das características do sensor e na Figura 15 a sua representação.

Tabela 9. Especificações técnicas do microcontrolador ESP32

Especificações	Valores
CPU	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
ROM	448 KBytes
RAM	520 KBytes
Flash	4 MB
Clock máximo	240 MHz
Wireless padrão	802.11 b/g/n
Conexão Wifi	2.4 Ghz (máx. 150 Mbps)
Antena	embutida
Conector	micro-usb
Wi-Fi Direct (P2P)	P2P Discovery, P2P Group Owner mode, P2P Power Management
Modos de operação	STA/AP/STA+AP
Bluetooth	BLE 4.2
Portas	GPIO: 11
GPIO com funções	PWM, I2C, SPI, etc
Tensão de operação	4,5 ~ 9V
Taxa de transferência	110-460800 bps
Suporta	Upgrade remoto de firmware
Conversor analógico digital	(ADC)
Distância entre pinos	2,54 mm
Dimensões	52 x 28 x 5 mm (desconsiderando os pinos)

Fonte: Adaptado de Espressif Systems (2016).



Figura 15. Microcontrolador ESP32.

Fonte: Espressif Systems (2016).

## Programação do software supervisor Arduino

Nesta etapa foi utilizado um programa na linguagem c++. Para construir o firmware (programa computacional de baixo nível) (Figura 16) que foi gravado no Arduino para interagir com os sensores de temperatura e umidade relativa do ar instalados na parte externa o DHT22 utilizando as bibliotecas *Adafruit\_Sensor.h*, *DHT.h* e *DHT\_U.h* (<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>). Sensores de temperatura da parte externa o DS18B20 utilizando a biblioteca *OneWire.h* (<https://github.com/PaulStoffregen/OneWire>) e *DallasTemperature.h* (<https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>). Sensor de Gás MQ-135 para Gases Tóxicos localizado na parte externa não foi usado biblioteca específica, para o Sensor de presença ultrassom HC SR04, foi utilizado a

biblioteca *Ultrasonic.h* (<https://github.com/filipeflop/Ultrasonic>), disponibilizadas gratuitamente em repositórios de códigos na internet.

Com adaptações na codificação *multiple* encontrada na biblioteca dos exemplos foi possível estabelecer a comunicação entre os sensores e o Arduino.

Sensores de células carga utilizando a biblioteca HX711.h (acesso em <https://github.com/bogde/HX711>) feita a calibração da seguinte forma:

*Chamada set scale()sem parâmetro.*

*Chamada tare()sem parâmetro.*

*Coloque um peso conhecido na balança e ligue get\_units(10).*

*Divida o resultado na etapa 3 com o seu peso conhecido.*

*Você deve obter o parâmetro para o qual precisa passar set\_scale().*

*Ajuste o parâmetro na etapa 4 até obter uma leitura precisa.*

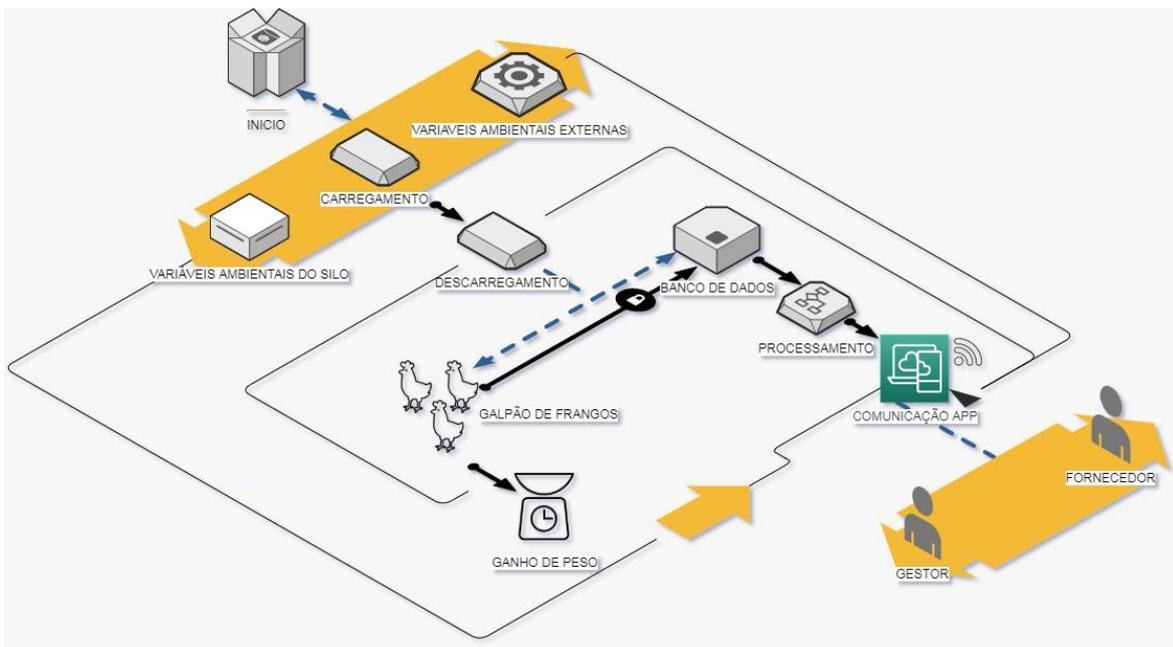
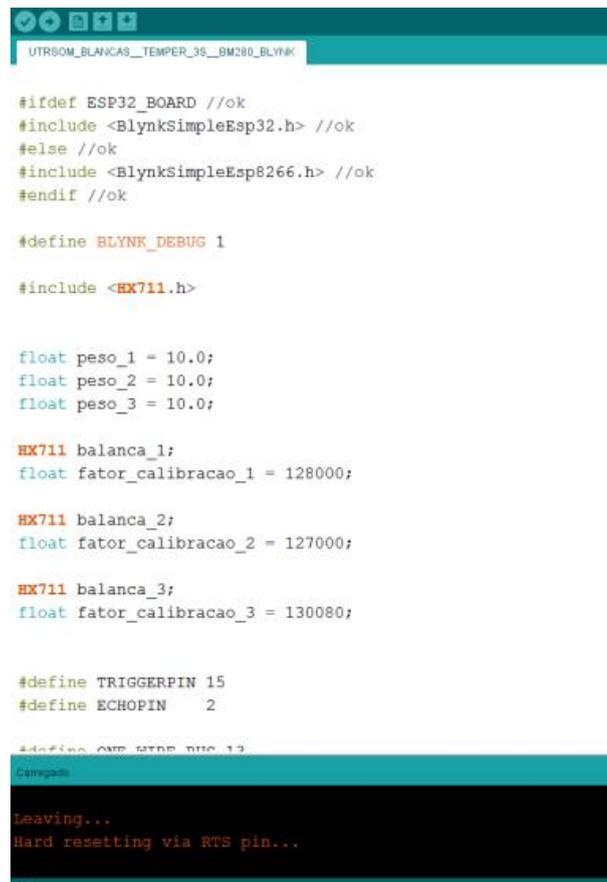


Figura 16. Loop principal da unidade remota.

O código IDE do Arduino foi programado usando a biblioteca HX711 para Arduino (Figura 17).



```
UTRSOM_BLANCAS_TEMPER_3S_BM280_BLYNK

#ifdef ESP32_BOARD //ok
#include <BlynkSimpleEsp32.h> //ok
#else //ok
#include <BlynkSimpleEsp8266.h> //ok
#endif //ok

#define BLYNK_DEBUG 1

#include <HX711.h>

float peso_1 = 10.0;
float peso_2 = 10.0;
float peso_3 = 10.0;

HX711 balanca_1;
float fator_calibracao_1 = 128000;

HX711 balanca_2;
float fator_calibracao_2 = 127000;

HX711 balanca_3;
float fator_calibracao_3 = 130080;

#define TRIGGERPIN 15
#define ECHOPIN 2

#define ONE_TIME_PIN 13

Leaving...
Hard resetting via RTS pin...
```

Figura 17. Código IDE.

## Desenvolvimento da linguagem IoT

Para realizar a comunicação entre os sensores de temperatura, umidade, gases, carga e de distância, e o microcontrolador Arduino, foi utilizado o APP Blynk® instalado no dispositivo móvel Android, que conectou em rede a plataforma microcontrolada/embarcada, sendo possível ser acessados remotamente através do uso da internet. A linguagem utilizada e descrita encontra-se no Anexo 1.

## Sistema supervisor Blynk®

A visualização e controle de informações foram feitas através de um aplicativo para smartphones. Para a construção do aplicativo foi utilizada a plataforma Blynk®, desenvolvida para iOS e Android para controlar placas de desenvolvimento como o Arduino, Raspberry Pi, NodeMCU e outros dispositivos através da Internet.

Como software supervisor foi utilizado o Blynk®, um aplicativo para tablets e smartphones que permite fazer vários tipos de projetos para monitoramento, em que foi realizado o download do software no site da própria empresa (<https://blynk.io/>).

Utilizando o aplicativo foi realizado um cadastro definindo utilizando um e-mail válido e senha para acessar o painel de aplicações. Na configuração do dispositivo define-se o nome

do projeto, o dispositivo microcontrolador utilizado (ESP32), o tipo de conexão (Wi-Fi) e o nome de projeto.

Após, foi direcionado a um dashboard vazio e um Token enviado ao e-mail com código chave do microcontrolador com 32 caracteres alfanuméricos que possibilita o servidor Blynk direcionar as informações entre o aplicativo instalado no dispositivo móvel e a plataforma.

No Blynk® foram inseridos displays para monitorar os sensores de temperaturas em intervalo de 0 a 100, para o sensor de umidade do ar foi definido o intervalo de 0 a 100%; e inserido um display do tipo superchart para armazenar os dados recolhidos em períodos de tempo, podendo ser disponibilizado em tempo real ou em intervalos que variam até um ano.

O monitoramento de temperatura do sensor teve seus dados armazenados no Blynk® e transformados em gráficos.

## **Sistema Integrado de Monitoramento de Produtos Armazenados em Silos**

Para finalização do sistema de monitoramento foram realizados alguns ensaios descritos a seguir.

### **Ensaio do sistema integrado de monitoramento**

A etapa final do sistema de monitoramento da temperatura, umidade, de gases e nível de carga em silos de armazenamento de grãos coube a programação realizada no Arduino, responsável pela interface com o usuário e o armazenamento dos dados obtidos.

A validação do sistema, foi por meio de testes, com o objetivo de avaliar o envio remoto para o aplicativo. Esses testes tiveram como objetivo a captura dos valores para a geração de relatórios seja em forma de gráficos ou tabelas com o propósito de análise do gerenciamento e tomada de decisão.

Para isso, as células de carga foram calibradas antes da montagem para registrar o valor exato sem precisar da função Tara. Após colocou-se o silo sobre uma base e foram realizadas várias leituras do sensor com o silo vazio na entrada da carga, no meio e carga total, e em seguida foram representados em forma de gráficos no APP.

### **Determinação das propriedades físicas**

Na Figura 18 visualiza-se as amostras de grãos de milho (*Zea mays*) utilizado na pesquisa.



Figura 18. Milho em grãos.

### Determinação do teor de umidade

O método utilizado para a determinação do teor de água nas sementes milho (*Z. mays*), conforme metodologia prescrita em RAS (BRASIL, 2009), utilizando o método da estufa, a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , por 24 h, efetuada em triplicata, utilizando-se 10g do produto para cada repetição, sendo os resultados expressos em porcentagem (%) b.u. (base úmida - relação entre a massa de água presente na semente e a massa total da semente) de teor de água.

As amostras foram colocadas em recipientes de alumínio, em seguida foram pesadas em balança com precisão de 0,001 g (Bel.engenering) para se obter a massa total do produto e levado a estufa com circulação e renovação de ar (AR SL 102/480 - SOLAB) a temperatura de  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , com uma tolerância de 24 h. Em seguida, os recipientes foram resfriados em dessecador, novamente pesados obtendo-se a massa seca. A umidade foi calculada usando-se a Equação 2.

$$U = \frac{m_{\text{água}}}{m_t} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: U - umidade (% base úmida);  $m_{\text{água}}$  - massa de água da amostra (g);  $m_t$  - massa total da amostra (g).

### Determinação do tamanho médio dos grãos

O diâmetro e a esfericidade dos grãos foram analisados quanto ao comprimento, largura, espessura com auxílio de paquímetro digital (precisão de 0,01mm), sendo que “a” representa o comprimento ou o maior eixo (mm); “b” a largura ou eixo médio (mm); e “c” a espessura ou menor eixo (mm) (Figura 19), utilizando 3 repetições de 10 grãos para cada tratamento conforme metodologia de Mohsenin (1986).

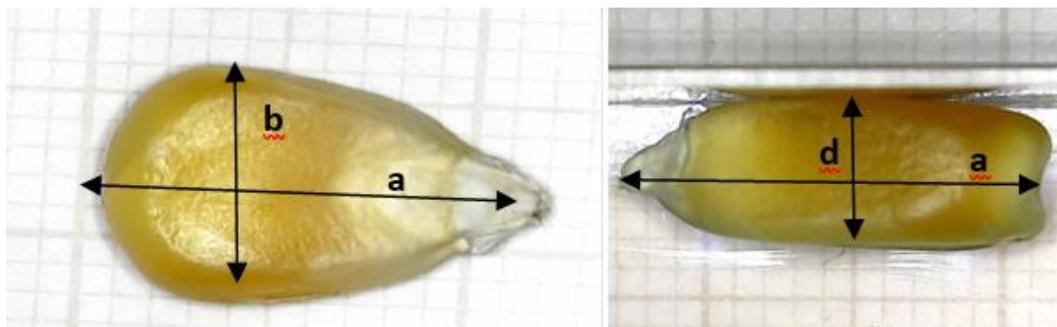


Figura 19. Milho em grãos.

### Determinação granulométrica

Para a determinação granulométrica, utilizou-se um conjunto de peneiras padrão NBR NM 248 (ABNT, 2001), sendo montadas em ordem decrescente (3/8"; 9,6; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15; e o fundo) em função da malha e agitadas em um vibrador elétrico (ERFEL) (Figura 20). por um período de 5 min. Após esse processo, as peneiras foram retiradas e pesadas em balança eletrônica de precisão de 0,01g (Bel.Engineering). Pela diferença de massa em cada peneira, determinaram-se as frações granulométricas dos grãos.



Figura 20. Equipamento agitador com peneiras utilizado no ensaio granulométrico.

### Determinação da massa específica

A metodologia utilizada para a determinação da massa específica aparente consistiu na utilização de um recipiente cilíndrico com volume de 0,288604 L, cujo índice de esbeltez (relação entre a altura e o diâmetro) igual a 0,78 e uma balança analítica com precisão de 0,001 g (Bel.engeneering). Para garantir que os grãos se acomodassem naturalmente no cilindro e que ocorresse homogeneidade entre as repetições, utilizou-se um funil preso a um suporte metálico, cuja descarga foi posicionada no centro do recipiente. A altura de queda do produto

da saída do funil até o recipiente foi de 20 cm. Após liberada a abertura do funil, os grãos preenchem o cilindro até transbordar, sendo o excedente retirado, nivelando-se o produto com a borda com uma régua. A massa de grãos contida no recipiente foi pesada em balança com resolução de 0,01 g. Para cada espécie, foram realizadas quatro repetições.

Para essa metodologia, é importante ressaltar que não existe padronização do recipiente utilizado para determinação dessa propriedade quanto às suas dimensões e volume, existindo trabalhos com descrição similar (ARAÚJO et al., 2014) e diferente (JESUS et al., 2013).

## Ensaio de vazão mássica

Para a realização dos ensaios de vazão foram determinados alguns parâmetros para o cálculo da vazão descritos a seguir.

## Determinação dimensional

Nesta pesquisa foi utilizada a análise dimensional proposta por Beverloo et al. (1961) e adaptado por Nedderman et al. (1982) para os ensaios de vazão conforme a Equação 3.

$$W = C \rho_B \sqrt{g} (d_o - kd)^{2,5} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:  $W$  - vazão mássica;  $C = 0,59$  a  $0,62$ ;  $\rho_B$  - massa específica do produto;  $g$  - aceleração da gravidade;  $k = 1,4$ ;  $d_o$  - diâmetro da partícula;  $d$  - diâmetro de saída.

## Determinação do volume do silo modelo reduzido

Para calcular o volume total do modelo reduzido do silo, utilizaram-se das fórmulas de formas geométricas em que considera o volume do corpo do silo (cilindro) e o da tremonha (cone) através das Equações 4 e 5.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:  $V$  - volume;  $\pi = 3,14$ ;  $r$  - raio da parte superior;  $h$  - altura.

$$V = \pi \cdot h/3 \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:  $V$  - volume;  $\pi = 3,14$ ;  $r$  - raio da parte inferior;  $h$  - altura;  $R$  - Raio da parte superior.

Para o cálculo da massa total dos grãos armazenados no silo foi utilizado o valor obtido no cálculo do volume do silo, em que esse valor foi multiplicado pelo valor da densidade do milho de acordo com BRASIL (2009).

## Determinação dos diâmetros de saída da tremonha

Para o dimensionamento das áreas de saídas da tremonha utilizadas neste estudo de 1/1, 1/3, 1/2 e 1/4 foi calculado a área do segmento circular (Equação 6), formada quando o orifício da tremonha é aberto, e relacionado a uma circunferência com área igual, obtendo-se assim o diâmetro.

$$A = \frac{r^2}{2} (\alpha - \text{sen}\alpha) \text{ (Eq. 6)}$$

## Cálculo da vazão mássica

Para a determinação da vazão mássica utilizado no descarregamento do silo modelo reduzido foram utilizados grãos de milho.

O procedimento experimental de fluxo consistiu em carregar o silo de forma manual, concêntrica e com velocidade aproximadamente constante, garantindo, assim, a homogeneidade do carregamento. Após um período de descanso de 30 minutos efetuou-se o descarregamento do silo, por gravidade.

Todos os ensaios foram executados em quatro repetições. A coleta dos dados foi realizada durante os processos de descarregamento do silo sendo esses divididos em quatro etapas consistindo, cada etapa, de quatro repetições. Para validação, realizou-se uma normalização dos dados obtidos.

Na primeira etapa do estudo, ocorreu o carregamento do silo, e após 30 min, com a abertura do orifício de descarga em 1/4 efetuou-se seu descarregamento completo.

Na segunda etapa, o silo foi carregado e após 30 min, com a abertura do orifício de descarga em 1/2 efetuou-se seu descarregamento completo.

Na terceira etapa, o silo foi carregado e após 30 min, com a abertura do orifício de descarga em 3/4 efetuou-se seu descarregamento completo.

Na quarta etapa, o silo foi carregado e após 30 min, com a abertura do orifício de descarga em 100% efetuou-se seu descarregamento completo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Sistema integrado de monitoramento de produtos armazenados em silos

Nesta seção apresenta-se os resultados do desenvolvimento do Sistema Integrado de Monitoramento de Produtos Armazenados em Silos (SimSilo).

#### Silo modelo reduzido

Nas Figuras 21a e 21b observa-se o modelo reduzido do silo desenvolvido, seus sensores instalados, e o sistema de conexão de dados com o módulo microcontrolador.



Figura 21. Silo modelo reduzido, a) vista frontal; b) vista superior.

Nos testes realizados utilizando o silo modelo reduzido obteve-se resultados satisfatórios, pois em sua estrutura, comportou-se com estabilidade fornecendo adequadamente os dados captados pelos sensores.

Bandeira et al. (1999), ao analisarem o comportamento do fluxo de ração avícola e farelo de trigo, utilizando um modelo reduzido de silo prismático, com paredes em acrílico transparente e conformação zigue-zague, concluíram que o modelo foi adequado para análise de fluxo de produtos armazenados.

No entanto Freitas (2001), em estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano, utilizou também um silo modelo reduzido e obteve bons resultados.

Gomes e Calil Júnior (2005) comentaram que a grande vantagem da utilização de modelos reside na praticidade e economia nos ensaios. Em suas pesquisas o controle das variáveis envolvidas foi facilitado e permitiu a obtenção de resultados confiáveis.

Ferrasa (2008), utilizando protótipo para desenvolver um sistema de monitoramento de temperatura e umidade em silos graneleiros via rádio, afirma que, o protótipo pode ser considerado como uma solução tecnológica, pois o aplicado foi de baixo custo, e proporcionou comodidade de leitura remota sem necessidade do deslocamento até o silo.

Avaliando o comportamento do fluxo de partículas em modelo reduzido de silo cilíndrico e tremonhas com diferentes ângulos de inclinação, Batista (2009) obteve bons resultados em sua pesquisa.

Lopes Neto e Nascimento (2013), empregando um modelo reduzido de forma semicircular em sua pesquisa, concluíram que o modelo se demonstrou adequado para a visualização do perfil de fluxo e das variações ocorrentes durante o fluxo.

## **Dados de umidade**

Na Figura 22 pode-se observar o sensor de umidade instalado na parte exterior do silo modelo reduzido.



Figura 22. Sensor de umidade externo.

Os dados de umidade obtidos pelo AccuWather apresentam valor de 37%, enquanto o sensor utilizado apresenta valores de temperatura de 44,74% de umidade relativa do ar (UR). Essa diferença significativa da umidade é devido a maior precisão do sensor localizado em ambiente à sombra ventilado e os dados obtidos externamente ser proveniente de estação meteorológica localizada em ambiente aberto com menor umidade relativa.

Pelos resultados obtidos, observa-se que a umidade relativa do ar, não apresenta grandes variações em períodos de tempo extremamente curtos como em segundos ou poucos minutos (1 a 5 min) durante as análises. Isso significa que, a obtenção de dados de UR compreendida nesses períodos, não é significativa para o processo de monitoramento instantâneo. Porém, para o monitoramento contínuo ao longo dos dias, meses ou anos, é muito significativo devido a variação da temperatura diária ao longo dos meses e estações do ano. Portanto, verifica-se a devida importância destes sensores e de seu monitoramento.

Siviero (2017) monitorando via ultrassom, temperatura e umidade no armazenamento de grãos com acionamento do sistema de aeração, validou o uso do sensor DHT22 para medição de temperatura e umidade.

Conti e Wiggers (2014) concluíram que o sistema utilizado pelos autores apresentou observações referentes a umidade e temperatura ideal da cultura armazenada, como um sistema especialista, para auxílio na tomada de decisão para que os grãos armazenados mantenham sua qualidade.

### **Dados de temperatura interna**

Na Figura 23 observa-se o sensor de temperatura instalado na parte superior.

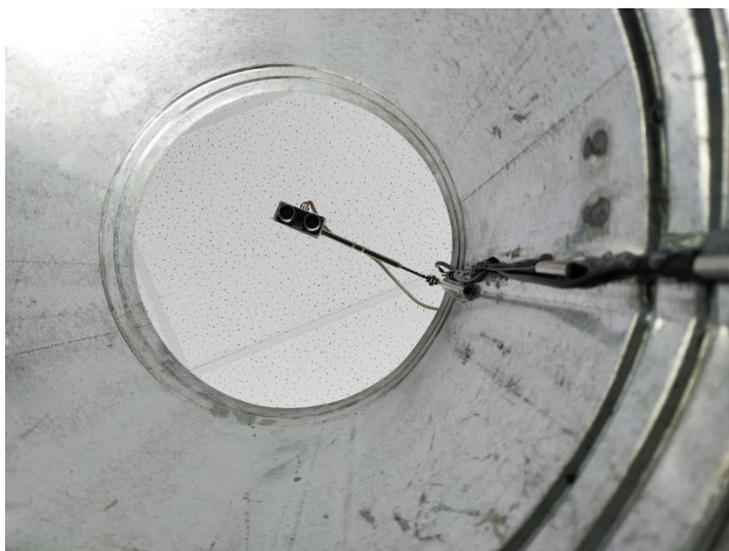


Figura 23. Sensor de temperatura.

Os dados de temperatura obtidos pelo AccuWeather apresentam o valor de 32°C. Já pelos sensores apresentam os valores de temperatura de 27,93; 28,25; e 28,50°C.

Gomes e Calil Júnior (2005) em estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais observaram que a temperatura externa medida próxima à parede do silo foi de 26°C e as temperaturas na massa de grãos variaram dentro de uma faixa de temperatura de 22 a 25°C.

Bica et al. (2018), em monitoramento de temperatura com sensores eletrônicos ligados em rede utilizando a plataforma Arduino, foram capazes de comprovar a eficácia do trabalho, apresentando a ligação de sensores em rede e a medição de temperatura em diferentes pontos.

Ferrassa (2008) observou que não comprometeu a função de monitoramento do sistema, pois a temperatura e a umidade principalmente no interior do silo, não apresentam variações significativas para esses curtos períodos de tempo.

Nascimento e Queiroz (2011), monitorando a temperatura de grãos em silos de pequena escala, e utilizando sensores digitais modelo DS18B20, verificaram um bom desempenho na utilização, pois apresentou bons resultados nas análises, nos quais contataram as variações diárias da temperatura.

Martinazzo e Orlando (2016) em teste com três sensores de temperatura, coletando dados isoladamente, apresentaram bons resultados, no entanto, o sensor digital DS18B20 mostrou-se mais estável e ainda concluíram que o sensor é possível ser utilizado em

experimentos didáticos e práticos para o controle de temperatura sendo mais apropriado para aplicações em que se exija maior precisão e repetitividade.

## **Dados de gases**

Na Figura 24 observa-se o sensor de gases instalado.



Figura 24. Sensor de gases.

Durante os testes não foi constatada a presença de gases acima do normal. Neste trabalho observa-se que o sensor utilizado apresenta um tempo de resposta e sensibilidade para o CO<sub>2</sub> e fumaça adequados.

Pires (2018), em procedimento de calibração de projeto de uma unidade de monitoramento e controle ambiental, utilizando os sensores MQ4, MQ6, MQ8 e MQ-135, em seus resultados, obteve o Coeficiente de Variação de 0,03 para todos os sensores.

Almeida (2017), utilizando sensores MQ7 e MQ8 em monitoramento dos gases existente em espaço confinado de uma unidade armazenadora de grãos, da mesma família utilizada nesse estudo, observou que, o sensor utilizado possui algumas características importantes para esse tipo de aplicação, uma delas seria o tempo de resposta, imunidade eletromagnética, linearidade e sensibilidade para a detecção dos gases, entre outras.

Já o sensor MQ2 utilizado por Koelln (2017) não apresentou resposta à variação da concentração de dióxido de carbono em trabalho de desenvolvimento de um sistema de monitoramento de dióxido de carbono em espaços confinados de unidades de pré-processamento de grãos.

De acordo com Kalra et al. (2016), o datasheet afirma que o MQ135 é adequado para CO<sub>2</sub>, álcool, benzeno, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>. Os autores observaram no gráfico de características de sensibilidade, que a sensibilidade geral é aproximadamente a mesma para todos os gases. Mas, como o CO<sub>2</sub> é o quarto gás mais abundante na atmosfera da Terra, presume-se com segurança que em uma atmosfera normal, o sensor detecta principalmente o CO<sub>2</sub>.

Santos Júnior (2018) monitorando a temperatura e dióxido de carbono em silo piloto utilizando Arduino e Blynk®, obteve resultados satisfatórios e concluiu a possibilidade de monitoramento automatizado.

## Dados de nível de grãos

Na Figura 25 pode-se observar o sensor de nível de grãos. Por este trabalho é possível observa-se que, o sensor de nível se apresenta eficaz para a medição da altura dos grãos no silo modelo reduzido, não ocorrendo problemas quanto a transmissão dos dados ao microcontrolador.

Siviero (2017), utilizando o mesmo sensor de ultrassom, validou em parte, pois nem sempre a presença de grãos era detectada, isso possivelmente deveu-se ao fato de o sensor ter seu funcionamento prejudicado para distâncias menores que 2 cm.

Taira e Siqueira (2018), utilizando prototipagem e plataforma Arduino para um sistema de controle de nível, observaram que, os sensores de vazão e ultrassônico apresentaram ruídos durante o processo e constataram que a tendência das respostas do nível medido e calculado foi semelhante.



Figura 25. Sensor de nível de grãos.

Já Schmidt et al. (2018), em pesquisa de controle de operações em secadores de grãos, comentam que em relação ao nível de grãos, o controle automático centralizado tende a reduzir a probabilidade de erros operacionais causados pela ação humana, pois as principais decisões de atuação passam a se pautar em sequências lógicas pré-projetadas em nível de engenharia, as quais independem da vontade do operador, melhorando a qualidade do sistema sob controle.

## Dados de carga

Através da Figura 26 pode-se observar os sensores de carga instalado na base juntamente com o módulo HX711.

Os sensores de carga apresentam regularidade no funcionamento demonstrando os valores de peso de acordo com o carregamento e o descarregamento. Os módulos funcionaram bem e transmitiram os dados perfeitamente.

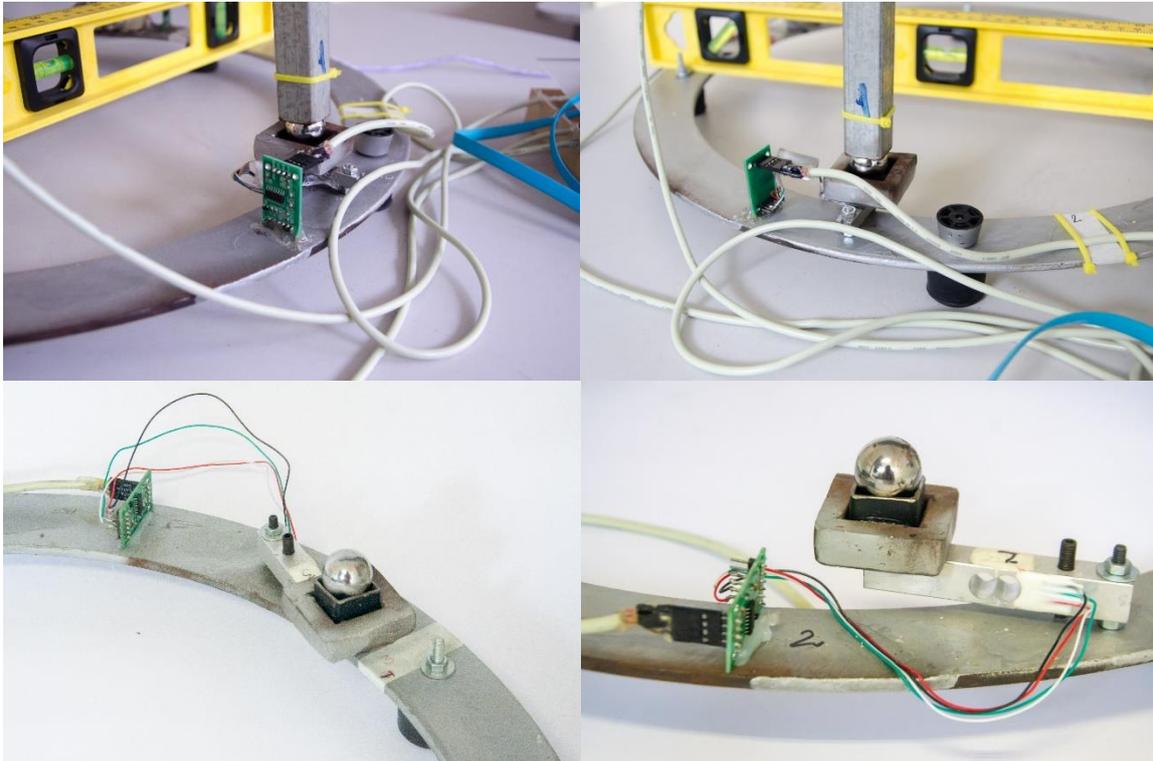


Figura 26. Sensores de carga e módulo.

Batista (2009), utilizando célula de carga do tipo viga dupla em balanço com capacidade de carga de 100 kg em estudo teórico e experimental da vazão mássica e do fluxo de produtos granulares para subsidiar o projeto estrutural em silos, também obteve resultados satisfatórios.

Nascimento (2008), em estudo teórico e experimental da relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados em instrumentação do silo piloto sob duas colunas, utilizando células de carga com capacidade de 50 kN MSI para medição da força total mobilizada pelo atrito, atingiu resultados adequados para o experimento.

Silva (2002), em estudo da influência do empuxo lateral causado por grãos nas paredes de grandes silos horizontais utilizando modelo reduzido de armazém graneleiro foi instrumentado com células de carga para medição de pressões horizontais ativas e ao repouso no qual alcançou valores bem aceitáveis.

## Motor vibratório

Durante o descarregamento do silo nos ensaios realizados, o motor vibratório (Figura 27) executou satisfatoriamente seu objetivo quando necessário, evitando assim arcos coesivos durante os processos executados.

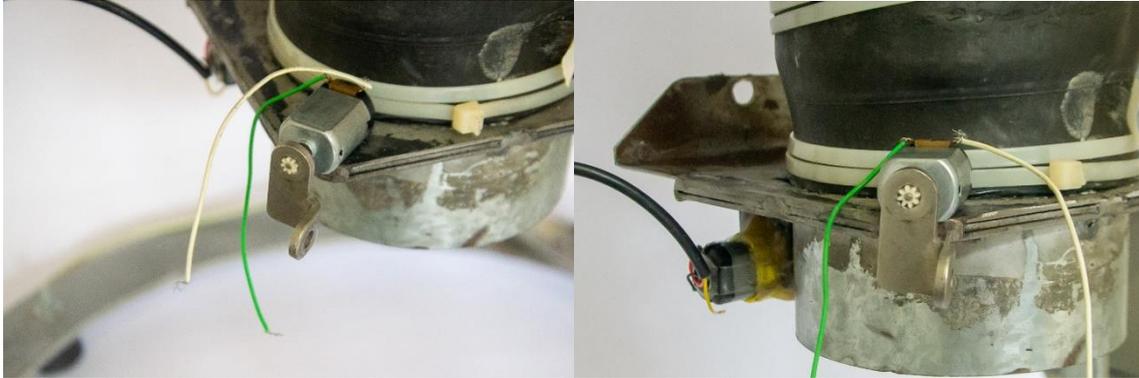


Figura 27. Motor vibratório.

Kollmann e Tomas (2002), utilizando um motor vibratório em silo protótipo com fluxo promovido por vibração de sólidos particulados coesos investigando pó de calcário e titânia, concluíram que os resultados experimentais mostraram que a força de escoamento não confinada, bem como o ângulo de atrito da parede, pode ser reduzida pela aplicação de vibração mecânica.

Lozano et al. (2012), em resultados experimentais e numéricos referentes à estabilidade de arcos contra vibrações externas, também utilizaram motor vibratório em suas análises, colaborando adequadamente com os resultados.

Gely et al. (2015), em estudo da otimização de vibração de piso vibratório no processo de esvaziamento de silo, utilizaram motor vibratório e obtiveram bons resultados em seus ensaios.

Lozano et al. (2015), em pesquisas experimentais sobre a resistência de arcos que bloqueiam a saída de um silo bidimensional quando submetido a vibração vertical, utilizando motor vibratório, constataram a eficácia do uso da vibração para quebrar a resistência dos arcos coesivos.

Michel Haquette, em novembro de 2001 (HAQUETTE, 2001) patenteou um silo para armazenamento de produtos em pó com dispositivo vibratório onde a vibração, que difunde o produto armazenado, permite que as partículas se desloquem uma em relação à outra, e portanto, do estado de atrito para o estado deslizante. O inventor afirma que essas mudanças de estado facilitam o fluxo.

## Aplicativo SimSilo

Na Figura 28 pode-se observar o modelo reduzido desenvolvido, suas unidades componentes e suas interações.

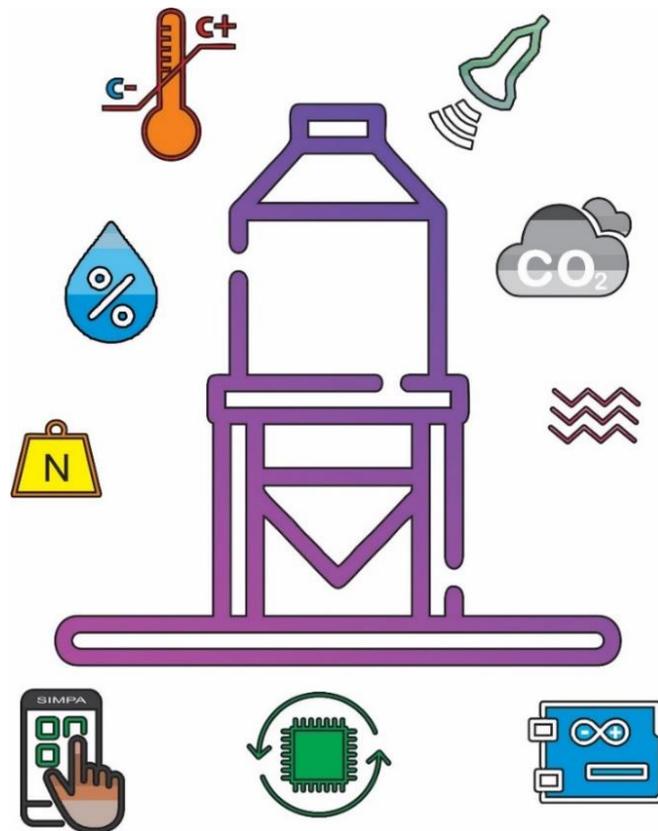


Figura 28. Sistema Integrado de Monitoramento de Produtos Armazenados em Silo (SimSilo).

Na Figura 29 observa-se a temperatura no sistema de monitoramento realizando um alerta no aplicativo desenvolvido informando a temperatura inadequada na conservação dos grãos armazenados no silo.



Figura 29. Sistema de alerta de temperatura.

Durante o funcionamento do sistema as leituras são feitas e os valores de temperatura, umidade e nível de grãos armazenados passam a ser mostrados no dashboard do SimSilo (Figura 30).

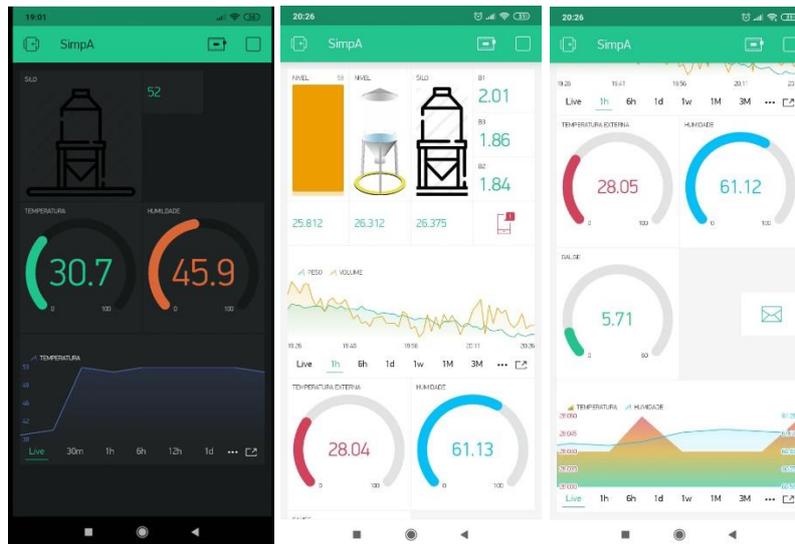


Figura 30. Tela de monitoramento da temperatura, umidade e nível de grãos medidos.

Na Figura 31 pode-se observar o sistema de alerta quanto a umidade, em que é disparado pelo sistema indicando a necessidade do acionamento dos exaustores do silo.



Figura 31. Tela do sistema de alerta quanto a umidade.

Na Figura 32 observa-se a tela do dashboard apresentando o sistema de monitoramento de nível de grãos (cor amarela).



Figura 32. Tela de nível de grãos.

Neste trabalho todo o sistema de monitoramento de umidade, temperatura, gases e nível de grãos se apresentam adequados em transformar os dados obtidos em gráficos de variação. O SimSilo também foi capaz de emitir alarmes sonoros e visuais quando da alteração de algum valor de temperatura dos grãos e dos gases.

Observa-se que este sistema de monitoramento pode ser configurado seus índices de acordo com tipo de uso, grãos e região onde poderá ser implantado.

De acordo com Conti e Wiggers (2014), do ponto de vista experimental, o aplicativo desenvolvido atendeu às metas estabelecidas e demonstrou ser viável para uso em unidades cooperativas e aplicações computacionais na agricultura.

Pereira (2017), em trabalho de mensuração de parâmetros ambientais em galpão avícola utilizando um equipamento desenvolvido com o conceito de internet das coisas afirma que houve eficiência nos registros e rapidez na transmissão de dados sendo uma alternativa de baixo custo no monitoramento da temperatura, umidade e de gases.

Conti e Wiggers (2014) que desenvolveram um aplicativo na linguagem Android (Google) para dispositivos móveis que possuam o Android OS, onde o sistema apresenta observações referentes à umidade e temperatura ideal da cultura armazenada, como um sistema especialista, para auxílio na tomada de decisão para que os grãos armazenados mantenham sua qualidade, afirmam que a adoção de tecnologias que contribuam para o processo de controle e armazenamento de grãos pode aumentar a qualidade da comercialização. Destaca-se a importância do controle da temperatura e umidade grãos para obter uma maior qualidade da produção, evitar desperdícios, deterioração e pragas.

Vieira e Brito (2015), em medição de vazão mássica em bancada de teste usando um sensor DHT22, uma ventoinha e um microcontrolador programável Arduino Uno, afirmam que a qualidade de medição do instrumento manufaturado foi excelente e o Arduino foi uma ótima solução para o problema em questão.

Brito (2016), desenvolvendo um sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica utilizando Arduino e Blynk®, conseguiu chegar a resultados satisfatórios.

Makode e Harne (2019), em experimento para medir e determinar a acurácia de sensores em monitoramento remoto de campo agrícola utilizando Blynk®, concluíram que são bons como assistentes para acompanhar os dados de campo.

Silva e Miranda (2018) utilizaram o Blinky® para automação com inteligência artificial em residência e constataram a praticidade e o ganho que se teve com janelas e cortinas automáticas, visto que elas podem ser fechadas mesmo que o usuário não esteja em sua casa.

Santos Júnior (2016) também obteve resultados similares, pois monitorou dados de temperatura utilizando o Blynk® transformando os dados obtidos em gráficos de variação de temperatura.

Santos (2014) desenvolveu um sistema de irrigação automatizado utilizando-se de um sistema microcontrolador Arduino, a custo acessível e aplicado a pequenos produtores rurais. Lang et al. (2013) utilizaram um protótipo de pequeno porte de um sistema de irrigação baseado no microcontrolador Arduino, comandado por meio de dispositivos móveis com tecnologia wireless e sistema de supervisão e controle, para realizar de forma automática a irrigação de acordo com a temperatura e umidade do ar. Madalosso (2014) elaborou um sistema de automatização do processo de irrigação de estufas, em sistema de malha fechada, utilizando um microcontrolador e sensores de umidade.

Alamini e Mendes (2018) desenvolveram uma aplicação web para gerenciar as principais atividades executadas em silos graneleiros, gerando uma tomada de decisão com base nas informações de temperatura e umidade.

Stanga et al. (2018), em protótipo desenvolvido de um sistema para o monitoramento da temperatura e umidade de um silo utilizando hardware de baixo custo e ScadaBR, relatam que o protótipo cumpriu com suas funções sendo capaz de monitorar a temperatura entre os grãos e a temperatura e umidade do ar. Também foi capaz de emitir alarmes sonoros e visuais quando da alteração de algum valor de temperatura dos grãos.

Conti e Wiggers (2014) desenvolveram um sistema semelhante à deste estudo no qual apresenta observações referentes à umidade e temperatura da cultura armazenada, como um sistema especialista, para auxílio na tomada de decisão, em que foi possível analisar a produção média da colheita e sua localização.

Almeida (2018) no desenvolvimento do *Mobile Grain Control*, em que consistiu na construção de uma interface homem-máquina para que o usuário, com poucos toques na tela, possa realizar as ações de alteração, visualizar a média da temperatura interna do silo e também do gráfico, obteve resultados satisfatórios com o aplicativo, podendo ser utilizados na indústria de automação.

Maestrelli e Napoleão (2018) trabalhando com um sistema supervisor para monitoramento de energia elétrica residencial, através de sensores, Arduino e linguagem de programação, e conexão Wi-Fi, obtendo para o usuário uma visão ampla de onde e quando a energia é utilizada, podendo assim tomar decisões que levem a diminuição do consumo de energia.

Jesus (2017), utilizando os mesmos sensores deste trabalho juntamente com o Arduino, desenvolveu um sistema supervisor no Visual Studio onde se mostrou eficiente quanto a aquisição e transmissão de dados para o software.

Ferrasa (2008), em monitoramento da temperatura e umidade em silos de armazenamento de grãos, desenvolveu programa computacional em linguagem Java, onde foi responsável pela interface com o usuário e o armazenamento dos dados obtidos a partir das unidades eletrônicas e alcançou excelentes resultados.

## **Propriedades físicas do milho**

### **Granulometria**

Pela Tabela 10 pode-se observar os resultados da granulometria obtidos para os grãos. Observa-se que o valor retido de 3,542% (17,713 g) se apresenta na peneira com diâmetro de

9,6mm. Constata-se que, o maior peso retido em percentagem está na peneira de 4,8mm com peso de 475,375 g de grãos.

Tabela 10. Granulometria dos grãos de milho

Peneira (#)	Diâmetro (mm)	Retido		Acumulado		Não retido
		Peso retido (g)	Percentual retido (%)	Peso acumulado (g)	Percentual acumulado (%)	Percentual não retido (%)
3/8"	9,6	17,713	3,542	17,713	3,542	96,448
4	4,8	457,375	91,455	475,088	95,007	4,993
8	2,4	20,403	4,080	495,490	99,087	0,913
16	1,2	3,613	0,722	499,103	99,809	0,191
30	0,6	0,523	0,104	499,625	99,914	0,086
50	0,3	0,248	0,049	499,873	99,963	0,037
100	0,15	0,143	0,028	500,015	99,992	0,008
Fundo	< 0,15	0,043	0,008	500,058	100,000	0,000
<b>Soma</b>		<b>500,058</b>				

Conforme classificação dos produtos sólidos em função das dimensões do diâmetro das partículas proposta por Calil Junior (1984), pode-se considerar o milho como um produto de característica granular, pois sua granulometria resultou em valor superior a 1mm.

Lopes Neto e Nascimento (2013), realizando ensaios de granulometria para o milho em grãos em pesquisa das características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais, observaram que possuiu quase a totalidade de suas partículas com dimensão imediatamente superior a 4,8 mm, resultado esse, bem próximo a desse estudo.

## Teor de umidade

De acordo com os testes para a determinação do teor de umidade, o milho em grãos utilizado na determinação das propriedades de fluxo encontra-se com teor de umidade médio de 9,74% (Tabela 11).

Tabela 11. Teor de umidade das amostras de grãos de milho

Amostra	Massa total (g)	Massa total 24hr (g)	Massa de água (g)	Umidade (% b.u.)
A	10,230	9,230	1,000	9,775
B	10,200	9,190	1,010	9,902
C	10,270	9,290	0,980	9,542
<b>Média</b>	<b>10,233</b>	<b>9,237</b>	<b>0,997</b>	<b>9,740</b>

Segundo Coimbra (2007), o teor de água inicial das sementes é um fator primordial para a padronização dos testes de avaliação da qualidade fisiológica a serem realizados, ressaltando que o teor elevado de água pode favorecer o desempenho das sementes nos testes.

Sarmento et al. (2015) em experimento utilizando a mesma metodologia deste trabalho obteve para grãos de milho com 12,6% de umidade. Araújo et al. (2017), em determinação das propriedades físicas de grãos de milho, identificaram um teor de água de 11,6% (b.u.).

Harrington (1973) ressalta que o teor de água ideal para armazenamento e comercialização de sementes amiláceas é de 6,0 a 12,0%.

## Dimensões

Para os grãos de milho, pode-se observar uma variação em função do comprimento (a), largura (b) e espessura (c) dos grãos, de 12,08 a 13,34mm, 7,94 a 8,30mm e de 4,64 a 5,26mm, respectivamente, como pode-se constatar na Tabela 12. Tanto a média das dimensões obtidas, quanto o desvio padrão e o coeficiente de variação são maiores no comprimento dos grãos analisados. Para a esfericidade o coeficiente de variação apresenta 8,56% em relação as amostras estudadas e suas repetições.

Tabela 12. Propriedades físicas de dimensões e esfericidade de grãos de milho

Repetição	Dimensões mutuamente perpendiculares (mm)			Esfericidade
	a	b	c	
R1	12,59	8,17	4,89	1.320,32
R2	12,08	8,30	5,26	1.456,48
R3	13,34	7,94	4,64	1.229,48
<b>Média</b>	<b>12,67</b>	<b>8,14</b>	<b>4,93</b>	<b>1.335,42</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,63</b>	<b>0,18</b>	<b>0,31</b>	<b>114,25</b>
<b>Coef. Var. (%)</b>	<b>5,00</b>	<b>2,21</b>	<b>6,34</b>	<b>8,56</b>

Nota-se boa similaridade na esfericidade e na circularidade dos grãos. Para as 3 repetições apresentam-se valores que oscilam em torno de uma esfericidade média de 1.229,48 a 1.320,32 com um desvio padrão de 114,25. A importância da determinação da esfericidade está diretamente relacionada com o cálculo da velocidade terminal dos produtos (NAKA, 2010).

De acordo com Araújo et al. (2017), determinando as propriedades físicas de grãos de milho, observaram que a esfericidade média dos grãos encontrada foi de 65,9%, corroborando com os valores encontrados por Baraviera et al. (2014) ao avaliar as propriedades físicas de grãos de híbridos de milho que foi de 66,1% para o híbrido Dekalb 177 PRO 2.

## Massa específica

Os resultados obtidos na determinação da massa específica nos grãos de milho ( $\rho_B$ ) encontram-se na Tabela 13, na qual pode-se observar o valor para a densidade volumétrica média de 759,076 (kg/m<sup>3</sup>) com uma variação entre 752,66 e 767,45 (kg/m<sup>3</sup>) em suas repetições.

Tabela 13. Massa específica dos grãos de milho

Repetição	Massa total (g)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
M1	218,41	756,78
M2	221,49	767,45
M3	219,17	759,41
M4	217,22	752,66
<b>Média</b>	<b>219,10</b>	<b>759,076</b>

Vários fatores podem interferir na massa específica dos grãos de milho, desde fatores associados à lavoura, como época de plantio, incidência de luz solar ou sombreamento excessivo, temperatura, densidade de plantio, época de colheita (MAZZUCO et al., 2002), transporte, secagem e armazenamento (MALLMANN et al., 2007), além de tipo de híbrido e maturação fisiológica (CAMILO et al., 2014).

### Vazão mássica

O estudo da vazão mássica é importante para o processo de descarregamento de silos para entender o comportamento da descarga em função da inclinação do orifício de descarga da tremonha, ângulo de atrito interno, peso específico consolidado e teor de umidade. Portanto neste estudo além de fornecer as informações de importância acima relatada, mostra também o funcionamento do sistema de pesagem, com as células de cargas utilizadas e o sistema de aquisição de dados, além da conectividade com o APP do smartphone.

### Volume do silo

De acordo com os cálculos para o volume do silo modelo reduzido os resultados apresentam um valor de 0,036587 m<sup>3</sup>. Com esse volume total do silo e a massa específica do milho obtida de 759,07 kg/m<sup>3</sup> encontra-se a capacidade total do silo que é de 27,77 kg.

### Diâmetro de saída

Para a abertura de 1/4 a área obtida pelos cálculos é de 15,35462 cm<sup>2</sup> correspondente à uma circunferência de diâmetro de 4,4 cm. Para a abertura de 1/2 a área encontrada é de 39,2699 cm<sup>2</sup> correspondente à uma circunferência de diâmetro de 7,0710 cm. Para a abertura de 1/3 a área obtida é de 63,1852 cm<sup>2</sup> correspondente à uma circunferência de diâmetro de 8,9638 cm. Para a abertura de 1/1 (100%) obteve-se o valor de 78,53982 cm<sup>2</sup> correspondente à uma circunferência de diâmetro de 10,00 cm (Tabela 14).

## Dimensionamento por Beverloo

De acordo com os testes realizados em 4 repetições para determinação da vazão mássica no silo, observam-se valores médios de 27,00 kg, próximo ao valor de 27,77 kg estimados pelo cálculo da massa específica total, portanto, essa diferença ocorre pela forma da determinação da massa específica. Mas em termos práticos não haverá problemas, já que o sistema de pesagem desenvolvido está funcionando com boa precisão.

Pela Tabela 14 pode-se observar a vazão mássica calculada pelo método de Beverloo et al. (1961), onde com a tremonha aberta em 1,00 de sua capacidade total apresenta o valor de 1,617 kg/s e com a abertura em 0,25 de sua capacidade a vazão mássica prevista de 0,038 kg/s.

Tabela 14. Vazão mássica em relação à abertura dos orifícios de descarga

Orifício de descarga (cm <sup>2</sup> )	Orifício de descarga Ø (cm)	Abertura do orifício em proporção	Vazão mássica Beverloo (kg/s)	Vazão mássica (kg/s)
78,53	10,00	1/1	1,617	2,13624
63,18	8,96	1/3	0,654	1,68710
39,26	7,07	1/2	0,156	1,30244
15,35	4,40	1/4	0,038	0,65027

Batista (2009) afirma que o modelo de Beverloo et al. (1961) apresentou boa aproximação para grande parte dos dados experimentais, sendo esse ineficiente para a saídas com inclinação diferente de 0°, principalmente para a inclinação de saída 30°. O modelo de Beverloo et al. (1961) é amplamente utilizado para descrever a descarga de sólidos em silos (MANKOC, 2007; HUANG et al., 2009), o que justificaria de certa forma a sua boa aproximação aos resultados experimentais.

## Ensaio de vazão

Para o estudo realizado com a vazão mássica, utilizou-se o milho (grão) por ser classificado como granular associado à tremonha com inclinação de 37° constata-se que, não ocorre obstrução do fluxo, onde foi possível determinar experimentalmente a vazão mássica para as quatro áreas de orifícios de descarga.

Na Figura 33 pode-se observar a vazão mássica do grão de milho obtida com o orifício aberto em 1/4 (4,4 cm) da descarga comparada com a prevista pela metodologia de Beverloo. De acordo com o gráfico e a Tabela 14, pode-se verificar que, o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 0,650 (kg/s), valores maiores do que a prevista pelo método de Beverloo de 0,038 (kg/s).

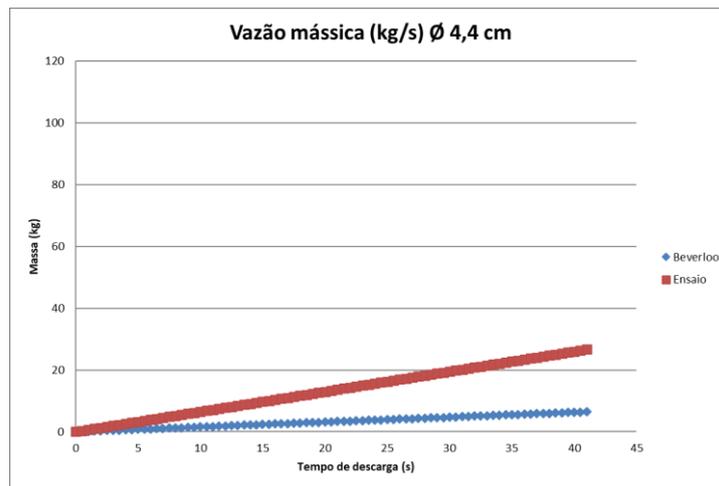


Figura 33. Curva de vazão em 1/4 de abertura versus Beverloo.

Pela Figura 34 observa-se a vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/2 (7,07 cm) comparada com Beverloo. Observando-se a Tabela 14 nota-se que, o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 1,30 (kg/s), valores maiores do que o prevista pelo método de Beverloo de 0,156 (kg/s).

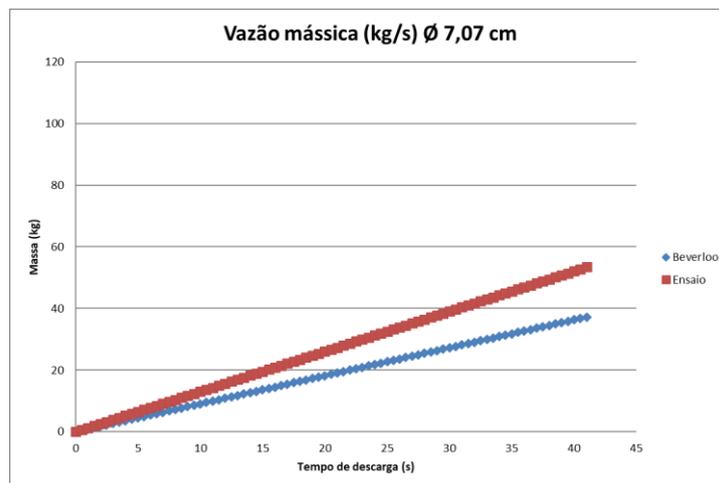


Figura 34. Curva de vazão em 1/2 de abertura versus Beverloo.

Na Figura 35 com representação da vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/3 (8,96 cm) comparada com Beverloo, pode-se constatar que, o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 1,68 (kg/s), valores menores do que o previsto de 0,654 (kg/s).

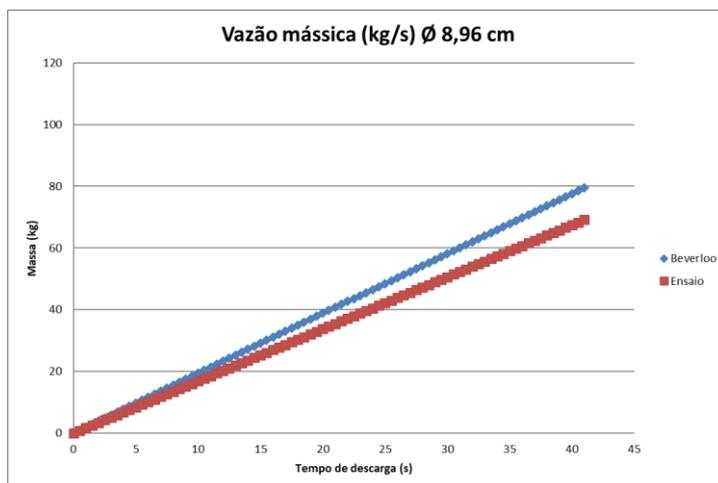


Figura 35. Curva de vazão em 1/3 de abertura versus Beverloo.

Através da Figura 36, com representação da vazão mássica obtida com o orifício de descarga aberto em 1/1 (10 cm) comparada com Beverloo, pode-se constatar que o ensaio realizado apresenta uma vazão mássica de 2,13 (kg/s), valores menores do que o previsto de 1,617 (kg/s).

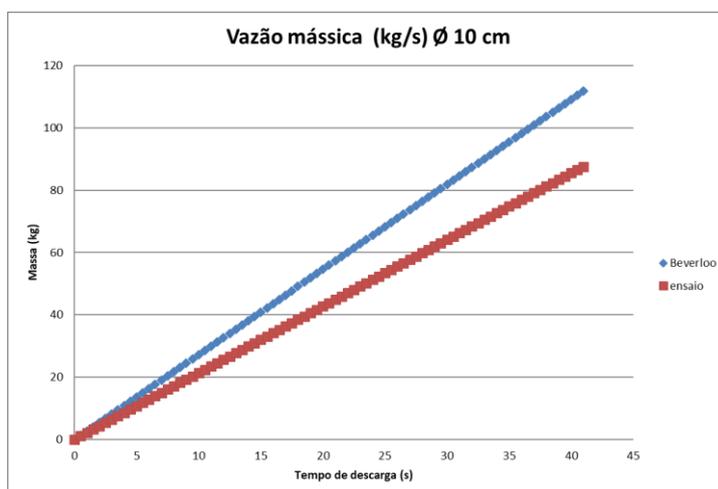


Figura 36. Curva de vazão em 1/1 de abertura versus Beverloo.

O modo como o produto flui por gravidade em um silo é governado, por um lado, pelas propriedades de fluxo do produto e, por outro, pela geometria e estrutura da superfície da tremonha (NÓBREGA, 2003). No entanto, uma variável que interfere significativamente no tipo de fluxo é a dimensão das partículas (LOPES NETO et al., 2009).

Por este trabalho pode-se constatar um comportamento da vazão constante durante a descarga em cada abertura estudada. Esses resultados concordam com Wang et al. (1995) ao concluírem que com o aumento da área do orifício de descarga do silo, a vazão da farinha de soja aumentou significativamente.

Batista (2009) estudando a vazão mássica de painço, farelo de milho e areia fina, relata que o comportamento da vazão de descarga é bastante semelhante e independente da rugosidade usada nas paredes do silo. Ainda Batista (2009) observou que a vazão mássica durante o descarregamento, apresentou uma tendência a manter-se constante e com valores próximos, entre as diferentes inclinações de saída da tremonha.

Apesar das variações do fluxo de massa demonstradas nas Figuras 35 a 38, a inclinação da tremonha foi suficiente para promover a descarga do silo por completo validando o modelo

reduzido desenvolvido para esta pesquisa. Quanto aos orifícios de descarga a metodologia aplicada apresentou-se conservadora.

## CONCLUSÃO

Embora apresente limitações, a metodologia utilizada neste trabalho permitiu chegar as seguintes conclusões:

1. A interdisciplinaridade envolvida no desenvolvimento deste trabalho quanto a união das técnicas relativas à Internet das Coisas aliada à Engenharia Agrícola, permitiram agregar importantes conhecimentos necessários à elaboração desta pesquisa.
2. Conclui-se a possibilidade de monitoramento automatizado através dos sensores de temperatura, umidade do ar, gases, de nível de grãos e de carga puderam gerar informações precisas e instantâneas e auxiliar no processo de tomada de decisão.
3. O modelo reduzido desenvolvido cumpriu com suas funções, foi capaz de obter dados e fornecer com segurança e rapidez ao sistema de aplicativo desenvolvido sobre a carga e descarga, além de ter sido satisfatório nos ensaios de vazão mássica.
4. O Sistema Integrado de Monitoramento de Produtos Armazenados em Silos de carregamento e descarregamento em silos verticais atendeu às metas estabelecidas e demonstrou ser viável para uso para a avicultura e aplicações computacionais.
5. No sistema de transmissão, captação e armazenamento de dados houve eficiência nos registros e rapidez na transmissão de dados no monitoramento da temperatura, umidade, de gases e nível de grãos.
6. Com a adoção de tecnologias que contribuam para o processo de controle e armazenamento de grãos pode-se diminuir custos nos grãos armazenados e mantenham sua qualidade.
7. As menores vazões de descarregamento do milho foram registradas quando se utilizou a tremonha com abertura de 1/4.
8. A vazão mássica apresentou proporcionalidade entre as aberturas utilizadas da tremonha nos ensaios e suas repetições.
9. O tempo médio de descarga entre todas os ensaios e as aberturas da tremonha adotada foi de 27,15 segundos.
10. O modelo de Beverloo apresentou boa aproximação para os dados experimentais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

ADC. Enable High-Precision Temperature Measurement. Maxim Integrated, 2011. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5032>> Acesso em: novembro 2017.

ALAMINI, G. A.; MENDES, P. O. R. Desenvolvimento de uma aplicação web para gerenciamento e visualização de termometria em silos graneleiros. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Tecnologias da Informação e Comunicação). Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2018.

ALMEIDA & CIA. Manual de conservação de grãos. Goiânia, 2017. Disponível em: [http://www.acalmeidaecia.com.br/manual\\_de\\_conservacao\\_de\\_graos.pdf](http://www.acalmeidaecia.com.br/manual_de_conservacao_de_graos.pdf). Acesso em: dezembro de 2019.

ALMEIDA, J. G. Q. de. Interface Homem-Máquina para instrumentação e controle de ambiência em silos de armazenagem de grãos no contexto da Internet das Coisas. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas). Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, 2018.

ALMEIDA, L. A. da S. Monitoramento dos gases existente em espaço confinado de uma unidade armazenadora de grãos. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2017.

ALUTAL. Tipos de sensores de temperatura. Votorantim, 2016. Disponível em: <<http://www.alutal.com.br/industria-br/wiki/10-tipos-de-sensores-de-temperatura>>. Acesso em: outubro de 2017.

ANDRADE, R. A. de. Método para a determinação do ângulo de inclinação da tremonha em silos. 43f. Projeto (Graduação Engenharia Mecânica). Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists. 17.a ed. Virginia, 2000.

AOSONG. Temperature and humidity module. AM2302 Product Manual. 2019. 11p. Disponível em: <http://www.aosong.com/en/>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

ARAÚJO, K. T. A.; CORREIA, F. G.; SILVA, R. C. DA; SANTOS, F. S. DOS. Determinação das propriedades físicas de grãos de milho (*Zea mays* L.). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 4, 2017, Belém. Anais...Belém, 2017.

ARAÚJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas do amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.3, p.279-286, 2014.

ARDUINO. 2019. Disponível em: <https://playground.arduino.cc/Portugues/HomePage/> Acesso em: dezembro de 2018.

ARDUINO. Libraries. 2017. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Libraries>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

AVIA. Avia Semicondutor. HX711. 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales. 2019. 9p. Disponível em: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/Aviasemiconductor/HX711/pdf.php?id=842201>. Acesso em: 22 de outubro de 2019.

AVIARA, N. A.; POWER, P. P.; ABBAS, T. Moisture-dependent physical properties of Moringa oleifera seed relevant in bulk handling and mechanical processing. *Industrial Crops and Products*, v.42, p.96-104, 2013.

BADIALE, R. C.; SÁLES, J. J. Reservatórios metálicos elevados para aplicação na indústria sucroalcooleira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, n.13, p.1-30, 1999.

BANDEIRA, I. S. A.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, F. de A. S. Análise de fluxo de ração e farelo de trigo em silos prismáticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.233-238, 1999.

BANZATO, E. Indústria 4.0: com a IoT (Internet of Things) se consolida mais uma nova revolução industrial, que demanda tecnologia e mudança no modelo de negócio. *Revista Logística*, n.229, p.40-44, 2015.

BARAVIERA, C. M. C.; CANEPPELE, C.; DOURADO, L. G. A.; AGUERO, N. F. Avaliação de propriedades físicas de grãos de híbridos de milho. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.19, p.291-297, 2014.

BARBOSA, F. S.; FERREIRA, P. C.; VILELA, A. R.; GUEDES FILHO, J. C. S. Modelagem numérica e análise experimental aplicadas ao projeto de uma célula de carga. 2009. Disponível em: [http://www.ufjf.br/lrm/files/2009/04/cil04\\_celula.pdf](http://www.ufjf.br/lrm/files/2009/04/cil04_celula.pdf). Acesso em: 20 de novembro de 2019.

BARROS, R. F. P. C. Dashboarding: Projeto e implementação de painéis analíticos. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática). Departamento de Informática. Universidade do Minho. Braga, 2013.

BASTIANELLI, D.; LE BAS, C. Evaluating the role of animal feed in food safety: perspectives for action. In: HANAK, E.; BOUTRIF, E.; FABRE, P.; PINEIRO, M. Food safety management in developing countries. In: International Workshop, CIRAD-FAO, 2000.

BASTOS, T. F.; ABREU, J. M. M.; CERES, R. Uso de sensores ultra-sônicos na medição de parâmetros em robótica e outras aplicações. *Revista Controle & Automação*, v.3, p.299-303,

1992.

BATISTA, C. da S. Estudo teórico e experimental do fluxo de sólidos particulares em silos verticais. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.

BEVERLOO, W. A.; LENIGER, H. A.; VAN DE VELDE, J. The flow of granular solids through orifices. *Chemical Engineering Science*, v.15, p.260-269, 1961.

BICA, M. R. R.; RANIERO, M. R.; CALÇA, M. V. C.; DAL PAI, A. Monitoramento de temperatura com sensores eletrônicos ligados em rede. In: *Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu*, 7, 2018, Botucatu. Anais...Botucatu, 2018.

BISSEL, C. C. *Springer Handbook of Automation*. NOF, S. Y. (Ed). Purdue University: Springer, 2009. 1812p.

BMHB. British Materials Handling Board. Draft code of practice for the design of silos, bins, bunkers and hoppers. Berkshire: 1985. 143p.

BRAGA, N. C. Como funcionam os sensores ultrassônicos. Instituto NCB, 2013. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/5273-art691>>. Acesso em: novembro 2017.

BRANTNER, M.; FLORESCU, D.; GRAF, D.; KOSSMANN, D.; KRASKA, T. Building a database on S3. In: *International Conference on Management of Data – SIGMOD*, 8, 2008, New York. Anais... New York: ACM Press, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNPV/CLAV, 2009. 309p.

BRAUER, K.; PFITZNER, M.; KRIMER, D. O.; MAYER, M.; JIANG, Y. M.; LIU, M. Granular elasticity: Stress distributions in silos and under point loads. *Physical Review E*, v.74, p.61311, 2006.

BRITO, J. L. G. de. Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2016.

BURANELLO, R. M. Questão de semântica: que créditos podem lastrear um CRA? *Revista Capital Aberto*, 20 de abril de 2017, ed. 75. Disponível em: <http://www.demarest.com.br/pt-br/publicacoes/Artigos/pt/questao-de-semantica-quecreditos-podem-lastrear-um-cra.pdf>. Acesso em: 27/09/2017.

BUYYA, R.; RANJAN, R.; CALHEIROS, R. N. Modeling and simulation of scalable cloud computing environments and the cloudsim toolkit: Challenges and opportunities. In: *International Conference on High Performance Computing & Simulation*, 2009, Leipzig. Anais... Leipzig, Germany, 2009.

CALDEIRA, J. *Dashboards: Comunicar eficazmente a informação de gestão*. 1ª ed. Coimbra: Almedina, 2010.

- CALIL JUNIOR, C. Recomendações de fluxo e de cargas para o projeto de silos verticais. São Carlos: USP, 1990. 197p.
- CAMILO, L. J.; CORADI, P. C.; BRENTAN, L. O. Propriedades físicas de grãos de milho armazenados em diferentes condições. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43, 2014, Campo Grande. Anais...Campo Grande, 2014.
- CARNEIRO, F. L. Análise dimensional e teoria da semelhança e dos modelos físicos. 2.<sup>a</sup> ed. Editora UFRJ, 1996.
- CHANG, C. S.; CONVERSE, H. H. Flow rates of wheat and sorghum through horizontal orifices. Transactions of the ASAE, v.31, n.1, p.300-304, 1998.
- CHANG, C. S.; CONVERSE, H. H.; LAI, F. S. Flow rate of corn through orifices as affected by moisture content. Transactions of the ASAE, v.27, n.5, p.1585-1589, 1984.
- CHEN, J. F.; ROTTER, J. M.; OOI, J. Y.; ZHONG, Z. Correlation between the flow pattern and wall pressures in a full scale experimental silo. Engineering Structures, v.29, p.2308-2320, 2007.
- CHEN, S.; XU, H.; LIU, D.; HU, B.; WANG, H. A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. IEEE Internet Things Journal, v.1, n.4, p.349-359, 2014.
- CITOLIN, R. S. Termometrix - Sistema de termometria para silos. 109f. Diplomação (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.
- CNI. Confederação Nacional da Indústria. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Brasília, 2016. 34p.
- COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L. Onde posicionar sensores de umidade e de tensão de água do solo próximo da planta para um manejo mais eficiente da água de irrigação. 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1010147/1/CircularTecnica109Ondeposicionarsensores.pdf>. Acesso em: 23/11/2018.
- COELHO, M. S. Sistemas Supervisórios. 6.o Módulo. Apostila. 3.a revisão. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, 2009. 142p.
- COIMBRA, R. A. Teste de germinação com acondicionamento dos rolos de papel em sacos plásticos. Revista Brasileira de Sementes, v.29, n.1, p.92-97, 2007.
- CON-TECH SYSTEMS LTD. Strain Gauge Load Cells. 2011. Disponível em: <https://contechsystems.com/>. Acesso em: 2 nov. 2019.
- CONTI, G.; WIGGERS, K. L. Aplicativo móvel para controle de silos e colheitas com auxílio na tomada de decisão agrícola, baseado em sistema operacional Android. In: Congresso Sul Brasileiro de Computação, 7, 2014, Criciúma. Anais... Criciúma, 2014.
- CORRADI. Controle e Automação Industrial. Termistor. 14p. 2019. Disponível em: <http://lusosat.org/hardware/termistor.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

CORRY, J. E. L.; ALLEN, V. M.; HUDSON, W. R.; BRESLIN M. F.; DAVIES, R. H. Sources of salmonella on broiler carcasses during transportation and processing: modes of contamination and methods of control. *Journal of Applied Microbiology*, v.92, p.424-432, 2002.

D'ARCE, M. A. B. R. Pós colheita e armazenamento de grãos. 2011. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/Armazenamentodegraos.pdf>. Acesso em: 28 de novembro de 2019.

DALLY, J. W.; RILEY, W. F.; MCCONNELL, K. G. *Instrumentation for Engineering Measurements*. United States: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

DAVIES, R.; BRESLIN, M.; CORRY, J. E. L.; HUDSON W.; ALLEN V. M. Observations on the distribution and control of Salmonella species in two integrated broiler companies. *Veterinary Record*, v.149, p.227-232, 2001.

DEELMAN, E.; SINGH, G.; LIVNY, M.; BERRIMAN, B.; GOOD, J. The cost of doing science on the cloud: the montage example. In: *Conference on Supercomputing*, 8, 2008, Piscataway. Anais... Piscataway, USA: IEEE Press, 2008.

DEUTSCHE NORM. DIN 1055: Design loads for buildings: Loads in silo bins. Berlin: 1987.

DINIZ, M. J.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Análise de pressões em silo vertical de alvenaria de tijolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.212-219. 2006.

DIÓGENES, D. P. D. Desenvolvimento de um smart plug para controle e monitoramento de aparelhos elétricos utilizando o conceito de internet das coisas. 114f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2019.

ELECFREAKS. HC-SR04 User Guide. 2019. 6p. Disponível em: <https://www.electfreaks.com/store/>. Acesso em: 22 de outubro de 2019.

ELIAS, M. C. Armazenamento e conservação de grãos. Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2003.

ELIJAH, O.; RAHMAN, T. A.; ORIKUMHI, I.; LEOW, C. Y.; HINDIA, M. N. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet Things Journal*, v.5, n.5, p.3758-3773, 2018.

EQUIPASA. Tecnologia em Armazenagem e Conservação de Grãos. Equilíbrio Higroscópico na Armazenagem de Grãos. Campo Grande, 2017. Disponível em: <http://www.equipasa.com.br/arquivos/EquilibrioHigroscopiconnaArmazenagemdeGraos.pdf>. Acesso em: outubro de 2017.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Datasheet. 2016. 36p. Disponível em: <https://datasheet4u.com/datasheet-pdf/EspressifSystems/ESP32/pdf.php?id=1097467>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.

FANK, M. Z.; CHRIST, D.; CARDOSO, D. L.; WILLRICH, F. L.; LORENZI, V. Coeficiente de transferência de carga nas fundações de silos verticais cilíndricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.9, p.887-891, 2015.

FARONI, L. R. D. Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados. Viçosa, p.1-15, 1998.

FERRASA, M.; BIAGGIONI, M. A. M.; DIAS, A. H. Sistema de monitoramento da temperatura e umidade em silos graneleiros via radiofrequência (RF). *Revista Energia na Agricultura*, v.25, n.2, p.139-156, 2010.

FEW, S. *Information Dashboard Design: The effective visual communication of data*. 1a. Edição. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006.

FIALHO, L. F. L.; CUNHA, V. C. da; HIRT, W. E. D. Simulação e projeto de células de carga. 39f. Relatório Instrumentação A (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

FIGUEIREDO, A. K.; BAÜMLER, E.; RICCOBENE, I. C.; NOLASCO, S. M. Moisturedependent engineering properties of sunflower seeds with different structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, v.102, n.1, p.58-65, 2011.

FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. *Indústria 4.0: Internet das Coisas*. 2016. 38p.

FONSECA, E. G. P. da; BEPPU, M. M. *Apostila Arduino*. Universidade Federal Fluminense Centro Tecnológico. Niterói, 2010. 23p.

FRADEN, J. *Handbook of Modern Sensors – Physics, Designs and Applications*. 3. ed. New York: Editora LLC, 2004.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. *Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas discretos*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2010. 21-23p.

FREITAS, E. G. A. *Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano*. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

GARNIER, J. Classification of silo tests. In: *Silos fundamentals of theory, behaviour and design*. 1. ed. London: Routledge Editora, p.612- 619. 1998.

GAYLORD, E. H.; GAYLORD, C. N. *Design of steel bins for storage of bulk solids*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984. 359p.

GELY, B.; GAGNOL, V.; BOUZGARROU, B. C.; PONCET, J. C. Multibody system approach for vibration optimization of vibrating floor in emptying silos process. In: *ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics, 2015, Barcelona*. Anais...Barcelona, 2015.

GIMENEZ, S. P. *Microcontroladores 8051*. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2005.

GOMES, F. C.; CALIL JÚNIOR, C. Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, v.7, n.24, p.35-63, 2005.

GROOVER, M. P. Automação industrial e sistemas de manufatura. RITTER, J.; TEIXEIRA, L. A.; VIEIRA, M. (Trad.). 3 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

GUERRA, P. A. Silos metálicos prismáticos: otimização estrutural das paredes em seção trapezoidal e zigzag. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2006.

HANWEI. Hanwei Electronics Co Ltd. Technical data MQ-135 gas sensor. 2019. 2p. Disponível em: <http://www.hwsensor.com>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.

HAQUETTE, M. USA Patent N.o US 6,311,438 B1. 2001.

HARRINGTON, J. F. Biochemical basis of seed longevity. *Seed Science and Technology*, v.1, n.2, p.453-461, 1973.

HOFFMANN, K. Applying the wheatstone bridge circuit. HBM, 2014. 36p. Disponível em: <http://eln.teilam.gr/sites/default/files/Wheatstone%20bridge.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

HUANG, W.; GONG, X.; GUO, X.; DAI, Z.; LIU, H.; ZHENG, L.; ZHAO, J.; XIONG, Y. Discharge characteristics of cohesive fine coal from aerated hopper. *Power Technology*, v.194, p.126-131, 2009.

JAIN, P. Humidity Sensor. Engineers Garage, 2012. Disponível em: <https://www.engineersgarage.com/articles/humidity-sensor>. Acesso em: novembro 2017.

JANNA, W. S. Dimensional analysis and dynamic similitude. In *Introduction to Fluid Mechanics*, 2. ed. Boston, Mass.: PWS Publishers. 1987.

JENIKE, A. W. Storage and flow of silos. University of Utah. Bulletin. (Engineering Experiment Station, n.123). Utah, Salt Lake City, 1964.

JESUS, G. C. de. Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente via wireless para o biotério da UFOP. 52f. Monografia (Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. *Engenharia na Agricultura*, v.21, n.1, p.09-18, 2013.

JÚNIOR, R. C. Eletrônica básica. Teresina, PI: Universidade Federal do Piauí, 2010. 34p.

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. Sistemas supervisórios orientados a objetos. Nova Odessa, Network Technologies, 2003. Disponível em: <http://centralmat.com.br/Artigos/Mais/sistemasSupervisorios.pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

KALRA, V.; BAWEJA, C.; SIMMARPREET; CHOPRA, S. Influence of temperature and humidity on the output resistance ratio of the MQ-135 Sensor. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v.6, n.4, p.423-429, 2016.

KAMIENSKI, C.; SOININEN, J. P.; TAUMBERGER, M.; DANTAS, R.; TOSCANO, A.; CINOTTI, T. S.; MAIA, R. F.; NETO, A. T. Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. *Sensors*, v.19, n.2, p.276, 2019.

KOELLN, M. F. B. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de dióxido de carbono em espaços confinados de unidades de pré-processamento de grãos. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso. Sinop, 2017.

KOLLMANN, T. H.; TOMAS, J. Effect of applied vibration on silo hopper design. *Particulate Science and Technology*, v.20, n.1, p.15-31, 2002.

KRAUSE, U. *Fire in Silos: Hazard, Prevention and Fire Fighting*. WILEY-VCH, 2009.

LAMB, F. *Automação Industrial – Na Prática*. Porto Alegre: AWGH, 2015.

LANG, A. G.; DUTRA, A. F. A.; WAROMBY, P. H. Desenvolvimento de um irrigador microcontrolado integrado a um sistema de supervisão e controle. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Bus. Horizons*, v.58, n.4, p.431-440, 2015.

LONGO, F. A. A importância do controle microbiológico em rações para aves. *Pesquisa e Desenvolvimento Técnico – Btech*. 2010. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/control-microbiologico-racoes-aves-t36902.htm>. Acesso em: 14 de dezembro de 2019.

LOPES NETO, J. P. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do. Características de fluxo e projeto de tremonhas cônicas em silos verticais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.3, p.339-345, 2013.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; CALIL JUNIOR, C. Análise estrutural de silos metálicos prismáticos. *Ciênc. Agrotec.*, v.32, n.4, p.1252-1258, 2008.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; FANK, M. Z. Forças verticais e de atrito em silos cilíndricos com fundo plano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.6, p.652-657, 2014.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, R. C. Forças de atrito em silos verticais de paredes lisas em diferentes relações altura/diâmetro. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.8-17, 2014.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. da; LOPES, F. F. de M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. *Ciência Agrotec.*, v.31, n.3, p.851-859, 2007.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; SILVA, V. R. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. *Engenharia Agrícola*, v.29, p.518-527, 2009.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. do; LOPES, F. F. de M. Modelos de previsão do fluxo e vazão de descargas de produtos agrícolas. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.27, n.1, p.30-35, 2012.

LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. *Armazenagem de Grãos*. Instituto Bio Geneziz. Campinas, 2002.

LOZANO, C.; LUMAY, G.; ZURIGUEL, I.; HIDALGO, R. C.; GARCIMARTIN, A. Breaking Arches with Vibrations: The Role of Defects. *Physical Review Letters*, v.109, p.068001-5, 2012.

LOZANO, C.; ZURIGUEL, I.; GARCIMARTIN, A. Stability of clogging arches in a silo submitted to vertical vibrations. *Physical Review E.*, v.91, p.0622031-8, 2015.

LYDON, B. Industry 4.0: Should you bet on it? *Automation.com*, 2015. Disponível em: <<https://www.automation.com/automation-news/article/industry-40-should-you-bet-on-it>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

MADALOSSO, E. *Sistema Automatizado para Irrigação de Estufas*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MAESTRELLI, G. A.; NAPOLEÃO, G. S. *Sistema supervisorio para monitoramento de energia elétrica residencial*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

MALLMANN, C. A.; DILKIN, P.; GIACOMINI, L. Z.; RAUBER, R. H.; PEREIRA, C. E. Micotoxinas em ingredientes para alimento balanceado de aves. In: *Congresso Latinoamericano de Avicultura*, 20, 2007, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre, 2007.

MAKODE, S. K.; HARNE, R. R. Smart agriculture solution using LoRa and IoT. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v.6, n.7, p.1872-1877, 2019.

MANCINI, M. *Internet das Coisas: História, conceitos, aplicações e desafios*. 2018. 9p.

MANKOC, C. P. Flujo de medios granulares en la descarga de silos bajo la acción de la gravedad. *Memoria de investigacion*. Pamplona, 2007. 34p.

MARQUEZ, J. A. *Automatização de processos*. 2007. Disponível em: <http://www.link.pt>. Acesso em: 22 de dezembro de 2019.

MARTINAZZO, C. A.; ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino. *Perspectiva*, v.40, n.151, p.93-104, 2016.

MAZZUCO, H.; LORINI, I.; BRUM, P. A. R.; ZANOTTO, D. L.; JUNIOR, W. B.; AVILA, V. S. Composição química e energética do milho com diversos níveis de umidade na colheita e diferentes temperaturas de secagem para frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.6, p.2216-2220, 2002.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. DS18B20. Programmable Resolution. 1-Wire Digital Thermometer. 2019. 20p. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. Unlocking the potencial of the internet of things. 2015. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/businessfunctions/business-technology/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>>. Acesso em: 1 de jan. 2016.

MENDES, P. O. R.; ALAMINI, G. A. Desenvolvimento de uma aplicação web para gerenciamento e visualização de termometria em silos graneleiros. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologias da Informação e Comunicação). Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2018.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.

MUNIR, A.; KANSAKAR, P.; KHAN, S. U. IFC IoT: Integrated Fog Cloud IoT: A Novel Architectural Paradigm for the Future Internet of Things. *IEEE Consumer Electronic Magazine*, v.6, n.3, p.74-82, 2017.

NAKA, S. Determinação das propriedades físicas dos grãos de mamona guarani visando armazenagem em silos verticais. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010.

NASCIMENTO, F. C. A relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados: o parâmetro K. 119f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

NASCIMENTO, J. W. B. do. Estudos de silos metálicos prismáticos para fábricas de ração. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996.

NASCIMENTO, V. R. G.; QUEIROZ, M. R. de. Estratégias de aeração de milho armazenado: temperatura e teor de água. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.4, p.745-759, 2011.

NAYAK, R.; KENNEY, P. B.; KESWANI, J.; RITZ, C. Isolation and characterisation of salmonella in a Turkey. *Production Facility Brit Poult. Sci.*, v.44, n.2, p.192-202, 2003.

NEDDERMAN, R. M.; TUZUN, U.; SAVAGE, S. B.; HOULSBY, G. T. The flow of granular materials-I. Discharge rates from hoppers. *Chemical Engineering Science*, v.37, n.11, p.1597-1609, 1982.

NÓBREGA, M. V. Análise de vazão e fluxo de ração e fluxo de ração avícola em silos prismáticos com descarga excêntrica. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2003.

NÓBREGA, M. V. da; NASCIMENTO, J. W. B. do. Fluxo de ração avícola em silos prismáticos com tremonha excêntrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.3, p.413-419, 2005.

NUNES, A. F. Desenvolvimento de um sistema supervisorio de baixo custo para sistemas elétricos. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Universidade Federal de Ouro Preto. João Monlevade, 2018.

OLIVEIRA, F. A.; KHATCHATOURIAN, O. A.; BIHAIN, A. Estado térmico de produtos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.1, p.247-258, 2007.

OLIVO, T. E. Determinação da umidade da soja por medida capacitativa. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

OOI, J. Y.; CHEN, J. F.; ROTTER, J. M. Measurement of solids flow patterns in gypsum silo. *Edinburgh*, v.99, n.10, p.272-284, 1998.

PAKOWSKI, Z.; MUJUNDAR, A. S.; STRUMILLO, C. Theory and application of vibrated beds and vibrated fluid bed for drying processes. In: *Advances in Drying*. Washington. Hemispheres Publishing, p.245-305. 1984.

PAPAVASSILIOU, C. *Transducers and Sensors*. Imperial College London, 2008. Disponível em: <http://cas.ee.ic.ac.uk/people/dario/files/E302/1-Sensors.pdf>. Acesso em: novembro 2017.

PARKHILL, D. *The challenge of the computer utility*. Addison-Wesley. Reading, 1966.

PEIXOTO FILHO, B. C. Desenvolvimento de um sistema supervisorio para o kit didático rotary flexible link. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação de Processos). Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017.

PEREIRA, W. F. Mensuração de parâmetros ambientais em galpão avícola utilizando um equipamento desenvolvido com o conceito de internet das coisas. 31f. Dissertação (Sistema de Produção Agropecuária). Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas, 2017.

PHIDGETS. Datasheet 3134 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635. Disponível em: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-3134.pdf>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

PIRES, E. H. de. Projeto de uma unidade de monitoramento e controle ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecatrônica). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.

POZO, H. *Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais: Uma Abordagem Logística*. São Paulo, Atlas, 2010. 11p.

PRIMM, N. Field experiences with the control of salmonella introduction into Turkey flocks via contaminated feeds. In: Annual Western Poultry Disease Conference, 47, 1999, Sacramento. Anais...Sacramento, CA. 1999.

PUZZI, D. Abastecimento e armazenamento de grãos. Campinas, SP. ICEA. Edição 2000.

RAPIDELEC. Rapid Data Sheet. Disponível em: [www.rapidelectronics.co.uk](http://www.rapidelectronics.co.uk). Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

RAY, P. P. Internet of Things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. J. Ambient Intell. Smart Environ., v.9, n.4, p.395-420, 2017.

RENNA, R. B. et al. Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino. Apostila. Niterói: UFF, 2013. 80p.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: Determinação e modelagem. Ciência e Agrotecnologia, v.32, n.1, p.225-230, 2008.

RICHARDSON, K. E.; LONGO, F. A. A importância do controle microbiológico na cadeia de produção de rações para aves. In: Simpósio sobre Manejo e Nutrição de Aves e Suínos, 5, 2008. Cascavel. Anais...Cascavel, 2008.

RIGO, A. D.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; DEVILLA, I. A. Estratégias de controle para o processo de aeração de grãos em protótipos de silos metálicos. Global Science and Technology, v.5, n.3, p.47-55, 2012.

ROBERTS, A. W. Vibration of fine powders and its application. Handbook of powder science and technology. New York, Van Nostrand. p.181-229, 1984.

ROCHA, A. dos S.; COSTA, H. T. V. Integração entre o mundo real e o virtual no contexto da IoT: internet das coisas e Blynk, operacionalidade e viabilidade. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2018.

ROSA, A. C.; LACASTA, A. M.; HAURIE, L.; HADDAD, A. Gerenciamento dos riscos durante o armazenamento de materiais agrícolas em silos. Revista Gestão e Gerenciamento, v.10, p.9-17, 2018.

ROTTER, J. M. Challenges for the future in numerical simulation. In: Silos: fundamentals of theory, Behaviour and design. London: Routledge Editor, 1998. p.584-604.

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; SILVA, J. N. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho-pipoca. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.45-48, 1999.

SARMENTO, H. G. dos S.; DAVID, A. M. S. de S.; BARBOSA, M. G.; NOBRE, D. A. C. N.; AMARO, H. T. R. Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-mansão por métodos alternativos. Energ. Agric., v.30, n.3, p.249-256, 2015.

SANTOS JUNIOR, M. A. dos. Monitoramento da temperatura e do dióxido de carbono do silo piloto utilizando Arduino e Blynk. 22f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2018.

SANTOS, J. P. dos. *Árvore do Conhecimento: Milho. Pragas de Grãos Armazenados*. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2019. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_38\\_168200511158.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_38_168200511158.html). Acesso em: 11 dezembro 2019.

SANTOS, J. S. dos. *Business intelligence: uma proposta metodológica para análise da evasão escolar em instituições federais de ensino*. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Gestão e Tecnologia da Informação). Ciências Sociais e Aplicadas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

SANTOS, L. B. *Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos produtores*. Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2014.

SANTOS, L. G.; LUCCA, B. G.; PETRONI, J. M.; FERREIRA, V. S. Fabricação de sensores eletroquímicos de baixo custo a partir de mídias CD-R para aplicações analíticas. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v.2, n.3, p.54-59, 2016.

SANTOS, C. C.; CANEPPELE, C.; BONFIMSILVA, E. M.; CORDOVA, N. R. M. Massa específica e porosidade de grãos pelo método de complementação de líquidos. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, n.15, p.1178-1184, 2012.

SCHMIDT, L.; LORENCENA, M. C.; TEIXEIRA, M. Controle de operações em secadores de grãos com redução do consumo de recursos naturais. *Revista de Informática Aplicada*, v.14, n.1, p.26-37, 2018.

SENAI. Serviço Nacional da Indústria. Telecurso 2000 – Módulos especiais mecânica. 2000.

SENHORELI, A.; OLIVEIRA, C. A. S. de; YAMADA, V. Y. Indústria 4.0: uma análise da indústria brasileira perante o mundo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 8, 2018, Ponta Grossa. Anais...Ponta Grossa, 2018.

SEZÕES, C.; OLIVEIRA, J.; BAPTISTA, M. *Business intelligence*. São João de Estorial: Sociedade Portuguesa de Inovação. Porto, 2006.

SHIN, D. A socio-technical framework for Internet of Things design: A human-centered design for the Internet of Things. *Telematics and Informatics*, v.31, n.4, p.519-531, 2014.

SHIROTA, K. H.; SATOH, T.; MURASE, T. I.; OTSUKI, K. Monitoring of layer feed and eggs for salmonella in eastern Japan between 1993 and 1998. *Journal Food Prot.*, v.64, p.734-737, 2001.

SHIROTA, K. H.; SATOH, T.; MURASE, T. I.; OTSUKI, K. Salmonella contamination in commercial layer feed in Japan. *Journal Vet. Med. Sci.*, v.62, n.7, p.789-791, 2002.

SHTARGOT, J.; MIRZA, S. *Modern Thermocouples and a High-Resolution Delta-Sigma*.

- SILVA, A. C.; BERNARDES, A. T. Simulação computacional do escoamento de grãos em silos. *Exacta*, v.8, n.1, p.45-53, 2010.
- SILVA, A. F. E. Estudo, desenvolvimento e concepção de uma célula de carga. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2012.
- SILVA, C. A.; MIRANDA, V. L. D. Automação residencial com inteligência artificial. *Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Elétrica*, v.1, n.1, p.48-70, 2018.
- SILVA, E. L. S. Obtenção de sensores de temperatura do tipo NTC a partir de mistura mecânica de óxidos de níquel cobalto. 110f. Dissertação (Ciências de Materiais). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2011.
- SILVA, H. da C. Estudo da influência do empuxo lateral causado por grãos nas paredes de grandes silos horizontais. 106f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- SILVA, J. de S. e; NOGUEIRA, R. M.; ROBERTO, C. D. Tecnologias de secagem e armazenagem para a agricultura familiar. 1.a ed. Brasília, DF: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2005.
- SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000.
- SILVA, L. C. da. Secagem de grãos. In: *Boletim Técnico: AG: 04/05*. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2005.
- SILVA, L. C. Gases tóxicos em unidades armazenadoras. *Revista Grãos Brasil: da Semente ao Consumo*, v.3, n.13, p.12-15, 2005.
- SIMMONDS-MENDOZA, A.; CABRERA-LONDOÑO, N.; BERDUGO-BARANDICA, N.; ROLDÁN MCKINLEY, J.; YIME-RODRÍGUEZ, E. Implementación de control PID de nivel en laboratorio usando PLC Siemens S7-300. *Revista UIS Ingenierías*, v.17, n.2, p.159-178, 2018.
- SIVIERO, L. F. C. Monitoramento via ultrassom, temperatura e umidade no armazenamento de grãos com acionamento do sistema de aeração. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.
- SOROR, A. A.; MINHAS, U. F.; ABOULNAGA, A.; SALEM, K.; KOKOSIELIS, P.; KAMATH, S. Automatic virtual machine configuration for database workloads. *ACM Trans. Database System*, v.35, n.1, p.1-47, 2010.
- SOUSA, F. R. C.; MOREIRA, L. O.; MACHADO, J. C. Computação em nuvem: conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. In: *ERCEMAPI, 3, 2009, Parnaíba. Anais... Parnaíba, 2009*.
- STANGA, G. de C.; BRITO, R. C.; FAVARIM, F.; TODT, E. Sistema para o monitoramento da temperatura e umidade de um silo utilizando hardware de baixo custo e ScadaBR. In: *Computer on the Beach, 9, 2018, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2018*.

STOCES, M.; VANEK, J.; MASNER, J.; PAVLIK, J. Internet of Things (IoT) in agriculture-selected aspects. *Agris On-Line Papers Econ. Inform.*, v.8, n.1, p.83-88, 2016.

STREETER, V. L.; WYLIE, E. B. *Semelhança e modelo reduzido*. 7.<sup>a</sup> ed. Editora MacGraw Hill do Brasil. São Paulo, 1980.

TABIB, Z.; JONES F. T.; HAMILTON, P. B. Microbiological quality of poultry feed and ingredients. *Poultry Sci.*, v.60, p.1392-1397, 1981.

TADEU, H. F. B.; SANTOS, E. S. dos. O que seria a Indústria 4.0? Fundação Dom Cabral. Alphaville, p.4. 2016. Disponível em: <[https://www.fdc.org.br/professoresepesquisa/nucleos/Documents/inovacao/digitalizacao/boletim\\_digitalizacao\\_fevereiro2016.pdf](https://www.fdc.org.br/professoresepesquisa/nucleos/Documents/inovacao/digitalizacao/boletim_digitalizacao_fevereiro2016.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2018.

TAIRA, D. P.; SIQUEIRA, F. M. F. Prototipagem utilizando plataforma Arduino para sistema de controle de nível. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Escola de Engenharia. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2018.

TAURION, C. *Cloud Computing: Computação em Nuvem: Transformando o mundo da tecnologia da informação*. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

TEJCHMAN J.; GUDEHUS G. Silo-music and silo-quake experiments and a numerical Cosserat approach. *Powder Technology*, v.76, p.201-212, 1993.

TEJCHMAN, J. Technical concept to prevent the silo honking. *Powder Technology*, v.106, p.7-22, 1999.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. *Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações*. 3. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2007.

TURBAN, E.; SHARDA, R.; DELEN, D. *Decision support and business intelligence systems*. 9. ed. New Jersey: Pearson, 2010.

VANELLI, B.; SILVA, M. P. D. Internet of things data storage infrastructure in the cloud using NoSQL Databases. *Revista IEEE América Latina*, v.15, n.4, p.737-743, 2017.

VIANA, E. M. de F.; MARTINEZ, C. B.; MARQUES, M. G. Estudo em modelo reduzido do campo de velocidades em mecanismo de transposição de peixes do tipo ranhura vertical. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.12, n.1, p.91-105, 2007.

VIBRAMAX. *Vibramax - Máquinas e Equipamentos*. 2019. Disponível em: <http://www.vibramax.com.br/descarregador-silo-vibramax>. Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

VOLTRIZ. Sensor de Gás – MQ-2. Disponível em: <https://www.voltriz.com.br/produto/sensor-de-gas-mq2/>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

WANG, Y. J.; CHUNG, D. S.; SPILLMAN, C. K. Gravity flow characteristics of soybean meal. *Transactions of the ASAE*, v.38, n.4, p.1179-1186, 1995.

WEBER, E. A. Armazenagem Agrícola, Kepler Weber Industrial. 2ª. Ed. Porto Alegre, 2001.

WENDLING, M. Sensores. Apostila. Guaratinguetá: UNESP. 2010. 19p.

WIERUP, M. Salmonella Contamination of Feed - An assessment on behalf of Swedish. Board of Agriculture of risks in Sweden. 2006. 132p. Disponível em: <http://www.sjv.se/download/18.1ac7fbb10dac953d9c8000516/Utredning+Salmonella+i+fo+der+-+Wierup+-+till+SJV+2006-08-31%284b%29.pdf>. Acesso em: dez. 2010.

YIGITBASIOGLU, O. M.; VELCU, O. A Review of dashboards in performance management: implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems*, v.13, n.1, p.41-59, 2012.

ZAGO, R. de M. Telemetria para robôs de combate. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Redes de Computadores). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

ZANOTTO, D. L.; BRUM, P. R.; GUIDONI, A. L. Granulometria do milho, peletização da dieta e metabolismo com frangos de corte. In: Conferência Apinco, de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1999, São Paulo. Anais...São Paulo, 1999.

ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A. Microcontroladores: Programação e Projeto com a Família 8051. MZ Editora Ltda. 2017. 448p.

ZHONG, Z.; OOI, J. Y.; ROTTER, J. M. The sensitivity of silo flow and wall stresses to filling method. *Engineering Structures*, v.23, n.7, p.756-767. 2001.

## Curriculum dos Autores

**Gypson Dutra Junqueira Ayres:** Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2005). Mestre em Engenharia Agrícola em Armazenamento e Construção Rural pela Universidade Federal de Campina Grande (2020). Doutorando em Engenharia Agrícola no PPGEA da UFCG. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Projetos no Banco do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a Construção Rural e Armazenamento, Automação e Monitoramento a Distância.

**José Wallace Barbosa do Nascimento:** Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1984), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1990) e doutorado em Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas) pela Universidade de São Paulo (1996), Pós-doutor pela University of Kentucky (2006) e na Universidad Politecnica de Madrid (2014). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Construções Rurais e Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: silos (pressões e fluxo), ambiente, conforto térmico, materiais de construção.

**Paulo Roberto Megna Francisco:** Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Agrícola pela UFCG. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.



**Portal Tecnológico  
de Divulgação Científica**  
Eventos, Pesquisas e Inovação



978-65-00-17281-2