1 INTRODUÇÃO

Na indústria de fabricação de chocolate onde a densidade dos diferentes lotes e estados do produto muda, até mesmo com a variação de matéria prima, ocorre a variação da densidade. Medir a densidade é caro e geralmente feita de forma indireta e em alguns casos a variação pode impactar no volume que o tanque suporta e até no envase do produto.

De maneira geral, a indústria alimentícia tem seus desafios, como a contaminação dos produtos e as características dos materiais, exigindo sensores especiais, que por sua vez possuem valores elevados. O presente trabalho aborda a possibilidade de determinar a densidade do produto utilizando o diferencial de pressão dentro do tanque. Melhorando assim a confiabilidade do equipamento evitando desperdício e erros de processo otimizando o controle dos lotes.

Este artigo pretende determinar a densidade do produto através da pressão diferencial, deduzir a equação característica da aplicação, plicar os erros e dados reais nos cálculos, obter a precisão e erro admissível para esta aplicação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

2.1.1 Pascal

Segundo HELERBROCK (2022), o princípio de Pascal é uma lei que afirma que a pressão aplicada sobre um fluido em equilíbrio estático é distribuída igualmente e sem perdas para todas as suas partes, fazendo isso parte do estudo de mecânica dos fluídos, aplica-se também para as paredes do recipiente em que está contido, fator determinante no desenvolvimento deste artigo, pois os sensores possuem montagens diferentes em relação ao recipiente, porém iguais em relação ao produto dentro do tanque.

2.1.4 Teorema de Stevin

Ainda HELERBROCK (2022) argumenta que o princípio de Stevin, que é também conhecido como o princípio fundamental da Hidrostática que resumidamente explica a dependência entre a pressão exercida pelos fluidos em equilíbrio estático e a sua profundidade. Teorema do qual o estudo deste artigo foi baseado.

$$P=P0+dgH$$

Onde P é a pressão total, P0 é o valor da pressão inicial, d é o valor da densidade, g o valor da gravidade considerada 9,81m/s² neste artigo e H a altura da coluna de líquido. Em conjunto com o princípio de Pascal, pode-se concluir que a profundidade de um fluido determina a pressão que ele exerce e é distribuída igualmente e perpendicular a toda sua extensão.

2.1.5 Chocolate

Os olmecas, maias e astecas bebiam chocolate e depois que os colonizadores espanhóis chegaram, levaram o chocolate para todo o planeta. O chocolate é produzido com a fermentação das sementes do cacau, cujo sabor natural é intensamente amargo. O

processo induz a formação de ácido acético e de outros componentes que criam o sabor característico do doce. Depois de fermentados, os grãos são secos, limpos e torrados, e da sua massa são extraídos os sólidos e a manteiga de cacau (SCHULER, 2022).

A medida desses ingredientes é o que origina os diferentes tipos de chocolates, como por exemplo enquanto a variedade meio amarga tem basicamente sólidos de cacau, o chocolate branco contém apenas manteiga, leite em pó e açúcar (SCHULER, 2022). Hoje temos variedades de coberturas, chocolates, massas e misturas para diversas aplicações e com suas próprias características de processo, sendo que alguns produtos chamados de chocolate, na verdade, às vezes, não possuem cacau (CAPELLI, 2009).

2.1.6 Dispersão

Dispersão é a disseminação de uma substância ao longo de todo o volume de outra substância. Uma dispersão é formada pela combinação de um dispersante com um disperso (soluto ou disseminado) (KROHNE, 2022). Por exemplo, água e açúcar sendo misturados em copo.

O chocolate é uma dispersão de partículas sólidas como o cacau e o açúcar em uma matriz de manteiga de cacau, pois o tamanho de partículas determina a sensação do chocolate e seu comportamento de derretimento na boca (SCHULER, 2022). Portanto, a avaliação do tamanho e forma das partículas é fundamental na produção para obtenção de um produto de alta qualidade.

A indústria alimentícia se ocupa de várias máquinas e modelos de misturadores e dispersores, cada um com um objetivo diferente na cadeia de processo, para obtenção de características únicas (FELLOWS, 2018).

2.1.7 Densidade

Densidade é basicamente a relação entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura. Essa relação é expressa pela fórmula:

$$d = m/V$$

Onde d é a densidade, m a massa e V o volume e no SI (Sistema Internacional de Unidades), a unidade de densidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m3), porém os mais utilizados são g/cm3 e o g/mL (FOGAÇA,2022).

A densidade pode representar uma substância ou para uma mistura de substâncias, como por exemplo as diversas misturas de chocolate. A densidade de uma mistura varia de acordo com as quantidades das substâncias envolvidas. A densidade também varia conforme a temperatura, sendo que este é um fator importante durante uma receita de chocolate (FOGAÇA,2021).

2.2 Resultados e Discussões

2.2.1 Dedução da equação em função da densidade

Partindo-se do teorema de Stevin sabe-se que a pressão em um tanque é igual a soma da pressão inicial com o produto da densidade d pela gravidade g pela variação de altura ΔH.

$$P = P0+dg\Delta H$$

Pode-se considerar a pressão inicial como a pressão no ponto mais baixo do tanque pois o sistema proposto visa medir o diferencial de pressão entre dois pontos, logo:

$$P1-P0 = dg\Delta H$$

$$\Delta P = dg\Delta H$$

O objetivo é determinar a densidade do produto no interior do tanque, então a equação pode ser reescrita da seguinte maneira, obtendo-se o valor da densidade através do diferencial de pressão.

$$d = \Delta P/g\Delta H$$

2.2.2 Análise das grandezas

Para análise das grandezas podemos partir da equação que determina a densidade apresentada no item 5.1.

$d = \Delta P / g \Delta H$

Portanto:

$d = (N/m^2) / (m/s^2 * m)$

$d = (N/m^2) / (m^2/s^2)$

$d = (N * s^2) / (m^2 * m^2)$

$d = Ns^2 / m^4$

$d = ((kgm/s^2) * s^2) / m^4$

$d = kgm / m^4$

$d = kg/m^3$

Logo temos a análise das grandezas envolvidas na proposto para corroborar que o resultado será a densidade do material em kg/m^3.

2.2.3 Equipamentos utilizados como base no experimento

A unidade de controle utilizada para coleta de dados e processamento foi uma CPU S7-1215 DC/DC/DC com um cartão de entrada analógica de 13 Bits, esta informação e relevante pois ajuda no cálculo do erro e resolução final do sistema.

Para a coleta de dados foram empregados sensores de pressão 0 a 10 Bar com saída de 4 a 20mA, sendo esse um padrão comum para tanques de armazenamento de chocolate, utilizado para estimar o volume do tanque.

O Tanque objeto de estudo é de Inox 4000 litros e altura de 3 metros, esses valores são hipotéticos, pois o volume do tanque e altura total são irrelevantes para o resultado do experimento, sendo orientativos para a dimensão da aplicação.

A distância entre os pontos de medição de pressão foi 50cm ou 0,5m para normalização das unidades, considerando uma medida razoável para o tanque proposto. A gravidade considerada foi de 9,81m/s².

2.2.4 Montagem mecânica do equipamento

A montagem do equipamento mecanicamente é simples, apresentada na figura abaixo, onde P1 e P0 representam os pontos onde são instalados os sensores de pressão, distantes na altura em 0,5m.

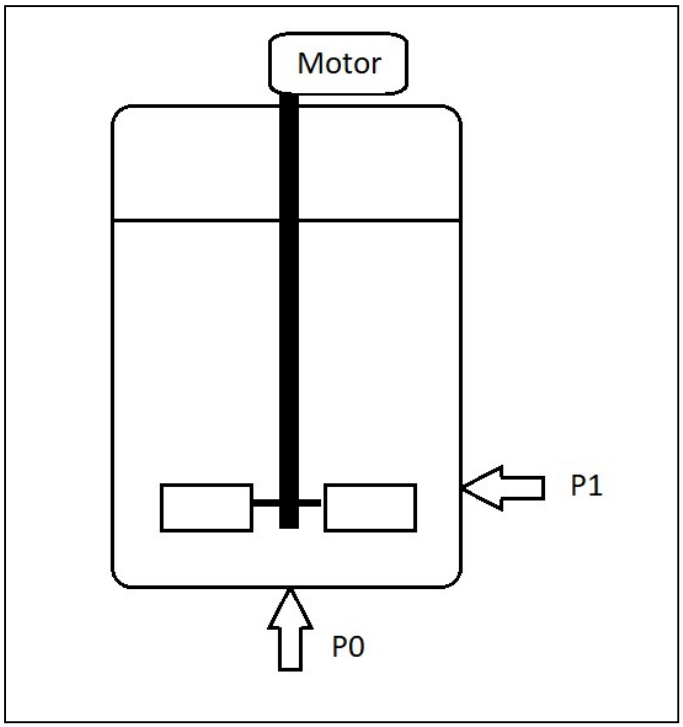

Figura 1- Do Autor (2022)

Esse modelo de tanque geralmente conta com pás, dispersores, raspadores e agitadores internos, para auxiliar na mistura do produto, prejudicando assim o uso de sensores do tipo haste por exemplo.

2.2.5 Montagem elétrica do equipamento

O sinal dos transmissores de pressão são de 4 a 20mA e são considerados 1 cabo 2 vias mais a blindagem do cabo, sendo a ligação feita da forma abaixo para os dois sensores.

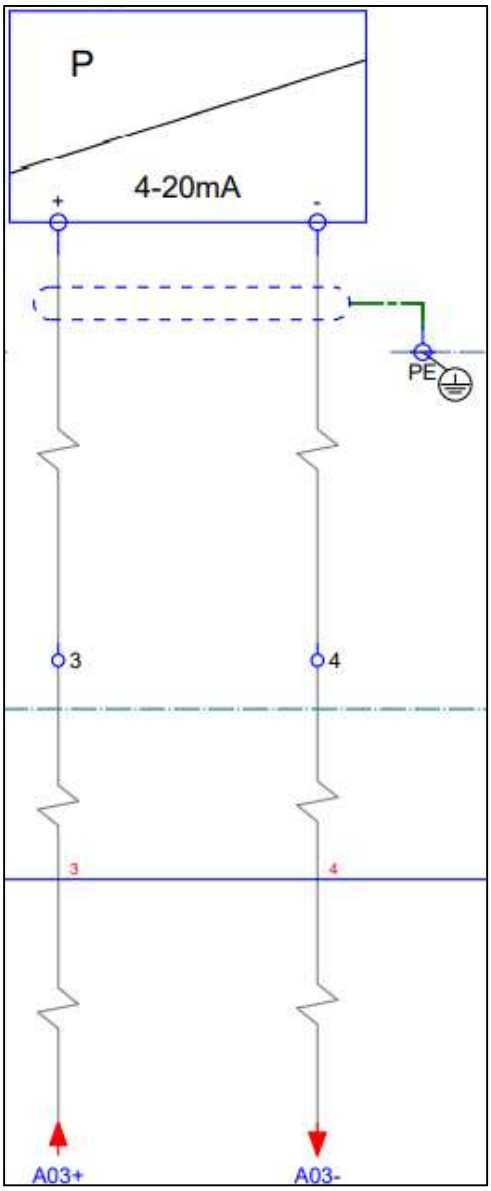

Figura 2- Do Autor (2022)

2.2.6 Validação

Foi considerado uma densidade hipotética e 1,302 g/cm³ ou 1302 Kg/m³ para determinar matematicamente as pressões do P1 e P2 e corroborar a dedução da equação com base no teorema de Stevin.

Foram aplicadas as condições reais dos equipamentos, sendo entrada analógica de 13 bits e valor de leitura permitida no hardware de -27648 a +27648 e range do sensor de 0 a 10 bar, onde através do software são limitadas de 0 a +27648 pois o sensor não irá trabalhar com valores negativos.

Com o diferencial de pressão obtido de 0,0638631 bar ou 6386,31 Pascal, atuando na escala de 0 a +27648 temos um diferencial de 177 na leitura da entrada analógica obtendo uma resolução de 0,000361 bar por unidade lida na entrada analógica.

3 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos pode-se determinar com um valor considerável a densidade do produto dentro do tanque, sabendo que o próprio chocolate possui diversas variações de receitas e densidades. Também se conclui que o método não poderia ser utilizado para controle de qualidade, sendo para tanto recomendado sensores e equipamentos industriais já desenvolvidos, mas com valores maiores. Porém esta abordagem pode ser utilizada para estimar se com a variação de densidade e volume isso afetaria por exemplo o envase do produto e isso pode futuramente ser utilizado como exemplo prático para a aplicação dos ensinamentos de Pascal e Stevin no mundo moderno.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos.** Editora LTC; 1ª edição, 2005.

BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Editora LTC; 3ª edição, 2019.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial, Controle de movimento e processos contínuos.** Editora Érica; 3ª edição, 2009.

CONAUT. **Medidor de Vazão.** Disponível em: <https://www.conaut.com.br/> Acesso em 02 de dezembro de 2021.

DIRECT INDUSTRY. **Medidor de Vazão de Massa.** Disponível em: < https://www.directindustry.com/pt/prod/envea/product-23554-1975865.html> Acesso em 02 de dezembro de 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. Editora Artmed; 4ª edição, 2018.

FOGAÇA, Jenifer. **O que é densidade?** Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-densidade.htm> Acesso em 03 de dezembro de 2021.

FRANCHI, Claiton Moro. **Instrumentação de Processos Industriais.** Editora Érica; 1ª edição, 2018.

HELERBROCK, Rafael. **Princípio de Pascal**. Disponível em: < https://brasilescola.uol.com.br/fisica/principio-de-pascal.html> Acesso em 16 de maio de 2022.

KROHNE. ***Level measurement in tanks of liquid chocolate.*** Disponível em: < https://kz.krohne.com/en/applications/level-measurement-tanks-liquid-chocolate/> Acesso em 02 de dezembro de 2021.

REOTERM. **ChocoScope.** Disponível em: <https://www.reoterm.com.br/chocoscope> Acesso em 03 de dezembro de 2021.

SCHULER, Márcia. **Do que é feito o chocolate?** Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2016/03/do-que-e-feito-o-chocolate.html> Acesso em 03 de dezembro de 2021.

UFSM. **Instrumentação Aplicada.** Disponível em:< <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/18_instrumentacao_aplicada.pdf > Acesso em 02 de dezembro de 2021.

APPLICATION OF DIFFERENTIAL PRESSURE FOR MEASUREMENTS IN CHOCOLATE TANKS

ABSTRACT

The present work aims to present an alternative for measuring product density inside a dispenser tank using the pressure differential. The calculations were developed based on an application with a 4000-liter tank with a useful height of 3 meters in stainless steel that stores chocolate compounds (usually applied in coatings or fillings), the automated equipment considered is commercial. In the chocolate industry, it is often not possible to determine the volume and density of the product in the tank directly, because given the viscosity of the material, it tends to cover all surfaces and interfere with the measurement over time, requiring a constant cleaning routine. The common methods used to determine density and volume are expensive and complex and are often used in indirect ways to determine these variables. For this work, an equation was deduced as a function of the differential pressure based on the concepts of transport phenomena and Stevin's theorem and applied with real values and real data of the equipment.

Keywords: Chocolate. Dispersal. Density. Sensing. Mixers.