

SENSOR CAPACITIVO PARA MEDIÇÃO DE NÍVEL DE ÁGUA

MATHEUS PETERS PIEPER¹;
MAIQUEL S. CANABARRO²;

¹ Universidade Federal de Pelotas – matheuspieper@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas – maiquel.canabarro@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu do instrumento avaliativo da disciplina de Teoria Eletromagnética, do curso de Engenharia Eletrônica. Foi proposto que utilizando um sensor capacitivo ou indutivo, de autoria própria, sirva para a medição de alguma grandeza física. A medição de nível de água, mais especificamente, em reservatórios residenciais (*caixas d'água*), através de um sensor capacitivo, pareceu ser um desdobramento interessante para a elaboração do presente trabalho. Uma vez que a medida de nível fosse realizada, o sinal seria condicionado por um circuito eletrônico externo e lido por um microcontrolador.

A motivação por trás da escolha deste tema para o trabalho se deve à inconstância no fornecimento de água potável para a população. Dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) revelam que em 2022 houveram 75,8 mil paralisações e 432,9 mil interrupções sistêmicas no fornecimento de água. Somado a isso, temos a grande quantidade de perdas no sistema de distribuição, que no município de Pelotas é maior que a média nacional, sendo de 44,47 % e 37,78 %, respectivamente.

2. ATIVIDADES REALIZADAS

Todo este trabalho foi desenvolvido a partir de uma metodologia de ensino-aprendizagem em engenharia denominada *CDIO*, sigla em inglês para *conceive, develop, implement, operate*. (concepção, projeto, implementação e operacionalização). Para fins de avaliação em sala de aula, a execução do trabalho foi dividida em três etapas: concepção, projeto e implementação.

A concepção do trabalho começou com um esboço da ideia inicial do autor, conforme a Figura 1.

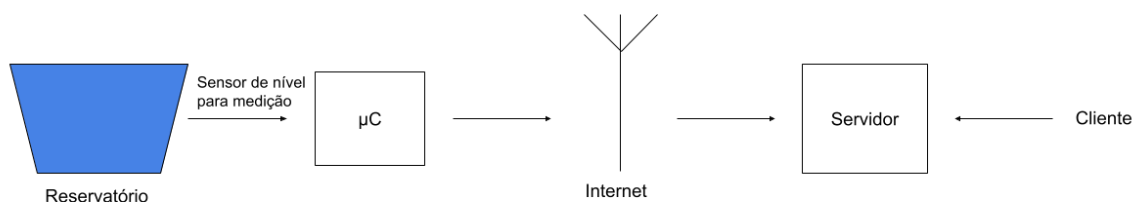


Figura 1 - Esquema inicial do trabalho. Fonte: autoria própria.

Como representado na Figura 1, a concepção inicial do sistema consiste em utilizar um sensor para medição de nível no reservatório. Em seguida a utilização de um microcontrolador para a leitura dos dados e envio dos mesmos à internet. Uma vez os dados estando armazenados em um servidor, um usuário poderia acessá-los via internet e saber o nível de água dentro do reservatório.

Para nortear a concepção do trabalho, foi realizada uma pesquisa em diversos repositórios acadêmicos. Dentre os vários trabalhos consultados, o que serviu como inspiração para o desenvolvimento do sensor foi o artigo de OTERO, ABRAHAM (2012), que desenvolveu um medidor automático de urina para pacientes em cuidados intensivos. Neste artigo, OTERO utiliza um sensor capacitivo de placas coplanares para medir a altura da lâmina de urina coletada em um recipiente plástico e também propõe um circuito de conversão de capacitância para tensão para condicionamento do sinal.

A medição da altura do líquido por capacitância se dá pela variação do dielétrico, que é o meio isolante que separa as placas condutoras do capacitor. Neste caso, os dois dielétricos envolvidos são a lâmina de água no reservatório e o ar.

Uma vez concebido, a próxima etapa do trabalho, seguindo a metodologia do CDIO, é o projeto. Começando pelo projeto do sensor capacitivo, é necessário levantar a equação que permita calcular a capacitância de um capacitor de placas paralelas.

Segundo PAUL, CLAYTON (2008), a capacitância por unidade de comprimento de duas chapas condutoras sobre o mesmo plano é dada pelas equações (1) a (4):

$$C = \frac{\epsilon_r' \ln(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}})}{377\pi v_0} \quad (1)$$

$$\epsilon_r' = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} \quad (2)$$

$$k = \frac{s}{s + 2w} \quad (3)$$

$$k' = \sqrt{1 - k^2} \quad (4)$$

onde:

s = distância entre as placas

w = largura das placas

h = profundidade do dielétrico

ϵ_r = permissividade elétrica do meio

v_0 = velocidade da luz no vácuo

Assim como OTERO, podemos modelar a capacitância total do sensor como a soma da capacitância do sensor com dielétrico de ar e com dielétrico de água, cada uma com suas respectivas alturas do fluido, portanto a capacitância final pode ser escrita como mostrado na equação (5):

$$C = \frac{\epsilon_{AR}' \ln(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}})}{377\pi v_0} (1 - l) + \frac{\epsilon_{ÁGUA}' \ln(2 \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}})}{377\pi v_0} l \quad (5)$$

onde:

l = altura da lâmina de água no reservatório

Os valores escolhidos para o projeto estão dispostos na Tabela 1:

Parâmetro	Valor
Permissividade relativa do ar	$\epsilon_{AR} = 80$
Permissividade relativa da água	$\epsilon_{ÁGUA} = 1$
Altura máxima do reservatório	$l = 1\text{ m}$
Distância entre as placas	$s = 3\text{ mm}$
Largura das placas	$w = 5\text{ cm}$

Tabela 1 - Valores utilizados para o projeto do sensor. Fonte: autoria própria

Uma vez que temos o sensor capacitivo projetado, é necessário projetar um circuito de condicionamento para que este valor de capacitância possa ser lido por um microcontrolador. FIORE, JAMES (2019) e OTERO propõem duas topologias: um circuito conversor de capacitância e tensão. O circuito possui dois blocos, o primeiro entrega na saída uma tensão alternada que varia sua amplitude máxima de acordo com a capacitância do sensor, e o segundo bloco que transforma essa tensão de pico em um sinal em corrente contínua que pode ser lido pelo microcontrolador.

Por fim, na parte de implementação e operacionalização o sensor capacitivo foi simulado utilizando o software *Ansys Maxwell 3D* versão estudantil. No programa foram criadas as duas placas coplanares e inserido o dielétrico. A proporção entre os dielétricos água e ar foi alterada de 10 cm em 10 cm de 0 a 1 m de altura da lâmina de água.

Os valores de capacitância levantados através de cálculo utilizando a Equação 5 e obtidos no simulador são exibidos na Figura 2:

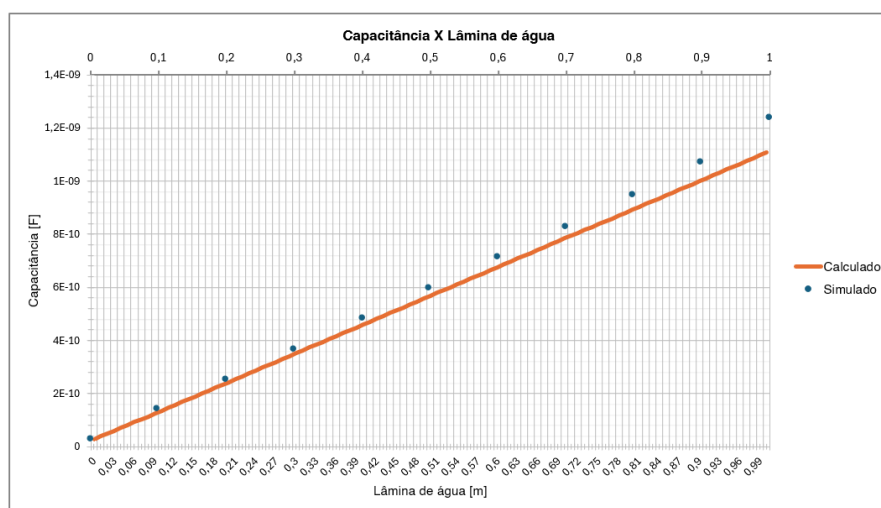


Figura 2 - Gráfico da capacitância em função do nível de água. Fonte: Autoria própria.

Como podemos observar no gráfico da Figura 2, os valores obtidos através da simulação foram condizentes com os valores obtidos por cálculo, ou seja, a

simulação corrobora com a validação do equacionamento levantado anteriormente.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o desenvolvimento do sensor capacitivo para medição de nível de água em reservatórios demonstrou resultados satisfatórios. A modelagem matemática proposta, baseada na variação da capacitância em função do nível do dielétrico, mostrou-se consistente com os resultados obtidos por simulação no software *Ansys Maxwell 3D*.

A comparação entre os cálculos teóricos e os dados simulados evidenciou uma boa correlação, confirmando a viabilidade do sensor projetado. Isso indica que a metodologia empregada, fundamentada no modelo de placas coplanares, é adequada para a determinação do nível de líquido em aplicações práticas.

Além disso, a utilização da metodologia *CDIO* permitiu que o trabalho seguisse uma linha de desenvolvimento estruturada, desde a idealização até a validação por simulação.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SNSA. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**, Brasília dez. 2023 Acessado em 04 de ago. 2025 Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf

SNSA. **Painel de Indicadores**, Brasília dez. 2023 Acessado em 04 de ago. 2025 Disponível em: https://app-hmg.cidades.gov.br/indicadores-sinisa/web/agua_esgoto/mapa-agua?codigo=4314407

ANSYS Inc. **Ansys Maxwell 3D**. Canonsburg, PA: Ansys Inc. Acessado em 16 de ago. 2025 Disponível em: <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>

OTERO, A. FERNÁNDEZ, R. APALKOV, A. ARMADA, M. An automatic critical care urine meter. **Researchgate**, Madrid, Spain. September 2012

IORE, J. M. **Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application**. New York: Mohawk Valley Community College, 2019.

PAUL, C. R. **Analysis of multiconductor transmission lines**. New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2008.