

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA ELEVATÓRIA AUTOMÁTICA PARA POSICIONAMENTO DE AMOSTRAS NA ESPECTROSCOPIA DIELÉTRICA

Ana Carolina Leitão Rêgo (UFOPA) E-mail: ana.rego@discente.ufopa.edu.br

Gilson Fernandes Braga Junior (UFOPA) E-mail: gilson.braga@ufopa.edu.br

Resumo: A medição de propriedades dielétricas de materiais através da técnica de sonda coaxial (espectroscopia dielétrica), compreende em posicionar uma amostra afim de mergulhar a sonda em uma profundidade específica de uma amostra. Como o equipamento é muito sensível, se faz necessário efetuar uma recalibração constante do mesmo na presença de pequenas perturbações mecânicas. Sendo assim, o projeto consiste no desenvolvimento de uma plataforma elevatória para posicionar as amostras em uma sonda sem contato manual do operador, através de um sistema de servo-posicionamento microcontrolado, otimizando o tempo de realização de experimentos de coleta de dados em laboratório. Para isso foi desenvolvida uma mesa pantográfica de chapas de PVC e acionada através de um servo motor tower pro MG995 em malha fechada através da plataforma de prototipagem Arduino Nano e um sensor de distância ultrassônico HC-SR04 com controle ON-OFF com banda morta de 0.2cm. Foram feitos testes com valores de referência tanto para elevar quanto para descer a plataforma, atingindo 2% do valor final e permanecendo neste intervalo em aproximadamente 38 segundos para subida e 32 segundos para descida da plataforma. O sistema desenvolvido pode ser construído com materiais mais resistentes no futuro como por exemplo acrílico, para ter maior estabilidade mecânica, além de usar um paquímetro digital de precisão para melhorar a aquisição do sinal de saída do sistema.

Palavras-chave: permissividade elétrica, medição, plataforma pantográfica, microcontrolador, sistema de elevação.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC ELEVATOR PLATFORM FOR SAMPLE POSITIONING IN DIELECTRIC SPECTROSCOPY

Abstract: The measurement of the electrical permissiveness of material through the coaxial probe technique (dielectric spectroscopy), comprises positioning a sample in order to immerse the probe in a specific depth of a sample. As the equipment is very sensitive, it is necessary to carry out constant recalibration in the presence of small mechanical disturbances. Therefore, the project consists of the development of an automatic elevating platform to position the samples from a probe without manual contact by the operator, through a microcontroller servo-positioning system, optimizing the time of conducting data collection experiments in the laboratory. For this purpose, a pantographic table made of PVC sheets was developed and powered by a closed-loop tower pro MG995 servomotor through the Arduino Nano prototyping platform and an HC-SR04 ultrasonic distance sensor with ON-OFF control with 0.2cm dead band. Tests were carried out with reference values for both raising and lowering the platform, reaching 2% of the final value and remaining in this interval in approximately 38 seconds for rising and 33 seconds for lowering the platform. The developed platform can be built with more resistant materials in the future such as acrylic, for greater mechanical stability, in addition to using a precision digital caliper to improve the acquisition of the system's output signal.

Keywords: electric permissiveness, measurement, scissor lift, microcontroller, lifting system.

1. Introdução

Os sistemas de elevação são utilizados em diversas áreas da indústria com diversas funções, como por exemplo, para se atingir alturas inacessíveis por um operador através da utilização de lanças telescópicas ou articuladas, levantamento e movimentação de cargas e em almoxarifados de empresas, além da utilização de carregadores de veículos

elétricos através de elevadores do tipo pantográfico (DENGIZ et. al., 2018). Os laboratórios de pesquisa e desenvolvimento são outra área de aplicação para estes tipos de sistemas, como por exemplo no posicionamento automático de laser na velocimetria por imagem de partículas, posicionamento de fibras na espectroscopia multi-objetos e na espectroscopia dielétrica, incluindo a pesquisa de novos materiais para a construção de atuadores inteligentes (DE OLIVEIRA, 2018). A espectroscopia dielétrica consiste em uma das técnicas de caracterização de materiais, com ampla utilização em múltiplas áreas, como na indústria alimentícia para estudo de como um determinado alimento se comporta em determinados cenários, na caracterização de novos materiais para construção de dispositivos eletrônicos como capacitores, além da descoberta de novos materiais e avaliação de óleos utilizados em transformadores. Através desta técnica, obtém-se a permissividade elétrica, que determina como um material se comporta na presença de um campo eletromagnético, absorvendo ou liberando energia em função de um campo eletromagnético oscilante aplicado (NELSON, 2015). No método da sonda coaxial aberta para obtenção da permissividade elétrica de materiais em diferentes frequências com a utilização de analisadores vetoriais de rede, necessita-se posicionar uma amostra de um determinado material líquido ou semissólido de modo a ser imerso na ponta da sonda, conforme visto na Figura 1.



Figura 1: Amostra apoiada para imersão da sonda coaxial utilizada para medição de permissividade elétrica.

Devido a sensibilidade do instrumento de medição, a amostra precisa ser posicionada e não se deve modificar a altura da sonda ou mesmo tocar nos cabos, para não ser necessário recalibrar o sistema de forma manual, na ausência de um módulo de calibração eletrônico automático, além da sonda necessitar ser inserida pelo menos 10 milímetros na amostra (KEYSIGHT, 2020). Desta forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma mesa elevatória pantográfica para, através da utilização da plataforma de prototipagem Arduino Nano, posicionar a amostra de interesse de forma automática na altura desejada pelo operador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Ao longo desta seção será apresentada a descrição dos aspectos construtivos da plataforma elevatória, os materiais utilizados em sua construção e a técnica de controle aplicada, afim de atingir o objetivo proposto neste trabalho.

2.1 Estrutura da plataforma e Escolha do atuador

A estrutura da plataforma foi escolhida conforme outros sistemas de elevação já desenvolvidos, como a plataforma desenvolvida em De Oliveira (2018). Considerou-se para a análise do torque necessário a ser desempenhado pelo atuador a ser escolhido, que o peso da estrutura é distribuído de maneira uniforme, e o centro de massa é o centro geométrico da plataforma elevatória. Foi construído um atuador do tipo rosca sem fim, através de uma barra rosca de 5/16 polegadas posicionada através de dois mancais com rolamento, sendo uma das extremidades da barra fixada com uma porca travante, e a outra extremidade foi posteriormente fixada a um acoplador para eixo de motor com massa epóxi, substância também utilizada para fixar a barra central que interliga os braços móveis da estrutura à porca que se desloca horizontalmente com o movimento de giro da barra rosca, conforme visto na Figura 2.

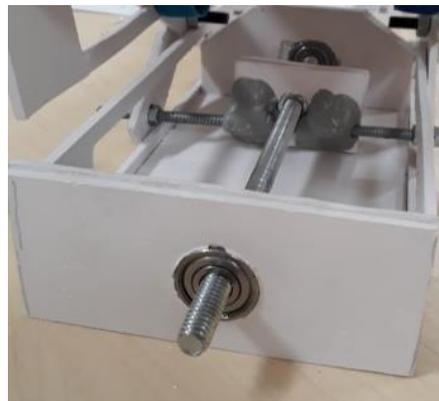


Figura 2: Mecanismo do tipo rosca sem fim desenvolvido através de barra rosca acoplada a dois mancais com rolamentos, compondo a base da plataforma elevatória.

Para a escolha do atuador, partiu-se da relação de trabalho desempenhado por um atuador giratório para ocasionar um deslocamento do braço móvel para atingir determinada altura, conforme a Equação (1) (YIMER e WANG, 2019):

$$Td\theta = Fdx \quad (1)$$

Em que T é o torque a ser desenvolvido e F a força do atuador. Por sua vez, o trabalho desenvolvido pelo atuador, com a estrutura em equilíbrio estático é igual à energia potencial gravitacional da massa a ser elevada, conforme a Equação (2):

$$Fx = mgh \quad (2)$$

Para o cálculo das dimensões dos braços, foi estipulada a altura máxima de elevação e o ângulo máximo entre a base da estrutura e o braço lateral direito, o que resulta em um valor mínimo para a distância entre o braço móvel e o braço fixo da estrutura (que possui apenas movimento de rotação na sua extremidade). É apresentado na Figura 3 a estrutura lateral da plataforma elevatória, baseado em Spackman (1989).

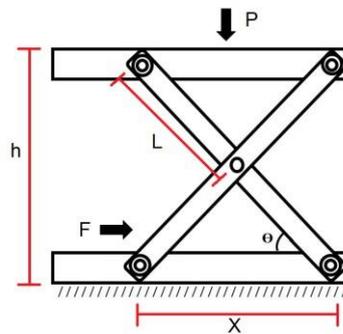


Figura 3: Desenho da vista lateral da plataforma elevatória.

Assim, a partir de relações trigonométricas conforme Figura 3 tem-se as equações (3) a (5):

$$l = \sqrt{\frac{x_{\min}^2 + h_{\max}^2}{4}} \quad (3)$$

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{1}{\tan(\theta)} \quad (4)$$

$$F = -\frac{(P + Pe/2)}{\tan(\theta)} \quad (5)$$

Em que na Equação (3), l consiste no comprimento do braço da plataforma, e na Equação 5, o termo $Pe/2$ representa a metade do peso da estrutura no centro de massa da plataforma elevatória, para adicionar o efeito de seu peso na Força do atuador. Desta maneira, escolhendo o valor mínimo para x de 5 centímetros e uma altura máxima de 15 centímetros, o comprimento do braço da plataforma deve possuir pelo menos 7,9 centímetros. Além disto, considerando o peso da estrutura (construída a partir de chapas de PVC de 3 milímetros) tendo aproximadamente 250 gramas e a massa da amostra aproximadamente 100 gramas, com um ângulo máximo de 80 graus, a força desempenhada pelo atuador deve ser de no mínimo 0,053 Newtons. A por fim, para calcular o torque do motor, a partir das equações (1) a (5), tem-se a Equação (6):

$$T = 2l (P + Pe/2) \cos(\theta) \quad (6)$$

A partir do ângulo máximo definido como 80 graus e do comprimento do braço calculado, tem-se um torque necessário de pelo menos $8,226 \times 10^{-3}$ quilogramas-metro. O atuador selecionado foi um servo motor Tower Pro M6995 de 360 graus, o qual possui torque disponível de 130×10^{-3} quilogramas-metro quando alimentado por uma fonte de 5 Volts, tendo 15,8 vezes maior que o torque necessário. Assim, garante-se margem de utilização do atuador para possíveis alterações no peso da amostra e no peso da estrutura, podendo ser reutilizado no caso do desenvolvimento de outras plataformas com braços de comprimentos maiores ou feitos com outros materiais.

2.2 Sistema de Controle

Para controlar a altura da plataforma a partir de uma altura desejada de referência, foi escolhida a plataforma de prototipagem Arduino Nano, a qual é baseada em um microcontrolador Atmel ATMEGA 328, possuindo 22 pinos de entrada e saída sendo 14 digitais e 8 entradas analógicas, que foram utilizadas para acoplar um teclado matricial de 12 teclas para fornecer o valor de referência de altura (entrada do sistema), o acionamento do servo motor (variável manipulada: rotação no sentido horário ou anti-

horário) e o valor da variável controlada (altura da plataforma). A Figura 4 compreende a estrutura com suas conexões montada, alimentada através de uma fonte de bancada regulável ajustada em 5 Volts para fornecer energia ao Arduino Nano e de forma independente ao servo motor, visto que o Arduino possui uma limitação de 200 miliamperes de corrente e 40 miliamperes por pino de saída individual. Para medição da altura da plataforma, foi selecionado um sensor de distância ultrassônico HCSR04, o qual possui uma faixa de medição de 2 centímetros a 4 metros com consumo de corrente de 2 miliamperes e 3 milímetros de precisão.

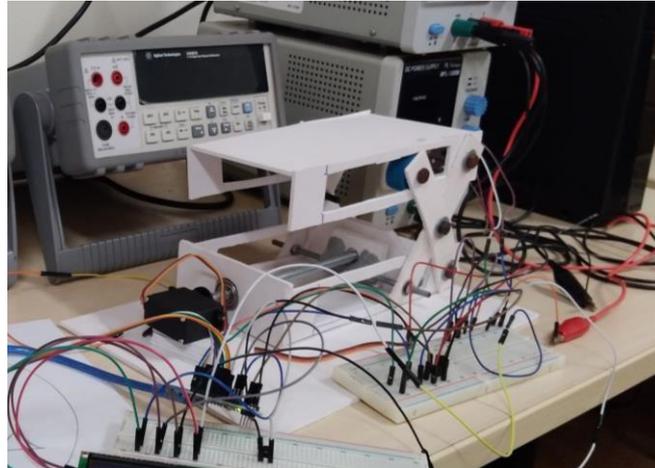


Figura 4: Plataforma elevatória montada em laboratório.

Foi implementado um controlador ON-OFF com banda morta de 2cm, para diminuir as oscilações causadas por um controle ON-OFF simples. Sua escolha deu-se porque o sistema possui duas ações, a subida e a descida a partir do erro entre a referência e a altura medida, a partir da rotação no sentido horário ou anti-horário do servo motor. A operação da plataforma inicia com esta bloqueada, e a partir do acionamento de um botão de pressão, permite-se inserir o valor de referência para a altura da plataforma através do teclado matricial, com o seu sistema de controle apresentado de forma simplificada na Figura 5.

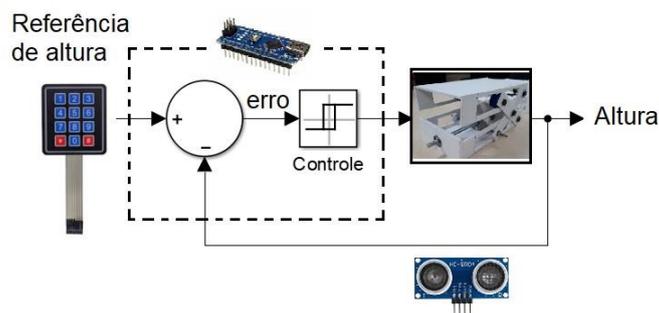


Figura 5: Diagrama simplificado do sistema de controle.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados dois testes distintos para verificar o funcionamento da plataforma elevatória em malha fechada. Primeiro, partiu-se de um valor inicial de altura inferior ao valor de referência para subir a plataforma, e em seguida partiu-se de um valor inicial de

altura superior ao valor de referência, para avaliar a subida e a descida da plataforma. Os resultados dos dois testes são apresentados nas Figuras 6 e 7.

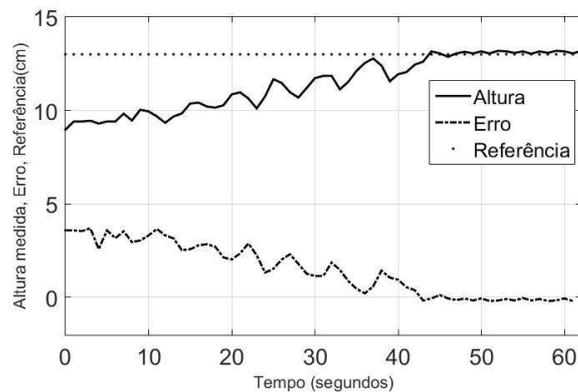


Figura 6: Resposta do sistema para uma referência de 13 centímetros.

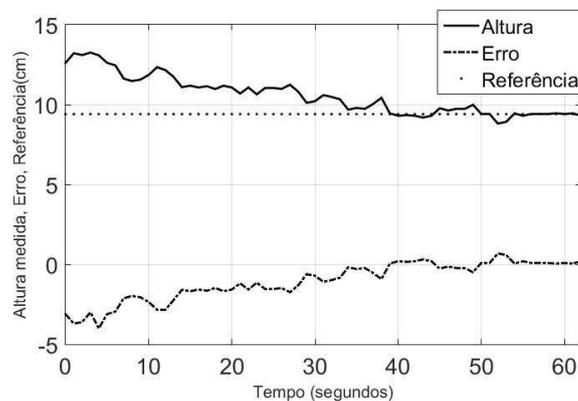


Figura 7: Resposta do sistema em malha fechada para uma referência de 9,3 centímetros.

Nas Figuras 6 e 7, durante os intervalos entre o valor inicial e valor final observa-se algumas flutuações no sinal de saída do sistema (altura), as quais são originadas a partir de um pequeno desalinhamento entre os mancais desenvolvidos na plataforma, além de um balanço no suporte de fixação do sensor ultrassônico, que em alguns momentos podem causar erros de medição pelo sensor. Conforme a Figura 6, a plataforma elevatória atingiu 2% do valor de referência e permanecendo em torno deste valor em aproximadamente 38 segundos. Sendo na Figura 7 por volta de 33 segundos. São apresentados também os sinais de erro em ambas figuras 6 e 7 tendendo a 0 com o passar do tempo, à medida que o valor da variável de saída se aproxima do valor de referência. Após finalizar o período de transição para o valor desejado da altura a plataforma por fim, se mantém estável em torno de sua posição.

6. CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho foi desenvolver uma plataforma elevatória automática por meio da utilização de uma plataforma de prototipagem microcontrolada, para que auxiliasse de forma prática o posicionamento de amostras na espectroscopia dielétrica. A partir da estimativa do torque necessário e do tamanho dos braços da plataforma pantográfica, esta foi construída a partir de chapas de PVC e foi controlada em malha fechada com o auxílio

da plataforma Arduino Nano com controle ON-OFF com banda morta. Apesar do sistema ter sido capaz de regular a altura em torno dos valores de referência desejados, ainda se faz necessário solucionar o desalinhamento dos mancais que resulta em oscilações entre o instante inicial e o instante final, pois este causa a barra roscada a não realizar seu movimento de giro estática, subindo e descendo poucos centímetros, o que se torna visível no sinal de saída do sensor ultrassônico. Ademais, o trabalho possibilitou resolver a necessidade de intervenção manual para posicionamento da amostra na sonda coaxial para medição de permissividade elétrica. Para trabalhos futuros, poderão ser utilizados outros materiais mais rígidos como substitutos das chapas de PVC, como por exemplo, chapas de MDF, além de substituir o sensor ultrassônico para medição de altura por um paquímetro digital de precisão, além da aplicação de outras técnicas de controle mais avançadas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) pelo apoio à realização deste trabalho, que foi realizado através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/UFOPA.

Referências

- DE OLIVEIRA, L. F. A.** *Smart Materials Actuators: Actuated Scissor Lift. Mestrado Integrado em Engenharia Física, Departamento de Física e Astronomia, FCUP, 2018.*
- DENGIZ, C. G., SENEL, M., C, YILDIZH, K. e KOÇ, E.** *Design and Analysis of Schissor Lifting System by using Finite Elements Method. Universal Journal of Materials Science 6(2): 58-63. 2018.* **KEYSIGHT, Basic of measuring dielectric properties of materiais. Nota de aplicação, Keysight Technologies.** Documento online. Disponível em: <https://www.keysight.com/br/pt/assets/7018-01284/application-notes/5989-2589.pdf>. Acesso em 01/11/2020.
- NELSON, S. O.** *Dielectric properties of Agrigultural Materials and Their Applications.* Editora Elsevier, 2015.
- SPACKMAN, H.** *A Mathematical Analysis of Scissor Lifts. San Diego: US Military, Systems Engineering Branch., 1989.*
- YIMER, W., WANG, Y.** *Design, Analysis and Manufacturing of Double Scissors Lift Elevated by One Hydraulic Cylinder. International Journal of Engineering Research & Technology, 8 (11), 709-713, 2019.*