

**Evento:** XXXIII Seminário de Iniciação Científica ▾

AVALIAÇÃO DE Sensores Piezoresistivos de Grafite para Medição de Umidade em Papel Através de Testes de Tração¹

Felipe Dück Borges², Luiz Antonio Rasia³

¹ Trabalho de estágio desenvolvido no curso de Engenharia Mecânica na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ.

² Bolsista; estudante do curso de Engenharia Mecânica; Bolsista do programa de fomento: Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - PIBIC/UNIJUÍ

³ Professor (a) Dr. orientador(a) do projeto Modelagem, Caracterização de Materiais, Desenvolvimento e Prototipagem de Dispositivos Eletromecânicos para a Indústria, Saúde e Bioengenharias - GPMaD/UNIJUÍ

INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica tem proporcionado avanços significativos no desenvolvimento de sensores aplicáveis em diferentes áreas industriais e científicas. Dentre eles, os sensores piezoresistivos vêm ganhando destaque pela capacidade de converter pressão mecânica em variações de resistência elétrica, possibilitando seu uso em aplicações como monitoramento estrutural e dispositivos médicos. Paralelamente, a medição de umidade se mostra uma necessidade crítica em diversos setores, desde o controle de qualidade na produção industrial até o monitoramento ambiental.

Neste cenário, sensores piezoresistivos fabricados com grafite aplicado em papel, utilizando a técnica Graphite on Paper (GoP), surgem como uma alternativa promissora, por aliar baixo custo, simplicidade de fabricação, flexibilidade e sustentabilidade. Considerando a versatilidade do papel como substrato e o comportamento elétrico do grafite sob deformações mecânicas e variações de umidade, este trabalho tem como objetivo validar a aplicação destes sensores na medição de umidade usando o papel comum como substrato.

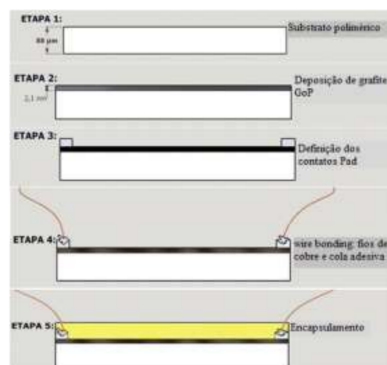
A abordagem metodológica baseia-se na realização de testes de tração em amostras de papel seco e úmido, monitorando-se as variações na resistência elétrica. A partir desses dados, busca-se compreender a influência da umidade na resposta elétrica do sensor, verificando sua sensibilidade e precisão, além de avaliar sua viabilidade para aplicações práticas.



METODOLOGIA

O sensor piezoresistivo foi fabricado por meio da técnica Graphite on Paper (GoP), que consiste na deposição de camadas de grafite sobre papel comum, formando trilhas condutoras com dois pontos de contato elétrico. Após a aplicação do grafite, os sensores foram encapsulados com polímero para garantir maior estabilidade e proteção contra contaminações externas, processo representado na Figura 1.

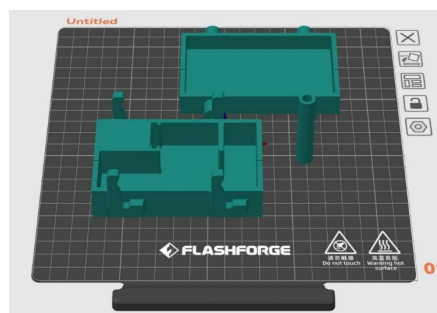
Figura 1 - Método GOP para Obtenção de Dispositivos Sensores em Substrato de Papel



Fonte: Rasia et. al (2022)

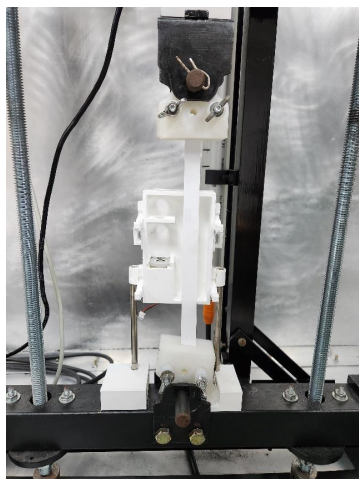
Para a realização dos testes, projetou-se e fabricou-se uma câmara de umidificação por meio da tecnologia de impressão 3D, utilizando software CAD SolidWorks e impressora Flashforge Adventurer 5M, mostrado na Figura 2. A estrutura permitiu o acoplamento do sistema à máquina de tração do laboratório, viabilizando a realização simultânea de testes mecânicos e elétricos, ilustrados na Figura 3.

Figura 2 - Desenvolvimento da Câmara de Umidificação em CAD



Fonte: O autor

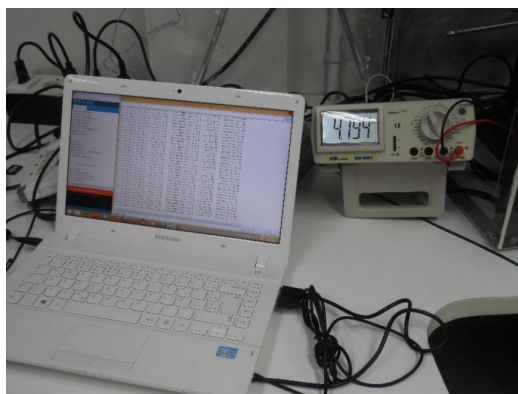
Figura 3 - Máquina de Tração com Câmara de Umidificação Acoplada



Fonte: O autor

Durante os ensaios, as amostras de papel com sensores foram submetidas à tração com deformação constante, enquanto eram expostas ao vapor de água gerado por um piezo de umidificação instalado na câmara. A resistência elétrica foi medida continuamente com multímetro de bancada de alta precisão, enquanto o controle da máquina de tração foi feito por meio de um sistema baseado em Arduino, como na Figura 4

Figura 4 - Setup de Monitoramento dos Sensores



Fonte: O autor

As amostras foram pesadas antes e após os testes utilizando balança analítica, permitindo a quantificação da água absorvida, como mostra a Figura 5. Foram realizados sete

ensaios, variando-se o tempo de umidificação (20 s, 40 s, 60 s, 80 s, 100 s e 120 s), com o objetivo de avaliar a sensibilidade do sensor frente a diferentes níveis de umidade.

Figura 5 - Balança de Alta Precisão



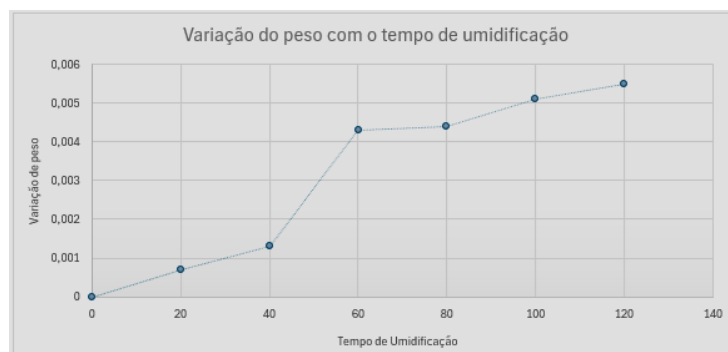
Fonte: O autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados mostraram que a resistência elétrica do sensor piezoresistivo de grafite diminui conforme o papel absorve umidade, evidenciando a sensibilidade do dispositivo à variação dessa variável. As amostras umedecidas apresentaram respostas elétricas distintas em relação ao estado seco, e os dados coletados permitiram correlacionar os níveis de umidade com o comportamento elétrico do sensor.

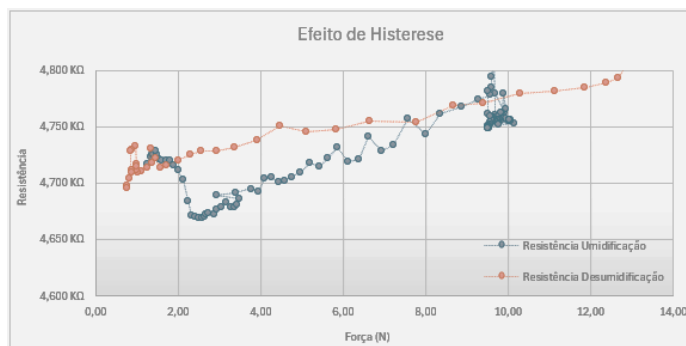
A análise da massa das amostras indicou maior absorção de água entre 40 s e 60 s de exposição ao vapor, com posterior estabilização, sugerindo a aproximação do ponto de saturação do papel, mostrado na Figura 6. Também foi possível observar o efeito de histerese, indicando que a resistência elétrica, durante a secagem, não retorna ao valor original da umidificação, característica comum de materiais como o papel, observado na Figura 7.

Figura 6 - Gráfico da variação do peso com o tempo de umidificação



Fonte: O autor

Figura 16 - Gráfico do efeito de Histerese de um Dispositivo Sensor de Umidade



Fonte: O autor

A estrutura experimental, composta por suporte impresso em 3D, sistema de umidificação com piezo e máquina de tração, permitiu a realização dos testes de forma controlada e reprodutível, garantindo confiabilidade na coleta dos dados e validação do sensor proposto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos confirmam que o sensor piezoresistivo de grafite, fabricado pelo método Graphite on Paper (GoP), apresenta bom desempenho na detecção de umidade em substratos de papel. A resposta elétrica mostrou-se sensível, reprodutível e coerente com o aumento da umidade, validando a proposta do trabalho. A simplicidade de fabricação, o baixo custo dos materiais e a possibilidade de medições em tempo real tornam essa solução promissora para aplicações industriais, ambientais e educacionais que demandem monitoramento de umidade de forma acessível e eficaz.

Palavras-chave: Sensor piezoresistivo. Umidade. Graphite on Paper. Papel. Higro Expansibilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UNIJUÍ e ao PIBIC pela bolsa remunerada, e ao professor pela orientação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RASIA, L. A.; SCHWERTNER, L. ; PEDRALI, P. C. ; Rasia, Julia . Simulation and Prototype of Flexible Sensor Devices Using Graphite on Paper Substrate. In: Figueroa-García, J.C.; Franco, C.; Díaz-Gutierrez, Y.; Hernández-Pérez, G.. (Org.). Applied Computer Sciences in Engineering. 1ed.Switzerland: Springer Nature, 2022, v. 1685, p. 379-385.