



Avaliação de Sensores de Cerâmica Porosa para uso pelo Sistema Brasileiro de Coleta de Dados por Satélites

MENDES, C. P. ¹; NONO, M. C. A. ²

¹Aluna de Mestrado do Curso de Pós-graduação ETE/CSE

²Orientadora e docente do Curso de Pós-graduação CMS e CSE/ETE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Camila.mendes@inpe.br

Resumo. *O monitoramento da umidade relativa do ar (UR) são fundamentais para diversos setores, tais como o agrícola, processos industriais, na área médica, para saúde humana e defesa civil. Este artigo tem por objetivo a análise comparativa dos dados obtidos por sensores cerâmicos de umidade condições ambientais simuladas e reais. Os elementos sensores cerâmicos, desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Micro e Nanotecnologia em Cerâmicas e Compósitos (TECAMB) do Laboratório Associados de Sensores e Materiais (LABAS) do INPE, são do tipo capacitivo e permitem coletar dados de umidade relativa do ar em condições controladas em laboratório e ii) coleta em campo através de coleta local e via satélite em Plataforma de Coleta de Dados Ambientais (PCD). As coletas de dados em campo serão feitas de forma simultânea. Os dados obtidos serão analisados comparativamente, utilizando os valores obtidos pela coleta em laboratório como padrão de comparação. O objetivo final deste será avaliar a confiabilidade e a reprodutibilidade dos dados obtidos diretamente na PCD e transmitidos via satélite, utilizando tratamentos estatísticos de dados.*

Palavras-chave: Elemento sensor cerâmico, Plataforma de Coleta de Dados Ambientais, Sensor de umidade do ar, Análise estatística de dados.

1. Introdução

O Brasil é um país com uma grande extensão territorial e possui várias regiões climáticas com combinações diferentes de umidade e de temperaturas ambiente. Além disto, os sensores atualmente utilizados nas Plataformas de Coleta de Dados Ambientais (PCDs) são poliméricos e possuem uma vida útil relativamente curta, devido à degradação por radiação solar [Yamaguti et al. 2009]. O Brasil, além de ter a maior parte de seu território situado na área tropical, está



situado no centro da região de influência de um fenômeno conhecido como Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Nesta região, as linhas do campo magnético estão mais fracas, permitindo que raios cósmicos e partículas carregadas penetrem mais profundamente na atmosfera terrestre [Hartmann 2006]. Esta situação ambiental contribui muito para o aumento da taxa de degradação dos elementos sensores poliméricos, quando comparada aos demais países tropicais do planeta. Esta característica de resistência à degradação por radiação solar confere aos sensores cerâmicos de umidade uma vida útil com confiabilidade muito maior do que os poliméricos [Oliveira 2010]. Soma-se a isto o fato do Brasil ser um grande fornecedor mundial de matérias-primas de excelente qualidade para a fabricação de sensores cerâmicos.

O Grupo de Pesquisas em Micro e Nanotecnologias em Cerâmicas e Compósitos (TECAMB) do Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LABAS), desde 1999, tem investigado vários tipos de sensores cerâmicos capacitivos para monitoramento da umidade do ar e de solos [Oliveira 2010], [Kuranaga 1999], [Pires 2010] e [Silva 2016]. Neste período, foram pesquisados e desenvolvidos elementos sensores compostos por diversos óxidos metálicos, com os objetivos de atender de forma satisfatória às necessidades específicas do país, principalmente, considerar as diferenças climáticas do Brasil e a necessidade de diminuição de custos dos sensores ambientais, pelo uso de matérias primas e tecnologia brasileiras.

Este tipo de dispositivo apresenta um grande potencial no monitoramento de umidade do ar (regiões do semiárido e florestas tropicais), utilizando dados coletados por satélites pelos Sistemas de Coleta de Dados (SCDs) [Yamaguti et al. 2009].

No entanto, a viabilidade de utilização destes sensores em condições reais depende da capacidade de serem reprodutíveis e da confiabilidade nas medições realizadas. Assim, para se alcançar a reprodutibilidade adequada é necessário que as matérias primas, as etapas de confecção dos sensores e suas caracterizações sigam procedimentos específicos devidamente documentados. Para se obter o grau de confiabilidade os equipamentos utilizados para as medições dos parâmetros dos sensores precisam estar devidamente calibrados.

2. Metodologia

Neste trabalho de dissertação é proposta a análise comparativa de dados obtidos por sensores cerâmicos de monitoramento de umidade do ar em relação a reprodutibilidade na confecção e a confiabilidade das medições dos valores de variação da capacitância em função da temperatura ambiente. Serão utilizados elementos sensores capacitivos de cerâmica porosa do compósito de TiO_2-ZrO_2 na forma de pastilhas. Embora este tipo de sensores tenha sido desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Micro e Nanotecnologias em Cerâmicas e Compósitos (TECAMB) do Laboratório Associado de Sensores e Materiais (LABAS) do INPE, neste projeto é proposto realizar uma otimização/documentação dos parâmetros de confecção para aumentar e manter a reprodutibilidade deste componente. Os valores de capacitância em função da umidade relativa do ar em temperaturas diferentes serão coletados em condições ambientais controladas, em laboratório, e em coleta local no INPE de São José dos Campos. A análise da confiabilidade dos dados obtidos será feita via tratamentos estatísticos dos dados.

1.1. Umidade Relativa do Ar

O monitoramento da umidade relativa do ar (UR) tem grande importância no gerenciamento de recursos hídricos, na área agrícola, em estudos climáticos, para saúde humana,



assim como para a gestão da saúde pública, portanto a modelagem, o monitoramento e a previsão da UR são importantes em diversas áreas.

Atualmente, com o aquecimento global e o aumento da poluição, entre outros agravamentos ambientais, a umidade relativa do ar é de grande importância meteorológica, pois determina a taxa de evaporação da água. Assim, para o homem, considera-se que a faixa de umidade relativa de 40 a 70 % proporciona conforto máximo. Acima de 70 %, a umidade relativa é alta, o que se reflete na dificuldade da água evaporar-se e, com isso, o ambiente fica abafado, provocando tonturas e proliferação de fungos. Abaixo de 40 %, a evaporação ocorre com muita facilidade, refletindo em problemas respiratórios, sangramentos nasais, garganta e nariz secos, etc [Atkins 2010].

1.2. Sensor de Umidade do Ar

Os sensores de umidade têm sido desenvolvidos para uma variedade enorme de aplicações nas indústrias: de sistemas de climatização de ambientes, equipamentos médicos, secadores, micro-ondas, automobilística, têxtil, alimentos, eletrônica e outras, bem como na automação da produção agrícola e no monitoramento ambiental [Oliveira 2010], [Kuranaga 1999], [Pires 2010], [Silva 2016] e [Traversa 1995].

Atualmente, existe no mercado uma grande variedade de sensores de umidade, que incluem materiais cerâmicos, poliméricos, eletrólitos e compósitos. Entretanto, todos os tipos de sensores apresentam vantagens e limitações [Oliveira 2010] e [Traversa 1995].

Entretanto há uma grande deficiência de elementos sensores de umidade produzidos no Brasil capazes de medir o conteúdo de água no ambiente, visto que os sensores importados são muito caros e apresentam deficiências em vários aspectos, entre as quais os métodos de calibração que são realizados em condições diferentes às encontradas no Brasil, principalmente pela diferença das condições climáticas distintas [Oliveira 2010].

1.3. Seleção do Material

A seleção do material adequado para o monitoramento da umidade do ar é uma escolha complexa, dado que diversas características podem influenciar no resultado final. Sendo assim, a escolha do material para esta aplicação deve ser baseada nas seguintes características: sensibilidade em uma ampla faixa de umidade e temperatura e estabilidade nos ciclos térmicos e de tempo e quanto à exposição em ambientes agressivos e a produtos químicos específicos [Traversa 1995].

As cerâmicas são isolantes elétricos e térmicos, mais resistentes em temperaturas altas e em ambientes abrasivos do que os metais e polímeros. Essas características contribuem para que os materiais cerâmicos possam ser utilizados como sensores de umidade, principalmente os óxidos de metais, que têm apresentados mais vantagens em relação aos outros. Os sensores mais utilizados são os de polímeros e materiais cerâmicos [Traversa 1995].

1.4. Ciclo de Pesquisa

O ciclo de pesquisa é composto de três momentos: fase exploratória da pesquisa, trabalho de campo e tratamento do material (Figura 1).

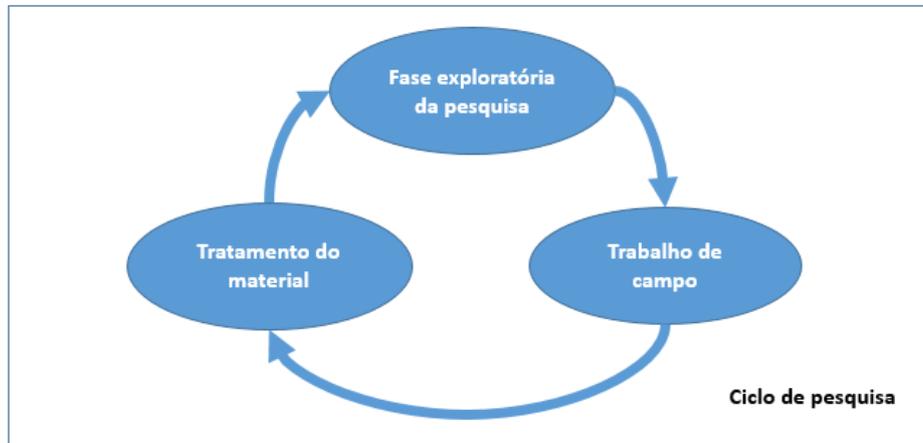


Figura 1- Ciclo de pesquisa.

Fonte: Adaptada de [Teixeira 2003].

A coleta e a análise de dados acontecem simultaneamente dentro e fora do campo, além disso será de suma importância explorar a literatura enquanto for coletando os dados em campo. O processo de análise e interpretação oferecem diversos caminhos e metodologias, cabe ao pesquisador a seleção de diversas técnicas de análise e testes para filtrar a metodologia e procedimento mais adequados para o objetivo traçado [Vuolo 1992].

2. Metodologia de Pesquisa

Serão confeccionados elementos sensores cerâmicos, do composto $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$, com a composição química 1:1 em mol %, do tipo capacitivo, cujo formato encontra-se especificado na Figura 5a.

As misturas destes componentes foram otimizadas, com o objetivo de melhorar a homogeneidade da mistura de TiO_2 e ZrO_2 e, assim, aumentar a reprodutibilidade do elemento sensor cerâmico. Para isto, serão investigados os parâmetros da etapa de mistura.

Cada etapa do processamento da cerâmica será documentada pela descrição especificando os equipamentos utilizados (modelo, marca, incerteza, local), a composição dos elementos necessários para a fabricação da pastilha e as etapas a serem seguidas (quantidade das misturas, pressão de compactação e temperatura de sinterização).

Serão confeccionados 30 elementos sensores, por prensagem da mistura dos pós na forma de pastilhas com 10 mm de diâmetro e 3 mm de altura, com pressão de 100 MPa [Oliveira 2010]. Cada lote de 10 pastilhas serão sinterizados nas temperaturas de 900, 1000 e 1100 °C, por 2 horas [Oliveira 2010]. Após a confecção destas cerâmicas, serão escolhidas, de forma aleatória, 5 amostras para a coleta de dados em ambiente controlado e em ambiente real (Figura 5b).

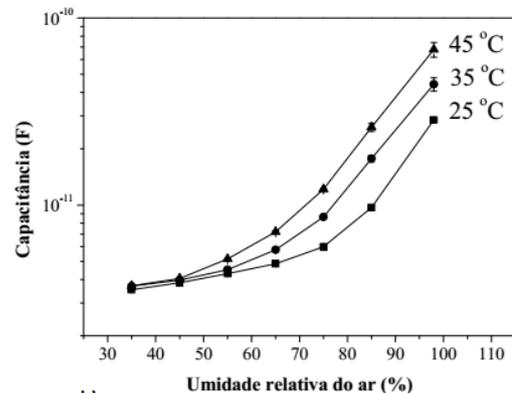
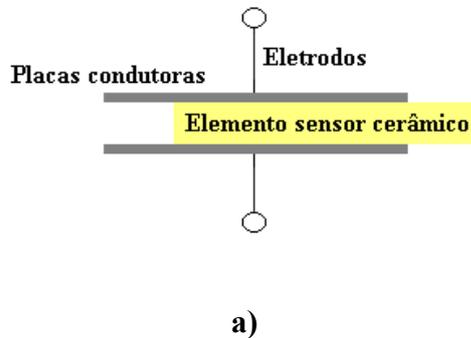


Figura 5 - a) Elemento sensor capacitivo de cerâmica porosa do tipo monólito (pastilha) e b) comportamentos característicos das curvas de umidade relativa \times capacitância, para várias temperaturas ambiente, em ambiente controlado.
Fonte: [Oliveira 2010].

O ambiente controlado consistirá de uma câmara climática com controle de umidade relativa e de temperatura e uma ponte RLC, a qual será devidamente calibrada.

A análise dos dados mensurados pelo elemento sensor será feita via tratamento estatístico de dados.

As caracterizações das cerâmicas sinterizadas serão obtidas por:

- B.E.T. por adsorção de nitrogênio (Laboratório PETROBRAS-UNIVAP) - fornecerá os valores de área superficial específica das cerâmicas porosas.
- Porosimetria de mercúrio e de adsorção de nitrogênio (Laboratório PETROBRAS-UNIVAP) - irão fornecer a distribuição de tamanhos de poros com diâmetros na faixa de $6 \mu\text{m}$ a 5nm , nas cerâmicas
- Microscopia eletrônica de varredura - MEV (LAS/CTE/INPE) - será realizada com o objetivo de caracterizar os pós com relação ao grau de aglomeração das partículas, tamanho e forma dos aglomerados, e a microestrutura de poros da cerâmica sinterizada.
- Difração de raios X (LAS/CTE/INPE) - será utilizada para a determinação das fases cristalinas presentes nos pós estudados e nas cerâmicas sinterizadas.

Para a confecção dos elementos sensores as superfícies planas do topo e da base das pastilhas cerâmicas de $\text{ZrO}_2\text{-TiO}_2$ será aplicada duas camadas de fita adesiva de carbono com o eletrodo inserido entre as camadas de forma a recobrir as superfícies superior e inferior (placas paralelas), com o objetivo de permitir a geração do efeito capacitivo nos elementos sensores. O elemento sensor assim preparado é mostrado esquematicamente na Figura 6.

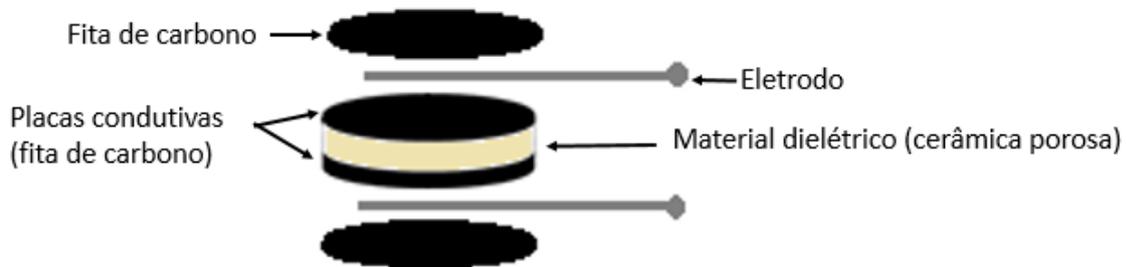


Figura 6 - Desenho esquemático de um elemento sensor capacitivo, como proposto neste trabalho.

As medições de condutância dos elementos sensores capacitivos de umidade em função da umidade relativa ambiente serão feitas em uma câmara climática da marca WEISS TECHNIK – WKL 100/40, com controle de umidade relativa e de temperatura (alocada no Laboratório de Tecnologias Ambientais/ LAS/INPE). O equipamento de medição será uma ponte RLC da marca Fluke, modelo PM6304, com sistema de aquisição de dados por computador acoplado (alocado no Laboratório do TECAMB/LABAS/INPE). As medições serão realizadas em uma faixa de umidade relativa de 35 a 95 %, nas temperaturas entre 25 e 55 °C, em frequências de 1 kHz. Serão obtidas e analisadas as curvas de adsorção de umidade de capacitância × umidade relativa ambiente.

3. Conclusões

Os resultados específicos esperados decorrentes deste trabalho de dissertação de mestrado são:

- 1 – Produzir elementos sensores do tipo capacitivo, na forma de pastilhas de cerâmica porosa de $ZrO_2 - TiO_2$ para monitoramento de umidade relativa do ar no intervalo de 35 a 95 % de umidade relativa do ar nas temperaturas de 25 a 55 °C;
- 2 – Estabelecer os parâmetros de controle da confecção dos elementos sensores cerâmicos, para manter a sua reprodutibilidade e
- 3 – Obter dados de capacitância em função da umidade relativa do ar para várias temperaturas utilizando equipamentos calibrados para análise da confiabilidade.

Referências

- Yamaguti, W.; Orlando, V.; Pereira, S. P. Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e planos futuros. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1633-1640.
- Hartmann, G. A. A anomalia magnética do Atlântico Sul: causas e efeitos. Rev. Bras. Geof., v. 24, n. 3, 2006.
- Oliveira, R. M. Desenvolvimento de elementos sensores de cerâmicas porosas de $ZrO_2 - TiO_2$ para aplicação no monitoramento do conteúdo de água em solos. 2010. Tese



- (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010, 210 p.
- Kuranaga, C. Pesquisa e desenvolvimento de cerâmicas para aplicação como sensores de umidade ambiente. Relatório de bolsa DTI/CNPq. (Supervisores: Maria do Carmo de A. Nono e Marcos Dias da Silva), 1999, 45p.
- Pires, M. C. Estudo de cerâmicas porosas de titânia e zircônia mono e multicamadas para aplicação como sensores de umidade do ar. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 2010.
- Silva, S. A. Desenvolvimento de elementos sensores do tipo capacitivo composto por filme de cerâmica porosa, com eletrodos integrados, para monitoramento de umidade do ar. 2016. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016, 102 p.
- Atkins, P. W.; Jones, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006. 965 p. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010, 210 p.
- Traversa, E. Ceramic sensors for humidity detection: The state-of-the-art and future developments. Sensors and Actuators B, v. 23, p.135-156, 1995.
- Teixeira, E. B. Análise de dados na pesquisa científica. Revista desenvolvimento em questão, jul-dez 2003, p. 177-201.
- Vuolo, J. H. Fundamentos da teoria de erros. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2a Ed. 1992.
- Albertazzi, A.; Souza, A. R. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Editora Manole, Baueri, SP, 2008