



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CAPACITIVO PARA DETECÇÃO DA PRESENÇA DE ÓLEO EM ÁGUA

Resumo: A contaminação por óleo nos ecossistemas aquáticos pode ocorrer por diversas causas, seja na exploração, no transporte, no refino, por acidentes em indústrias próximas a rios ou durante o descarte de águas oleosas não tratadas. Uma resposta rápida indicando a presença de óleo em meio aquático, além de facilitar a detecção de um acidente contribui no direcionamento dos ensaios químicos, reduzindo os custos de análise. Para a resposta rápida da presença de óleo em água foi confeccionado um sensor associando a utilização da fibra da paineira com um sistema capacitivo. As fibras alternativas já apresentaram resultados superiores aos materiais comerciais em relação a sua capacidade hidrofóbica e oleofílica (BARA, 2011), em função disso são objeto de estudo neste trabalho para solucionar problemas relacionados à detecção rápida de águas oleosas a baixo custo. O sistema capacitivo consiste em uma placa de circuito única, um envoltório polimérico que sustenta a paina e permite a passagem da água, este associado ao leitor RLC que mede a variação da capacitância. Este sistema capacitivo foi testado em amostras de água destilada, água do mar, óleo vegetal, óleo mineral, petróleo e emulsões de águas e óleos. Os ensaios foram realizados em triplicata efetuando 10 leituras em cada ensaio, gerando resultados para variação da capacitância conforme a presença de óleo. Para os sistemas água óleo foi aplicado uma agitação magnética e as concentrações do óleo respeitaram as definidas pela Resolução 430 do CONAMA de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre diretrizes ambientais, estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Palavras-chave: sensor, petróleo, paina, detecção e águas oleosas

1. INTRODUÇÃO

A poluição de ecossistemas aquáticos por óleos pode ocorrer no tratamento de efluentes ou em acidentes por falhas operacionais ou mecânicas. Em abril de 2010 houve o acidente na plataforma da British Petroleum que afundou no Golfo do México em 22 de abril de 2010 e lançou no mar cerca de 5 mil barris de petróleo por dia até o dia 4 de setembro do mesmo ano, o que gerou a maior maré negra da história (EURONEWS, 2011; BARA *et al.*, 2010). A poluição ambiental pode ocorrer também em menor escala como em fevereiro de 2011, onde um acidente rodoviário com um caminhão que transportava óleo lubrificante, resultou na interrupção de abastecimento de água por 5 dias na cidade de Cascavel no Paraná (WEI *et al.*, 2012).

Em decorrência da necessidade da conservação ambiental dos ecossistemas aquáticos, são realizados ensaios para verificação do teor de óleo presente em efluentes industriais bem como de acidentes com embarcações marítimo-pluviais. Esses ensaios químicos demandam tempo, necessidade de coleta de várias amostras e a utilização de reagentes químicos, além de gerar custos operacionais. O desenvolvimento de um sensor capaz de identificar a presença de óleo em água, além de ser uma resposta imediata ao problema de detecção da contaminação, direcionando medidas de correção do problema de contaminação e evitando desperdícios na realização de ensaios químicos de alto custo que demandam tempo.

A utilização de fibras da paina como material sorvente de óleos, em ensaios de sorção em águas oleosas, se mostrou eficiente em escala de laboratório como material hidrofóbico e oleofílico (BARA, 2011).

Com o objetivo de utilizar a alta capacidade de sorção de óleo da paina para desenvolver um mecanismo de resposta rápida, foram realizados ensaios com placas para verificar a variação da capacitância conforme a presença de óleo e optou-se pela utilização de uma placa única que é apresentada aqui, que apresenta maior estabilidade de resposta comparada com as placas paralelas. Pois sensores capacitivos registram alterações do meio/substrato entre os condutores por meio da variação da capacitância, o que poderia aproveitar a característica oleofílica da paina.

Um sensor que forneça um alerta será uma ferramenta para diminuir o impacto ambiental em casos de derrame de óleos já que ações imediatas podem ser tomadas para o início da despoluição e redução do impacto ambiental.

2. MATERIAIS

Foram utilizados para simulação de contaminação: petróleo, óleo mineral e óleo vegetal (de milho). Em soluções com água destilada e água do mar natural (coletada em janeiro de 2016 no litoral paranaense).

Na confecção do sensor e sua medição: paina, placa de circuito impresso, multímetro digital ET-2042C da Minipa, Medidor LCR modelo 4263B da marca Agilent e agitador magnético.

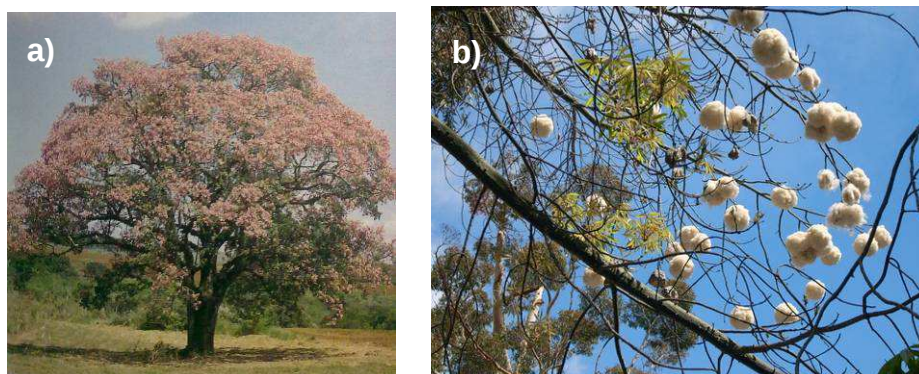


Figura 1 - Árvore da Paineira (a) e galhos cujo fruto maduro expõe a seda da paineira (b): a paina
Fonte: LORENZI, 2002 e MAZZA, 1998

A placa de circuito impresso foi projetada com furos para possibilitar a passagem das soluções.

3. METODOLOGIA

O sensor capacitivo de placa única consiste em uma placa de circuito impresso (com design que separa em duas superfícies conjugadas) conforme Figura 2, onde foi anexada uma estrutura polimérica em forma de grade que sustenta 0,3g de paina e soldado dois cabos para facilitar a utilização do leitor RLC. Esta paina tem como objetivo sorver o óleo para efetuar leituras de variações de capacitância e resistência nas soluções.

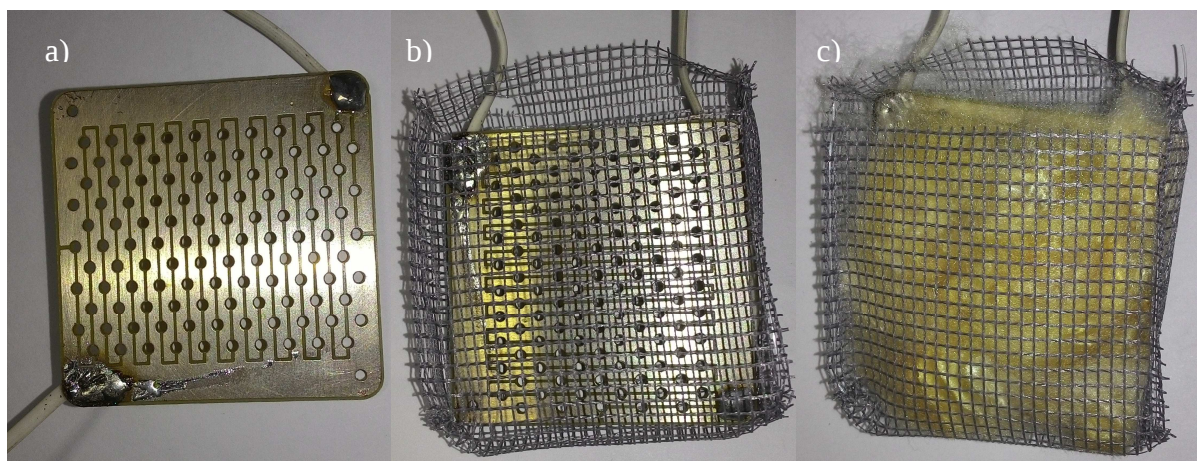


Figura 2 - Sensor de placa única: placa de circuito (a) com invólucro de polímero (b) e paina (c).

O sensor capacitivo foi acoplado perpendicularmente à superfície da água ou óleo. Nos ensaios foi utilizado um béquer de 250ml, agitador magnético e o leitor RLC para medir a capacitância e a resistência. Foram realizados 10 leituras de cada amostra de cada ensaio, contabilizando 3 amostras para cada ensaio. O leitor RLC foi configurado com 256 médias, frequência de 1kHz e level de 1000mV. Foi necessário aguardar entre 3 a 6 minutos para estabilizar cada leitura.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos com o sensor capacitivo de placa única submerso verticalmente nas soluções com agitação mecânica.

4.1. Óleos

A Tabela 1 mostra os resultados da capacitância e da resistência para óleo vegetal, mineral e petróleo. Pode ser observado que a unidade da capacitância ficou em pF e da resistência MΩ. O óleo mineral teve as leituras com menor desvio padrão σ , enquanto que o petróleo teve o maior desvio padrão, talvez devido a pureza do óleo mineral (resultante do refino) em relação ao petróleo bruto. A Figura 3 mostra em relação a capacitância e a resistência o óleo mineral e o vegetal permaneceram em faixas próximas e constantes enquanto que o petróleo apresentou resultados com variação.

Tabela 1 - Capacitância e resistência para óleos

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
Óleo Vegetal	Cp	59,5	59,48	59,47	59,45	59,44	59,42	59,4	59,39	59,38	59,38	59,43	0,044	pF
	Rp	6,093	6,093	6,094	6,091	6,089	6,092	6,091	6,091	6,091	6,089	6,091	0,002	MΩ
Óleo Mineral	Cp	43,04	43,01	43,01	43,01	43,01	43	43	43	43	43,01	43,01	0,012	pF
	Rp	11,64	11,67	11,67	11,67	11,67	11,68	11,68	11,68	11,68	11,68	11,67	0,013	MΩ
Petróleo	Cp	330,9	261,7	259,8	257	254,2	252,9	250,6	247,7	243	240,9	259,9	25,87	pF
	Rp	146,3	208	211	215,9	220,4	222,7	227,5	231,8	242,7	247,7	217,4	28,06	MΩ

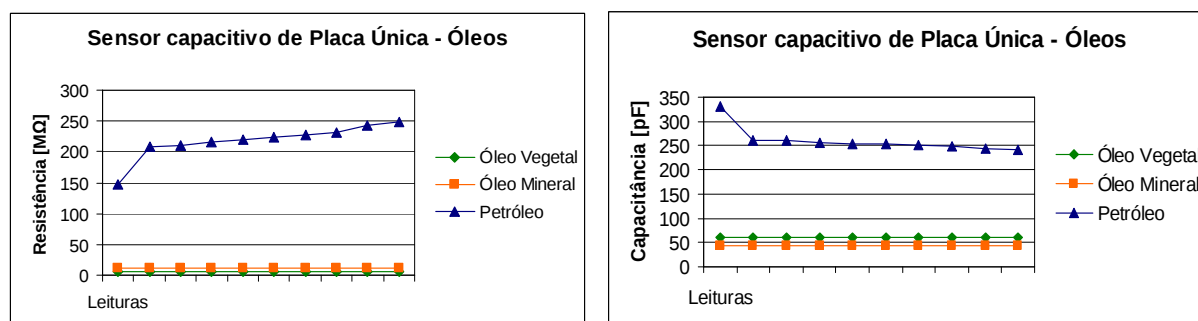


Figura 3 - Capacitância e resistência dos óleos: vegetal, mineral e petróleo

4.2. Água

A Tabela 1 mostra os resultados da capacitância e da resistência para água destilada e água do mar. Pode ser observado que para água destilada a faixa da unidade da capacitância foi nF e da resistência é kΩ enquanto que para a água do mar natural foi de μF para a capacitância e de Ω para a resistência.

Tabela 2 - Capacitância e resistência da água destilada e da água do mar

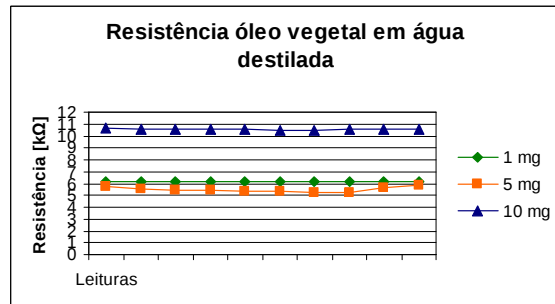
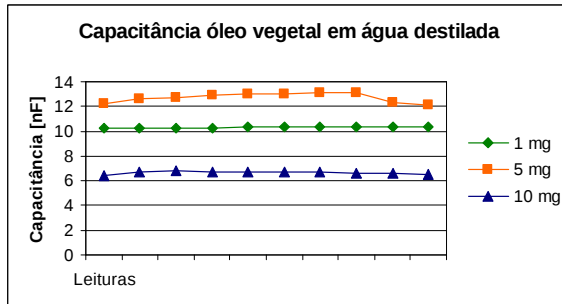
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
Água destilada	Cp	9,981	9,969	9,952	9,81	9,797	9,774	9,755	9,725	9,701	9,692	9,816	0,112	nF
	Rp	6,246	6,243	6,287	6,306	6,313	6,315	6,318	6,329	6,343	6,351	6,305	0,037	kΩ
	Cp	24,83	24,69	24,52	24,41	24,37	24,29	23,91	23,42	23,26	23,09	24,08	0,624	nF
	Rp	2,226	2,226	2,224	2,227	2,227	2,224	2,24	2,26	2,266	2,273	2,239	0,02	KΩ
Água do mar natural	Cp	11,34	11,42	11,5	11,59	11,67	11,75	11,83	11,91	11,99	12,07	11,71	0,247	μF
	Rp	22,3	22,16	22,03	21,9	21,77	21,64	21,52	21,39	21,27	21,15	21,71	0,386	Ω
	Cp	20,9	21,4	22,4	24,1	24,4	24,9	25,4	25,7	26	26,2	24,12	1,909	μF
	Rp	11,2	10,9	10,5	9,54	9,44	9,22	8,95	8,82	8,7	8,6	9,586	0,951	Ω

4.3. Óleo vegetal em água destilada

A Tabela 3 mostra os resultados da capacitância e da resistência para óleo vegetal em água destilada. Pode ser observado que para o óleo vegetal em água destilada a unidade da capacitância foi nF e da resistência é kΩ. É possível observar que os valores estão em intervalos bem definidos, com menor desvio padrão e distantes entre si, tanto para a capacitância quanto para a resistência. Segundo a Figura 4 os valores para a capacitância se mantiveram em faixas distintas enquanto que na resistência as faixas para 5 e 10 mg apresentaram resultados próximos.

Tabela 3 - Capacitância e resistência de óleo vegetal em água destilada

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
1 mg	Cp	10,3	10,29	10,27	10,29	10,31	10,31	10,33	10,34	10,34	10,34	10,31	0,026	nF
	Rp	6,173	6,18	6,184	6,177	6,169	6,164	6,138	6,126	6,13	6,135	6,158	0,023	k Ω
5 mg	Cp	12,18	12,61	12,75	12,95	12,99	12,99	13,12	13,1	12,28	12,17	12,71	0,381	nF
	Rp	5,707	5,553	5,445	5,408	5,375	5,376	5,273	5,267	5,658	5,811	5,487	0,187	k Ω
10 mg	Cp	6,391	6,663	6,775	6,68	6,682	6,74	6,686	6,634	6,609	6,552	6,641	0,108	nF
	Rp	10,62	10,6	10,57	10,57	10,55	10,47	10,5	10,55	10,57	10,61	10,56	0,048	k Ω

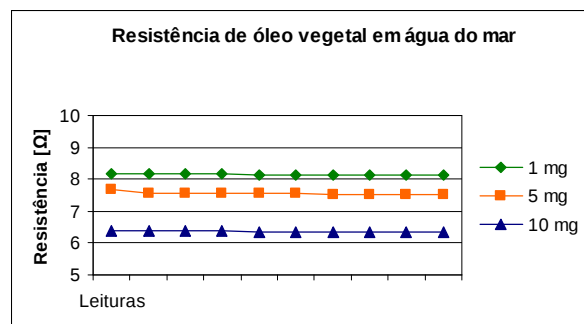
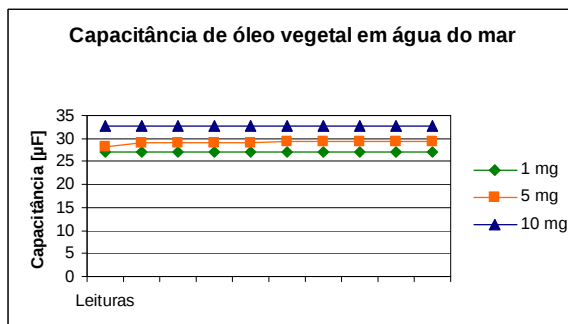
**Figura 4 - Capacitância e resistência óleo vegetal em água destilada**

4.4. Óleo vegetal em água mar natural

A Tabela 4 mostra os resultados da capacitância e da resistência para óleo vegetal em água do mar natural. Pode ser observado que para o óleo vegetal em água do mar a unidade da capacitância foi μF e da resistência é Ω .

Tabela 4 - Capacitância e resistência de óleo vegetal em água do mar

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
1 mg	Cp	27,11	27,13	27,14	27,15	27,15	27,17	27,16	27,15	27,15	27,15	27,14	0,016	μF
	Rp	8,18	8,165	8,157	8,151	8,141	8,142	8,141	8,139	8,135	8,129	8,148	0,015	Ω
5 mg	Cp	28,24	29,1	29,15	29,17	29,2	29,25	29,29	29,32	29,36	29,38	29,15	0,333	μF
	Rp	7,69	7,56	7,561	7,555	7,549	7,541	7,532	7,522	7,511	7,505	7,553	0,052	Ω
10 mg	Cp	32,67	32,65	32,68	32,67	32,66	32,63	32,65	32,64	32,64	32,63	32,65	0,017	μF
	Rp	6,37	6,373	6,369	6,365	6,361	6,35	6,347	6,345	6,341	6,341	6,356	0,013	Ω

**Figura 5 - Capacitância e resistência de óleo vegetal em água do mar**

4.5. Óleo mineral em água destilada

A Tabela 5 mostra os resultados da capacitância e da resistência para óleo mineral em água destilada. Pode ser observado que para o óleo mineral em água destilada a unidade da capacitância foi nF e da resistência é k Ω .

Tabela 5 - Capacitância e resistência de óleo mineral em água destilada

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	-------	----------	--

1 mg	Cp	29,77	29,81	29,79	29,82	29,78	29,72	29,91	30,04	30,1	30,29	29,9	0,182	nF
	Rp	2,097	2,102	2,106	2,107	2,113	2,119	2,107	2,1	2,094	2,086	2,103	0,01	kΩ
2 mg	Cp	26,42	25,66	25,17	24,63	23,8	23,62	23,09	22,92	22,15	21,73	23,92	1,532	nF
	Rp	2,783	2,841	2,906	3,043	3,077	3,097	3,181	3,206	3,334	3,414	3,088	0,205	kΩ
4 mg	Cp	18,62	18,38	18,41	18,42	18,35	18,29	18,23	18,1	18,06	18,06	18,29	0,183	nF
	Rp	4,784	4,875	4,881	4,89	4,94	4,977	5,016	5,078	5,112	5,123	4,968	0,114	kΩ

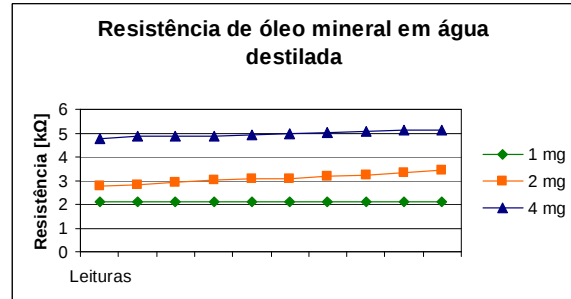
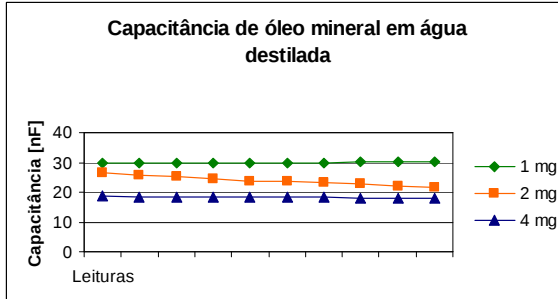


Figura 6 - Capacitância e resistência de óleo mineral em água destilada

4.6. Óleo mineral em água mar natural

A Tabela 6 mostra os resultados da capacitância e da resistência para óleo mineral em água do mar natural. Pode ser observado que para o óleo mineral em água do mar natural a unidade da capacitância foi μF e da resistência é Ω .

Tabela 6 - Capacitância e resistência de óleo mineral em água do mar

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
1 mg	Cp	12,88	12,97	13,15	13,56	13,62	13,78	13,81	13,92	13,94	13,97	13,56	0,414	μF
	Rp	9,379	9,44	9,484	9,686	9,693	9,732	9,749	9,807	9,84	9,848	9,666	0,171	Ω
2 mg	Cp	15,25	15,29	15,3	15,35	15,37	15,39	15,44	15,48	15,5	15,55	15,39	0,099	μF
	Rp	10,04	10,06	10,07	10,09	10,1	10,09	10,09	10,1	10,1	10,12	10,08	0,023	Ω
4 mg	Cp	15,19	15,21	15,21	15,22	15,24	15,23	15,21	15,21	15,22	15,21	15,22	0,014	μF
	Rp	10,97	10,94	10,94	10,94	10,94	10,98	11,00	11,00	11,00	11,02	10,97	0,03	Ω

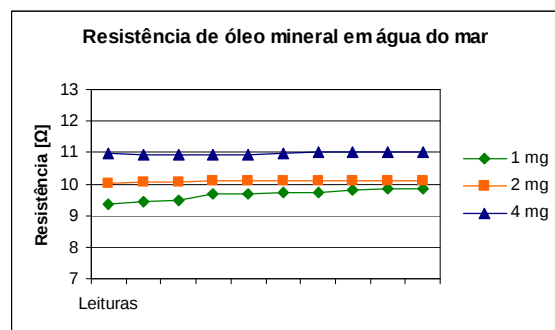
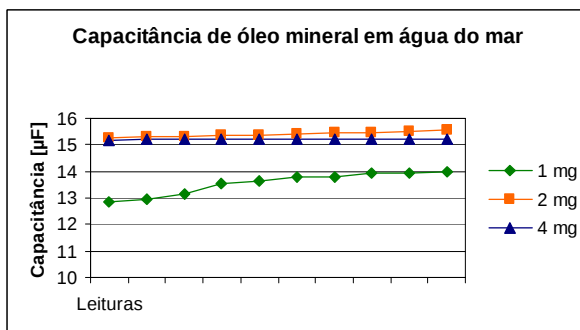


Figura 7 - Capacitância e resistência de óleo mineral em água do mar

4.7. Petróleo em água destilada

A Tabela 7 mostra os resultados da capacitância e da resistência para petróleo em água destilada. Pode ser observado que para o Petróleo em água destilada a unidade da capacitância foi nF e da resistência é Ω .

Tabela 7 - Capacitância e resistência de petróleo em água destilada

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
1 mg	Cp	21,7	22,2	22,2	22,3	22,4	22,5	22,5	23,5	24	24,4	22,77	0,872	nF
	Rp	2241	2205	2198	2193	2186	2181	2103	2099	2072	2050	2153	65,54	Ω

2 mg	Cp	30	30,1	30,2	30,3	30,3	30,5	30,6	30,7	31,1	31,1	30,49	0,378	nF
	Rp	1777	1771	1768	1766	1763	1756	1752	1747	1731	1731	1756	15,85	Ω
4 mg	Cp	236	236	235	235	235	235	235	235	235	234	235,1	0,452	nF
	Rp	358	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357,1	0,212	Ω

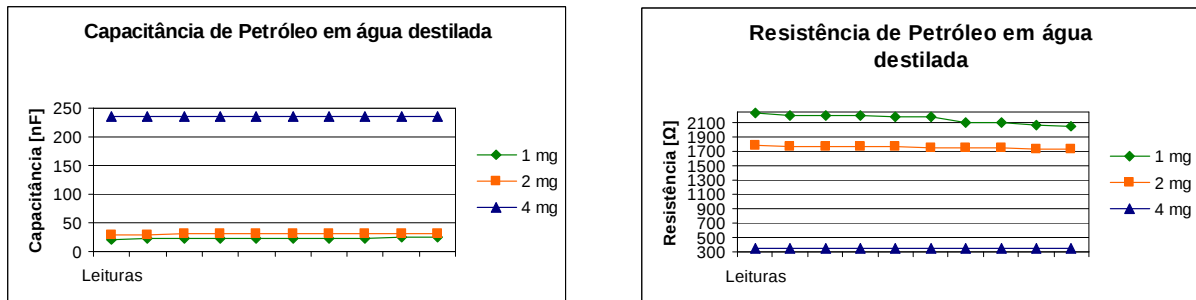


Figura 8 - Capacitância e resistência de petróleo em água destilada

4.8. Petróleo em água do mar natural

A Tabela 8 mostra os resultados da capacitância e da resistência para petróleo em água do mar natural. Pode ser observado que para o Petróleo em água do mar natural a unidade da capacitância foi μF e da resistência é Ω .

Tabela 8 - Capacitância e resistência de petróleo em água do mar

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	σ	
1 mg	Cp	14,48	14,56	14,59	14,63	14,67	14,7	14,74	14,77	14,81	14,84	14,68	0,115	μF
	Rp	18,18	18,1	18,06	18,01	17,97	17,93	17,89	17,85	17,81	17,78	17,96	0,13	Ω
2 mg	Cp	15,33	15,37	15,38	15,39	15,4	15,42	15,43	15,44	15,46	15,47	15,41	0,043	μF
	Rp	17,41	17,4	17,39	17,38	17,36	17,35	17,31	17,3	17,29	17,28	17,35	0,05	Ω
4 mg	Cp	15,64	15,69	15,71	15,72	15,73	15,75	15,76	15,78	15,79	15,8	15,74	0,048	μF
	Rp	18,71	18,68	18,67	18,66	18,64	18,63	18,62	18,6	18,59	18,58	18,64	0,043	Ω

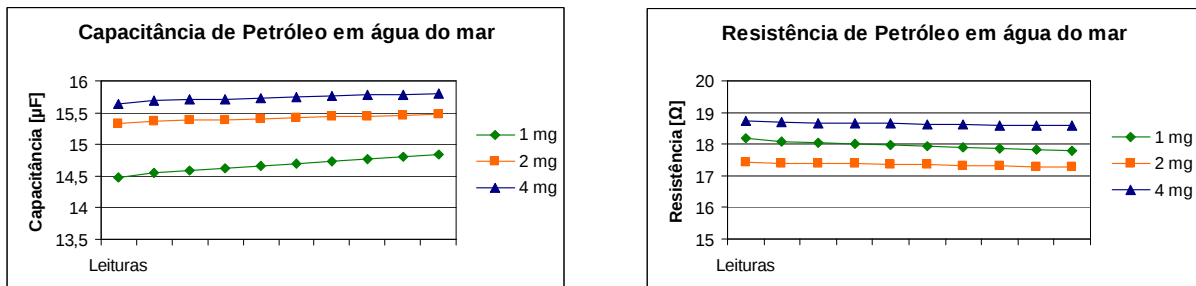


Figura 9 - Capacitância e resistência do petróleo em água do mar

5. CONCLUSÕES

Neste protótipo de sensor possui melhor estabilidade de aplicação em função dos condutores estarem em uma mesma placa de fibra de vidro, onde a distância entre eles foi determinada pelo desenho do circuito impresso. Os limites foram definidos na impressão do circuito na placa.

Foram verificadas faixas bem definidas para valores da capacitância e resistência para cada solução de água oleosa, o que possibilita uma futura identificação da solução por meio da identificação da faixa da capacitância.

Com o acréscimo de óleo houve alteração da capacitância em todos os casos, o que pode possibilitar no futuro o aperfeiçoamento do sensor não só para uma resposta positiva ou negativa para a presença de óleo, mas também de sinalização quando for alcançada uma determinada concentração de óleo, o que requer um aprofundamento da pesquisa.

Os ensaios com óleo mineral e óleo vegetal, apresentaram menores desvios padrões em relação aos resultados com o petróleo. Devido ao fato dos óleos serem mais leves, refinados e com menor viscosidade em relação ao petróleo, seria esperado os resultados obtidos.

6. AGRADECIMENTOS

Aos Departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica da UFPR pelo uso dos laboratórios.

A PETROBRAS e a coordenação do PRH24 pelo auxílio financeiro.

A Felipe Jedyn e Elieser Santos Hirye pela coleta de água do mar e a Eduardo Jagher pelo desenho da placa no software específico o que facilitou a confecção do mesmo.

7. REFERÊNCIAS

- Bara, R. P., 2011, "Aplicação de materiais sorventes alternativos para a limpeza de águas contaminadas por óleos". Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- Bara, R. P., Annunciato, T. R. and Flores-Sahagun, T. H. S., 2010, "Evaluation of Natural sorbent materials for cleaning for oilywaters". 1ºTMS/ABM international Material Congress, pg. 4547-4555.
- CONAMA, 2011. Resolução 430 do CONAMA de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- Euronews, 2011, "BP selou poço de Petróleo no Golfo do México". Disponível em: <<http://pt.euronews.net/2010/09/20/bp-selou-poco-de-petroleo-no-golfo-do-mexico/>> Acesso em: 10 de setembro 2011.
- Lorenzi, H., 2002, "Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil". 4º Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, pg. 77.
- Mazza, G., 1998, "Frutto di Ceiba speciosa", color. Disponível em: <<http://www.photomazza.com/?Chorisia-speciosa&lang=es>> Acesso em: 10 de agosto de 2011.
- Wei, C., Rowe, G. T., Escobar-Briones, E., Nunnally, C., Soliman, Y. and Ellis, N., 2012, "Standing stocks and body size of deep-sea macrofauna: Predicting the baseline of 2010 *Deepwater Horizon* oil spill in the northern Gulf of Mexico". Deep-Sea Research I, pg. 82-99.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

CAPACITIVE SYSTEM DEVELOPMENT FOR DETECTION OF THE PRESENCE OF OIL IN WATER

Abstract. Oil contamination in aquatic ecosystems can occur for various reasons: whether in exploration, transportation, refining, accidents in industries close to rivers or during disposal of untreated oily water. A rapid response indicating the presence of oil in aquatic environment, besides facilitating detection of an accident helps in directing the chemical, reducing analysis costs. For rapid response to presence of oil in water it was made a sensor using the associating kapok with a capacitive system. The alternative fibers had shown better results than commercial materials regarding their hydrophobicity and oleofilic (BARA, 2011) properties, and because of that they are the object of study in this work to solve problems related to the low-cost rapid detection of oily water. The capacitive system consists of a single circuit board, a polymeric wrap that maintains the kapok and allows the passage of water, and an associated RCL reader that measures the change in capacitance. This capacitive system was tested in distilled water, sea water, vegetable oil, mineral oil, oil and water and oils emulsions. tests were performed in triplicate making 10 readings each test, generating results for capacitance variations according to the presence of oil. For water oil systems, it was applied magnetic stirring and oil concentrations respected the levels defined in Resolution 430 of CONAMA of May 13, 2011, which deals with environmental guidelines, establishing the conditions and effluent discharge standards.

Keywords: sensor, oil, silk floss, detection and oily water