

ESTUDO DE UM SENSOR CAPACITIVO PARA MEDIÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL

Angélica Souza Lacerda

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovado por:

Prof. José Luiz da Silva Neto, Ph.D.

(Orientador)

Prof. Rubens de Andrade Júnior, D.Sc.

Prof. Marcelo Martins Werneck, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e toda a minha família pelo amor e carinho, incentivo, por me darem a oportunidade de estudar fora e pelo suporte dado para que eu concluísse a graduação.

Ao meu noivo Thales, pelo seu amor, por todos esses anos de apoio e companheirismo, por sempre estar ao meu lado, pelos diversos dias de estudos juntos. Esse diploma não seria possível sem você.

À família do Thales, por me acolherem com tanto carinho, por ser a minha segunda família, minha segunda casa, por me darem tanto apoio e compreensão.

Ao professor José Luiz da Silva Neto, por acreditar em mim, pelas diversas oportunidades durante a graduação, pelo apoio, pela amizade e por nunca nos deixar desistir.

Aos meus amigos de Volta Redonda, pela amizade, por compreenderem a minha ausência, pelos momentos de diversão.

Aos meus amigos de faculdade, por tornarem o ambiente mais agradável, pelos momentos de descontração, pelos diversos grupos de estudo, pela intensa troca de informações, pelas confraternizações.

Aos amigos que fiz desde que estou no Rio, por sempre torcerem pelas minhas conquistas, por acreditarem em mim, por entenderem minhas ausências mesmo faltando duas semanas para a prova, por estarem sempre por perto.

A todos os amigos em geral, por fazerem parte desta grande “família”, por estarem sempre dispostos a ajudar, mesmo não entendendo nada, por estarem sempre por perto, mesmo estando longe, pelos diversos momentos de descontração, mesmo nas horas de estudo, pelos diversos passeios, pela amizade.

RESUMO

Este projeto consiste no desenvolvimento e montagem de um sensor capacitivo para medição de adulteração de álcool combustível e tem como finalidade estimar a quantidade de água presente em uma determinada amostra de álcool, comparando o resultado com resultados de amostras com concentrações conhecidas.

Apesar de ser possível medir a permissividade das amostras utilizadas, as análises foram feitas na variação do ganho. Foi observado que o ganho variou de maneira proporcional ao aumento da concentração de água nas amostras. A mesma variação foi observada na permissividade.

O sensor possui um tamanho razoavelmente pequeno, pois o objetivo final é a utilização do mesmo em bombas de abastecimento. As características do circuito, bem como as dimensões das placas capacitivas foram baseadas em alguns artigos sobre sensores capacitivos.

Os ensaios foram realizados com seis amostras de alcoóis de diversas concentrações, onde duas delas possuíam concentrações desconhecidas por serem obtidas de postos de abastecimento, além da água destilada. Para se estimar a faixa de operação do sensor, os ensaios foram realizados em uma faixa de frequência de 10Hz a 100kHz.

Finalmente foram apresentados os resultados obtidos. O sensor capacitivo para a medição de variações de concentrações em alcoóis combustíveis apresenta resultados visíveis. Tanto para análise de ganho, quanto para permissividade.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	MOTIVAÇÃO.....	11
1.1	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	12
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS	14
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1	SENSOR CAPACITIVO	17
3.2	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	19
3.3	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	21
4	RESULTADOS	23
4.1	CURVAS DOS ENSAIOS.....	23
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	43
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1- Capacitor ideal sem os efeitos de bordas [4]	14
Figura 2-2- Capacitor de placas paralelas [5]	15
Figura 3-1 – Representação do circuito elétrico	17
Figura 3-2 – Foto do sensor capacitivo e seu suporte.	18
Figura 3-3- Esquema representativo da montagem dos ensaios realizados no laboratório.....	19
Figura 4-1- AECH, 70° a 10Hz. Ganho de 0.7711 e defasagem de 0.8824°	24
Figura 4-2- AECH, 70° a 50Hz. Ganho de 0.7314 e defasagem de -1.0286°	24
Figura 4-3- AECH, 70° a 100Hz. Ganho de 0.7314 e defasagem de 1.3954°	24
Figura 4-4- AECH, 70° a 500Hz. Ganho de 0.7711 e defasagem de -0.9045°	24
Figura 4-5- AECH, 70° a 5kHz. Ganho de 0.7356 e defasagem de -3.3838°	24
Figura 4-6- AECH, 70° a 10kHz. Ganho de 0.7033 e defasagem de -5.373°	24
Figura 4-7- AECH, 70° a 50kHz. Ganho de 0.5333 e defasagem de -14.4465°	25
Figura 4-8- AECH, 70° a 100kHz. Ganho de 0.4491 e defasagem de -21.0852°	25
Figura 4-9- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 70°INPM.....	25
Figura 4-10- AECH, 92.6° a 10Hz. Ganho de 0.84 e defasagem de 0.1738°	26
Figura 4-11- AECH, 92.6° a 500Hz. Ganho de 0.8312 e defasagem de -0.3015°	26
Figura 4-12- AECH, 92.6° a 1kHz. Ganho de 0.8421 e defasagem de -1.3929°	26
Figura 4-13- AECH, 92.6° a 5kHz. Ganho de 0.8101 e defasagem de -1.0419°	26
Figura 4-14- AECH, 92.6° a 10kHz. Ganho de 0.7711 e defasagem de -4.83°	26
Figura 4-15- AECH, 92.6° a 50kHz. Ganho de 0.6095 e defasagem de -11.9549°	26
Figura 4-16- AECH, 92.6° a 100kHz. Ganho de 0.5031 e defasagem de -19.4648°	27
Figura 4-17- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 92.6°INPM.....	27
Figura 4-18- 99.7° a 10Hz. Ganho de 0.9524 e defasagem de -0.3679°	28
Figura 4-19- AECH, 99.7° a 100Hz. Ganho de 0.9375 e defasagem de -0.45°	28
Figura 4-20- AECH, 99.7° a 1kHz. Ganho de 0.9219 e defasagem de -1.377°	28
Figura 4-21- AECH, 99.7° a 5kHz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -3.5999°	28
Figura 4-22- AECH, 99.7° a 10kHz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -4.617°	28
Figura 4-23- AECH, 99.7° a 50kHz. Ganho de 0.75 e defasagem de -13.661°	28
Figura 4-24- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 99.7°INPM.....	29
Figura 4-25- “amostra 1” a 10Hz. Ganho de 0.8571 e defasagem de 0.01°	30
Figura 4-26- “amostra 1” a 500Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -0.75°	30
Figura 4-27- “amostra 1” a 100Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -0.4477°	30

Figura 4-28- “amostra 1” a 500Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -1.2°	30
Figura 4-29- “amostra 1” a 1kHz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -3.2567°	30
Figura 4-30- “amostra 1” a 10kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -11.9937°	30
Figura 4-31- “amostra 1” a 50kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -13.1995°	31
Figura 4-32- “amostra 1” a 100kHz. Ganho de 0.5156 e defasagem de -20.0162°	31
Figura 4-33- Resposta em frequência do ganho da amostra “amostra 1”	31
Figura 4-34- “amostra 2” a 10Hz. Ganho de 0.8571 e defasagem de -1.3919°	32
Figura 4-35- “amostra 2” a 50Hz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.1368°	32
Figura 4-36- “amostra 2” a 100Hz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.3851°	32
Figura 4-37- “amostra 2” a 1kHz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.377°	32
Figura 4-38- “amostra 2” a 10kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -14.302°	32
Figura 4-39- “amostra 2” a 50kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -13.6377°	32
Figura 4-40- “amostra 2” a 100kHz. Ganho de 0.5 e defasagem de -19.1835°	33
Figura 4-41- Resposta em frequência do ganho da amostra “amostra 2”	33
Figura 4-42- Água destilada a 10Hz. Ganho de 0.7778 e defasagem de -0.3629°	34
Figura 4-43- Água destilada a 50Hz. Ganho de 0.7656 e defasagem de 0.9326°	34
Figura 4-44- Água destilada a 100Hz. Ganho de 0.7385 e defasagem de 0.7358°	34
Figura 4-45- Água destilada a 500Hz. Ganho de 0.75 e defasagem de 0.4557°	34
Figura 4-46- Água destilada a 1kHz. Ganho de 0.75 e defasagem de -0.3593°	34
Figura 4-47- Água destilada a 10kHz. Ganho de 0.6797 e defasagem de -6.2685°	34
Figura 4-48- Água destilada a 50kHz. Ganho de 0.5156 e defasagem de -16.9031°	35
Figura 4-49- Água destilada a 100kHz. Ganho de 0.3984 e defasagem de -25.0157°	35
Figura 4-50- Resposta em frequência do ganho da amostra de água destilada	35
Figura 4-51- AECH, 92.8° a 50Hz. Ganho de 0.8906 e defasagem de 0.9207°	36
Figura 4-52- AECH, 92.8° a 100Hz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -0.9477°	36
Figura 4-53- AECH, 92.8° a 500Hz. Ganho de 0.875 e defasagem de -1.8367°	36
Figura 4-54- AECH, 92.8° a 1kHz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -2.6987°	36
Figura 4-55- AECH, 92.8° a 5kHz. Ganho de 0.8437 e defasagem de -5.5382°	36
Figura 4-56- AECH, 92.8° a 10kHz. Ganho de 0.7813 e defasagem de -9.4349°	36
Figura 4-57- AECH, 92.8° a 50kHz. Ganho de 0.6563 e defasagem de -23.5620°	37
Figura 4-58- AECH, 92.8° a 100kHz. Ganho de 0.5313 e defasagem de -38.2637°	37
Figura 4-59- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 92.8° INPM	37
Figura 4-60- Determinação da frequência a partir da tensão de saída	38
Figura 4-61- Resposta em frequência dos ganhos na faixa de 100Hz a 1kHz.	39
Figura 4-62- Resistência dos fluidos para $f=1\text{kHz}$	40

Figura 4-63-Capacitância do sensor para $f=1\text{kHz}$	40
Figura 4-64-Permissividade relativa do meio para $f=1\text{kHz}$	41
.....	42
4-65- Variação da concentração do álcool com a variação da capacitância	
.....	42
4-66- Variação da concentração do álcool com a variação do $ \text{ganho} $	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEAC: Álcool Etílico Anidro Combustível

AEHC: Álcool Etílico Hidratado Combustível

ANP: Agência Nacional Do Petróleo

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

°INPM: Fração em massa

OPEP: Organização Dos Países Exportadores De Petróleo

PRÓALCOOL: Programa Nacional do Álcool

Sindicom: Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Durante a crise do petróleo em 1973, foram estimuladas pesquisas de combustíveis a partir de fontes renováveis que substituíssem a gasolina, de maneira a conter os altos gastos com a importação do petróleo. Em 1975, o governo brasileiro iniciou o projeto “PRÓALCOOL”. Posteriormente, a redução do preço do petróleo provocou uma queda significativa no preço do álcool, levando produtores a utilizar a cana-de-açúcar para a produção de açúcar, ocasionando uma escassez de álcool combustível no mercado.

Com o surgimento dos automóveis “bi-combustíveis”, a utilização do álcool combustível voltou a crescer significativamente devido ao seu baixo custo, tornando atraente a adulteração do combustível. A adulteração do álcool combustível pode ocorrer de duas maneiras: a primeira seria a mistura do álcool anidro (AEAC, utilizado na composição da gasolina) com água. A segunda seria o aumento na concentração de água do álcool hidratado (AEHC).

A adulteração do combustível ocasiona diversos problemas:

- Evasão fiscal, pois o álcool anidro é livre de impostos;
- Aumento significativo na emissão de poluentes devido à má queima do combustível fora dos padrões de qualidade;
- Aumento do consumo de combustível pelos automóveis;

- Diversos danos ao motor, como corrosão devido principalmente à presença de cloro e sais minerais na água utilizada na mistura.

O aumento nos casos de adulteração de combustíveis gera enormes prejuízos ao consumidor, ao meio ambiente e aos cofres públicos (o Sindicom estima uma sonegação anual de cerca R\$1 bilhão por ano [1]). Por isso, existe a necessidade de uma fiscalização mais rigorosa e investimento em equipamentos que possam controlar a qualidade do combustível.

Esse trabalho se baseia em um projeto proposto pela ANP em parceria com o INMETRO, que consiste no desenvolvimento de sensores a serem instalados nas bombas de combustíveis, capazes de identificar a adulteração do combustível e bloquear a bomba.

A adulteração a ser trabalhada neste projeto se refere ao acréscimo de água no álcool hidratado (AEHC) em concentrações acima do permitido, que, segundo [2], deve possuir um teor alcoólico entre 92,6°INPM e 93,8°INPM.

1.1 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O Capítulo II apresenta a teoria e fundamentos básicos de um capacitor. Cita também o comportamento esperado nos ensaios das amostras.

No Capítulo III, a montagem do sensor é descrita, bem como o motivo para utilização desta configuração e os cálculos utilizados para se obter os resultados obtidos a partir dos dados coletados. Foram descritos ainda os tipos de amostras

utilizadas nos ensaios e as frequências que foram utilizadas para caracterizar o comportamento do sensor.

O Capítulo IV apresenta as curvas obtidas durante os ensaios. Analisou-se a resposta em frequência do sensor capacitivo e como esta estava de acordo com a quantidade de água presente em cada amostra.

O Capítulo V apresenta as conclusões dos experimentos realizados, e algumas sugestões para trabalhos futuros e aprimoramentos do sensor. Compararam-se ainda alguns resultados obtidos com os resultados obtidos por um sensor capacitivo.

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS

Os capacitores são dispositivos compostos por duas placas paralelas de material condutor separadas por um material denominado dielétrico. A capacitância pode ser definida por [3]:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

Onde Q é a quantidade de carga necessária para aumentar a tensão V de 1 Volt entre duas placas paralelas, a uma dada distância, preenchidas por um material.

Ainda segundo [3], um capacitor de placas paralelas sem os efeitos de bordas, possui um campo elétrico e distribuição de cargas praticamente uniformes. Esse efeito de borda pode ser desprezado desde que as dimensões das placas sejam relativamente maiores que a distância entre elas.

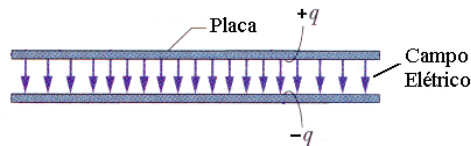


Figura 2-1- Capacitor ideal sem os efeitos de bordas [4]

Logo, o valor de sua capacitância está relacionado com as dimensões da placa, a distância entre elas, a frequência de operação e o valor da permissividade relativa do dielétrico, como pode ser visto na equação a seguir:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \quad (2)$$

Onde A é a área da placa, ε é a permissividade do dielétrico e d é a distância entre as placas.

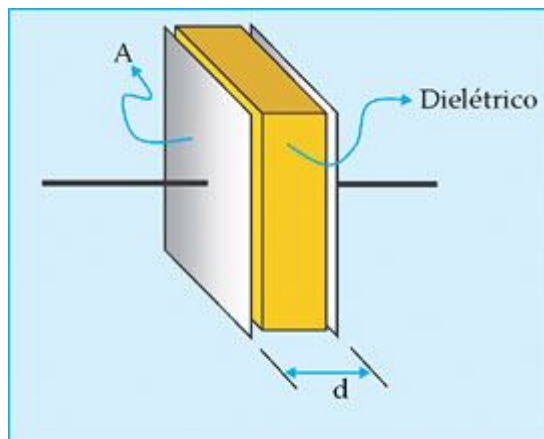


Figura 2-2– Capacitor de placas paralelas [5]

Observando a equação (2), pode-se observar que a capacitância depende exclusivamente da permissividade do meio e da geometria do sensor. Como a área das placas é constante e mantendo-se a distância entre elas fixas, pode-se concluir que a capacitância varia linearmente com a permissividade elétrica do meio.

A quantidade de água pode ser estimada por meio da variação da constante dielétrica ao se medir a capacitância entre os dois eletrodos imersos na amostra.

Como a permissividade da água ($\epsilon=80$ F/m, [3]) é maior que a do álcool etílico ($\epsilon=25$ F/m, [3]), aumentando-se a porcentagem de água no álcool, a permissividade do álcool aumentará e a capacitância deve variar de forma proporcional à permissividade.

CAPÍTULO 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SENSOR CAPACITIVO

O sensor capacitivo utilizado é composto por duas placas circulares de cobre de 2mm de espessura e 4,8cm de diâmetro. As placas foram montadas em uma estrutura de plástico, para garantir que a distância entre elas seja fixada em 1cm. As placas foram cobertas com filme de PVC para evitar a oxidação das mesmas e eliminar o possível efeito de condução de cargas elétricas através do meio dielétrico. Fios de cobre de 4mm² foram soldados na parte de trás das placas e ligados em série com uma resistência de 12k Ω .

A resistência R é necessária para que a variação de tensão no sensor possa ser detectada. Como o sensor capacitivo é parte de um circuito elétrico, as variações de capacitância devido à alteração na concentração de água do AEHC devem refletir-se nos valores de tensão do sensor. Como a impedância do sensor varia proporcionalmente com a tensão, um divisor de tensão é necessário para que essa variação seja detectada.

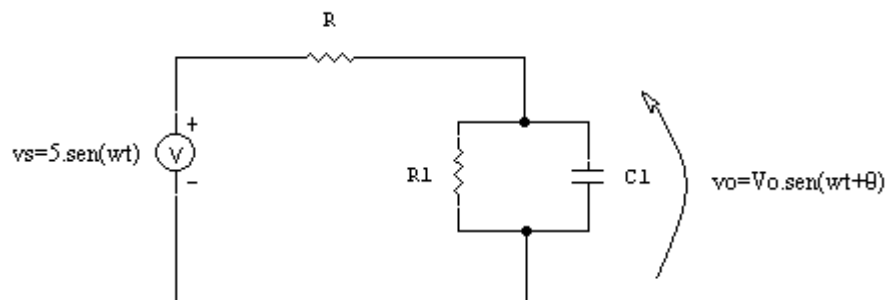


Figura 3-1 – Representação do circuito elétrico

Essa configuração foi escolhida baseada em [6]. Onde o capacitor pode ser modelado por um resistor em paralelo com um capacitor ideal.

O sensor foi montado com equipamento e material cedido pelo laboratório LIME, da UFRJ. A Figura 3-2 mostra o sensor montado em seu suporte, para garantir que a distância entre as placas não varie. A Figura 3-3 mostra um esquema de montagem, onde o sensor está imerso no líquido dentro do recipiente e está ligado em série à resistência e à fonte. Os terminais “ch1” e “ch2” representam os canais de entrada do osciloscópio.

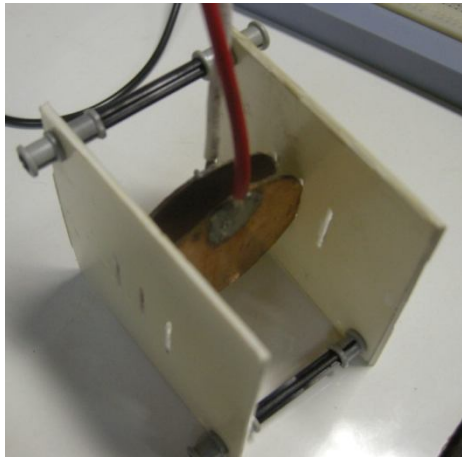


Figura 3-2 – Foto do sensor capacitivo e seu suporte.

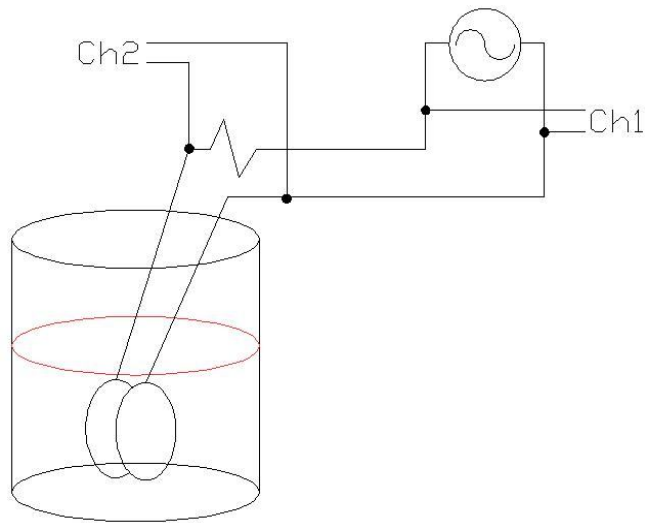


Figura 3-3- Esquema representativo da montagem dos ensaios realizados no laboratório.

3.2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Com o auxílio de um osciloscópio, os sinais de entrada (\vec{V}_s) e os sinais referentes à tensão no sensor foram (\vec{V}_o) aquisitados. O ângulo das tensões foi medido com o auxílio do *software Matlab*, onde os sinais foram plotados em escala.

De posse desses valores, foi possível calcular o ganho $\left(\left| \frac{\vec{V}_s}{\vec{V}_o} \right| \right)$ e a defasagem ($\angle V_s^\circ - \angle V_o^\circ$) entre os sinais.

Pela Figura 3-1, sabe-se que a impedância referente ao sensor é:

$$\vec{V}_o = \frac{\dot{Z}_1 \cdot \vec{V}_s}{\dot{Z}_1 + R} \implies \dot{Z}_1 = \frac{R \cdot \vec{V}_o}{\vec{V}_s - \vec{V}_o} \quad (3)$$

Como foi dito no Capítulo II, o sensor pode ser modelado por:

$$\dot{Z}_1 = R_1 // \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} \quad (4)$$

Onde R_1 representa a resistência do fluido e C_1 a capacitância do sensor. Com o valor da impedância calculada em (3) e com o valor do ganho, os valores da resistência R_1 e da capacitância C_1 podem ser obtidos a partir das seguintes equações:

$$\left| \frac{V_o}{V_s} \right| = \frac{1}{(R \cdot R_1 \cdot C_1 \cdot \omega)^2 + (R + R_1)^2} \sqrt{(R_1^2 + R \cdot R_1)^2 + (\omega \cdot R \cdot R_1^2 \cdot C_1)^2} \quad (5)$$

$$\angle(V_o/V_s)^\circ = \text{tg}^{-1} \frac{\omega \cdot R \cdot R_1 \cdot C_1}{(R \cdot R_1 + R_1)^2} \quad (6)$$

Logo, os valores de R_1 e C_1 podem ser diretamente calculados.

Para uma análise aproximada, os valores das permissividades dos líquidos podem ser estimados a partir de:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d} \rightarrow \varepsilon = \frac{C \cdot d}{A} \quad (7)$$

Onde:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (8)$$

Onde ϵ_0 é a permissividade do vácuo ($8.85E-12$ F/m) e ϵ_r é a permissividade relativa do dielétrico.

Porém, esses valores não devem ser considerados como absolutos. Servem apenas para uma análise de como a permissividade deve variar proporcionalmente com a frequência.

3.3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para validar o modelo do sensor, foram realizados ensaios com água destilada e alcoóis em diversas concentrações. Além disso, variou-se a frequência de 10Hz a 100kHz, coletando-se 2 pontos por década.

O recipiente utilizado para os ensaios era selado durante a realização de todos os experimentos, reduzindo a possibilidade de contaminação das amostras. Os ensaios com álcool eram realizados no menor intervalo de tempo possível, pois como o álcool é uma molécula hidrofílica, há absorção da umidade do ar.

Todas as amostras foram descartadas após os ensaios. O recipiente e o sensor eram secos cuidadosamente, para evitar qualquer possibilidade de contaminação.

Os ensaios foram realizados com as seguintes amostras:

- 1) AEHC, 70° INPM;
- 2) AEHC, 92.6° INPM;
- 3) AEHC, 99.7° INPM;
- 4) Álcool combustível coletado em posto, “amostra 1”;
- 5) Álcool combustível coletado em outro posto, “amostra 2”;
- 6) Água destilada;
- 7) AEHC, 92.8° INPM;

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS

4.1 CURVAS DOS ENSAIOS

Nesse capítulo serão apresentadas todas as curvas obtidas durante os ensaios. Elas serão apresentadas por ordem de ensaio realizado, em ordem crescente de frequência.

1) AEHC, 70° INPM;

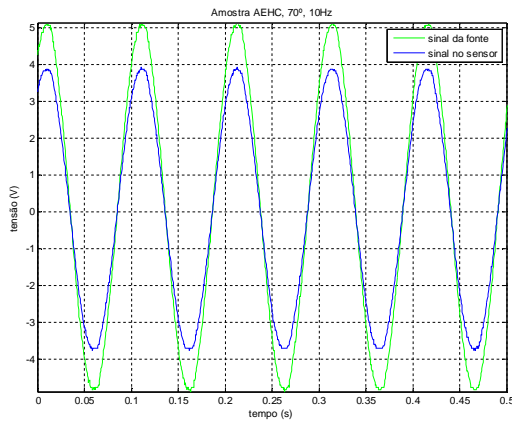


Figura 4-1- AECH, 70° a 10Hz. Ganho de 0.7711 e defasagem de 0.8824°

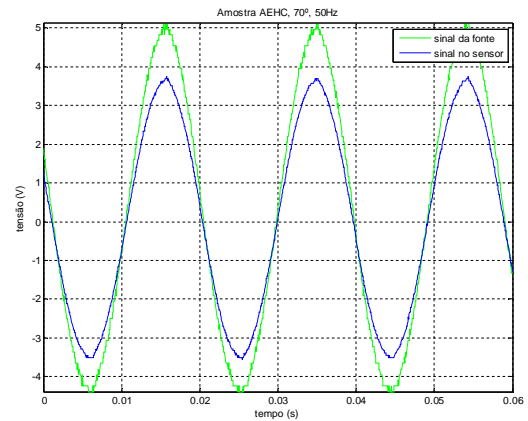


Figura 4-2- AECH, 70° a 50Hz. Ganho de 0.7314 e defasagem de -1.0286°

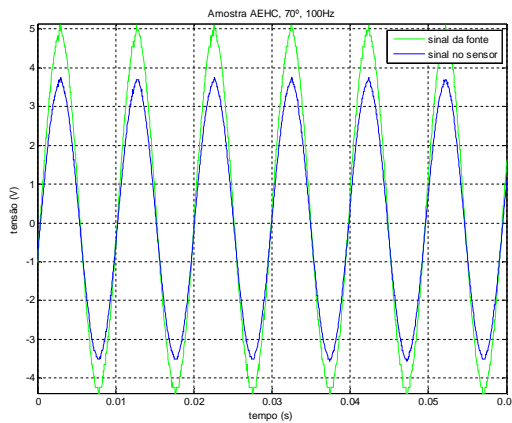


Figura 4-3- AECH, 70° a 100Hz. Ganho de 0.7314 e defasagem de 1.3954°

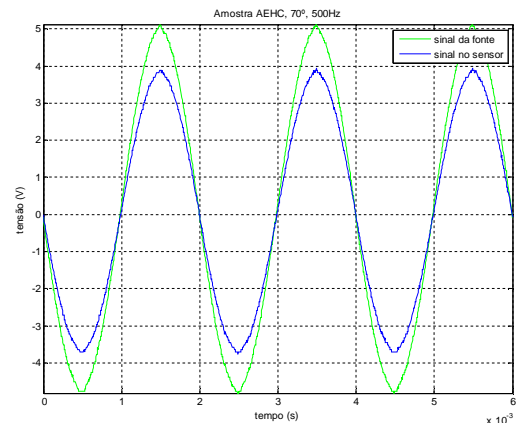


Figura 4-4- AECH, 70° a 500Hz. Ganho de 0.7711 e defasagem de -0.9045°

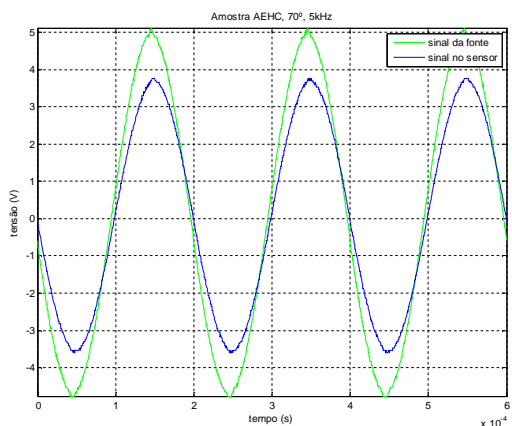


Figura 4-5- AECH, 70° a 5kHz. Ganho de 0.7356 e defasagem de -3.3838°

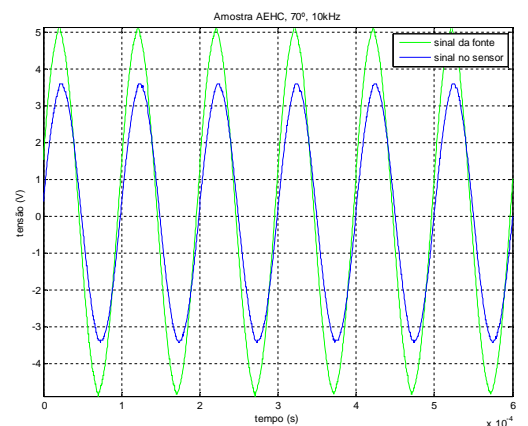


Figura 4-6- AECH, 70° a 10kHz. Ganho de 0.7033 e defasagem de -5.373°

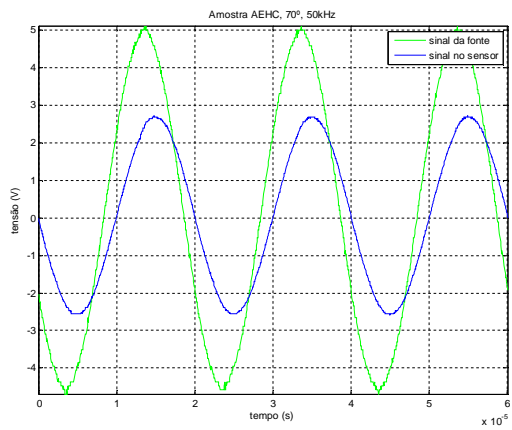


Figura 4-7- AECH, 70° a 50kHz. Ganho de 0.5333 e defasagem de -14.4465°

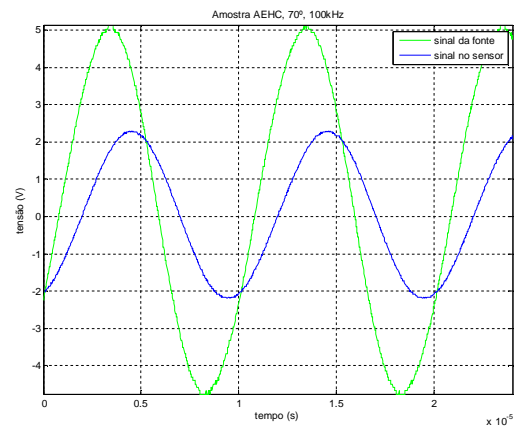


Figura 4-8- AECH, 70° a 100kHz. Ganho de 0.4491 e defasagem de -21.0852°

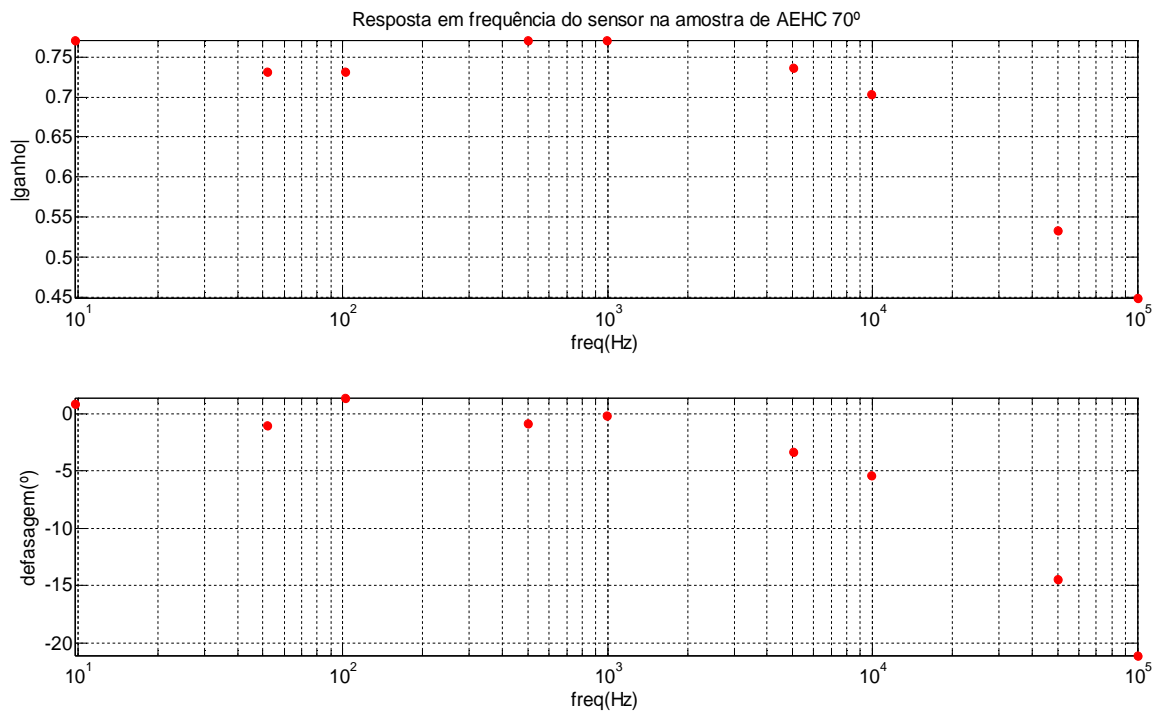


Figura 4-9- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 70°INPM

2) AEHC, 92.6° INPM;

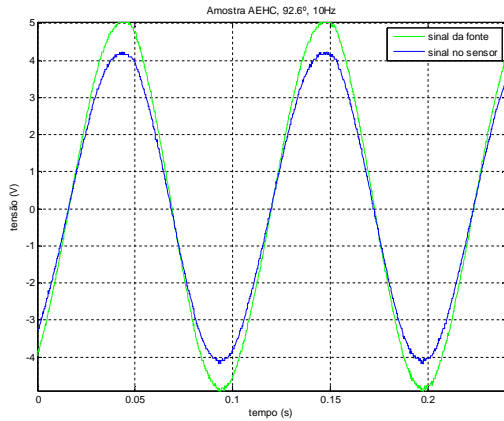


Figura 4-10- AECH, 92.6° a 10Hz. Ganho de 0.84 e defasagem de 0.1738°

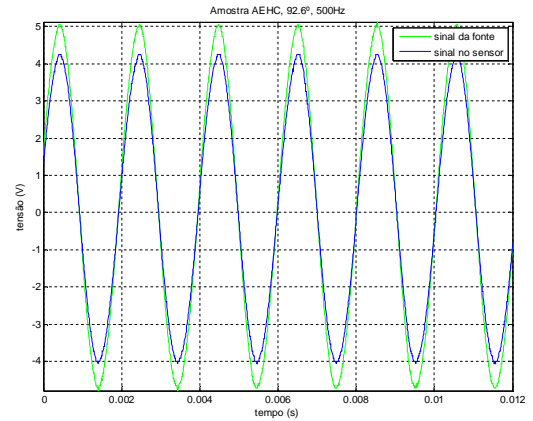


Figura 4-11- AECH, 92.6° a 500Hz. Ganho de 0.8312 e defasagem de -0.3015°

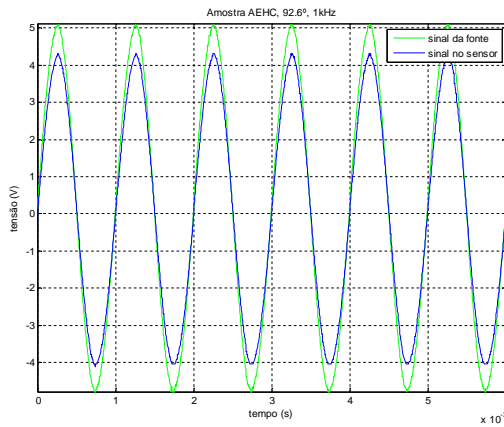


Figura 4-12- AECH, 92.6° a 1kHz. Ganho de 0.8421 e defasagem de -1.3929°

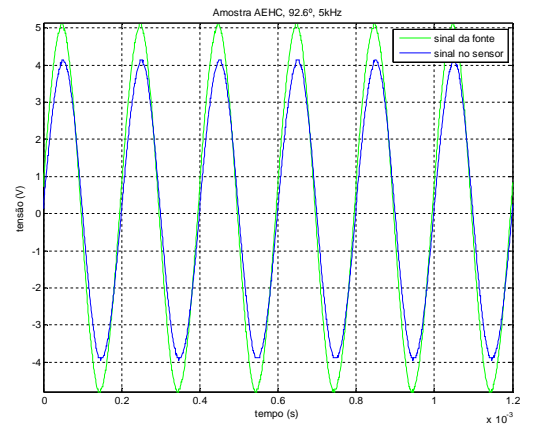


Figura 4-13- AECH, 92.6° a 5kHz. Ganho de 0.8101 e defasagem de -1.0419°

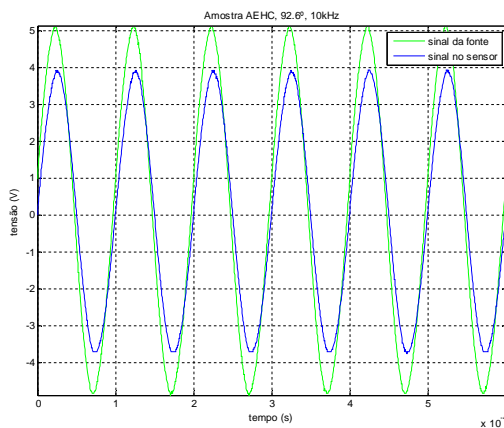


Figura 4-14- AECH, 92.6° a 10kHz. Ganho de 0.7711 e defasagem de -4.83°

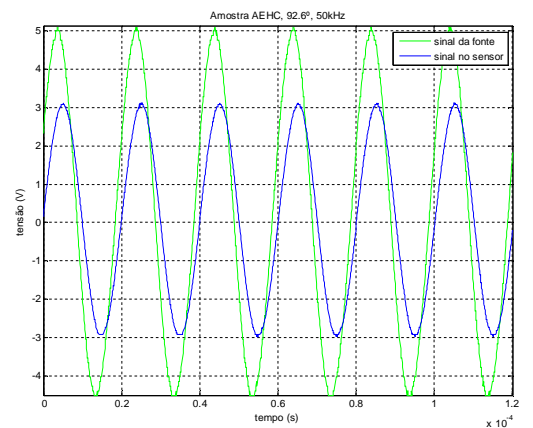


Figura 4-15- AECH, 92.6° a 50kHz. Ganho de 0.6095 e defasagem de -11.9549°

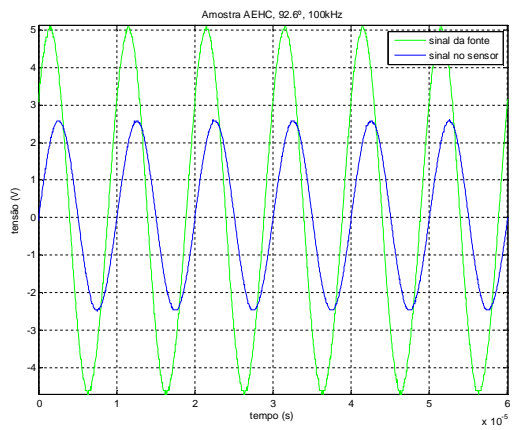


Figura 4-16- AECH, 92.6° a 100kHz. Ganho de 0.5031 e defasagem de -19.4648°

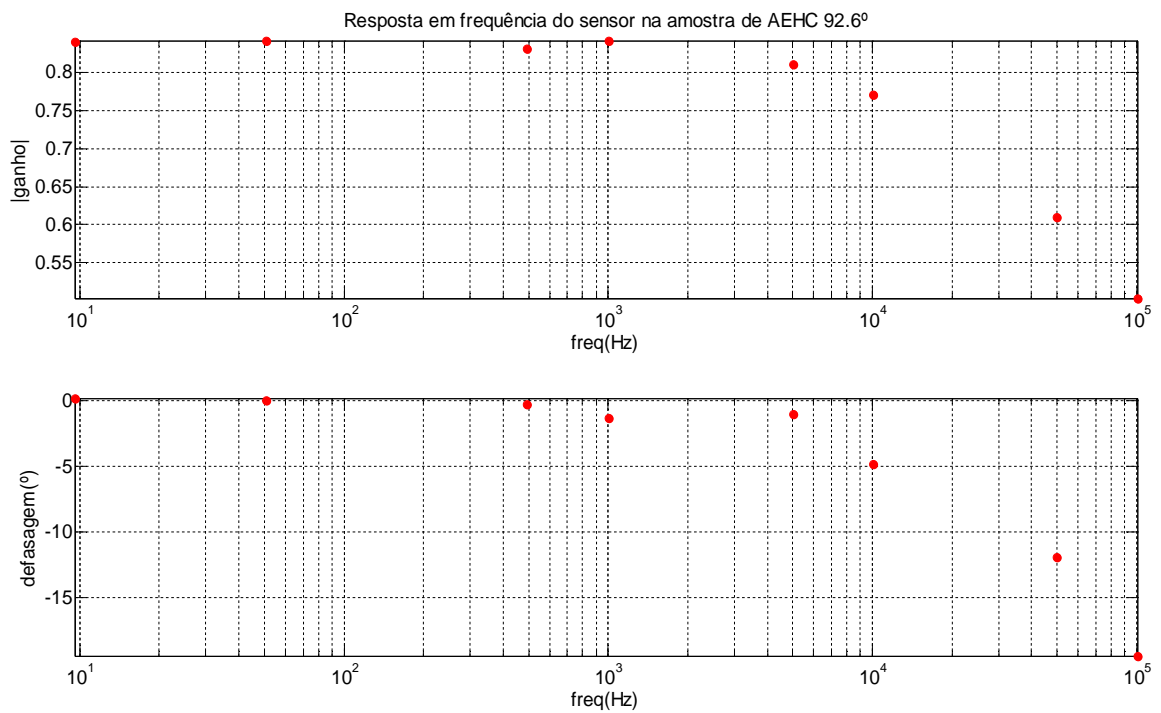


Figura 4-17- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 92.6°INPM

3) AEHC, 99.7° INPM;

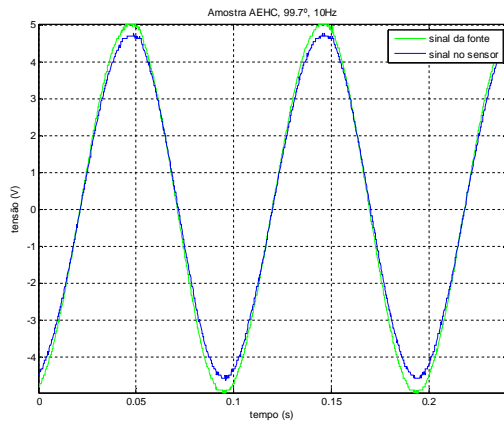


Figura 4-18- 99.7° a 10Hz. Ganho de 0.9524 e defasagem de -0.3679°

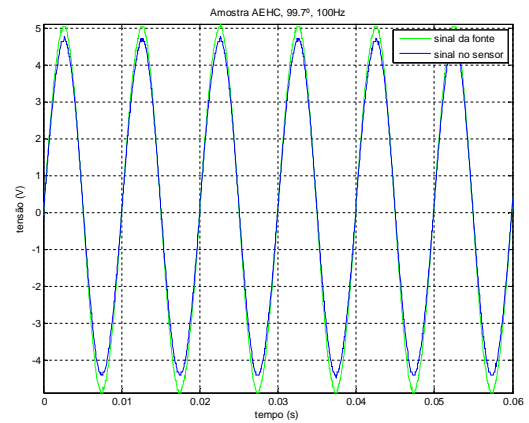


Figura 4-19- AECH, 99.7° a 100Hz. Ganho de 0.9375 e defasagem de -0.45°

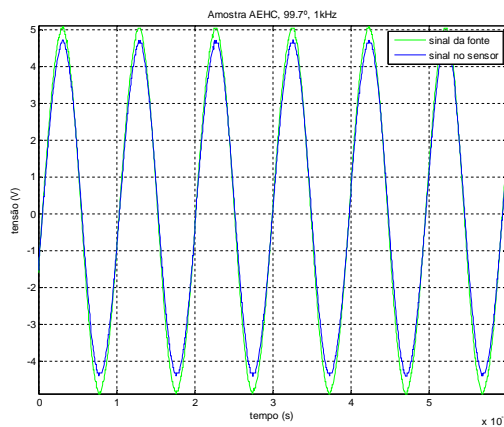


Figura 4-20- AECH, 99.7° a 1kHz. Ganho de 0.9219 e defasagem de -1.377°

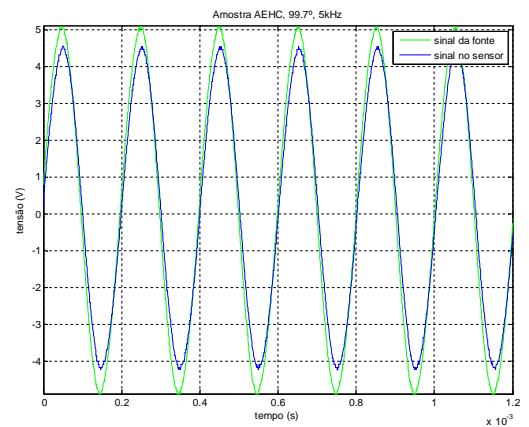


Figura 4-21- AECH, 99.7° a 5kHz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -3.5999°

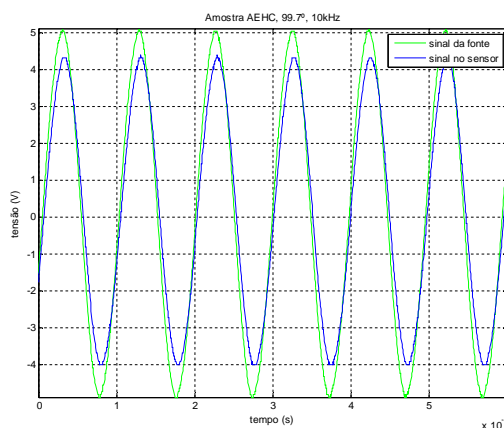


Figura 4-22- AECH, 99.7° a 10kHz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -4.617°

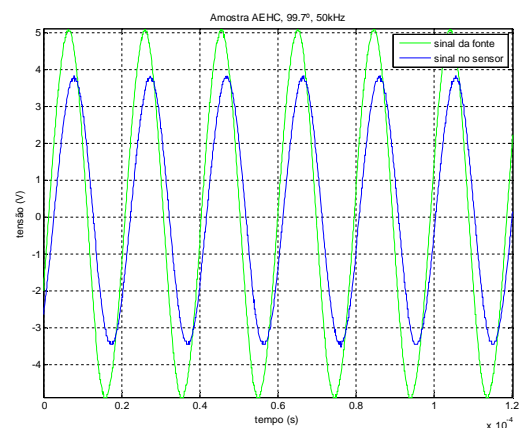


Figura 4-23- AECH, 99.7° a 50kHz. Ganho de 0.75 e defasagem de -13.661°

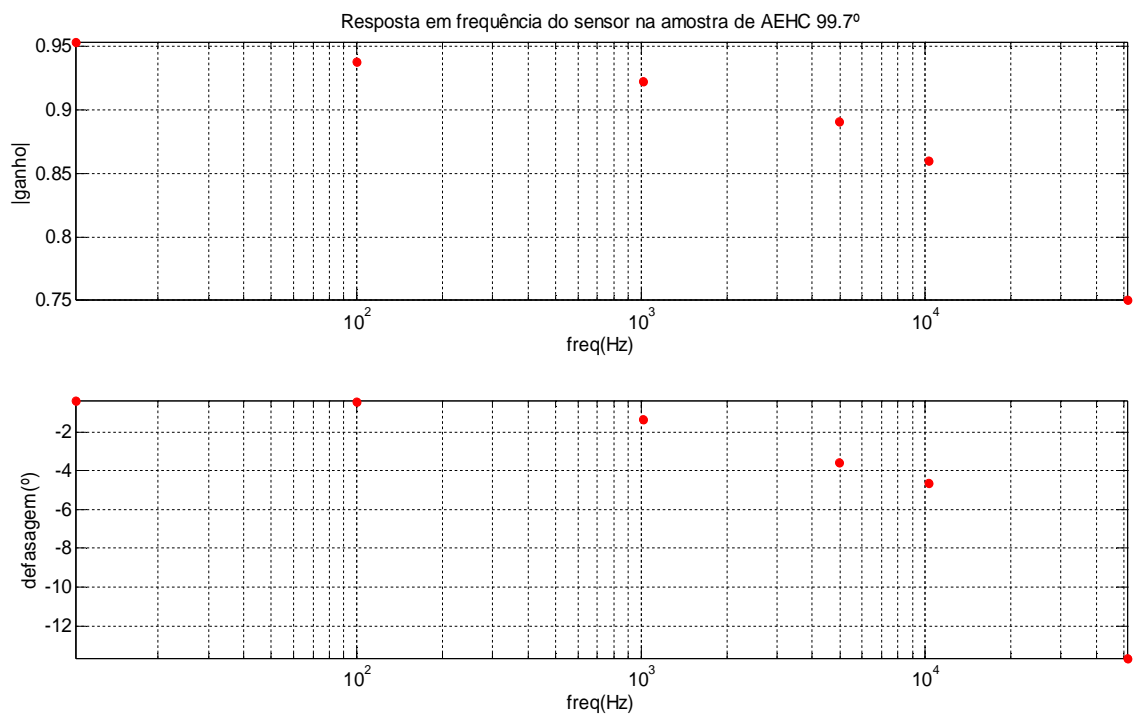


Figura 4-24- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 99.7°INPM

4) Álcool combustível coletado em posto, "amostra 1";

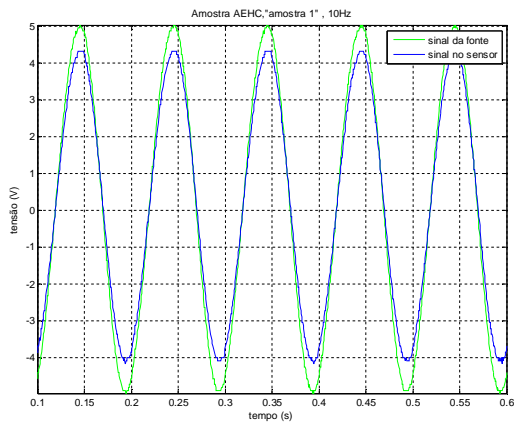


Figura 4-25- "amostra 1" a 10Hz. Ganho de 0.8571 e defasagem de 0.01°

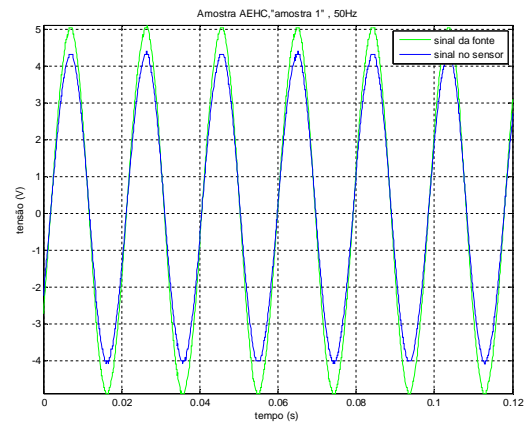


Figura 4-26- "amostra 1" a 500Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -0.75°

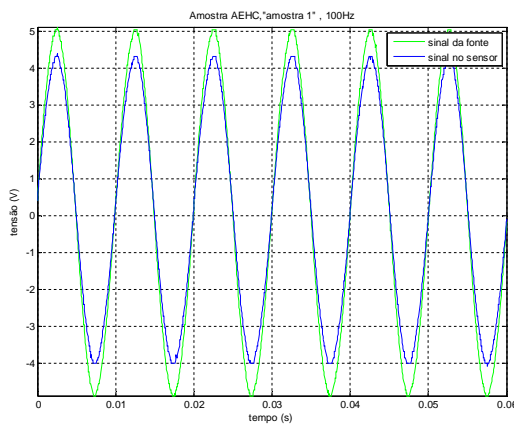


Figura 4-27- "amostra 1" a 100Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -0.4477°

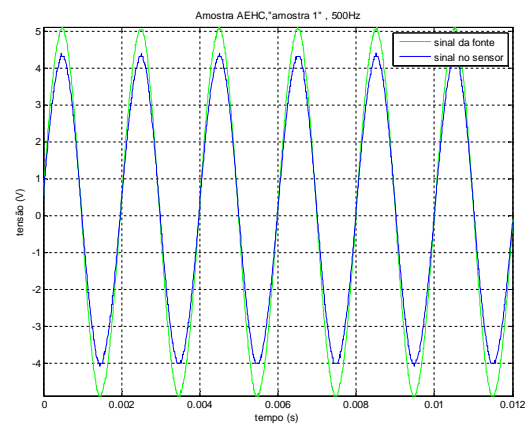


Figura 4-28- "amostra 1" a 500Hz. Ganho de 0.8594 e defasagem de -1.2°

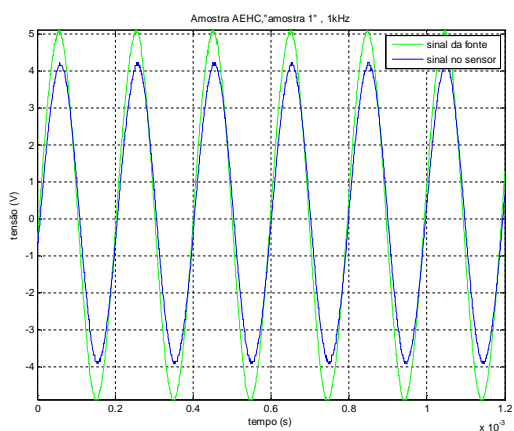


Figura 4-29- "amostra 1" a 1kHz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -3.2567°

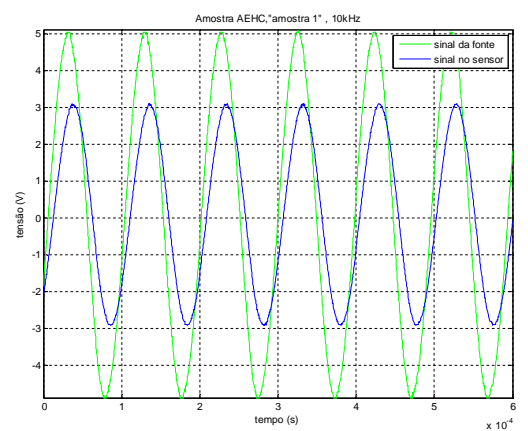


Figura 4-30- "amostra 1" a 10kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -11.9937°

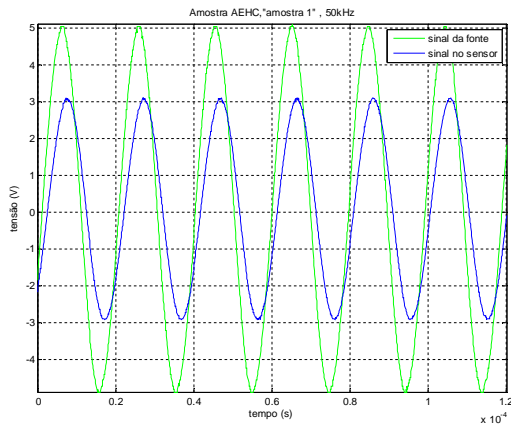


Figura 4-31- “amostra 1” a 50kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -13.1995°

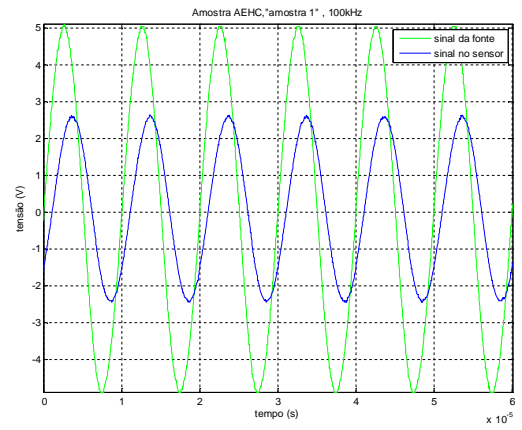


Figura 4-32- “amostra 1” a 100kHz. Ganho de 0.5156 e defasagem de -20.0162°

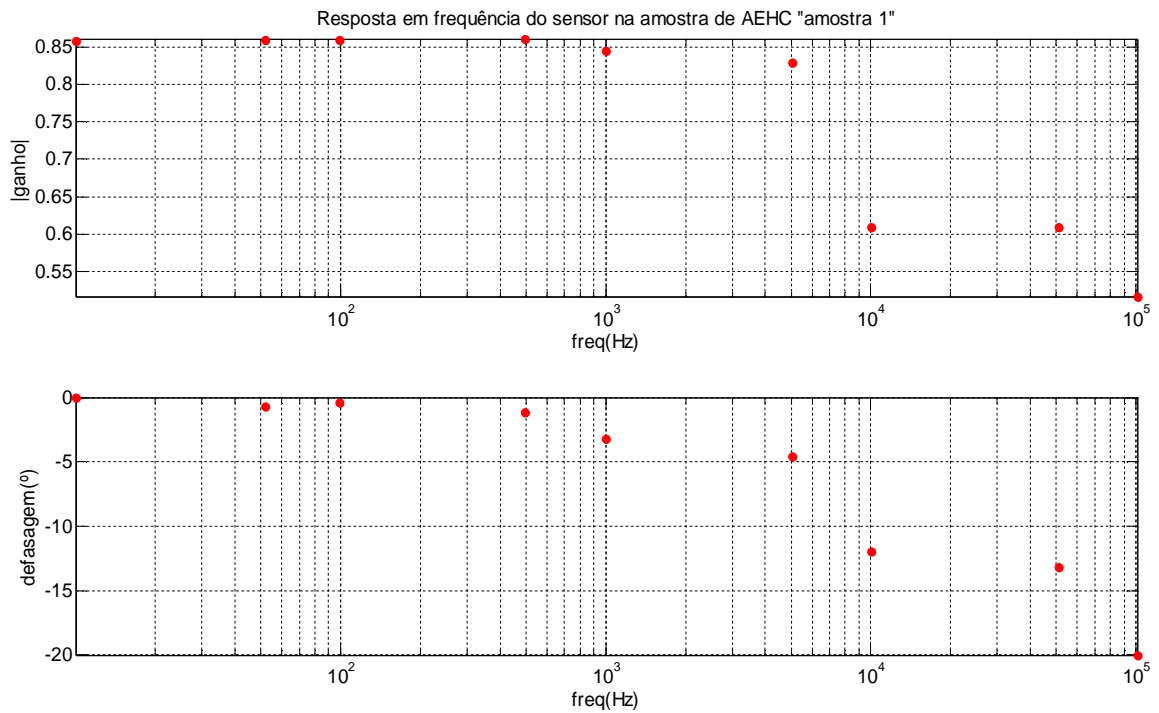


Figura 4-33- Resposta em frequência do ganho da amostra “amostra 1”

5) **Álcool combustível coletado em outro posto, "amostra 2"**

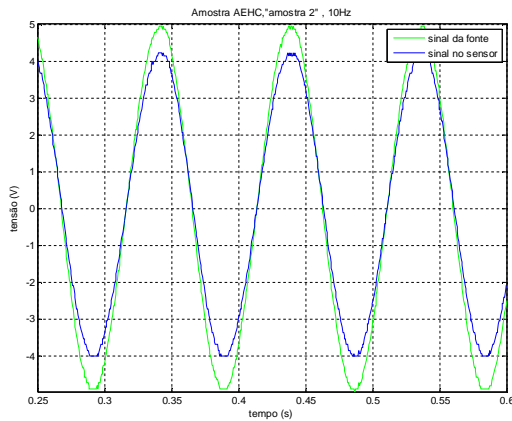


Figura 4-34- "amostra 2" a 10Hz. Ganho de 0.8571 e defasagem de -1.3919°

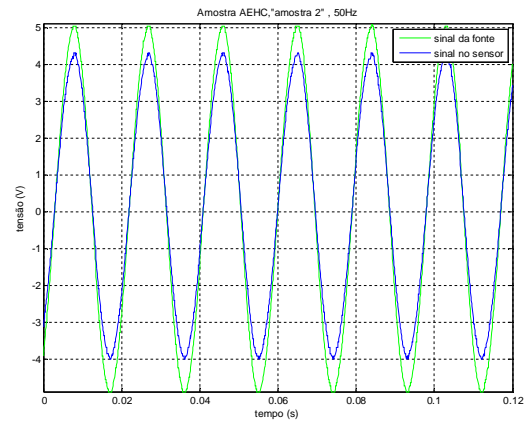


Figura 4-35- "amostra 2" a 50Hz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.1368°

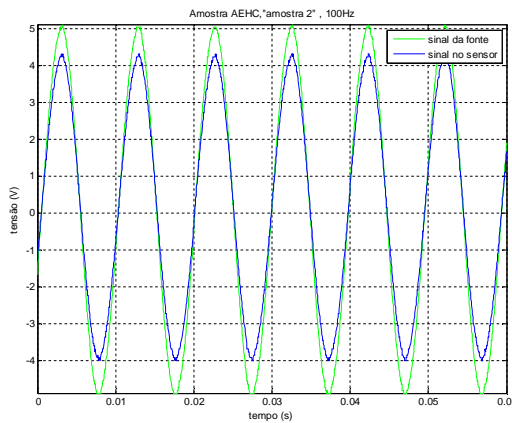


Figura 4-36- "amostra 2" a 100Hz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.3851°

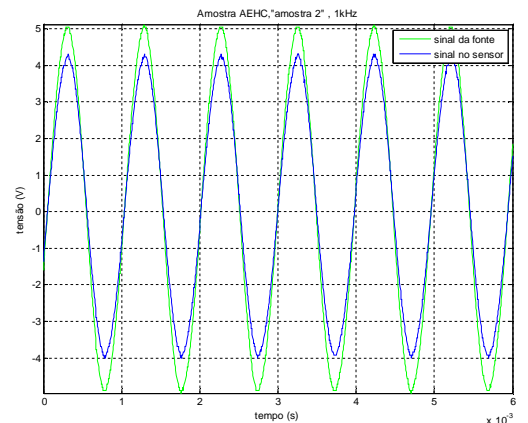


Figura 4-37- "amostra 2" a 1kHz. Ganho de 0.8438 e defasagem de -1.377°

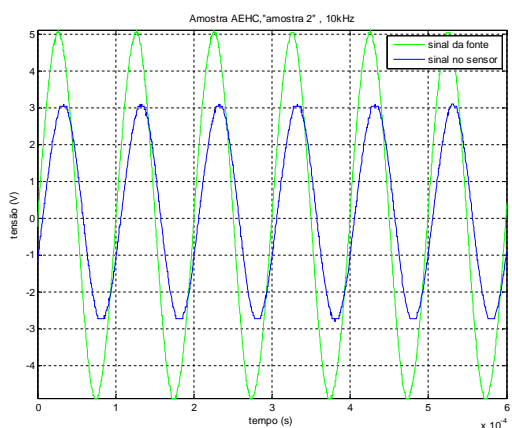


Figura 4-38- "amostra 2" a 10kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -14.302°

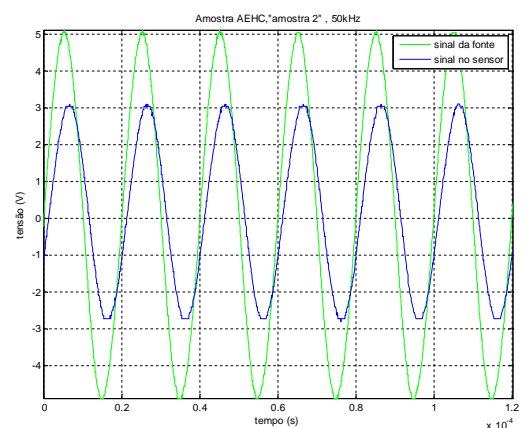


Figura 4-39- "amostra 2" a 50kHz. Ganho de 0.6094 e defasagem de -13.6377°

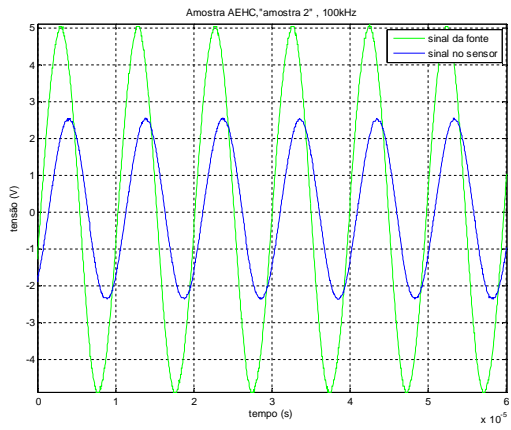


Figura 4-40- “amostra 2” a 100kHz. Ganho de 0.5 e defasagem de -19.1835°

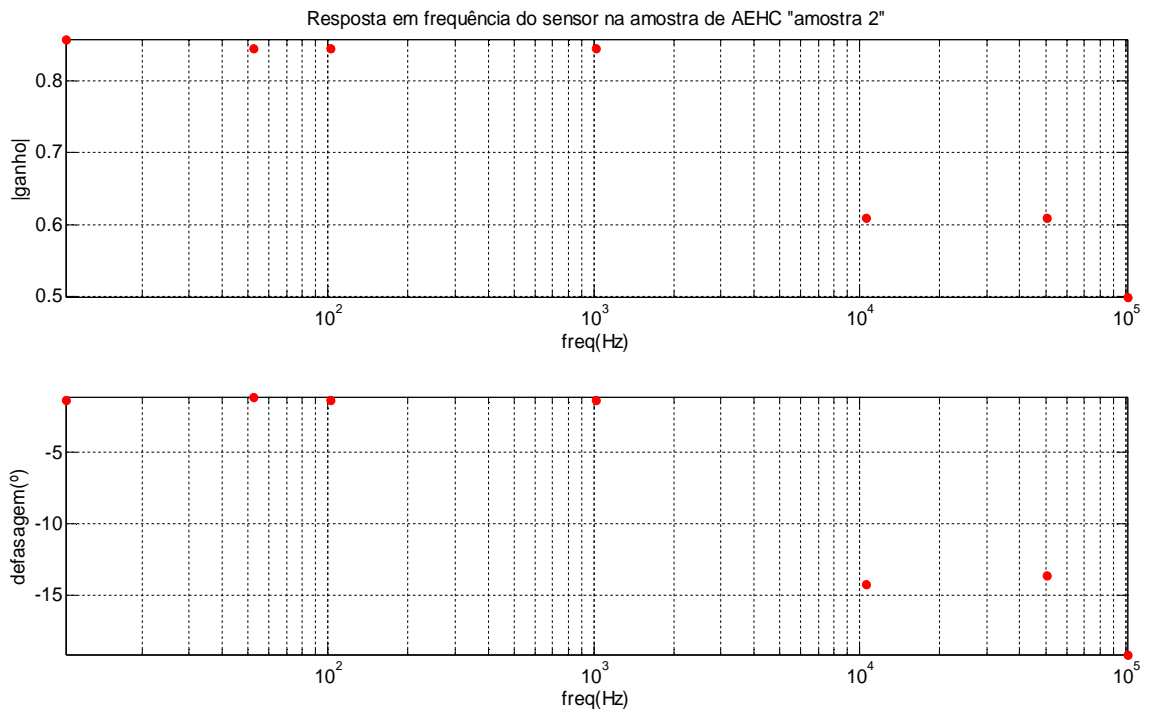


Figura 4-41- Resposta em frequência do ganho da amostra “amostra 2”

6) Água destilada;

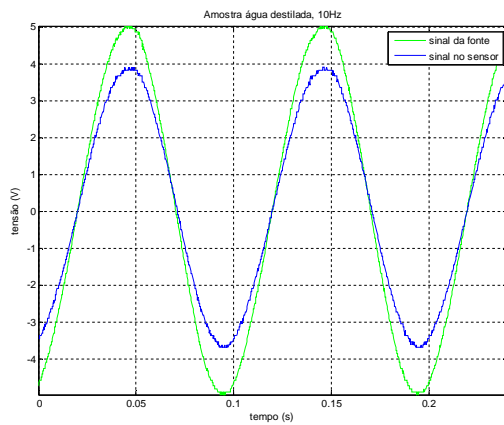


Figura 4-42- Água destilada a 10Hz. Ganho de 0.7778 e defasagem de -0.3629°

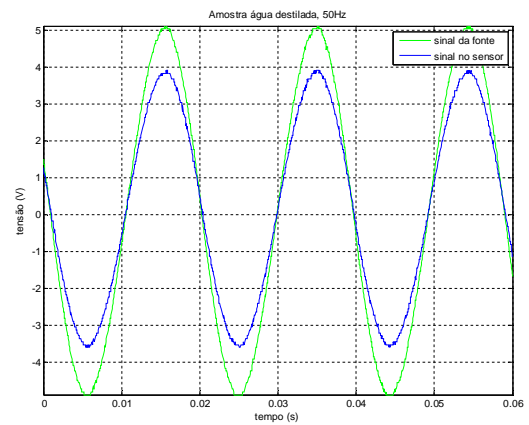


Figura 4-43- Água destilada a 50Hz. Ganho de 0.7656 e defasagem de 0.9326°

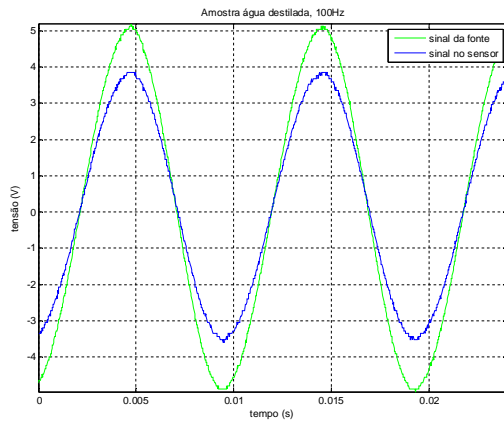


Figura 4-44- Água destilada a 100Hz. Ganho de 0.7385 e defasagem de 0.7358°

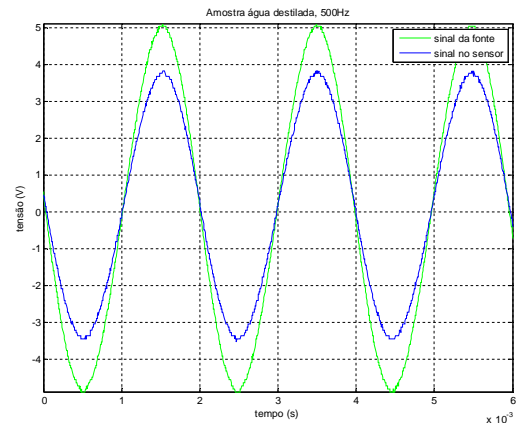


Figura 4-45- Água destilada a 500Hz. Ganho de 0.75 e defasagem de 0.4557°

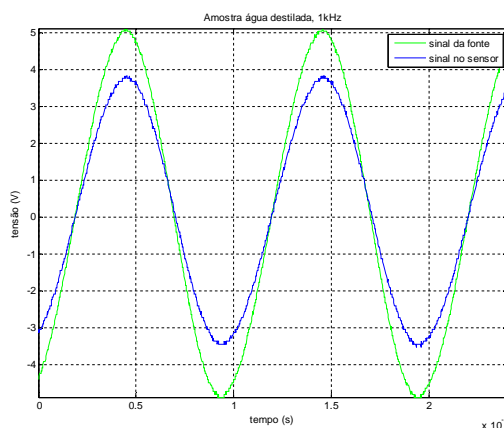


Figura 4-46- Água destilada a 1kHz. Ganho de 0.75 e defasagem de -0.3593°

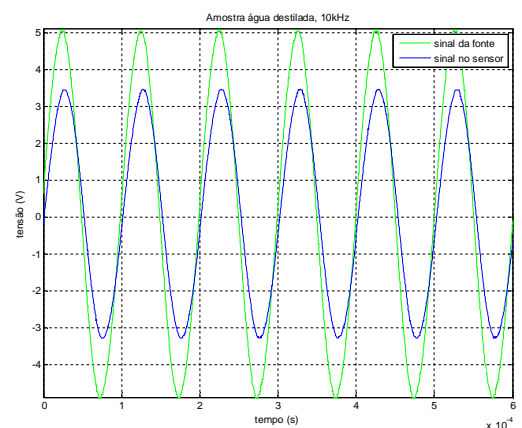


Figura 4-47- Água destilada a 10kHz. Ganho de 0.6797 e defasagem de -6.2685°

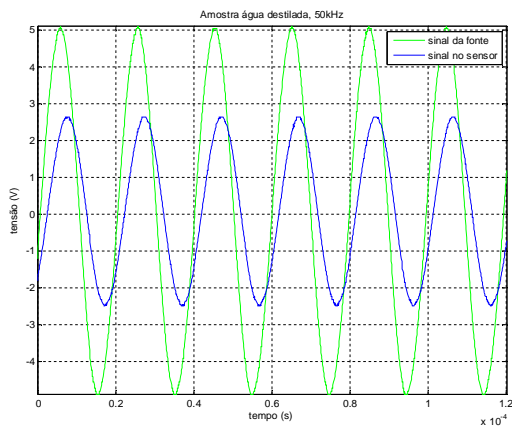


Figura 4-48- Água destilada a 50kHz. Ganho de 0.5156 e defasagem de -16.9031°

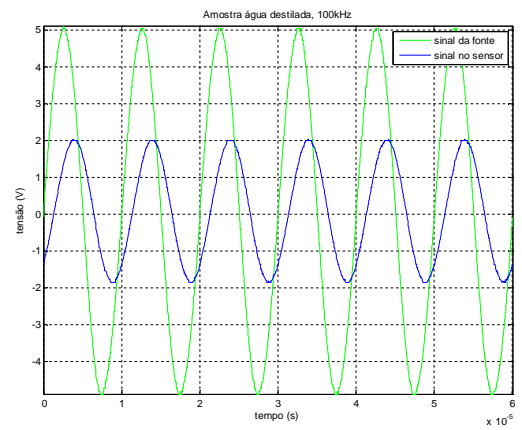


Figura 4-49- Água destilada a 100kHz. Ganho de 0.3984 e defasagem de -25.0157°

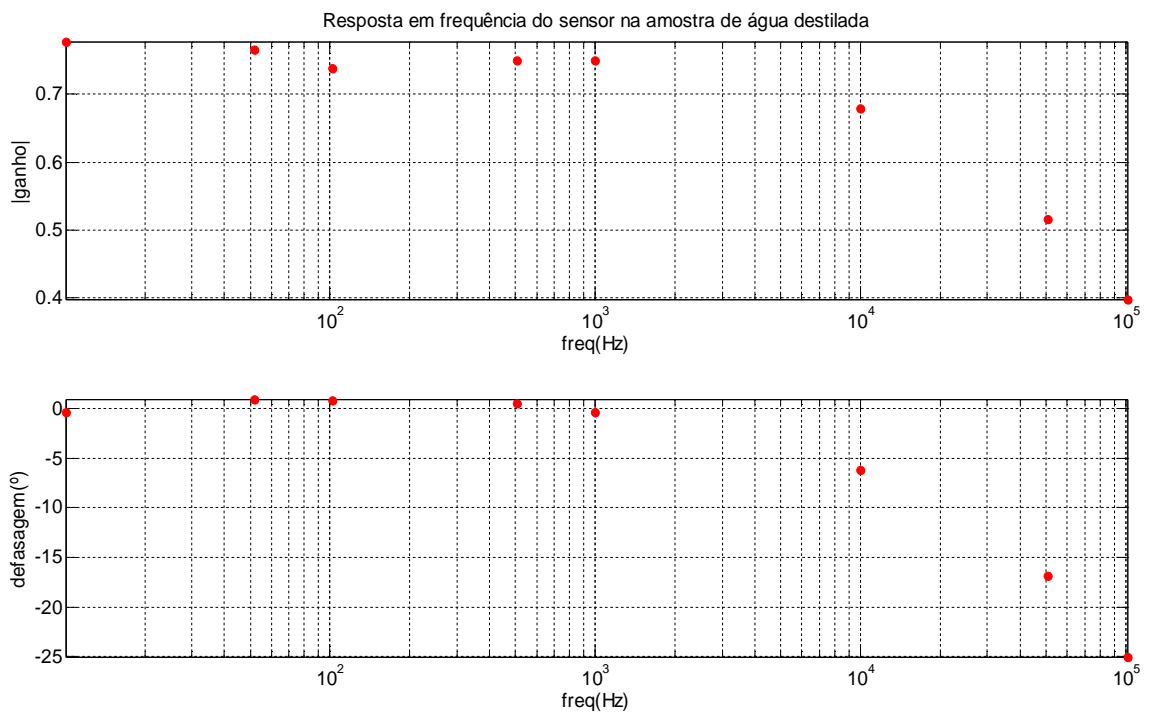


Figura 4-50- Resposta em frequência do ganho da amostra de água destilada

7) AEHC, 92.8° INPM;

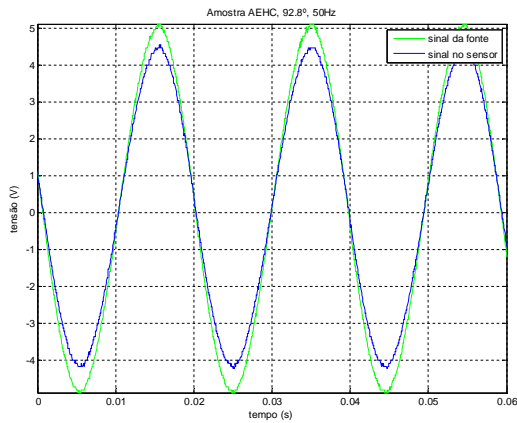


Figura 4-51- AECH, 92.8° a 50Hz. Ganho de 0.8906 e defasagem de 0.9207°

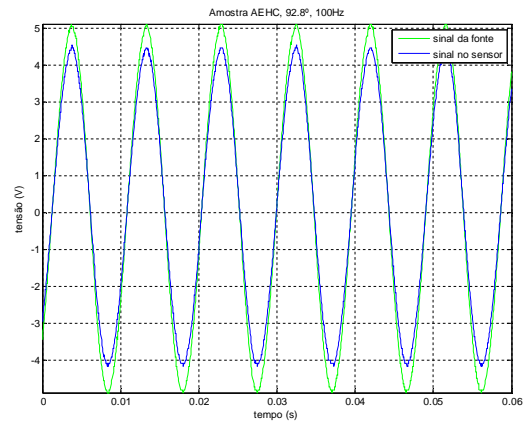


Figura 4-52- AECH, 92.8° a 100Hz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -0.9477°

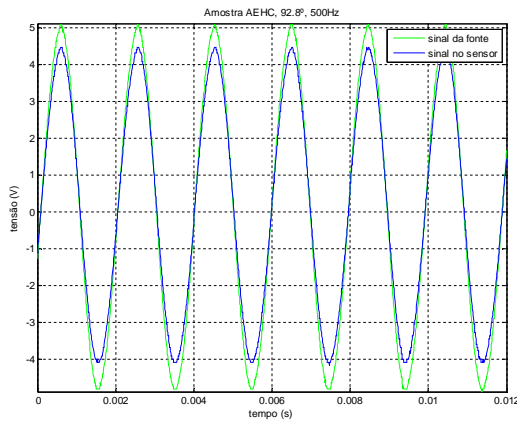


Figura 4-53- AECH, 92.8° a 500Hz. Ganho de 0.875 e defasagem de -1.8367°

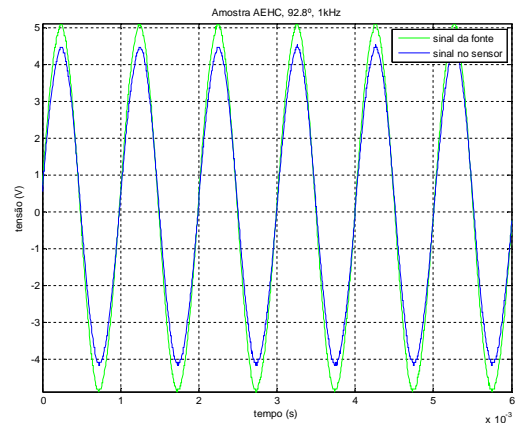


Figura 4-54- AECH, 92.8° a 1kHz. Ganho de 0.8906 e defasagem de -2.6987°

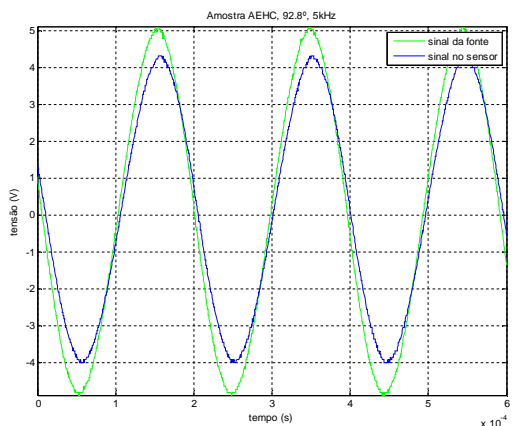


Figura 4-55- AECH, 92.8° a 5kHz. Ganho de 0.8437 e defasagem de -5.5382°

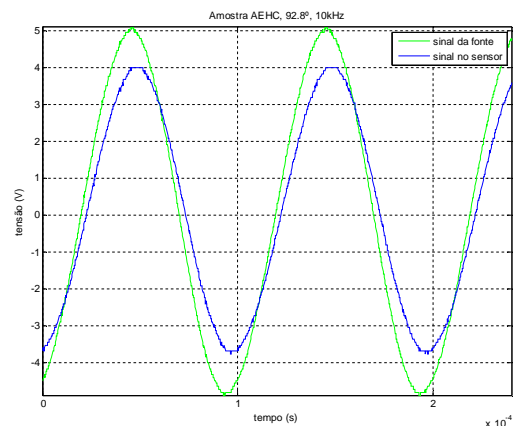


Figura 4-56- AECH, 92.8° a 10kHz. Ganho de 0.7813 e defasagem de -9.4349°

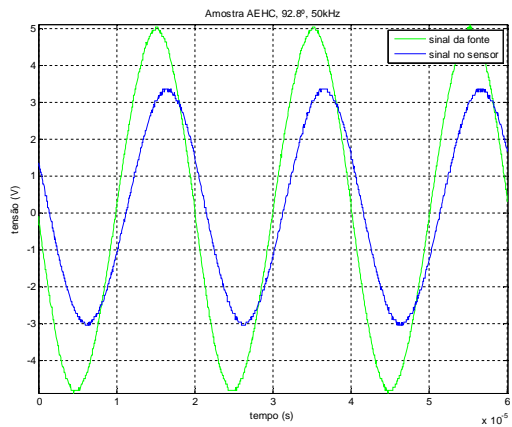


Figura 4-57- AECH, 92.8° a 50kHz. Ganho de 0.6563 e defasagem de -23.5620°

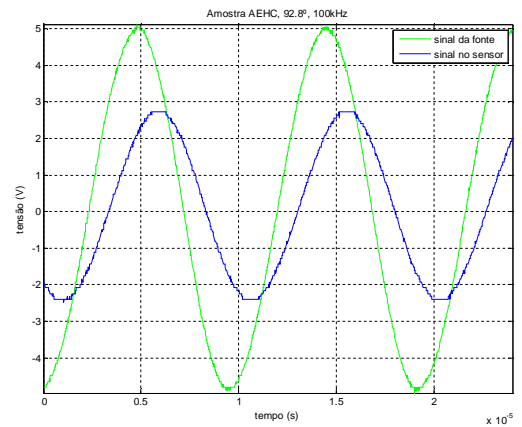


Figura 4-58- AECH, 92.8° a 100kHz. Ganho de 0.5313 e defasagem de -38.2637°

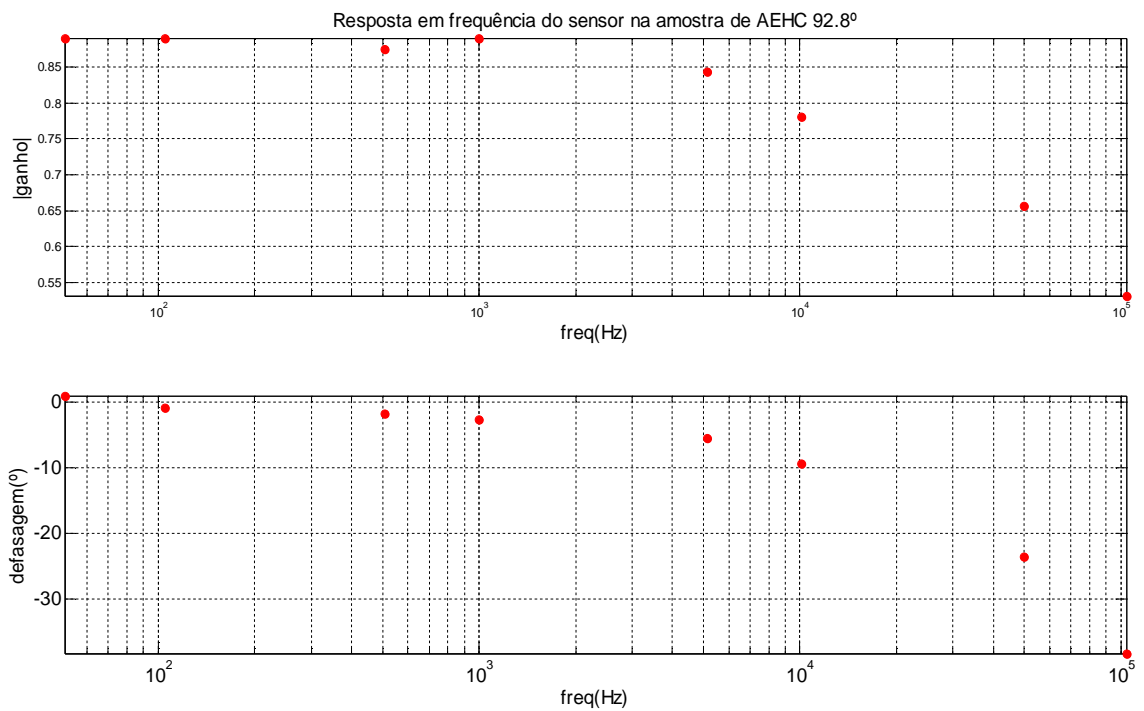


Figura 4-59- Resposta em frequência do ganho da amostra AECH 92.8°INPM

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma melhor análise sobre o funcionamento do sensor, alguns gráficos foram traçados.

Segundo [7], a frequência escolhida deve representar a frequência de excitação máxima para o sensor, onde não haja atenuação da amplitude do sinal de saída. Além disso, a frequência deve ser alta o suficiente para eliminar as transferências de carga entre as placas do capacitor e a superfície do líquido em contato.

Logo, a faixa de frequência que mais se adequa às necessidades citadas anteriormente seria de 100Hz a 1kHz.

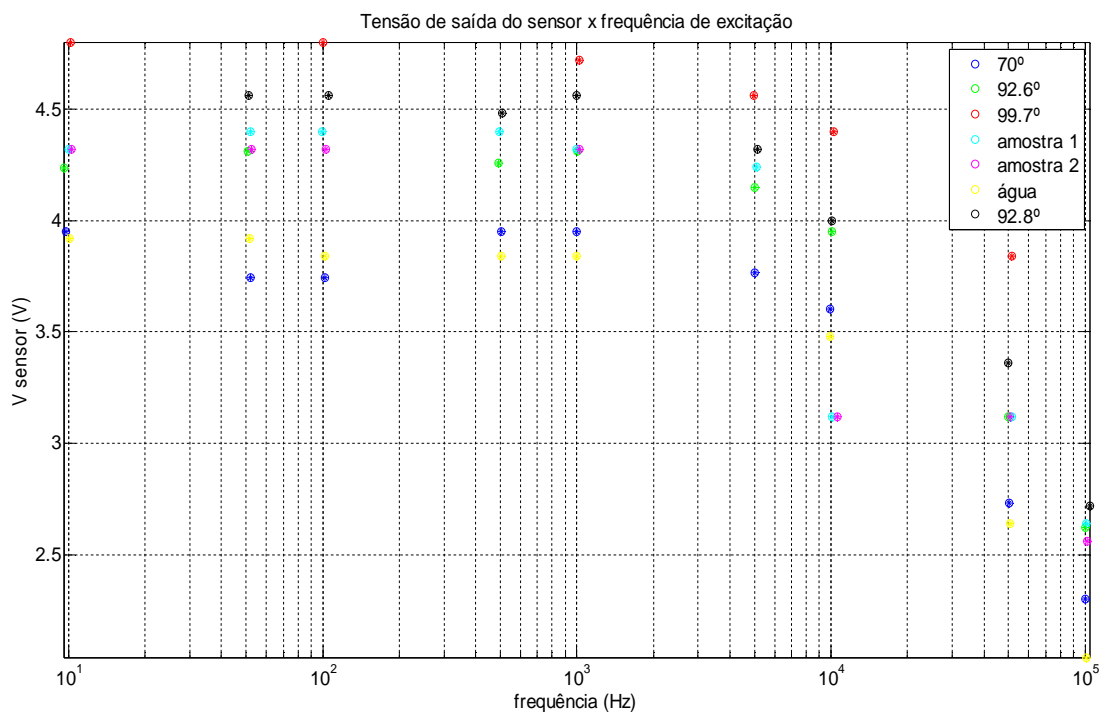


Figura 4-60- Determinação da frequência a partir da tensão de saída

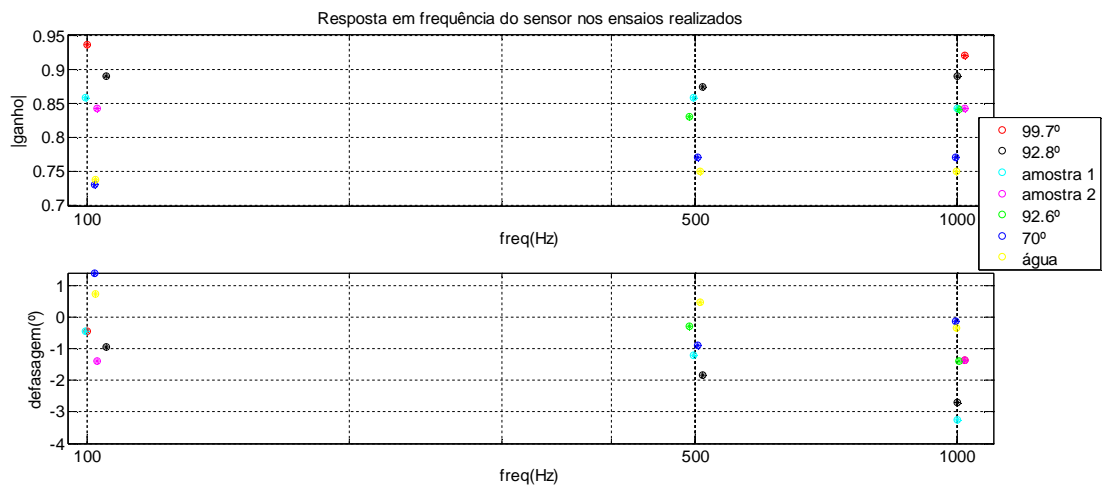


Figura 4-61- Resposta em frequência dos ganhos na faixa de 100Hz a 1kHz.

Analisando a resposta em frequência do ganho (Figura 4-61), é possível fazer algumas considerações a respeito da permissividade das amostras, pois quanto melhor a permissividade, menor será o ganho. Pela Figura 4-61, a água apresenta uma permissividade maior que o álcool 99.7°, como era de se esperar. O posicionamento das amostras está condizente com a concentração de água presente nas amostras.

As amostras “1” e “2” apresentaram um valor de ganho situado entre as amostras 92.6° e 92.8°.

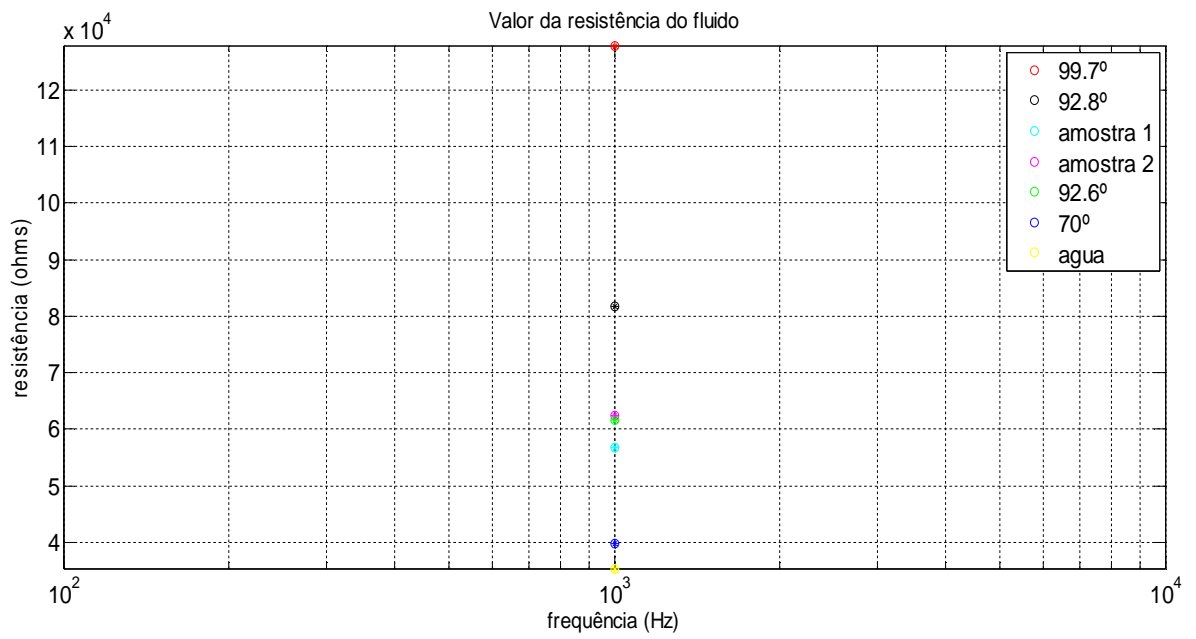


Figura 4-62- Resistência dos fluidos para f=1kHz

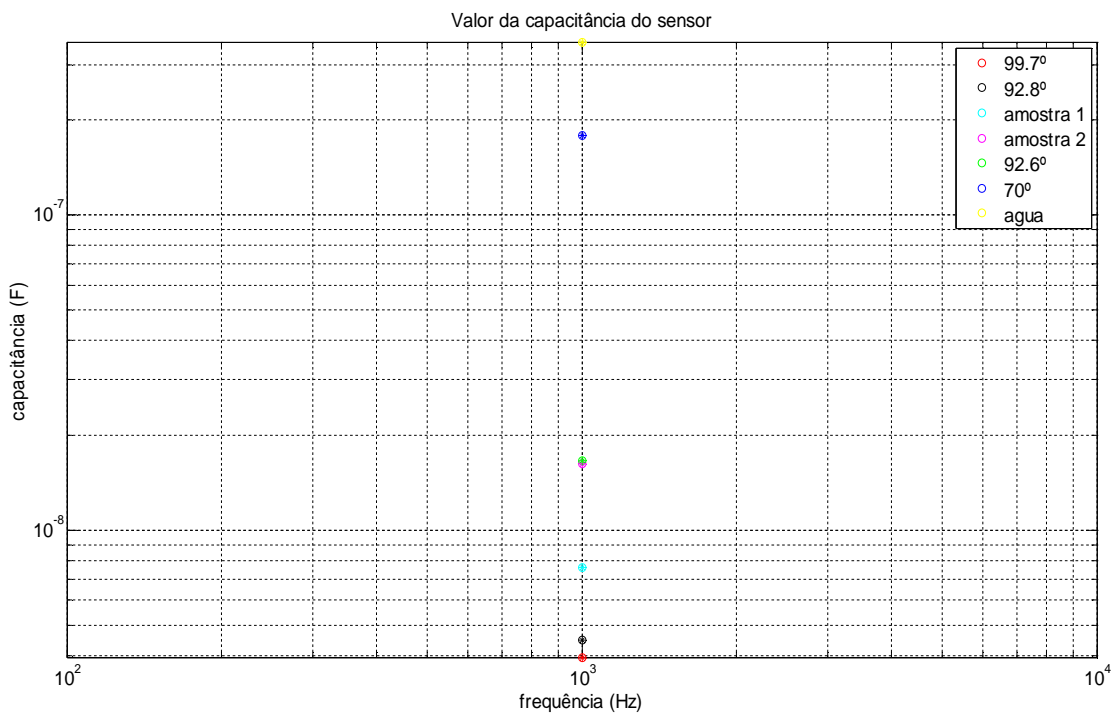


Figura 4-63-Capacitância do sensor para f=1kHz.

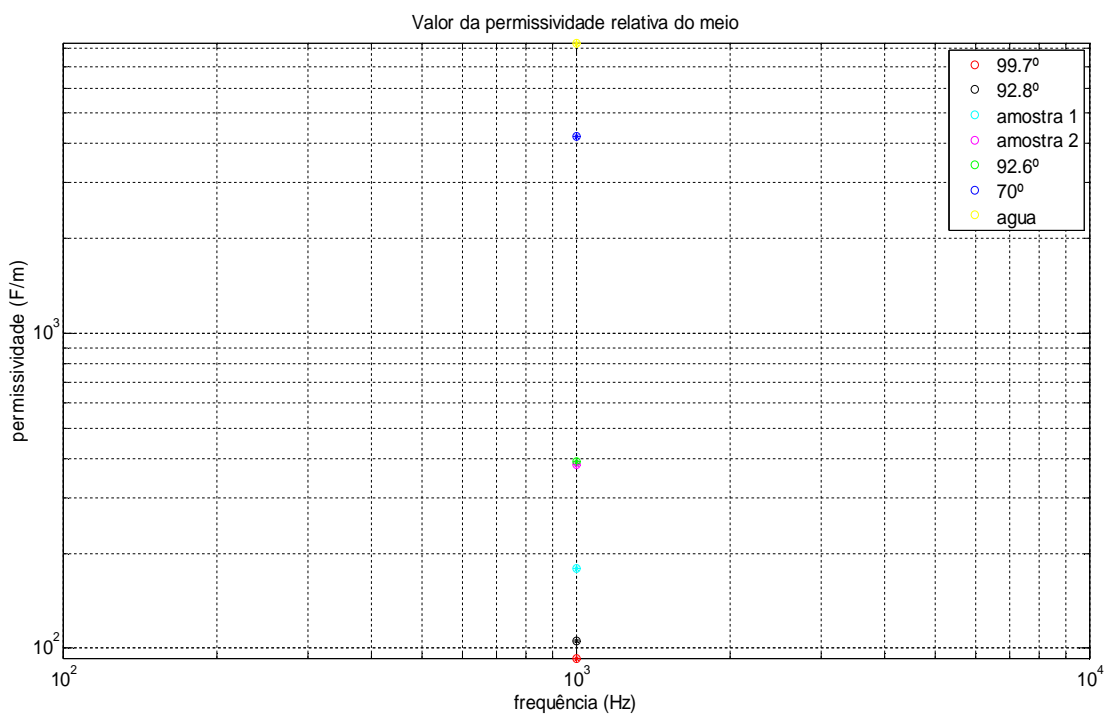
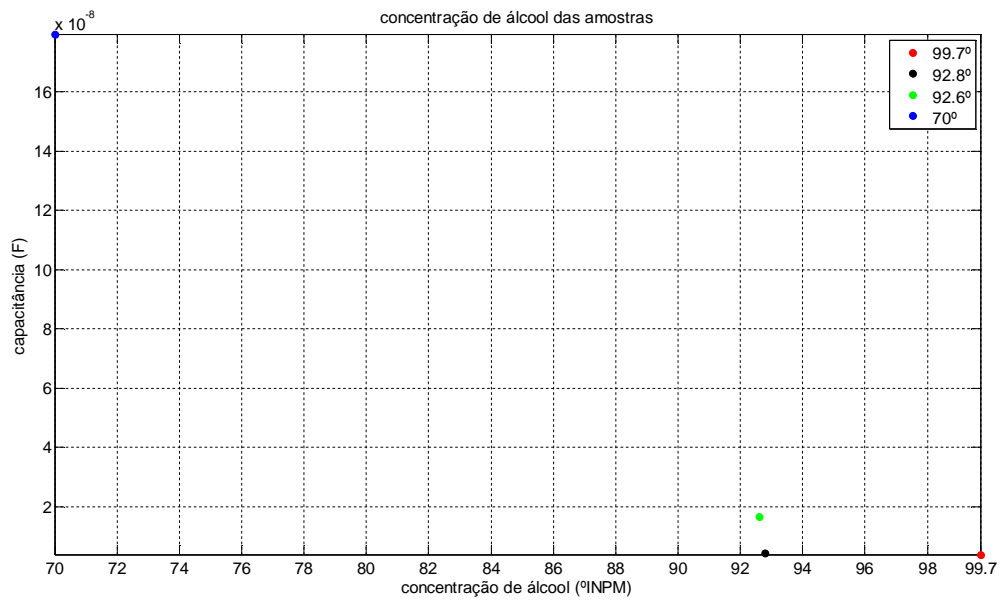


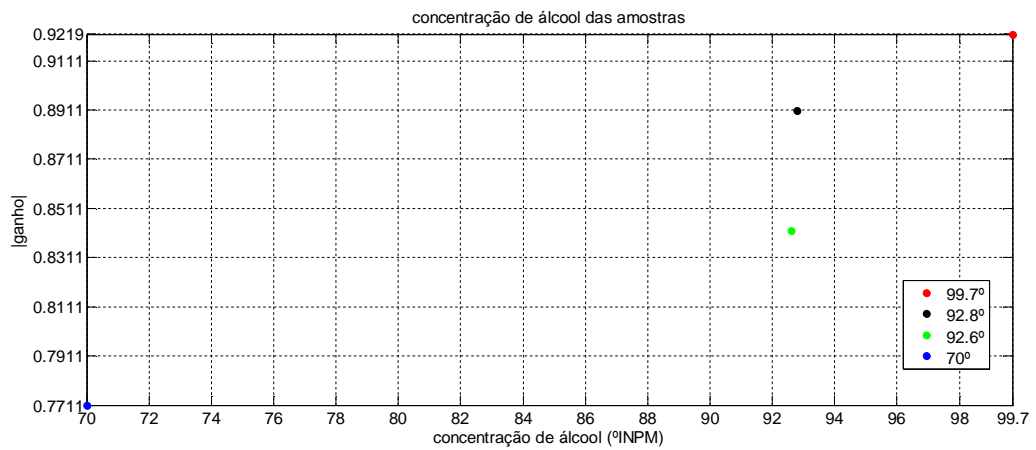
Figura 4-64-Permissividade relativa do meio para f=1kHz

Analisando a capacitância do sensor (Figura 4-63) e a permissividade (Figura 4-64) das amostras para a frequência de 1kHz, o comportamento das amostras “1” e “2” condizente com o observado na Figura 4-61). As amostras “1” e “2” apresentaram um valor de capacitância e permissividade situado entre as amostras 92.6° e 92.8°INPM.

A partir da Figura 4-65 e Figura 4-66 os resultados referentes às concentrações das amostras podem ser observados. Traçando-se uma relação entre $|\text{ganho}| \times \text{concentração}$ ou $\text{capacitância} \times \text{concentração}$, é possível determinar a concentração de amostras desconhecidas baseados nos valores encontrados em Figura 4-61 ou Figura 4-63.



4-65- Variação da concentração do álcool com a variação da capacitância



4-66- Variação da concentração do álcool com a variação do |ganho|

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

A partir de todos os dados apresentados no Capítulo IV,

O sensor se mostrou capaz de detectar a concentração de álcool nas amostras.

Quanto maior a concentração de álcool nas amostras, maior será o módulo do ganho e o valor da capacitância.

A resistência do flúido aumenta com o aumento da concentração de álcool nas amostras.

Os resultados obtidos foram condizentes com as concentrações de água indicadas pelos fabricantes.

Ensaio realizados com amostras de concentrações mais variadas e com medições utilizando-se variações de frequência menores na faixa de análise, poderiam colaborar com resultados mais precisos.

Apesar de todos os cuidados realizados durante o ensaio, a presença de equipamentos confiáveis (sensores calibrados) durante os ensaios poderia dar uma margem de segurança maior aos resultados.

Um dos fatores responsáveis para que a permissividade relativa não seja condizente com o valor real é a presença do *filme de PVC* nas placas dos sensores. O filme de PVC se comporta como um dielétrico adicional presente entre as placas e uma análise mais profunda sobre sua interferência nos resultados poderia ter sido feita.

Paralelamente a esse projeto, um projeto para desenvolvimento de um sensor indutivo de mesma finalidade [8] estava sendo realizado. Todos os ensaios foram feitos com as mesmas amostras de alcoóis e sob as mesmas condições de medição. Assim como o sensor capacitivo, esse sensor indutivo também constatou que as amostras de combustíveis adquiridas nos postos de combustível estavam dentro das concentrações de água permitidas [2]. Esse projeto pode ser utilizado como uma forma de validação para os resultados obtidos.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria uma montagem mais precisa do sensor, com mais precisão no corte das placas e do suporte. O recipiente para imersão do sensor deve ser selado durante os ensaios e possuir a menor quantidade possível de ar dentro do mesmo.

A presença de um densímetro, ou outro equipamento para averiguação da qualidade do álcool, durante os ensaios, seria um método de verificação para os resultados obtidos.

CAPÍTULO 6

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sonegação fiscal na venda do álcool combustível representa perdas de cerca de R\$ 1 bilhão por ano aos cofres públicos. Disponível em: <mms://wm-sgr-ondemand.globo.com/_aberto/sgr/1/cbn/2009/colunas/etica_091214.wma>. Acesso em 28 Fev. 2010.
- [2] ANP, PORTARIA N°2, Janeiro de 2006.
- [3] HAYT, W.H.; BUCK, J.A. Eletromagnetismo. Rio de Janeiro: LTC, 2003. ISBN 0-07-230424-3.
- [4] MUNDIUM K.C. “**Capacitores de placas paralelas**”, Eletricidade e Magnetismo, 24 Ag. 1999. Disponível em: <http://vsites.unb.br/iq/kleber/EaD/Eletromagnetismo/CapacitorPlano/CapacitorPlano.html>. Principalmente il. color. Acesso em: 28 fev. 2010.
- [5] “**Capacitores e condensadores**”, Colégio Web. Disponível em: <http://www.colegioweb.com.br/fisica/capacitores-e-condensadores>. Somente il. color. Acesso em: 28 fev. 2010.

- [6] CARMO L.C., BIAGE M., “**Calibração de sensores capacitivos para monitoramento de irrigação**”
- [7] RENDE A., BIAGE M., “**Caracterização de sensores capacitivos para medições da umidade nos solos irrigados**”, Revista da Sociedade Brasileira de Ciências Mecânicas, Rio de Janeiro, Vol.24 no.3, Julho de 2002.
- [8] SILVA T.A.O., “**Desenvolvimento de um sensor indutivo para medição de adulteração de álcool combustível**”, Março de 2010, Dissertação de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [9] ARAUJO A.L., “**Desenvolvimento de sensor de nível capacitivo para controle de processos através do clp micrologix 1500**”, Agosto de 2007, Dissertação de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.
- [10] CAVALCANTI E., “**Importância da qualidade do álcool etílico combustível**”, In: I SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA PARA PEQUENA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL, maio, 2007, Brasília.
- [11] ERTHAL A.D., CALMON J., “**Nem o álcool escapa**”, JB Online, 03 dez. 2005.
Disponível em:
<http://jbonline.terra.com.br/jb/papel/cadernos/carro/2005/12/02/jorcar20051202001.html>. Acesso em: 20 fev. 2010.

- [12] MENDONÇA L.G.D., “**Micro-sensor capacitivo para avaliação da qualidade de combustíveis automotivos**”, Agosto de 2008, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, São Paulo.
- [13] PINTO C., “**Medição de umidade no solo através de sensores capacitivos.**”, 1997, Brasil.
- [14] “**Pró-Álcool**”, Wikipédia. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Pr%C3%B3-%C3%A1lcool>. Acesso em: 20 fev. 2010.
- [15] SERENO R., “**Lições sobre a adulteração de combustíveis**”, O Informante, 13 jan. 2009. Disponível em: <http://oinformante-rafasereno.blogspot.com/2009/01/lies-sobre-adulterao-de-combustveis.html>
Acesso em: 11 fev. 2009.
- [16] REIS G.B., “**Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de concentração de soluções**”, Outubro de 2006, Dissertação de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- [17] ROQUE W., “**Desenvolvimento de um multi-sensor eletrônico para medida da umidade, temperatura e condutividade elétrica do solo**”, Julho de 2008, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- [18] SERENO R., “**Lições sobre a adulteração de combustíveis**”, O Informante, 13 jan. 2009. Disponível em: <http://oinformante-rafasereno.blogspot.com/2009/01/lies-sobre-adulterao-de-combustveis.html>
Acesso em: 11 fev. 2009.
- [19] SILVA I.O., “**Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade do solo**”, 2005, Dissertação de Mestrado em Irrigação e Drenagem – Universidade Federal do Ceará, Ceará.
- [20] SUGAWARA M.T., “**Estudo de sensores de baixo custo para estação meteorológica automática**”, Agosto de 2003, Dissertação de Mestrado em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.