

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO – FATEC-SP
CURSO DE MATERIAIS, PROCESSOS E COMPONENTES
ELETRÔNICOS

THAÍS SILVA MOREIRA LEITE

MICRO E NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ADICIONADAS DE
FTALOCIANINA DE COBRE COMO CAMADA SENSORA NA
IDENTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM MEIO GASOSO

SÃO PAULO

2015

THAÍS SILVA MOREIRA LEITE

**MICRO E NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ADICIONADAS DE
FTALOCIANINA DE COBRE COMO CAMADA SENSORA NA
IDENTIFICAÇÃO DE AMÔNIA EM MEIO GASOSO**

Trabalho de conclusão do Curso, apresentado para
obtenção do grau de TECNÓLOGO no Curso de
Tecnologia em Materiais, Processos e Componentes
Eletrônicos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo,
FATEC-SP.

Orientador. Prof.^a. Dra. Ana Neilde Rodrigues da Silva

SÃO PAULO

2015

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota. ”

Theodore Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ivone Francisca Silva Moreira Leite e Paulo Moreira Leite, por terem me dado todo o apoio, e terem investido e acreditado em mim para tudo isto ser possível.

À, minha irmã, Mariana Silva Moreira Leite pelo apoio, as palavras motivadoras, e toda ajuda.

Ao meu namorado Alexei Stuari, que sempre me incentivou e ajudou.

Agradeço a Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec-SP) e ao Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) por fornecerem a infraestrutura necessária para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a professora Dra. Ana Neilde Rodrigues da Silva, pelo apoio, cobrança e confiança para que esse trabalho pudesse ser executado.

Aos amigos Enrico Ceroblo Nadeo, Marcos Norio Watanabe e Mariana Araújo dos Santos, pelos momentos de diversão e pela ajuda na realização deste trabalho.

E aos amigos Anderson Matheus Alves, Anderson Kenji Kawaguti, Nathalia Araújo da Silva e Vanessa Cristina Pereira da Silva pelos momentos de reflexão, tensão e humor, e a todos os colegas e companheiros de classe pelas horas de estudo e descontração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

RESUMO

Cristais piezoelétricos de quartzo (PQC) quando submetidos a uma variação de pressão ou de massa, geram um campo elétrico, que pode ser coletado como frequência. Neste trabalho é apresentado seu uso como sensor de gases voláteis, em especial a amônia (NH_3).

No entanto, para que possa ser usada como elemento sensor, a superfície do PQC precisa ser modificada. A proposta deste trabalho foi, para que o PQC pudesse ser usado como sensor, eletrodepositar fibras poliméricas na sua superfície, usando o processo de deposição eletrostática (*electrospinning*), de modo que as nanofibras sejam a camada sensora e tornando assim viável o seu uso para medições de pequenas quantidades de NH_3 .

As nanofibras foram eletrodepositadas a partir de soluções poliméricas de Poliacrilonitrila (PAN) e de Fluoreto de polivinilideno (PVDF), dissolvidos em N,N - Dimetilformamida (DMF). Em ambas soluções foi incorporada Ftalocianina de Cobre (Ftalo), que possui sensibilidade ao vapor de água e de amônia, tornando assim as soluções de PAN/Ftalo e PVDF/Ftalo sensíveis a esses contaminantes.

Para comprovar que efetivamente são as fibras poliméricas adicionadas de ftalocianina de cobre que adsorvem o vapor de amônia, foram produzidas membranas de nanofibras que foram montadas em um sistema com um sensor comercial acoplado. Usando a plataforma Arduino foi possível medir a variação de tensão do sensor e demonstrar que o processo de adsorção ocorre efetivamente na superfície das fibras.

A partir dos resultados obtidos foi possível caracterizar o comportamento das nanofibras, comprovando que são sensíveis a vapor de amônia.

Palavras - Chave: Microbalança de Quartzo, *electrospinning*, PAN, PVDF, ftalocianina de cobre.

ABSTRACT

The piezoelectric quartz crystals when subjected to a variation in pressure or weight generate an electric field, which can be collected as frequency. In this work is presented the use of PQC as volatile gases sensor, in particular for ammonia (NH_3).

However so that the PQC could be used as sensor element its surface must be modified. The purpose of this study was electrospun polymeric fiber over PQC surface by electrospinning enabling it to be used as a sensor and as the nanofibers are the sensing layer make the PQC able for measure small amounts of NH_3 .

The nanofibers were electrospun from polymeric solutions of polyacrylonitrile (PAN) and polyvinylidene fluoride (PVDF) both dissolved in N, N - dimethylformamide (DMF). Copper phthalocyanine (phthalo) was incorporated in both solutions. The resulting PAN/phthalo and PVDF/phthalo fibers has sensitivity to water vapor and ammonia.

In order to verify if the polymeric fibers added with copper phthalocyanine effectively adsorbs the ammonia vapor, membranes of these nanofibers were produced and mounted in a system with a commercial ammonia sensor coupled. Using Arduino platform was possible to measure sensor voltage variation and prove that the adsorption process in fact occurs on the surface of the fibers.

From these results it was possible to characterize the behavior of nanofibers, proving that it are sensitive to ammonia vapor.

Key-words : Quartz microbalance, electrospinnig, PAN, PVDF, copper phthalocianine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fórmula estrutural do monômero que compõe a Poliacrilonitrila [16].	3
Figura 2: Fórmula estrutural do monômero que compõe o Polifluoreto de Vinilideno [19].	4
Figura 3: Fórmula estrutural do composto químico Dimetilformamida [20].	4
Figura 4: Fórmula estrutural da Ftalocianina de Cobre [23].	5
Figura 5: Etapas do Processo de Eletrofiação [29].	6
Figura 6: Diagrama esquemático do processo de <i>electrospinning</i> .	7
Figura 7: Eletrodinamic Focusing.	8
Figura 8: Microbalança de Cristal Piezoelétrico de Quartzo e seu esquema de vibração [30].	9
Figura 9: Placa Arduino UNO[36].	10
Figura 10: Diagrama de blocos [41].	11
Figura 11: Modelo de Barreira potencial na ausência de gases contaminantes. [39].	11
Figura 12: Modelo de barreira de potencial na presença de gases contaminantes.	12
Figura 13: Sensor de gás MQ 137[40][Fonte: Site Green Eletronic].	13
Figura 14: Circuito Elétrico de teste do Sensor [ANEXO I].	13
Figura 15: Máscara para feita para <i>eletrodinamic focusing</i> .	17
Figura 16: Aparato montado para a produção das nanofibras.	16
Figura 17: Nanofibras poliméricas depositadas sobre a superfície do PQC.	18
Figura 18: Set up montado para injeção do vapor de amônia sob o PQC, e verificação da variação do valor de frequência.	18
Figura 19: Anéis Metálicos utilizados. [43].	19
Figura 20: Aparato montado para o <i>Electrospinning</i> , produção das membranas.	20
Figura 21: Set up montado para a caracterização das membranas.	21
Figura 22: Diagrama do esquema elétrico montado na protoboard, e ligações com o Arduino UNO.	22

Figura 23: Fotos das fibras poliméricas de PAN PURO, ambas obtidas no Microscópio Óptico com ampliação de 500X (a), e de 1000X (b).	23
Figura 24: Fotos das fibras poliméricas com partículas de Ftalocianina de Cobre em razão de massa de 1:05 obtidas no microscópio óptico, com resolução de 100X (a), 200X (b), 500X (c) e 1000X (d).	24
Figura 25: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2mL em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PAN PURO em razão de massa de 6%.	26
Figura 26: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2mL em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PAN/Ftalo em razão de massa 1:1.	28
Figura 27: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2ml em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PVDF/Ftalo em razão de massa 1:1.	30
Figura 28: Esquemático de processo de adição dos volumes de amônia, nas membranas.....	32
Figura 29: Gráfico de Tensão (V) x Tempo (min) para adições diferentes de NH ₃ , a) sem a presença de membranas. b)com a presença de membrana de PAN PURO. c) com a presença de uma membrana de Ftalocianina de Cobre. d)com a presença de duas membranas de Ftalocianina de Cobre.	33
Figura 33: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Concentração de NH ₃ (ppm), de cada membrana, com os máximos normalizados.	34
Figura 34: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Concentração de NH ₃ (ppm) de cada membrana.	35
Figura 35: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Tempo (min), com realce de subida da 1ª adição, para medidas sem membrana, com uma membrana de Ftalo, e uma membrana de PAN PURO.....	37
Figura 36: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Tempo (min), com realce de subida da 4ª adição, para medidas sem membrana, com uma membrana de Ftalo, e uma membrana de PAN.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela I: Volume da injeção da amônia e seus respectivos números de mols e concentrações.	25
Tabela II: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para PAN PURO 6% de massa.	27
Tabela III: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para PAN/Ftalo em razão de massa 1:1.	29
Tabela IV: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para PVDF/Ftalo em razão de massa 1:1.	31

LISTA DE ABREVIACÕES

PAN - POLIACRILONITRILA

PVDF - FLUORETO DE POLIVINILIDENO

DMF –N,N - DIMETILFORMAMIDA

PQC – CRISTAL PIEZOELÉTRICO DE QUARTZO

FTALO – FTALOCIANINA DE COBRE

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	1
1.2	APRESENTAÇÃO.....	1
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	2
2.1	NANOFIBRAS.....	2
2.1.1	NANOFIBRAS POLIMÉRICAS DE PAN E PVDF	2
2.1.2	INCORPORAÇÃO DA FTALOCIANINA DE COBRE	4
2.2	ELECTROSPINNING	5
2.2.1	FOCAMENTO ELETRODINAMICO (ELETRODYNAMIC FOCUSING).....	7
2.3	MICROBALANÇA DE QUARTZO	8
2.4	ARDUINO UNO	10
2.5	SENSOR DE ESTADO SÓLIDO	11
2.5.1	SENSOR COMERCIAL DE VAPOR DE AMÔNIA PARA ARDUÍNO: MQ 137 12	
3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	15
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1.1	PROCESSO DE DEPOSIÇÃO ELETROSTÁTICA NO CRISTAL PIEZOELÉTRICO DE QUARTZO (PQC).	15
3.1.2	CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRAS	18
3.1.3	PROCESSO DE DEPOSIÇÃO ELETROSTÁTICA DAS MEMBRANAS	19
3.1.4	CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	23

4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRAS	24
4.1.1	Medida realizada na nanofibra de PAN	25
4.1.2	Medida realizada em nanofibra de PAN/Ftalo em razão de massa de 1:1 27	
4.1.3	Medida realizada em nanofibra de PVDF/Ftalo em razão de massa de 1:1 29	
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS	31
4.2.1	OBTENÇÃO DOS PONTOS MÁXIMOS PARA CADA ADIÇÃO	32
4.2.2	Medidas de quantidade de amônia que é efetivamente retida pela membrana usando sensor comercial (MQ137).....	33
4.2.3	MEDIDAS DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO A CADA ADIÇÃO	35
4.2.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS PICOS DA 1ª ADIÇÃO E DA 4ª ADIÇÃO. 37	
5	CONCLUSÕES	39
6	TRABALHOS FUTUROS	40
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	41
	APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE DO ARDUINO UNO.....	44
	APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO PROCESSING.....	46
	ANEXO I – DATASHEET MQ137.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo principal verificar a viabilidade do uso de nanofibras poliméricas adicionadas de ftalocianina de cobre como camada sensora para medir vapor de amônia.

Os objetivos secundários são a caracterização da adsorção da amônia nas nanofibras poliméricas, levando em consideração os parâmetros (tempo, concentração de amônia e as propriedades físico-químicas das soluções poliméricas precursoras das fibras).

1.2 APRESENTAÇÃO

Este trabalho consiste no estudo do desempenho das fibras poliméricas obtidas por eletrofição (electrospinning). As soluções poliméricas utilizadas para obtenção das nanofibras foram: Poliacrilonitrila (PAN), Poliacrilonitrila adicionada com ftalocianina de cobre (PAN/Ftalo) e Fluoreto de Polivinilideno (PVDF) adicionado com ftalocianina de cobre (PVDF/Ftalo), todas as soluções usaram como solvente a N,N, dimetilformamida (DMF).

As fibras obtidas foram testadas nas microbalanças de quartzo, de forma a estudar a adsorção da amônia na sua superfície. Neste trabalho foram usados cristais piezoelétricos de quartzo (PQCs) comerciais, e sobre estes as fibras foram eletrofiadas. Nos anéis metálicos, as fibras eletrofiadas formaram uma membrana e sua capacidade de adsorção que foi testada usando um sensor comercial como referência. Foi utilizado a plataforma Arduíno para a aquisição de dados e controle do sensor.

As amostras foram preparadas e analisadas no *Laboratório de Dispositivos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo* e no *Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, pelos alunos da *Faculdade de tecnologia de São Paulo* entre o segundo Semestre de 2014 e o primeiro semestre de 2015.

Essa monografia está organizada da seguinte forma, no capítulo 1 são descritos os objetivos, o embasamento teórico está descrito no capítulo 2. No capítulo 3 está o procedimento experimental, no capítulo 4 são discutidos os resultados e no capítulo 5 são apresentadas as conclusões.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 NANOFIBRAS

As nanofibras, a partir da década de 90, vêm atraindo grande interesse por suas propriedades, e são fabricadas principalmente, a partir de soluções poliméricas.

Existem muitas pesquisas sobre métodos de produção das nanofibras, sendo que o método mais simples, econômico e capaz de produzir nanofibras contínuas de diversos materiais a partir de polímeros utilizados em aplicações industriais é o processo de deposição eletrostática (*electrospinning*) [1].

A utilização da técnica vem sendo empregada há mais de 80 anos, entretanto, a técnica com melhor aprimoramento até então foi à proposta por Baumgarten pelo fato de ser utilizados diversos tipos de polímeros e também pela facilidade de obtenção de fibras em escala nanométrica [2, 3, 4].

A espessura e a morfologia das fibras obtidas por *electrospinning* a partir de soluções poliméricas dependem das propriedades físico-químicas destas soluções, como viscosidade, concentração das soluções, tensão superficial, a vazão da solução e distância entre a ponta da agulha e o coletor [5].

Considerando a escala nanométrica em que estas fibras são concebidas, essas apresentam propriedades especiais que as tornam muito atraentes para numerosas aplicações, tais como: elevada área específica superficial (área / unidade de massa), e alta relação de aspecto (comprimento / diâmetro). Estas propriedades levam à aplicação potencial das nanofibras em campos tão diversos como filtros de alta performance; materiais fibrosos ultra absorventes; compósitos reforçados por fibras; produtos biomédicos para curativos, enxertos in vivo para implantes e materiais para liberação controlada de fármacos; dispositivos nano e microeletrônicos; blindagem eletromagnética; dispositivos fotovoltaicos e eletrodos de alta performance; e também como foco do nosso trabalho, uma gama de sensores baseados em nanofibras [3,5,6].

2.1.1 NANOFIBRAS POLIMÉRICAS DE PAN E PVDF

Para a formação de uma solução polimérica é necessária à presença de um polímero e um solvente [5]. Neste trabalho utilizamos os polímeros PAN (Poliacrilonitrila) e PVDF

(Fluoreto de Polivinilideno), ambos dissolvidos no solvente DMF (N,N – Dimetilformamida).

A Poliacrilonitrila (Figura 1) é um polímero sintético, bastante utilizado na produção de fibras nanométricas por meio da deposição eletrostática (*electrospinning*). O interesse no estudo de fibras de PAN está no fato de que estas fibras quando submetidas a tratamento térmico adequado e em ambiente controlado, são transformadas em fibras de carbono. Vários estudos comprovam a obtenção de fibras de carbono a partir de PAN [7, 8]

A partir deste processo, para que as fibras de PAN sejam bem formadas, há uma dependência da viscosidade, da concentração e da tensão superficial da solução, do potencial elétrico aplicado e da distância entre a agulha e o coletor [1,7,9,10].

Levando em consideração estas condições, partículas de diferentes materiais podem ser adicionadas na solução de PAN e posteriormente incorporadas nas fibras poliméricas. [11]

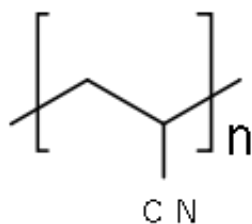


Figura 1: Fórmula estrutural do monômero que compõe a Poliacrilonitrila [12]. Fonte: Site Sigma Aldrich.

O Polifluoreto de vinilideno foi pela primeira vez sintetizada na década de 40, é formado pelo monômero mostrado na Figura 2. É um polímero de grande importância científica e tecnológica pela facilidade de processamento na formação de filmes altamente flexíveis, com excelentes propriedades mecânicas, térmicas e ópticas, além de apresentar excelente resistência a produtos químicos [13,14].

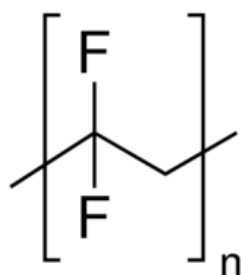


Figura 2: Fórmula estrutural do monômero que compõe o Polifluoreto de Vinilideno [15].

Para obtenção de nanofibras poliméricas, dissolvemos quantidades previamente calculadas de PAN ou PVDF em DMF (N,N – Dimetilformamida), que é um composto orgânico, que serve como solvente para reações químicas. A formula estrutural do DMF é mostrada na figura 3.

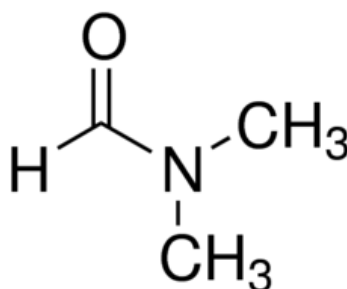


Figura 3: Fórmula estrutural do composto químico Dimetilformamida [16]

A N,N Dimetilformamida é um líquido aquoso, incolor, inflamável, possui um baixo ponto de ebulição (153°C) e é miscível em água e em diversos tipos de líquidos orgânicos. Dimetilformamida pura é inodora, enquanto que o grau técnico ou a dimetilformamida quando degradada tem, geralmente, um cheiro de peixe devido a impurezas de dimetilamina. Seu nome é originário do fato de ser um derivado da formamida ou a amida do ácido [7].

2.1.2 INCORPORAÇÃO DA FTALOCIANINA DE COBRE

As ftalocianinas despertam grande interesse na área tecnológica pela sua capacidade de adsorção com compostos orgânicos voláteis. [17] Segundo Heleno: “Por serem facilmente cristalizadas e sublimadas, resultam em um material de alta pureza”. [18]

As principais características da ftalocianina são em relação às suas cadeias carbônicas que geram na molécula uma estabilidade térmica e química favorecendo sua aplicação em dispositivos sensores, que é o foco desse trabalho. Na figura 4 é mostrada a fórmula estrutural da ftalocianina de cobre.

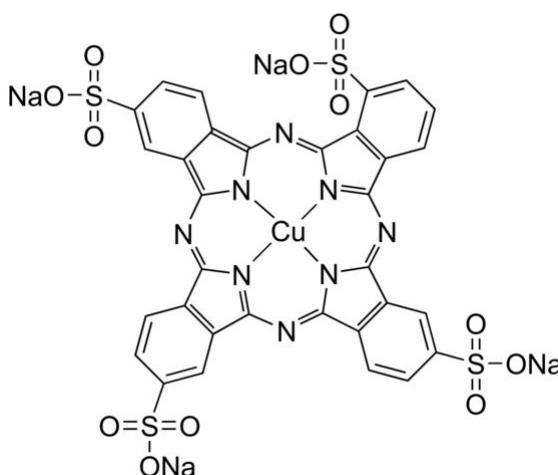


Figura 4: Fórmula estrutural da Ftalocianina de Cobre [19]. Fonte: Site Sigma Aldrich

Alguns estudos foram realizados sobre a utilização de ftalocianina em sensores de gases voláteis como a amônia, e foi constatado que as ftalocianinas metálicas, como a de cobre (PcCu), possuem baixa quantidade de elétrons, ou seja, são portadoras de lacunas [20] e possuem alta sensibilidade na presença de moléculas doadora de elétrons como o NH₃. [21]

Outra maneira de se testar as qualidades sensoras da ftalocianina de cobre é por meio de sua incorporação a soluções poliméricas uma vez que a maioria dos estudos com ftalocianinas restringe-se ao uso de filmes finos. Sendo assim, o uso de fibras poliméricas adicionadas de ftalocianina constitui-se em um novo desafio na produção de sensores de amônia. [16]

2.2 ELECTROSPINNING

O processo de Deposição Eletrostática ou eletrofiação (Electrospinning) tem sido bastante utilizado a fim de produzir fibras que podem ser usadas em filtros, membranas, aplicações ópticas e eletrônicas, entre outros.

Este processo ocorre quando as forças elétricas na superfície de uma solução de polímero supera a tensão superficial e causa um jato eletricamente carregado, pronto para ser ejetado. [22]

Nesta técnica a alta tensão é aplicada na solução polimérica, de modo a induzir cargas no interior do fluido. É comumente utilizada uma seringa para acoplar a solução polimérica, e a agulha é tida como um tubo capilar e é por onde o fluido sai formando uma gota, essa submetida ao campo elétrico induzindo cargas na mesma. Com o aumento do campo elétrico, a gota adquire uma forma cônica, conhecida como cone de Taylor [23]. A figura 5 mostra as diferentes regiões que se formam na ponta da agulha, quando o processo de electrospinning está ocorrendo.

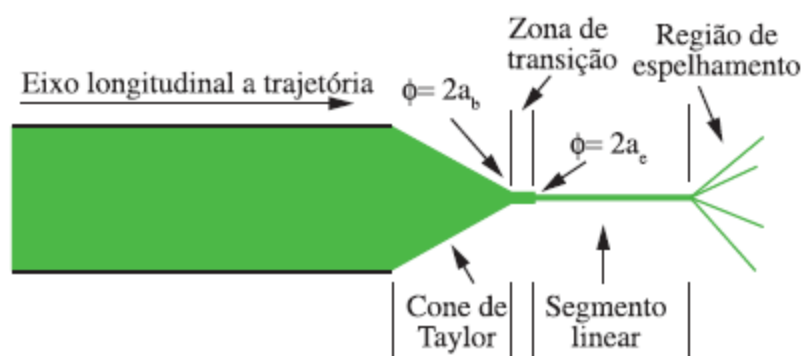


Figura 5: Etapas do Processo de Eletrofiação [23]

O solvente da solução usado no *electrospinning* evapora quando o jato viaja no ar, deixando fibras poliméricas carregadas que são coletadas aleatoriamente sobre um eletrodo metálico aterrado (ex: PQC).

Aumentando gradativamente o campo elétrico, as forças repulsivas das cargas ultrapassam o valor da tensão superficial da solução polimérica, liberando assim um jato carregado da ponta do cone de Taylor em direção ao coletor, região onde o potencial elétrico é menor. Na figura 6 é mostrado um desenho esquemático do aparato de deposição eletrostática.

Existem muitos parâmetros operacionais do processo de electrospinning que influenciam na morfologia das fibras, podendo resultar em fibras lisas até fibras com poros em sua superfície. Dentre estes parâmetros destacam-se algumas propriedades da solução

polimérica, como viscosidade, tensão superficial e condutividade elétrica, e parâmetros do processamento, como a voltagem aplicada, condições ambientais e distância entre o coletor e a agulha [24].

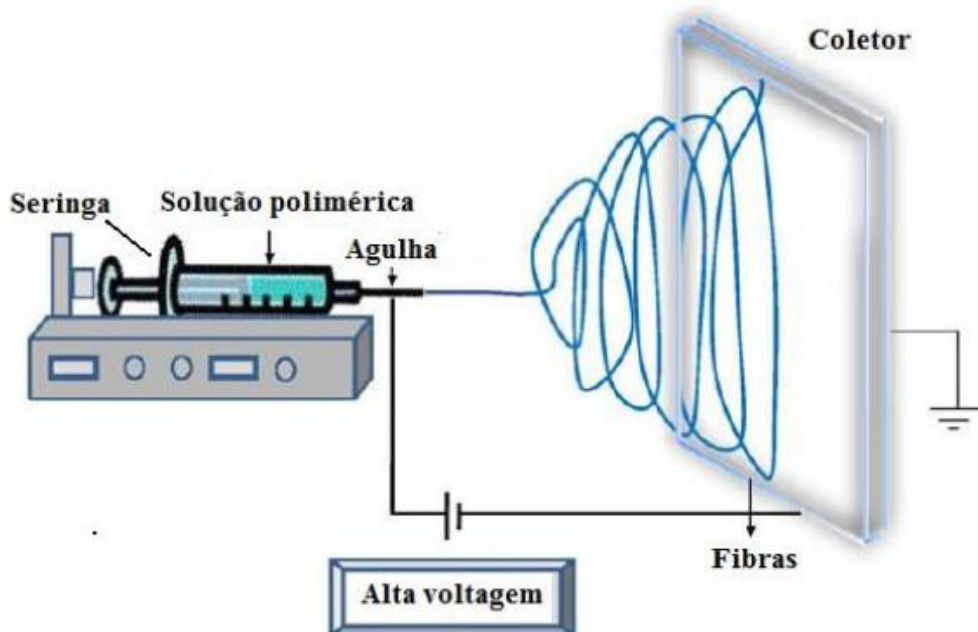


Figura 6: Diagrama esquemático do processo de *electrospinning* [adaptado de Engel, A.B.].

Devido à relativa simplicidade do processo e ao grande potencial em diversas áreas de aplicação, a eletrofiação ainda é objeto de muitos estudos. No entanto este modelo auxilia no controle e otimização das diversas variáveis envolvidas na produção de nanofibras.

2.2.1 FOCAMENTO ELETRODINAMICO (ELETRODYNAMIC FOCUSING)

O processo de *electrospinning* vem ganhando bastante atenção na área de pesquisas, devido a simplicidade e versatilidade do processo. Porém existem alguns desafios relacionados ao *electrospinning*, tais como: produzir nanofibras com características geométricas únicas (por exemplo: com diâmetro uniforme), e controlar a deposição das nanofibras no substrato. [25,26]

Com isso foi criada uma abordagem na qual pudesse fazer a deposição das nanofibras de forma seletiva, ou seja, com controle e uniformidade, esse o processo de *Eletrodynamic*

Focusing.

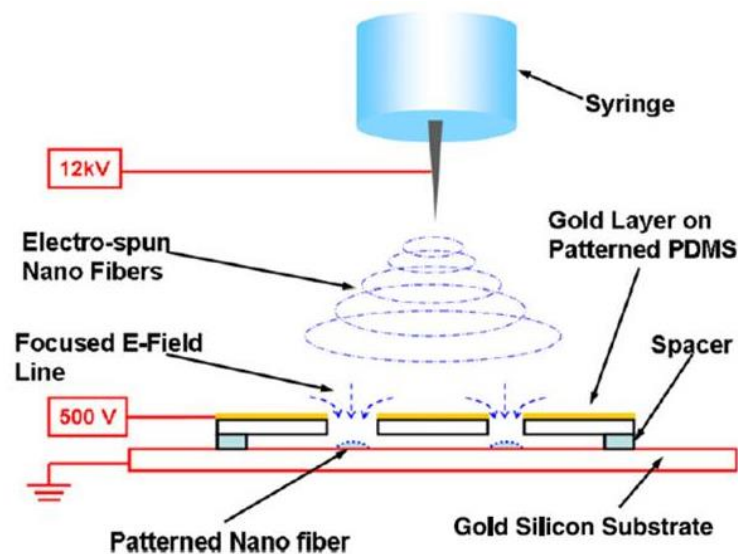


Figura 7: Eletrodinamic Focusing [27]

Eletrodinamic Focusing, utiliza da eletrofiação, porém para coletar as fibras de uma forma alinhada, é necessário o focamento do campo, que irá concentrar as linhas de campo no substrato, e irá formar fibras alinhadas. [27]. Esse processo necessita de uma padronização no coletor, e a aplicação de um potencial para direcionar as linhas de campo.

A técnica apresentada é simples e pode ser utilizada para produzir deposição de nanofibras na escala litográfica, usando uma ampla gama de materiais.

2.3 MICROBALANÇA DE QUARTZO

Elementos piezoelétricos, são cristais que acumulam cargas elétricas (corrente elétrica) quando sofrem alguma alteração, e são capazes de fornecer sinais - a partir dessas alterações - com grandes valores de frequência (MHz) [28], sendo assim utilizados como sensores de pressão e também como sensores químicos para detecção de vapores de compostos orgânicos voláteis. [16]

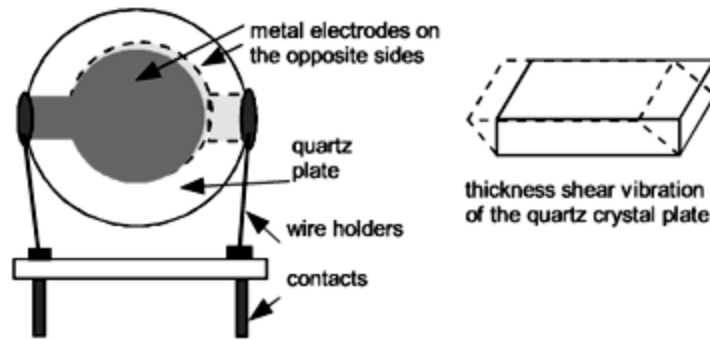


Figura 8: Microbalança de Cristal Piezoelétrico de Quartzo e seu esquema de vibração [29].

Sua principal característica é que em sua frequência natural de ressonância é muito sensível à mudança de pressão, podendo ser detectada com alta precisão a partir da alternância dessa frequência ressonante (F_o) [29]. Essa alternância também ocorre quando há presença de massa sobre a superfície do cristal piezoelétrico, e é possível calcular a relação entre a variação de massa e a variação de frequência através da Equação de Sauerbrey's [30]:

$$\Delta F = -2,26 \times 10^{-6} \cdot F_o^2 \cdot \frac{\Delta m}{A} \quad (1)$$

Onde:

ΔF é a variação de frequência (Hz)

F_o é a frequência inicial de ressonância do PQC

Δm é a variação de massa na superfície do cristal (g)

A é a área da face do cristal onde é feita a deposição (cm^2)

O desempenho do sensor (PQC) em relação à sensibilidade, seletividade e o tempo de resposta, são influenciados pelas propriedades do filme/fibra que são depositados. Pode ser notado então que o PQC possui uma sensibilidade, essa que varia a frequência de ressonância, quando uma substância é adsorvida em sua superfície. Mas somente o PQC não é capaz de diferenciar um material em um sistema complexo, sendo necessária então a incorporação de soluções poliméricas [31].

2.4 ARDUINO UNO

O Arduino é uma plataforma para prototipagem eletrônica, de computação física, baseada em uma simples placa de Entrada / Saída microcontrolada e desenvolvida sobre uma biblioteca que simplifica a escrita da programação. [32]. A figura 9 mostra a imagem da placa do Arduino UNO.

É baseado em um microcontrolador ATmega, e dessa forma é logicamente programável, ou seja, é possível a criação de programas (*Sketchs*), utilizando uma linguagem própria baseada em C/C ++, que quando implementados fazem com que o *hardware* execute certas ações. [32]

O Arduino é capaz de interpretar variáveis no ambiente e transformá-las em sinal elétrico correspondente, através de sensores ligados aos seus terminais de entrada, e atuar no controle ou acionamento de algum outro elemento eletroeletrônico conectado ao terminal de saída. [33]



Figura 9: Placa Arduino UNO[34]

Para melhor entendimento, na figura é possível identificar os elementos do circuito, através de um diagrama de blocos.

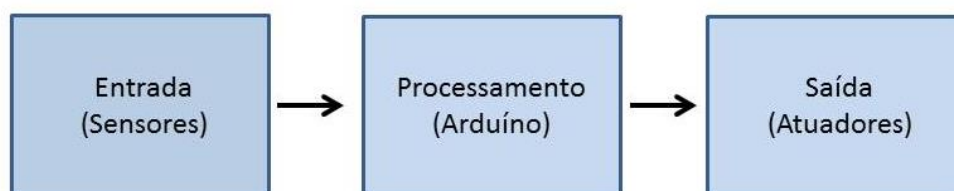


Figura 10: Diagrama de blocos [32] [adaptado de BISCONSIN, A. da SILVA]

O grande diferencial desta ferramenta é que ela é desenvolvida e aperfeiçoada por uma comunidade que divulga os seus projetos e códigos fonte de aplicações, pois a concepção dela é *open source* (código fonte aberto). Ele foi projetado com a finalidade de ser de fácil entendimento, programação e aplicação. [33]

2.5 SENSOR DE ESTADO SÓLIDO

O princípio de funcionamento destes sensores se baseia em que na presença de gases contaminantes, a condutividade apresentada por um óxido metálico varia, em condições específicas de temperatura.

Tipicamente se emprega nos sensores o SnO_2 , (óxido de estanho) que quando aquecido a uma temperatura específica absorve gases na superfície cristalina do óxido metálico, resultando em geração de cargas positivas, como mostrada na figura 11. [35]

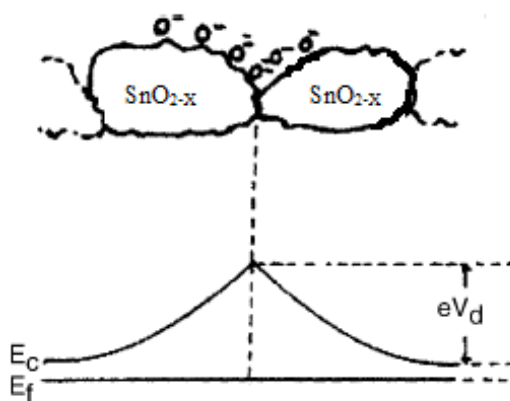


Figura 11: Modelo de Barreira potencial na ausência de gases contaminantes. [36]

Com a presença de gases contaminantes, que acabam interagindo com o oxigênio, ocorre a redução da barreira de potencial no sensor, diminuindo assim sua resistência, conforme é apresentado na Figura 12.

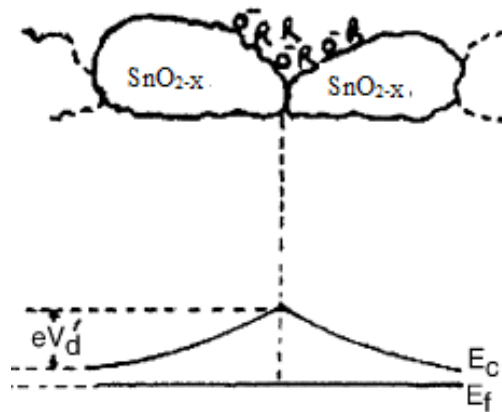


Figura 12: Modelo de barreira de potencial na presença de gases contaminantes. [36]

A partir desse modelo, é estabelecido o comportamento padrão matemático do sensor, com a seguinte equação [38]:

$$R_s = A \cdot [C]^{(-\alpha)}$$

Onde:

R_s = Resistência elétrica do sensor;

A = Constante;

C = Concentração de gás contaminante

α = fator de comportamento da curva R_s fornecido pelo fabricante para cada sensor específico. [ANEXO I]

2.5.1 SENSOR COMERCIAL DE VAPOR DE AMÔNIA PARA ARDUÍNO: MQ 137

O MQ 137 é um sensor de gás que apresenta grande sensibilidade à amônia, e também a outros orgânicos, que apresentam amina em sua composição. O sensor é usualmente utilizado para detectar diferentes gases que contenham amônia (NH_3). Por ser um sensor de baixo custo, tem diferentes aplicações para uso doméstico ou industrial, e também para uso como um detector de gás portátil.



Figura 13: Sensor de gás MQ 137[37]

O princípio de funcionamento do MQ 137, baseia-se no material sensível presente que é o SnO_2 , que possui uma condutividade baixa em um ambiente limpo. E quando há a presença de gases contaminantes, a condutividade do sensor muda, ou seja, ela vai aumentando conforme a concentração do gás também aumenta.

Para receber a resposta do sinal de saída como tensão, no caso o NH_3 , é necessário que se faça um circuito elétrico simples [Figura 14], que irá converter a mudança da condutividade em tensão.

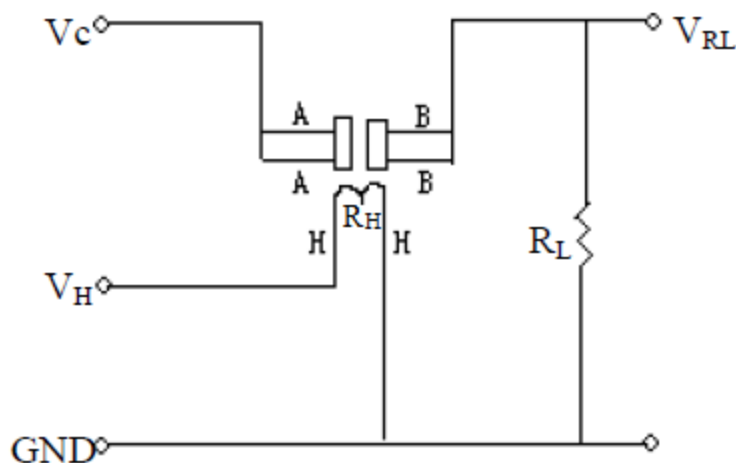


Figura 14: Circuito Elétrico de teste do Sensor [ANEXO I][Fonte: MQ137 Semiconductor Sensor for Ammonia]

Conforme o circuito ilustrado a cima, temos que:

V_C = Tensão de Teste ou Tensão de Loop

V_H = Tensão de Aquecimento do Sensor

R_L = Resistência de Carga

R_H = Resistência Interna de Aquecimento

O desempenho do sensor depende desse circuito, pois a Tensão de Aquecimento (V_H) é usada para atestar o funcionamento do sensor, e se seu valor não for equivalente ao que é fornecido no datasheet [ANEXO I], a resistência não irá esquentar e, portanto, o sensor também não. Ao mesmo tempo V_c , que está ligada em série com o sensor, detecta a queda de tensão na resistência de carga, que é ajustável, pois seu valor varia a sensibilidade do sensor que será determinado pelo usuário. Assim é necessário certificar os valores de tensão e resistência, a fim de assegurar o funcionamento adequado do sensor.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho produzimos fibras por eletrofiação (*electrospinning*) a partir de duas soluções poliméricas: Poliacrilonitrila (PAN) dissolvida em dimetilformamida (DMF) e de Fluoreto de Polivinilideno (PVDF) também dissolvido em DMF. Todos os reagentes são da Sigma Aldrich e foram empregados como recebidos. Em ambas soluções foi adicionada Ftalcianina de Cobre (Sigma Aldrich) em uma proporção de PAN/Ftalo e PVDF/Ftalo de 1:1 em massa.

As fibras foram depositadas por eletrofiação sobre o centro do Cristal Piezoelétrico (PQC), com auxílio de um aparato de focamento eletrodinâmico, adaptado da literatura [38]. Os aparatos de eletrofiação e focamento eletrodinâmico foram montados no próprio laboratório.

Assim os PQC com fibras de PAN/DMF e PVDF/DMF, adicionados de Ftalcianina de Cobre, foram usados para verificação da interação do vapor de Amônia, através da variação da frequência do PQC.

As membranas foram produzidas a partir da solução de PAN/DMF e PAN/Ftalo sobre um anel metálico. Não foi possível produzir membranas com a solução de PVDF pois as fibras resultantes não são longas o suficiente para cobrir o anel.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 PROCESSO DE DEPOSIÇÃO ELETROSTÁTICA NO CRISTAL PIEZOELÉTRICO DE QUARTZO (PQC).

Para o procedimento de eletrofiação (*electrospinning*) sobre o PQC, foi removido o encapsulamento, de forma a deixar o cristal oscilador exposto.

Na figura 15 é mostrado o arranjo completo para o processo de eletrofiação. Durante o processo o PQC é aterrado e uma tensão de 15 kV (fonte de alta tensão Gama High Inc 0 – 30kV), é aplicada na agulha hipodérmica conectada a seringa que contém a solução polimérica. A distância entre a agulha e o PQC é de aproximadamente 15cm. Os terra das duas fontes são conectados no PQC.

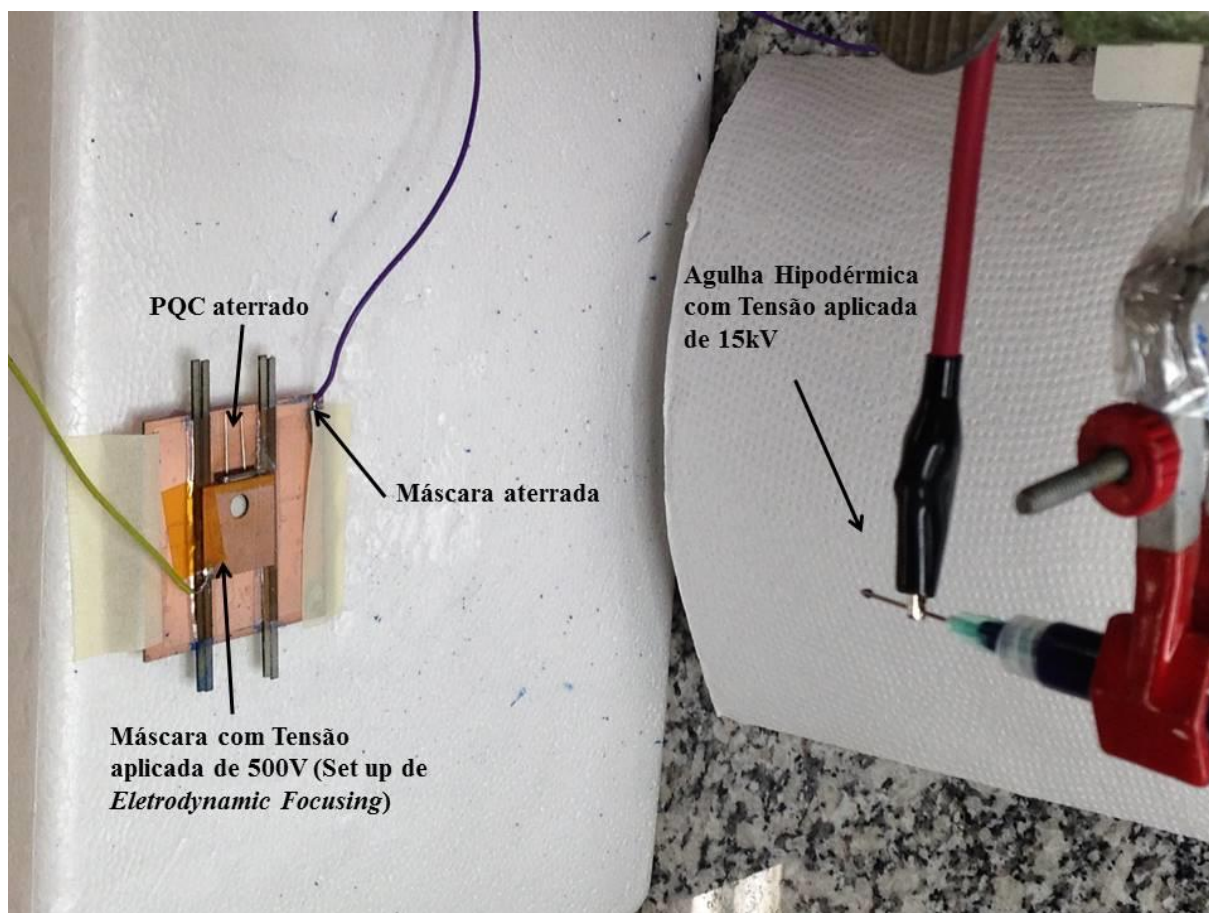


Figura 15: Aparato montado para a produção das nanofibras.

Para garantir que as fibras fossem depositadas somente sobre os contatos do PQC, usamos o processo de *eletrodinamic focusing* (focamento eletrodinâmico). O processo de focamento eletrodinâmico usado nesse trabalho é baseado no trabalho de Salim [40]. O aparato usado consiste em uma máscara metálica, feita com laminado cobreado, tipo FR4, próprio para produzir placas de circuitos impressos (PCI). A abertura na máscara foi feita usando um equipamento de corte a laser (LPKF ProtoLaser U3, laser de 355 nm, dimensão do spot 15 microns), normalmente usados em prototipagem de PCI. A abertura tem 4,2 mm e é ligeiramente maior que o diâmetro do eletrodo do PQC.

Esse procedimento é necessário porque no processo de focamento eletrodinâmico a “mancha de fibras” resulta menor que o diâmetro da abertura na máscara devido ao efeito das linhas de campo. Aplicamos uma tensão de 500V na máscara usando uma fonte de alta tensão (Stanford Research System Inc, 0 - 1.2 kV) de forma a direcionar as linhas de campo e com elas as fibras para o centro da abertura da máscara. Com esse aparato foi possível depositar as

fibras diretamente sobre a região que interessa no PQC. Na figura 16 é mostrado o arranjo usado no processo de focamento eletrodinâmico.

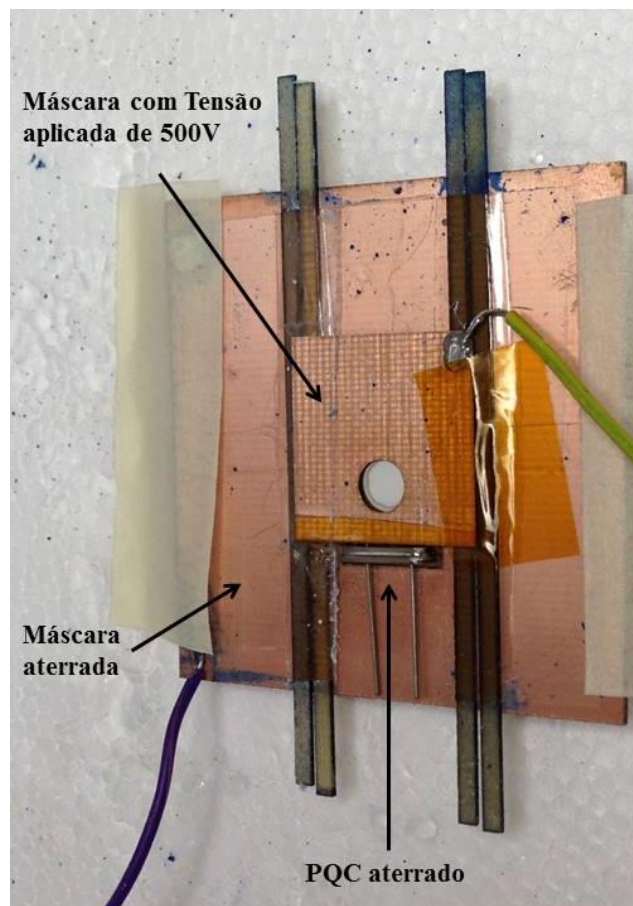


Figura 16: Máscara para feita para *eletrodinamic focusing*.

Desse modo conseguimos obter as nanofibras na superfície do PQC de maneira mais controlada, e com uniformidade adequada, como mostrado na figura 17.

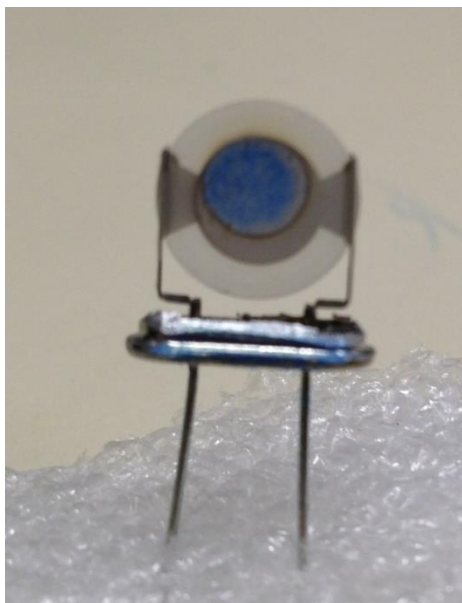


Figura 17: Nanofibras poliméricas depositadas sobre a superfície do PQC.

3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRAS

Para a caracterização das nanofibras eletrodepositadas sobre o PQC, utilizamos um setup que foi montado por colegas do grupo [39].

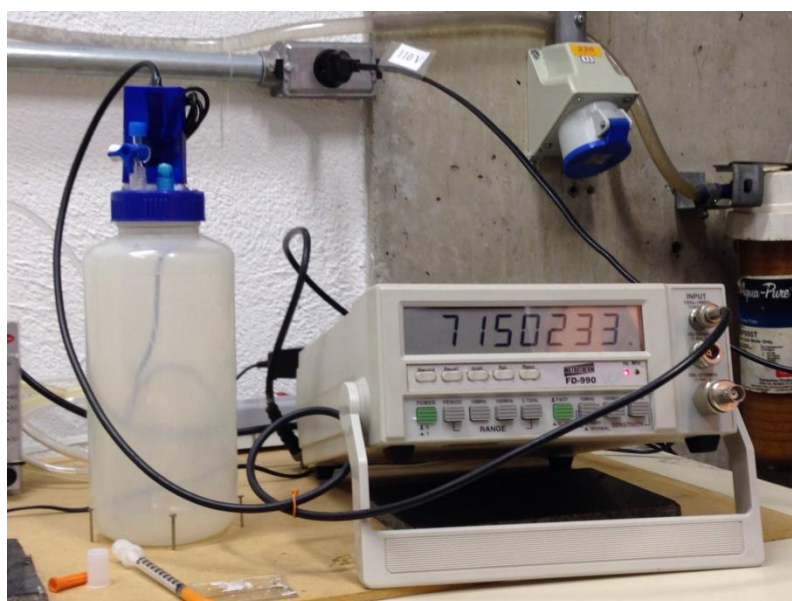


Figura 18: Set up montado para injeção do vapor de amônia sob o PQC, e verificação da variação do valor de frequência.

Medimos a variação da frequência em um frequencímetro (Instrutherm FD-990), que esta integrado a um software no computador (Lutron 801).

Assim a partir da frequência medida obtemos a relação de massa/frequência através da equação de Sauerbrey's [35]:

$$\Delta F = -2,26 \times 10^{-6} \cdot F_o^2 \cdot \frac{\Delta m}{A} \quad (1)$$

3.1.3 PROCESSO DE DEPOSIÇÃO ELETROSTÁTICA DAS MEMBRANAS

Para a produção das membranas, foram utilizados anéis metálicos (arruelas representadas na figura 19), que foram polidos para melhorar a aderência das fibras sobre a superfície do anel, visto que o óxido que se forma na superfície causa interferência no campo elétrico desviando assim as linhas de campo para outra região.



Figura 19: Anéis Metálicos utilizados. [40]

Na produção das membranas de nanofibras, foi utilizado o processo de eletrofiação (*electrospinning*). No processo os anéis metálicos são colocados sobre a placa aterrada, a uma distância de aproximadamente 15 cm, da seringa que contém a solução polimérica. Foi aplicado um potencial de 15 kV na agulha (Fonte de Alta Tensão Gama High Inc. 0 – 30 kV). A seringa deve estar bem alinhada com o aparato de aterramento, garantindo assim a eletrodeposição em toda a superfície do anel. A figura 20 mostra o arranjo utilizado, após o processo de eletrofiação onde se ve os anéis metálicos e as membranas de fibras adicionadas com ftalocianina de cobre.

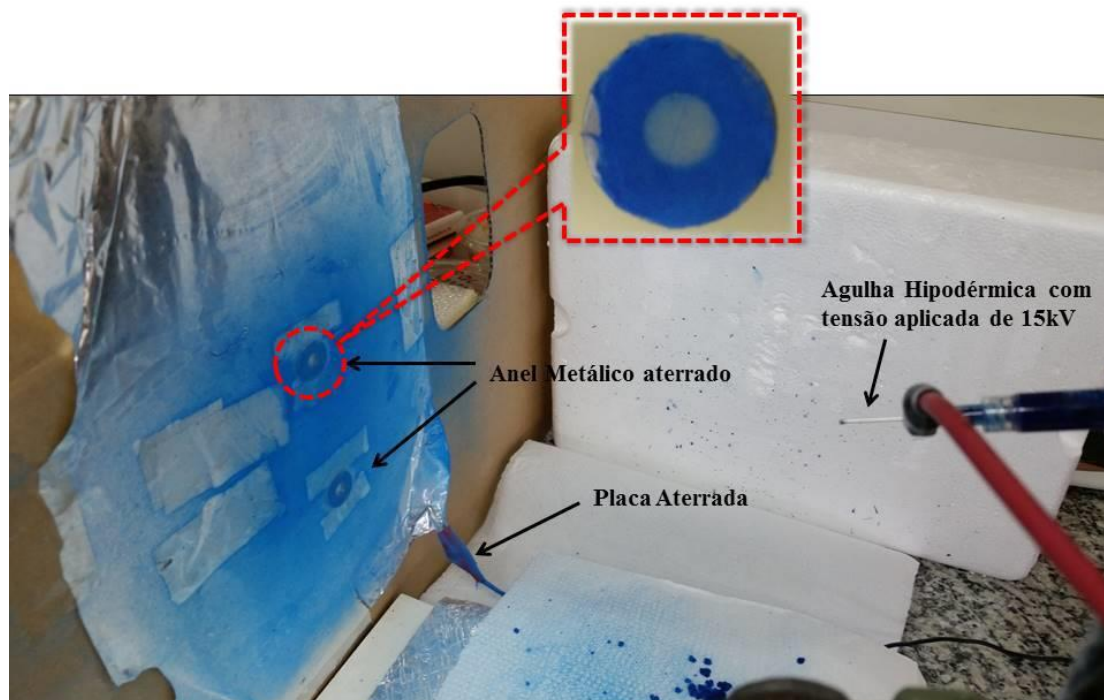


Figura 20: Aparato montado para o *Electrospinning*, produção das membranas.

Os polímeros utilizados para obter as nanofibras foram a Poliacrilonitrila (PAN), na concentração de 6% em peso, dissolvido em dimetilformamida (DMF), e também foram produzidas nanofibras de PAN adicionadas de Ftalocianina de Cobre (Ftalo), em uma razão de massa de 1:0,5.

3.1.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS

A caracterização das membranas foi feita em um setup montado no laboratório, com um circuito feito na protoboard, de onde partem as conexões para interface do sensor MQ-137, com o arduíno, o computador, e fonte de Alimentação.

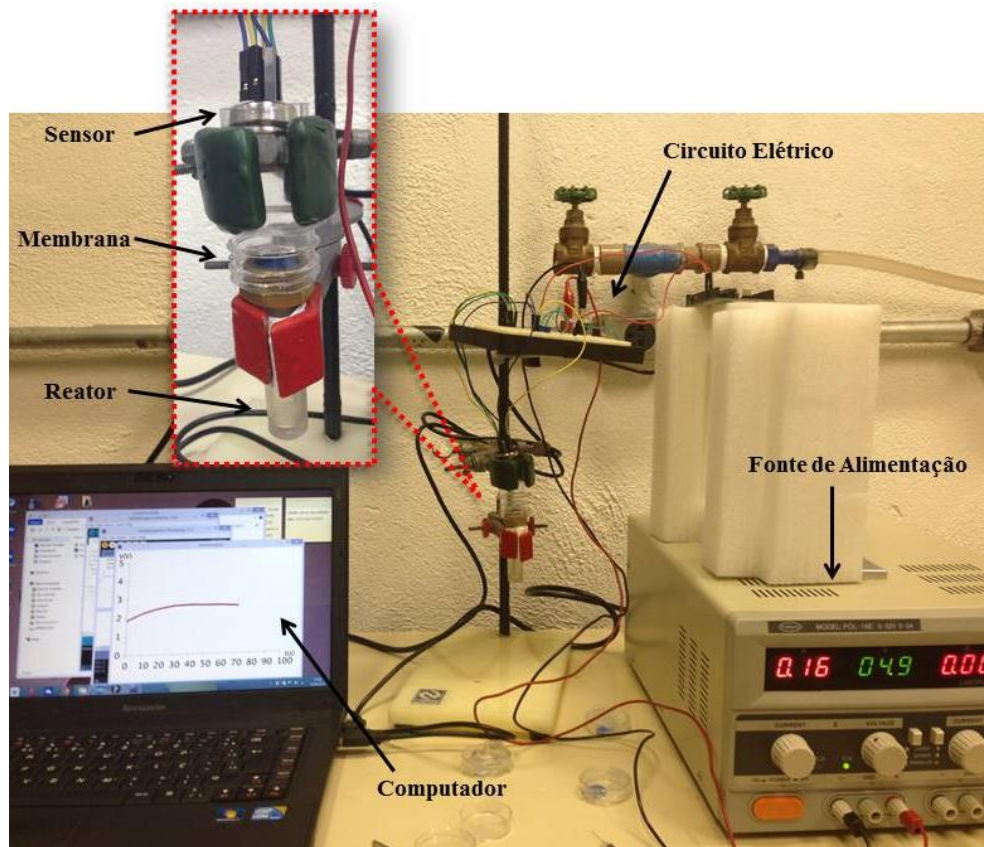


Figura 21: Set up montado para a caracterização das membranas.

Conforme foi visto, para o funcionamento adequado do sensor, é necessário um circuito. O diagrama a seguir mostra as ligações do circuito na protoboard e ao Arduino UNO, desse projeto:

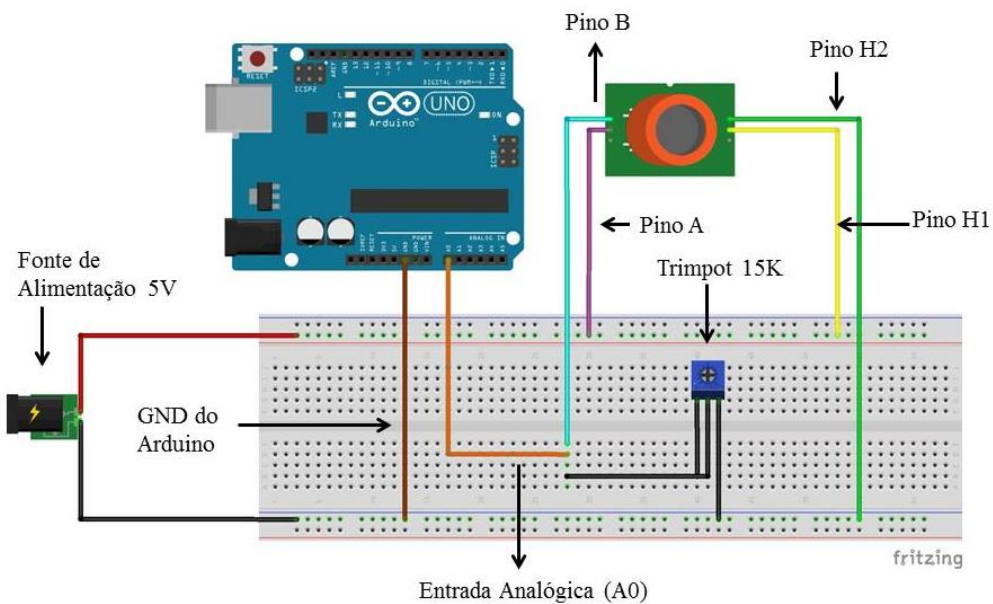


Figura 22: Diagrama do esquema elétrico montado na protoboard, e ligações com o Arduino UNO.

A Fonte usada fornece uma tensão de 5V DC, suficiente para alimentar o circuito. Realizamos assim as ligações dos pinos do sensor, dois dos pinos (A) foram ligados diretamente ao potencial positivo, sendo alimentados diretamente por 5V. Esses pinos são os responsáveis pela queda de tensão na carga usada, que no caso foi um Trimpot com uma resistência adotada de $15k\Omega$, ligado em série com os outros dois pinos (B). Em seguida foram feitas as ligações dos pinos centrais (H1 e H2), sendo um conectado ao potencial positivo (5V), e outro conectado ao terra do circuito. Esses pinos são os responsáveis pelo aquecimento da resistência do sensor, e é a partir do aquecimento dela que o sensor passa a funcionar.

Para obtermos a resposta do sensor, foi necessário realizar uma ligação direta do circuito para o Arduino. A ligação foi feita em série entre os pinos (B) do sensor e do Trimpot, e a porta Analógica 0 (A0) do Arduino. Além de que o Arduino, precisava de uma ligação com o terra do circuito, já que estava sendo alimentado pelo computador.

Obtendo os dados do sensor no computador através da plataforma do Arduino, convertemos esses sinais recebidos no mesmo, através do *software* Processing [41], que coletou resposta de tensão em função do tempo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do Microscópio Óptico, Carl Zeiss, conseguimos observar as fibras de PAN PURO, e PAN adicionadas de Ftalo. Na Figura 23, podemos observar as fibras de PAN, sem partículas de Ftalo. As fibras são longas e com poucas variações no seu diâmetro.

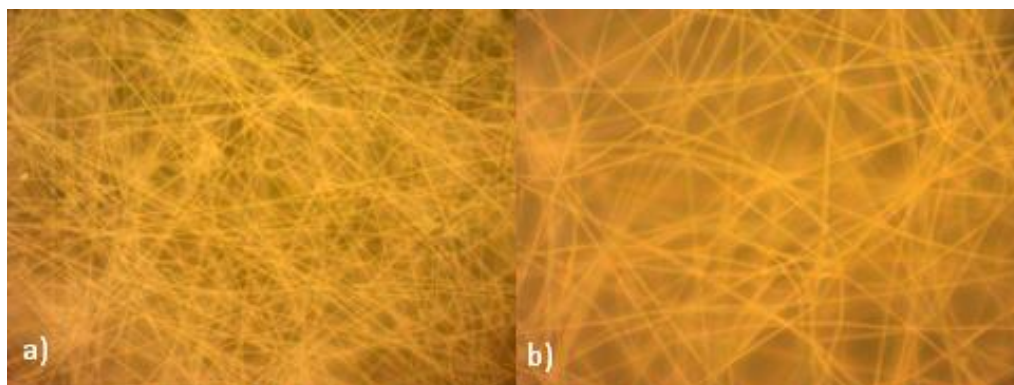


Figura 23: Fotos das fibras poliméricas de PAN PURO, ambas obtidas no Microscópio Óptico com ampliação de 500X (a), e de 1000X (b).

A Figura 24, apresenta fibras de PAN adicionadas de Ftalo, e é possível observar a incorporação das partículas nas fibras, conforme mostrado nas figuras com as ampliações de 100, 200, 500 e 1000X.

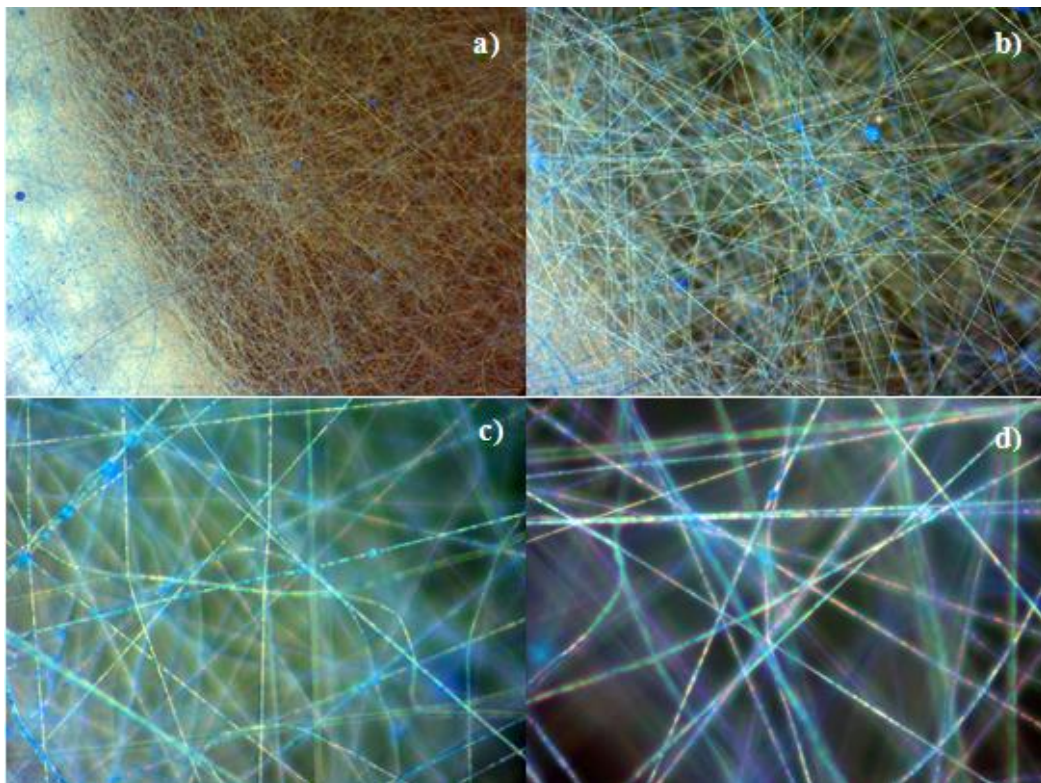


Figura 24: Fotos das fibras poliméricas com partículas de Ftalocianina de Cobre em razão de massa de 1:05 obtidas no microscópio óptico, com resolução de 100X (a), 200X (b), 500X (c) e 1000X (d).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS NANOFIBRAS

O cálculo do número de mols de amônia foi feito usando a Equação dos Gases Ideais.

$$P.V = n.R.T \quad (2)$$

P = Pressão do gás

V = volume do gás

n = número de Mols

T = Temperatura

R = Constante dos gases ideais

Na tabela I são mostrados os valores calculados de número de mols e respectivas

massas de amônia referentes a cada volume adicionado durante as medidas feitas para a análise da interação da amônia com as amostras.

Tabela I: Volume da injeção da amônia e seus respectivos números de mols e concentrações.

Volume de NH ₃ (mL)	Número de mols (n)	m _{NH3} (Δm _{calculado}) (g/L)	Concentração de NH ₃ (ppm)
0,5mL	1,5x10 ⁻⁵	2,60x10 ⁻⁴	260
1mL	3x10 ⁻⁵	5,17x10 ⁻⁴	517
2mL	6x10 ⁻⁵	1,02x10 ⁻³	1020

Os resultados das medidas demonstram que as fibras são sensíveis ao vapor de amônia, porém devido a pequena quantidade de fibras e de ftalocianina, cada amostra satura após 4 ou 5 adições.

Observamos também que as fibras feitas com PVDF apresentam mais sensibilidade do que as fibras de PAN, indicando assim que o PVDF é mais poroso, ou que o PAN recobre a Ftalo e não permite que o vapor de amônia alcance as partículas.

4.1.1 Medida realizada na nanofibra de PAN

Na Figura 25 é mostrado o gráfico da variação da frequência (ΔF) em função do tempo para adições de 2mL de amônia com intervalos de 6 min, sobre nanofibra de PAN, que foi depositado sobre um PQC. A frequência inicial do PQC é e Fo=1050266Hz.

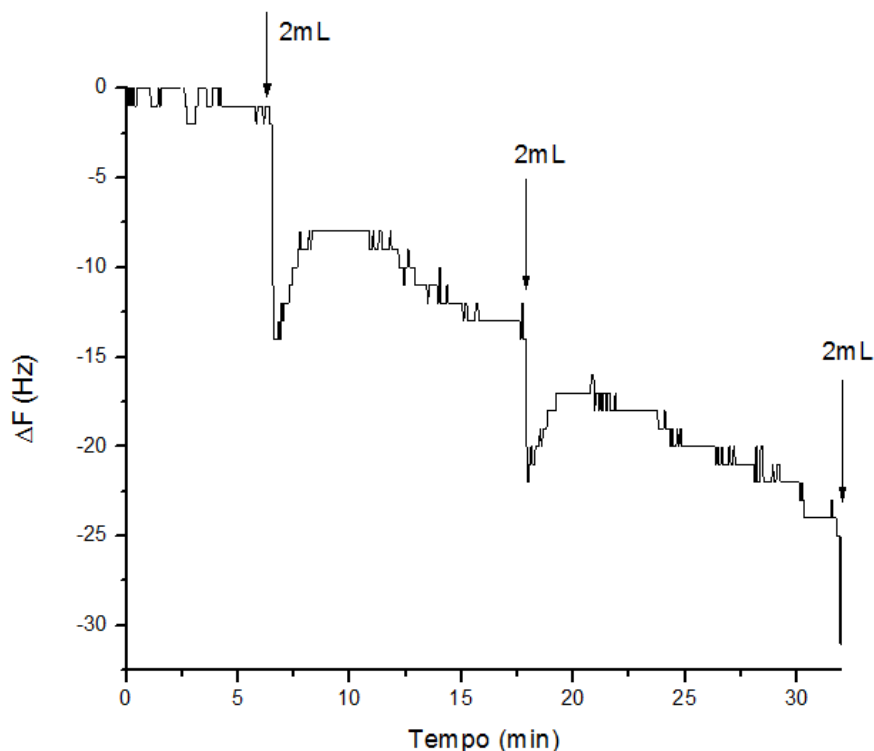


Figura 25: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2mL em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PAN PURO em razão de massa de 6%.

Observou-se que na primeira adição a variação da frequência (ΔF) foi de 13,4 Hz, na segunda adição o valor foi de 10 Hz, e na terceira e última adição o valor foi de 9 Hz. Observa-se que a pendente da curva é decrescente durante toda a medida o que sugere que não houve tempo para o processo de dessorção na superfície da fibra, ou seja, a cada adição feita ainda havia amônia adsorvida na fibra, porém mostrou o padrão de comportamento do PAN onde o mesmo é pouco sensível a amônia.

Com os valores de ΔF obtidos, foi possível calcular a variação da massa de amônia adsorvida no PQC (Δm_{medido}) através da equação (1).

Considerando os valores de frequência $F_0 = 1050266 \text{ Hz}$ e da área ($A = 0,125 \text{ cm}^2$) constantes, a relação entre a variação de frequência e a massa adsorvida será igual a:

$$\Delta F = -19,94 \times 10^{-6} \cdot \Delta m$$

Na Tabela II, os valores de massa obtidos da equação (Δm_{medido}) foram comparados com os valores de massa injetada ($\Delta m_{\text{calculado}}$) durante as medidas. Observa-se que somente cerca de 40 % da amônia injetada foi adsorvida na membrana. Como comentado anteriormente

o processo de dessorção na superfície das fibras, impede que haja a adsorção na injeção seguinte, assim parte da amônia não é adsorvida. Além disso, a falta de ftalocianina também pode ser a causa da baixa adsorção de amônia.

Tabela II: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para nanofibras de PAN.

Número de Injeções	Volume de NH ₃ (mL)	$\Delta m_{\text{calculado}}$ (g/L)	Δm_{medido} (g/L)	Variação das Massa (%)
1	2mL	1020×10^{-6} 1020 ppm	672×10^{-9} (672 ppb)	$65,8 \times 10^{-3}$
2	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	501×10^{-9} (501 ppb)	$49,1 \times 10^{-3}$
3	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	451×10^{-9} (451 ppb)	$44,2 \times 10^{-3}$

4.1.2 Medida realizada em nanofibra de PAN/Ftalo em razão de massa de 1:1

Na Figura 26 é mostrado o gráfico da variação da frequência (ΔF) em função do tempo para adições de 2mL de amônia com intervalos de 6 min, sobre um filme de PAN/ftalocianina de cobre com razão em massa 1:1, que foi depositado sobre um PQC. A frequência inicial do PQC é $F_0=1049146\text{Hz}$.

Observou-se que na primeira adição a variação da frequência (ΔF) foi de 20 Hz, na segunda adição o valor foi de 14Hz, na terceira de 9Hz, na quarta e última adição o valor foi de 6Hz. Observa-se que a pendente da curva é decrescente durante toda a medida o que sugere que não houve tempo para o processo de dessorção da amônia na superfície da fibra, ou seja, a cada adição feita ainda havia amônia adsorvida no filme, e novamente a amostra se mostrou saturada, e com muitos ruídos.

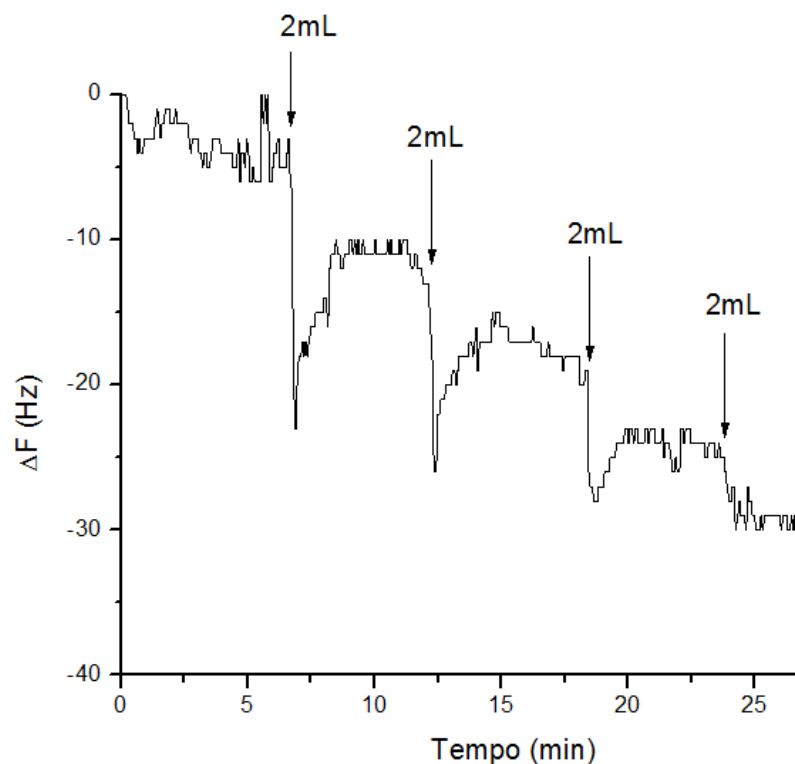


Figura 26: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2mL em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PAN/Ftalo em razão de massa 1:1.

Com os valores de ΔF obtidos, foi possível calcular a variação da massa de amônia adsorvida no PQC (Δm_{medido}) através da equação (1).

Considerando os valores de frequência $F_0=1049146\text{Hz}$ e da área ($A = 0,125 \text{ cm}^2$) constantes, a relação entre a variação de frequência e a massa adsorvida será igual a:

$$\Delta F = -19,90 \times 10^{-6} \cdot \Delta m$$

Na Tabela III, os valores de massa obtidos da equação (Δm_{medido}) foram comparados com os valores de massa injetada através da seringa ($\Delta m_{\text{calculado}}$) em volumes de 2mL e obtendo-se assim uma variação entre elas.

Tabela III: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para PAN/Ftaló em razão de massa 1:1.

Número de Injeções	Volume de NH ₃ (mL)	$\Delta m_{\text{calculado}}$ (g/L)	Δm_{medido} (g/L)	Variação das Massa (%)
1	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	1005×10^{-9} (1005 ppb)	$98,5 \times 10^{-3}$
2	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	703×10^{-9} (703 ppb)	$68,9 \times 10^{-3}$
3	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	452×10^{-9} (452 ppb)	$44,3 \times 10^{-3}$
4	2mL	1020×10^{-6} (1020 ppm)	301×10^{-9} (301 ppb)	$29,5 \times 10^{-3}$

4.1.3 Medida realizada em nanofibra de PVDF/Ftaló em razão de massa de 1:1

Na Figura 27 é mostrado o gráfico da variação da frequência (ΔF) em função do tempo para adições de dois ml de amônia com intervalos de 6 min, sobre uma camada de nanofibras de PVDF/ftalocianina de cobre com razão em massa 1:1, que foi depositado sobre um PQC. A frequência inicial do PQC é $F_0 = 1050227 \text{ Hz}$.

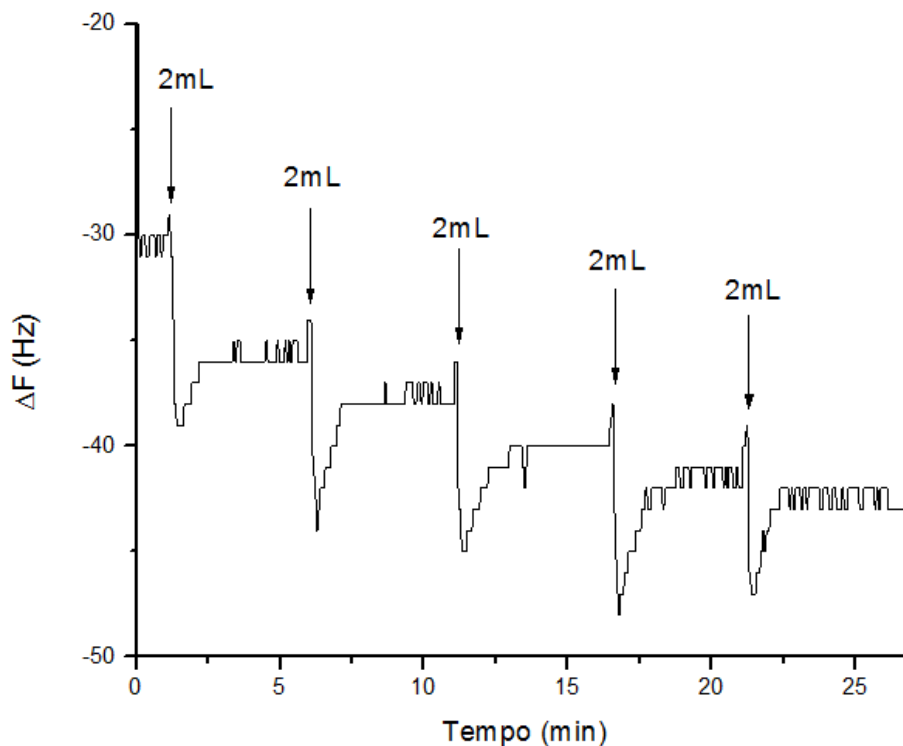


Figura 27: Variação da frequência em função do tempo de adição de vapor de amônia de 2ml em um PQC eletrodepositado por nanofibras poliméricas de PVDF/Ftalo em razão de massa 1:1.

Observou-se que na primeira adição a variação da frequência (ΔF) foi de 10 Hz, na segunda adição o valor foi de 11Hz, na terceira de 10Hz, na quarta de 10Hz e a quinta e última adição o valor foi de 7Hz. Observa-se que a pendente da curva é decrescente durante toda a medida o que sugere que não houve tempo para o processo de dessorção na superfície da fibra, ou seja, a cada adição feita ainda havia amônia adsorvida no filme. Porém diferente dos outros resultados obtidos, a variação de frequência e o padrão da curva foi mantido constante até a quarta adição, mostrando que o PVDF é mais estável que o PAN, sugerindo assim uma maior confiabilidade no uso das nanofibras de PVDF/Ftalo.

Com os valores de ΔF obtidos, foi possível calcular a variação da massa de amônia adsorvida no PQC (Δm_{medido}) através da equação (1).

Considerando os valores de frequência $F_0=1050227\text{Hz}$ e da área ($A = 0,125 \text{ cm}^2$) constantes, a relação entre a variação de frequência e a massa adsorvida será igual a:

$$\Delta F = -19,94 \times 10^{-6} \cdot \Delta m$$

Na Tabela IV, os valores de massa obtidos da equação (Δm_{medido}) foram comparados com os valores de massa injetada através da seringa ($\Delta m_{\text{calculado}}$) em volumes de 2mL e obtendo-se assim uma variação entre elas.

Tabela IV: Comparação dos valores da variação de massa calculado e medido, para volume fixo de vapor de amônia de 2mL, para PVDF/Ftalo em razão de massa 1:1.

Número de Injeções	Volume de NH ₃ (mL)	$\Delta m_{\text{calculado}}$ (g/L)	Δm_{medido} (g/L)	Variação das Massa (%)
1	2mL	1020x10 ⁻⁶ (1020 ppm)	501x10 ⁻⁹ (501 ppb)	49,1 x10 ⁻³
2	2mL	1020x10 ⁻⁶ (1020 ppm)	551x10 ⁻⁹ (551 ppb)	54,0 x10 ⁻³
3	2mL	1020x10 ⁻⁶ (1020 ppm)	501x10 ⁻⁹ (501 ppb)	49,1 x10 ⁻³
4	2mL	1020x10 ⁻⁶ (1020 ppm)	501x10 ⁻⁹ (501 ppb)	49,1 x10 ⁻³
5	2mL	1020x10 ⁻⁶ (1020 ppm)	351x10 ⁻⁹ (351 ppb)	34,4 x10 ⁻³

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MEMBRANAS

O processo de adição dos volumes de amônia foi feito em um aparato montado, conforme o esquemático abaixo (Figura 28). Onde uma seringa que continha um determinado volume de gás de amônia, era inserida em um reator vedado de plástico, apenas com uma abertura superior, que foi coberta pela membrana, e então feita a injeção do gás.

Após a injeção, como o gás de amônia é menos denso que o ar, o gás irá subir, passar pela membra, sendo adsorvido ou não pelas fibras, e em seguida há a leitura pelo sensor, que envia as respostas para o arduíno, e computador.

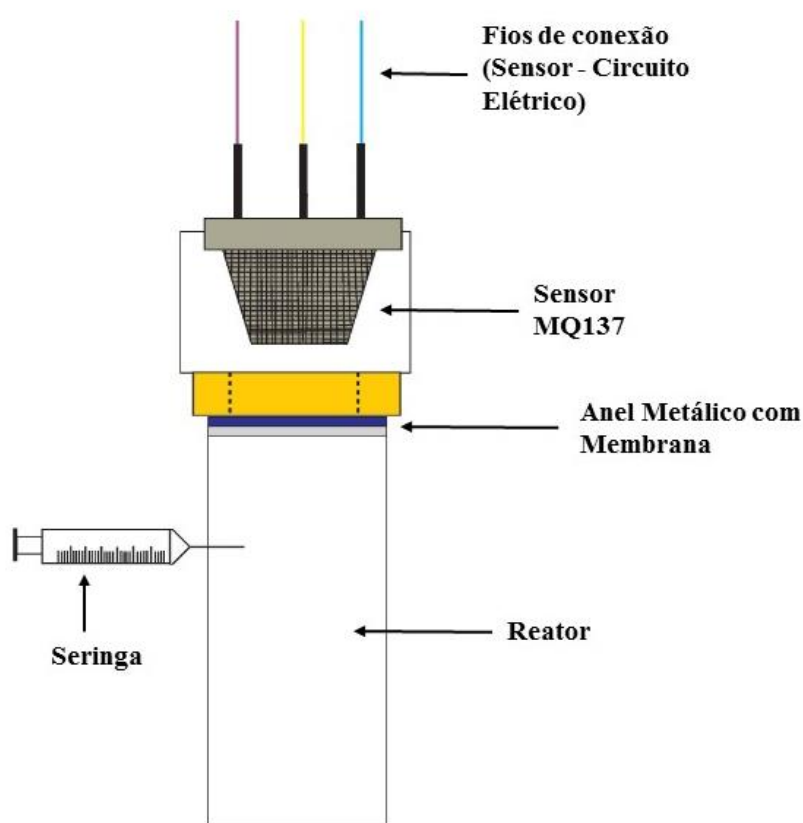


Figura 28: Esquemático de processo de adição dos volumes de amônia, nas membranas.

Os dados obtidos através do arduino, pelo computador, serão apresentados a seguir.

4.2.1 OBTENÇÃO DOS PONTOS MÁXIMOS PARA CADA ADIÇÃO

Na figura 29, são mostrados os gráficos de Tensão versus tempo, obtidos depois das adições de diferentes volumes de amônia, para as montagens sem membrana, com membrana de PAN e com membrana de PAN/Ftalo.

Os valores de máximo da tensão em cada uma das adições foram tabulados e construídos os gráficos mostrados na figura 30, 31, 32 e 33, que relacionam a variação de tensão medida com a concentração de amônia adicionada. A partir desses gráficos foi possível verificar se as membranas efetivamente adsorvem a amônia do ambiente quando são comparadas as variações de tensão entre o sistema sem membrana e com membrana.

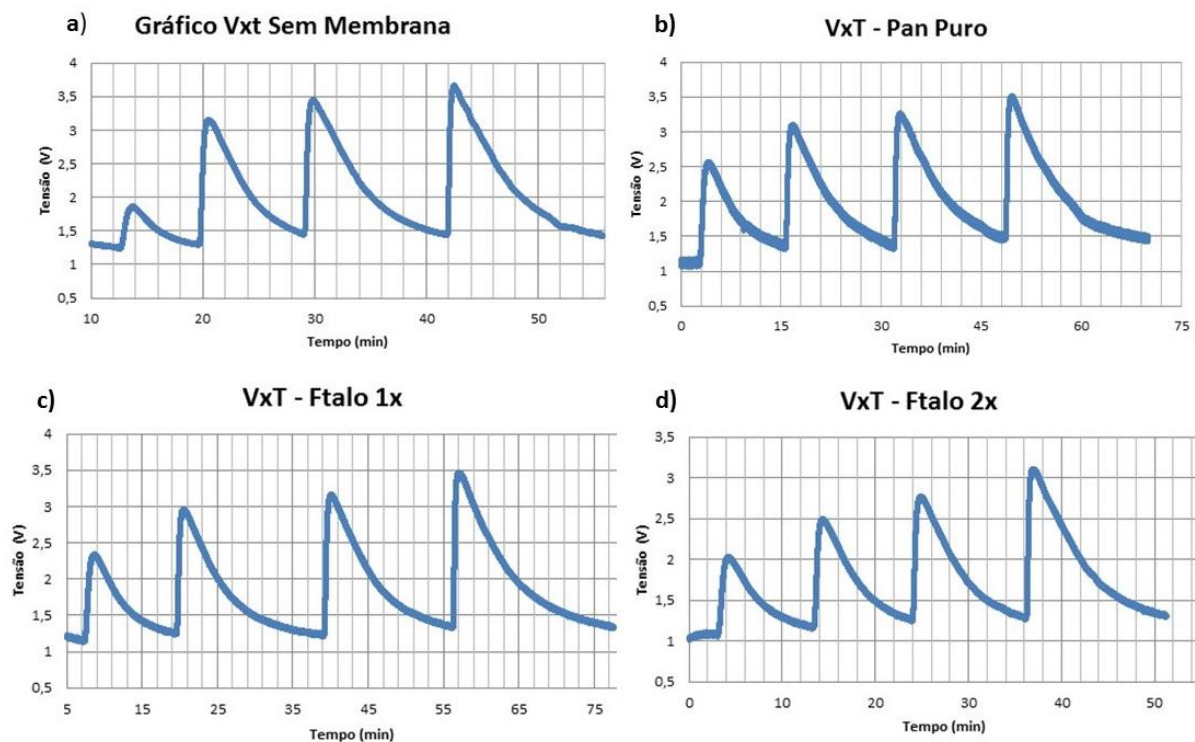


Figura 29: Gráfico de Tensão (V) x Tempo (min) para adições diferentes de NH_3 , em diferentes condições: a) sem a presença de membranas, b) com a presença de membrana de PAN PURO, c) com a presença de uma membrana de Ftalocianina de Cobre, d) com a presença de duas membranas de Ftalocianina de Cobre.

4.2.2 Medidas de quantidade de amônia que é efetivamente retida pela membrana usando sensor comercial (MQ137)

As medidas usando o sensor comercial MQ137, montado em um circuito com Arduino, foi realizada com o objetivo de verificar se as membranas de fibras de PAN adicionadas com ftalocianina de cobre podem ser usadas como concentrador ou como filtro de amônia.

Na Figura 30 é mostrado o gráfico normalizado das medidas feitas sobre as membranas, e indica a variação da Tensão (ΔV) medida no sensor, em função da concentração de amônia (NH_3), para adições de 0,1mL, 0,3mL, 0,5mL e 1mL de vapor de amônia, sobre o sensor nas seguintes condições: sem a presença de membranas, com membrana de PAN, uma membrana de PAN/Ftalocianina, e duas membranas de PAN/Ftalocianina.

A medida sem membrana visava verificar o comportamento do sensor considerando todas as condições de contorno do processo como a dimensão da câmara onde o gás era injetado e a distância que o gás percorre, permitindo assim, por exemplo, verificar se a membranas exerce um atraso na chegada do gás no sensor.

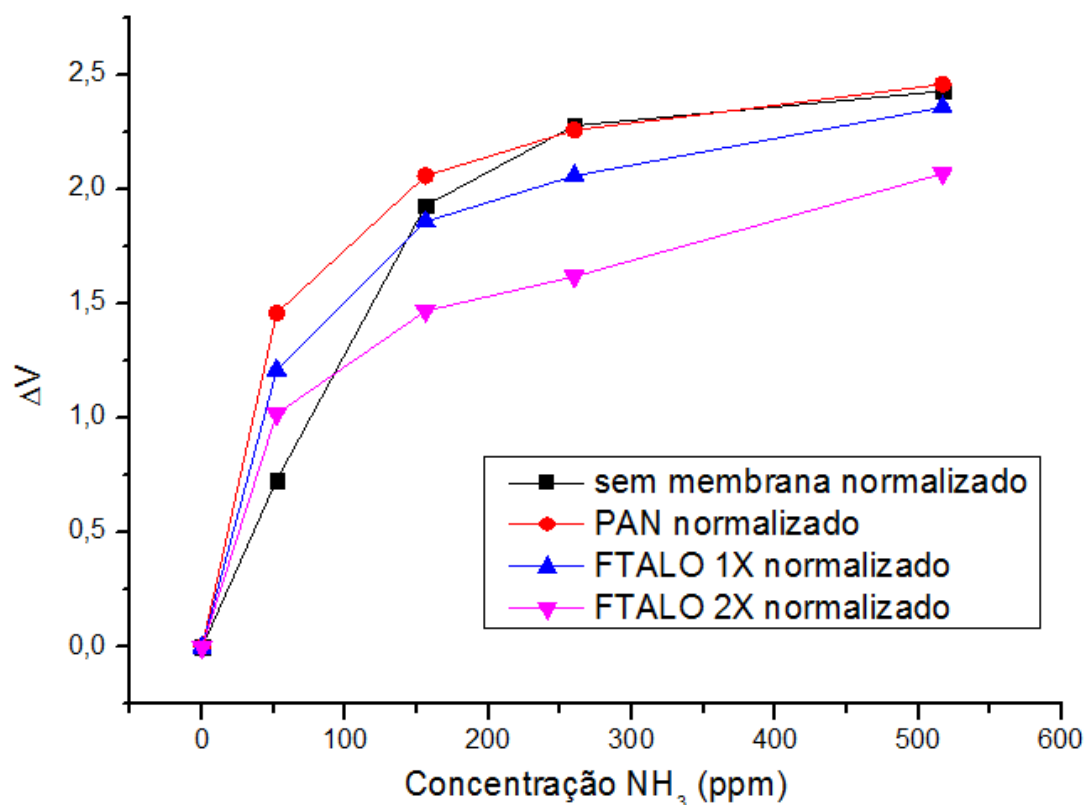


Figura 30: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Concentração de NH_3 (ppm), de cada membrana, com os máximos normalizados.

No gráfico, o zero das medidas foi ajustado, ou seja, todos os valores foram subtraídos do valor de tensão medido no sensor antes da adição de qualquer volume de amônia, a fim de reduzir o valor residual que ocorre em todas as medidas, devido ao sensor depender da temperatura e da contaminação do ambiente. Logo ajustando o zero, conseguimos observar a variação de tensão em função da concentração de amônia e o comportamento para cada uma das membranas.

Nas medidas realizadas sem a presença de membrana, notamos que o sensor satura perto da concentração de 300 ppm, o que condiz com a literatura. Observa-se um comportamento inicial linear até a concentração de 200 ppm, e em seguida há a saturação do sensor como esperado.

Para as medidas realizadas com as membranas, notamos que as membranas impedem a passagem regular da amônia por difusão, o que significa que na membrana fica toda a amônia

concentrada, fazendo com que a primeira adição apresente valores maiores que as medidas sem membrana.

Porém nas adições seguintes observa-se que os valores de tensão vão ficando menores em relação à medida sem membrana, principalmente para as aquelas com duas membranas. Neste caso não há mais adsorção na membrana, que é a ação de concentrar os vapores e soltar, mas sim provavelmente permeação e retenção da molécula de amônia na partícula de Ftalo, resultando assim em valores de tensão mais baixos, e se comportando como se o sensor não tivesse saturado.

4.2.3 MEDIDAS DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO A CADA ADIÇÃO

Na Figura 31 é mostrado o gráfico que indica a variação da Tensão (ΔV) da 1ª adição em relação ao ponto zero, da 2ª adição em relação à 1ª adição, e assim sucessivamente, o que representa a quantidade de amônia que é efetivamente adsorvida na superfície da membrana após cada adição, para os quatro tipos de medida, sem a presença de membrana, com membrana de PAN, uma membrana de PAN/Ftalocianina, e duas membranas de PAN/Ftalocianina.

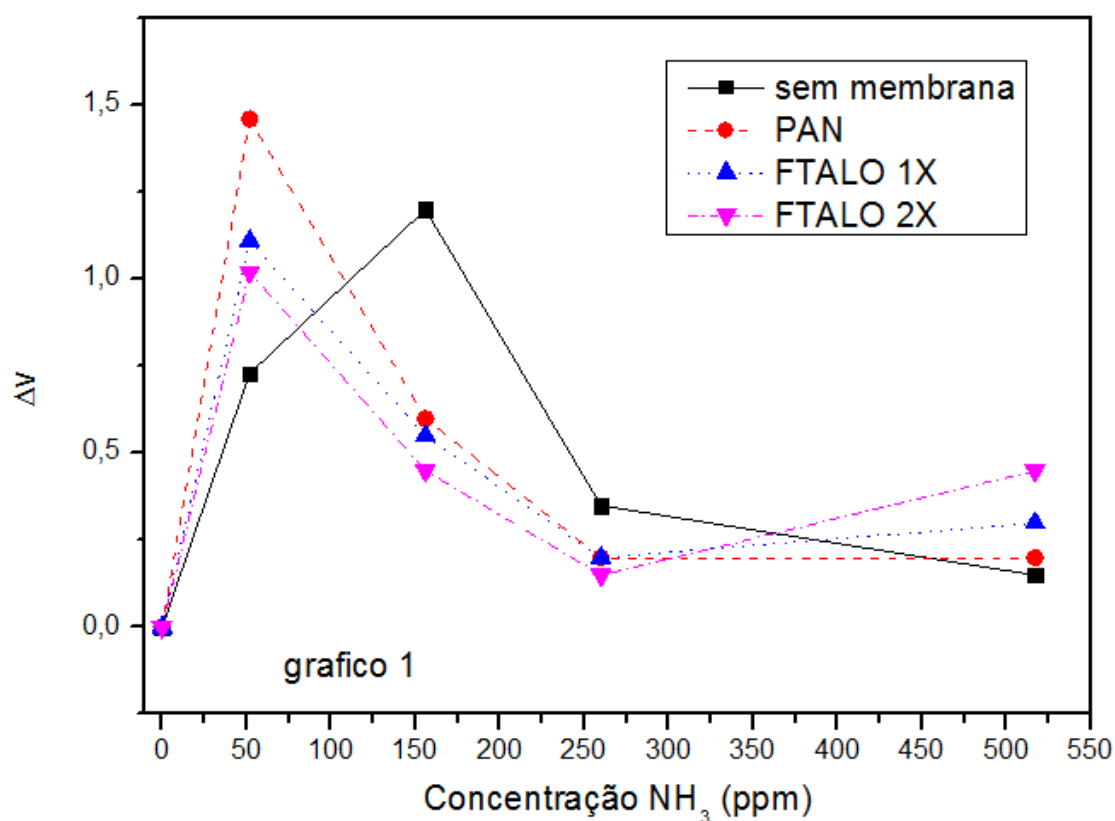


Figura 31: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Concentração de NH₃ (ppm) de cada membrana.

Para a medida sem membrana, notamos a saturação perto da 3ª injeção que é de 200 ppm, ou seja, o ΔV praticamente não muda mais, o que faz sentido, pois o sensor mede até uma concentração de amônia equivalente a 300 ppm. Então o sensor vai acumulando, acumulando e para de medir. A presença da membrana perturba o fluxo, e deve estar continuamente adsorvendo o vapor de amônia, desorvendo e deixando passar.

No caso da medida sem membrana, o fluxo de amônia através do setup era determinado apenas pela mecânica de fluido, e a velocidade dependia apenas da difusão, com a membrana o fluxo depende também do fenômeno de adsorção e de desorção, isso faz com que a 1ª injeção tenha um delta de tensão grande, porque a adsorção sobre a membrana impede o fluxo de ir. É como se bastante material acumulasse na superfície da membrana antes de desorver e passar para o outro lado, isso porque é necessário primeiro criar toda uma camada de amônia sobre a fibra, para depois desorver e passar.

Quando comparamos a membrana de PAN com uma ou duas membranas de PAN/Ftalo, esse máximo já aparece na primeira adição pois a presença da Ftalo na fibra influi no sistema através da adsorção da amônia que permeia para dentro da fibra, então, não ocorrerá somente adsorção e desorção criando uma primeira camada limite, a camada de Langmuir, e depois trafegando rápido, e assim apresentando o delta de tensão bem grande, deve também ter permeado pra dentro da fibra através do polímero, e deve ter prendido a molécula de amônia nas partículas de ftalocianina de cobre, explicando assim a queda na tensão observada na medida.

4.2.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS PICOS DA 1ª ADIÇÃO E DA 4ª ADIÇÃO.

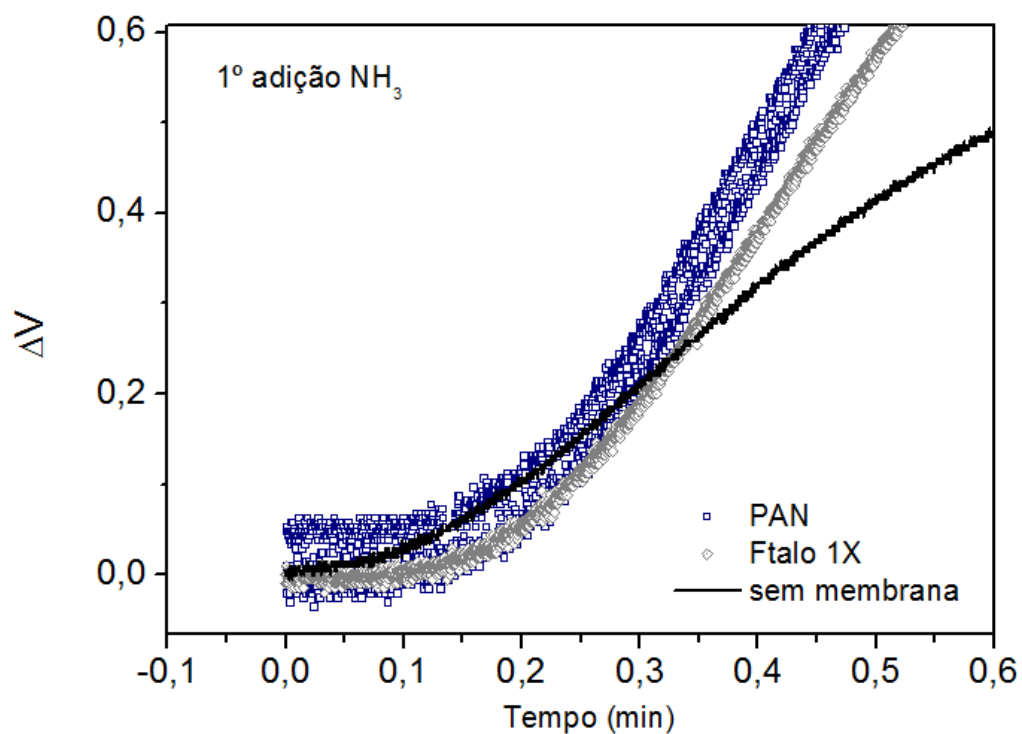


Figura 32: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Tempo (min), com realce de subida da 1ª adição, para medidas sem membrana, com uma membrana de Ftalo, e uma membrana de PAN PURO.

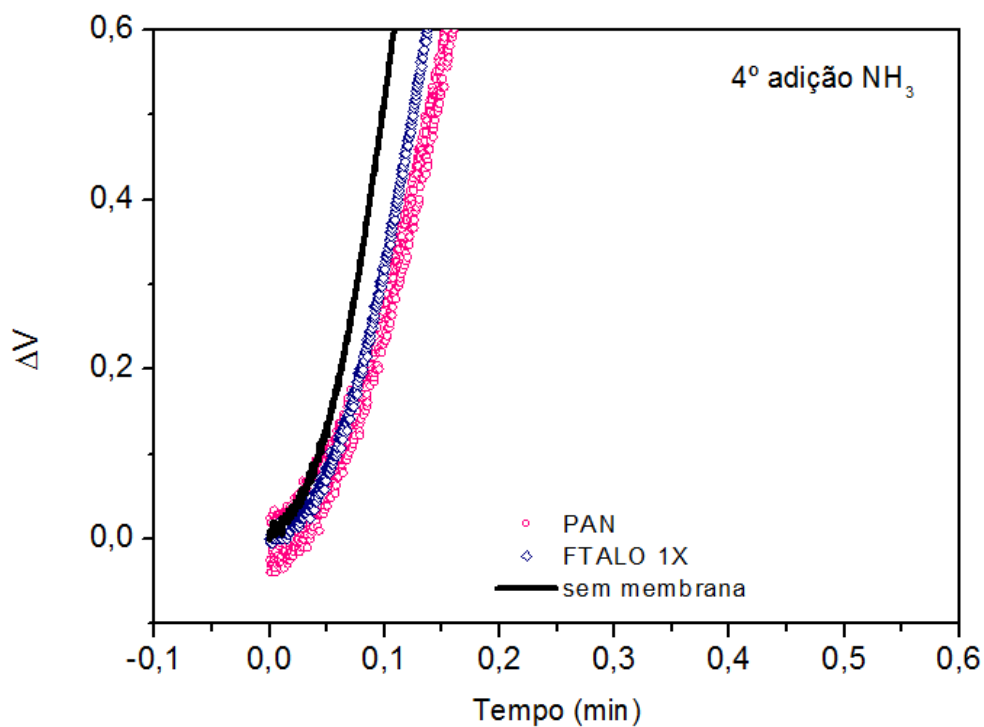


Figura 33: Gráfico de Variação de tensão (ΔV) x Tempo (min), com realce de subida da 4ª adição, para medidas sem membrana, com uma membrana de Ftalo, e uma membrana de PAN.

Observando a inclinação das curvas de Tensão x Volume de amônia adicionado na 1ª adição e na quarta adição, verificamos que na primeira adição a curva obtida sem membrana é mais inclinada e a variação de tensão é menor em comparação às medidas com membrana, confirmando as afirmações anteriores de que parte da amônia permeia pela fibra e é adsorvida pelas partículas de ftalocianina de cobre. No entanto, quando a curva da 4ª adição observamos que a curva obtida para a medida sem membrana apresenta um delta de tensão menor em relação as medidas feitas com membrana também confirmando que já houve saturação na membrana e todo o fluxo de amônia passa através da membrana e chega no sensor, ou seja, não há o fenômeno de adsorção e dessorção e também de permeação.

5 CONCLUSÕES

Com a realização do projeto foi possível observar a interação das fibras de PAN e PVDF incorporadas com Ftalo, e a diferença no comportamento das mesmas em face de adição de vapor de amônia.

Pôde-se comprovar a sensibilidade das fibras com o auxílio da micro balança de quartzo e o porquê de seu uso como sensor. Através das respostas eficientes e rápidas de valores de frequência foi possível determinar a massa de amônia que foi sentida pelo PQC.

Observou-se também que o processo de adsorção do vapor de amônia nas nanofibras eletrofiadas, acontece em um intervalo de tempo relativamente curto.

A influência do polímero também foi evidenciada através das medidas usando microbalança de quartzo. A resposta do sistema quando se usa fibras de PVDF/Ftalo é melhor em relação as fibras de PAN/Ftalo, os resultados indicam que o PVDF é mais permeável, permitindo que os vapores da amônia alcancem as partículas de Ftalo.

As membranas produzidas com solução de PAN e PAN/Ftalo mostraram que são uteis para serem usadas em sensores e concentradores, através das medidas usando um sensor comercial de amônia.

6 TRABALHOS FUTUROS

Os próximos passos do trabalho consistem em realizar novas medições com as soluções de PAN/Ftaló e PVDF/Ftaló, e encontrar valores mínimos de concentração de amônia que possam ser adicionado a fim de aperfeiçoar o uso dos PQCs como sensores de gases voláteis.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Cabral, E. L., Prado M. A., de Siqueira F. J., Síntese de nanofibras poliméricas por diversas técnicas para uso na área médica, Faculdade de Química, PUC-RS, 2009.
- [2] Costa, R. G. F. *et al*, Eletrofição de polímeros em solução. Parte I: fundamentação teórica, Polímeros, vol. 22, n. 2, p. 170-177, 2012, <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282012005000026>.
- [3] Z.-M. Huang, Y.-Z. Zhang, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, **63**, 2223 (2003).
- [4] W. E. Teo, S. Ramakrishna, A review on electrospinning design and nanofibre assemblies, *Nanotechnology*, **17**, R89 (2006).
- [5] Gomes, Demetrius S.; Silva, Ana N. R. da; Morimoto, Nilton I.; Mendes, Luiz T. F.; Furlan, Rogério; Ramos, Idalia; Characterization of an electrospinning process using different PAN/DMF concentrations. Polímeros (São Carlos. Impresso), v. 17,p. 206-211, 2007.
- [6] Nishida, L.S., Caracterização da incorporação de partículas em fibras poliméricas, FATEC – SP, São Paulo, 2012.
- [7] Yu Wang, Jorge J. Santiago-Aviles, R. Furlan, and I. Ramos, Pyrolysis Temperature and Time Dependence of Electrical Conductivity Evolution for Electrostatically Generated Carbon Nanofibers, *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 2, n. 1, 2003, 39.
- [8] Alessandro Rodrigues da Silva, Formação de nanofibras de carbono a partir de nanofibras poliméricas obtidas por deposição eletrostática, Trabalho de conclusão de curso, FATEC-SP 2007.
- [9]<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/227056?lang=pt®ion=BR> - (acessado em 17/11/2014)
- [10] A.N. R. da Silva, R. Furlan, I. Ramos, M. L. P. da Silva, E. Fachini and J. J. Santiago-Aviles, Characterization of electrospinning process using blends of polyacrylonitrile and carbon particles, 18th Symposium on Microelectronics Technology and Devices, SBMicro 2003, Sao Paulo, Brazil, September 8 – 11, Electrochemical Society Proceedings Volume 2003-09, 2003, pp 284-291
- [11] Rodrigues, G. S., Modificação das Características de nanofibras obtidas por electrospinnig por meio de adição de partículas na solução polimérica, São Paulo, TCC II, FATEC - SP, 2014.
- [12] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/181323?lang=pt®ion=BR> - (acessado em 17/11/2014)
- [13]; Luana Persano, Canan Dagdeviren, Yewang Su, Yihui Zhang, Salvatore Girardo, Dario Pisignano, Yonggang Huang and John A. Rogers, High performance piezoelectric devices based on aligned arrays of nanofibers of poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene), *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms2639.
- [14] Langiano, S. do C., Estudo das Propriedades Térmicas e Mecânicas de Blendas de PVDF/PANI, Ilha Solteira, Pós Graduação, UNESP, 2007.

[15]

<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/427152?lang=pt®ion=BR> (acessado em 17/11/2014).

[16] <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/227056?lang=pt®ion=BR> - (acessado em 17/11/2014)

[17] Kharisov, B. et al. Técnicas para la obtención de las ftalocianinas. Ingenieriais, v. VII, no22, pp 71-74, 2004.

[18] Heleno, C.M.N., Preparação e caracterização de sensores de amônia baseados em filmes ultrafinos de polianilina e polianilina-ftalocianinas, São Paulo, EPUSP, 2007.

[19] http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/245356?lang=pt®ion=BR&gclid=CJnf3YashsICFfBj7AodrhkACA&cm_guid=1--10000000000000227980--33996026542&cm_mmc=Google_Material%20Science--search--Organic%20and%20Printed%20Electronics%20Europe_Photonic%20and%20Optical%20Materials%20-%20Europe--COPPER%20PHTHALOCYANINE_Phrase - acesso em (17/11/2014)

[20] Faassen, E. van; Kerp. H. Explanation of the low oxygen sensitivity of thin films phthalocyanine gas sensor. Sensor and actuators B, v. 88, pp 329-333, 2003.

[21] Belghachi, A.; Collins, R. A. The effects of humidity on phthalocyanine NO₂ and NH₃ sensors. J. Phys. D.: Appl. Phys. V. 23, pp 223-227, 1990

[22] Silva, A.N.R.; Furlan, R.; Ramos, J.; Santiago-Avilés, J.J. Electrostatic Deposition of Nanofibers for Sensor Application. Materials Research, vol8, No1, 105-108, 2005

[23] Costa, R. G. F.; de Oliveira, J. E.; de Paula, G. F.; de S. Picciani P. H.; de Medeiros E. S.; Ribeiro, C.; Mattoso, L.H., Eletrofiação de Polímeros em Solução. Parte I: Fundamentação Teórica, Polímeros, vol. 22, n. 2, p. 170-177, 2012

[24] Engel, A. B., Síntese e caracterização de membranas compostas de triacetato de celulose através da técnica de electrospinning, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

[25] Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W-E, Lim T-C and Ma Z 2005- An Introduction to Electrospinning and Nanofibers (Singapore: World Scientific).

[26] Li D and Xia Y; Electrospinning of nanofibers: reinventing the wheel; *Adv. Mater.* 16 1151-70, 2004.

[27] Salim, A., Son, C., Ziaie, B. - Selective nanofiber deposition via electrodynamic focusing - Weldon School of Biomedical Engineering, Purdue University, West Lafayette, USA, 2008

[28] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532003000400002#fig01 - (acessado em 17/11/2014)

[29] Casagrande, T. M., Balança a Base de Piezoelétricos, Campinas, UNICAMP, 2008.

[30] G. Z. Sauerbrey, Z. Phys., v. 155, pp. 206, 1959

[31] Zang, Z.; Liu, Y.; Long, Y.; Nie, L.; Yao, S., Effect of the Size of Molecular Imprinted Polymers Sensing Materials on Piezoelectric Quartz Crystal Sensor Performance - Analytical Sciences, v. 22, Feb-2004

[32] Di Renna, R.B.; Beppu, M. M.; Da Fonseca, E. G. P., Introdução ao Kit de desenvolvimento Arduino, Universidade Federal Fluminense, Centro Tecnológico e Engenharia, Niterói, 2013.

- [33] Bisconsin, A.S.; Sousa, D.L.; Trevisan, G.; Soares, R.P.; Desenvolvendo o Jogo Pongo com Arduino – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2011
- [34] <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> - Acessado em (13/05/2015)
- [35] Fonseca, E., Emprego de rede modular automatizada remota de plataformas de monitoramento da presença de metano, dióxido de enxofre e monóxido de carbono., São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2013.
- [36] R.K. Srivastava, P. Lal, R. Dwivedi, S.K. Srivastava, Sensing mechanism in tin oxide-based thick film gas sensors, *Sens. Actuators B* 21 (1994) 213–218.
- [37] http://www.greenelectronicstore.com/index.php?id_product=15&controller=product – (acessado em 30/04/2015)
- [38] Amani Salim, Chulwoo Son and Babak Ziaie, “*Selective nanofiber deposition via electrodynamic focusing*”, *Nanotechnology* 19 (2008) 375303 (8pp) doi:10.1088/0957-4484/19/37/37530
- [39] Silva, F. L.; Análise Por Microbalança de Quartzo das Características de Adsorção de Nanofibras com Amido Incorporado, Trabalho de Conclusão de Curso, Fatec-SP, 2012).
- [40] <http://www.dinamicadiversoes.com.br/uploads/arruelas.jpg> - (acessado em 29/04/2015)
- [41] <https://www.processing.org/> - (acessado em 23/04/2015)

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE DO ARDUINO UNO

```
//int ledState = LOW;

//unsigned long previousMillis = 0;

//const long interval = 1000;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  //pinMode(7, OUTPUT);

}

void loop() {

  unsigned long currentMillis = millis();

  //if(currentMillis - previousMillis >= interval) {

    // save the last time you blinked the LED

    //previousMillis = currentMillis;

    // if the LED is off turn it on and vice-versa:

    //if (ledState == LOW)

      //ledState = HIGH;

    //else

      //ledState = LOW;

    //}

    // set the LED with the ledState of the variable:

    //digitalWrite(7, ledState);

    Serial.print(analogRead(A0));
```



```
Serial.print('\t');  
Serial.println(currentMillis);  
//delay(1);  
}
```

APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE DO PROCESSING

```
import processing.serial.*;

Serial myPort;

PrintWriter output;


int ALTURA = 500;

int LARGURA = 700;


int RESET = 0;

float REF = 0;

int TEMPO = 100000;

int X = (LARGURA-130);

int Y = (ALTURA-150);


//int xPos = 1;

void setup () {

    size(LARGURA,ALTURA);

    //println(Serial.list());

    //int TEMPO[15];

    myPort = new Serial(this, "COM3", 9600);

    myPort.bufferUntil('\n');

    output = createWriter("Sensor.txt");

    background(255);

}

void draw () {

}
```

```

void serialEvent (Serial myPort) {

String inString = myPort.readStringUntil('\t');
String inString2 = myPort.readStringUntil('\n');

if (inString != null) {

    inString = trim(inString);
    float inByte = float(inString);
    inString2 = trim(inString2);
    float inByte2 = float(inString2);
    output.flush();
    output.println(inByte2 + "\t" + inByte);
    println(inByte);
    inByte = map(inByte, 0, 1023, 0, Y);

    if((inByte2-TEMPO*RESET) > TEMPO){
        RESET++;
        background(255);
    }

//println(inByte2);

    inByte2 = map(inByte2-TEMPO*RESET, 0, TEMPO, 0, X);

    stroke(0);
    line(50+inByte2, ALTURA-100-REF,50+inByte2,ALTURA-100-inByte);
    strokeWeight(4);

```

```

stroke(190,0,100);

point(50+inByte2, ALTURA-100-inByte);

stroke(0);

strokeWeight(1);

REF = inByte;


textSize(32);

fill(2);


//eixo y

line(50, 50, 50,ALTURA-100);

for(int i=0; i<6; i++){

    line(50, 50+ (ALTURA-150)/5*i,40,50+(ALTURA-150)/5*i);

}

textSize(24);

text("V(V)", 10,30);

textSize(32);

for(int i=0; i<6; i++){

    text(5-i, 10,60+(ALTURA-150)/5*i);

}

//eixo x

line(50, ALTURA-100, LARGURA - 80,ALTURA-100);

for(int i=0;i<11;i++){

    line(50+(LARGURA-130)/10*i, ALTURA-100,50+(LARGURA-130)/10*i,ALTURA-90);

}

textSize(24);

text("t(s)", LARGURA-60,ALTURA-80);

```

```
    textSize(32);  
  
    for (int i=0;i<11;i++){  
        text(i*10, 40+(LARGURA-130)/10*i, ALTURA-50);  
    }  
}  
}
```

ANEXO I – DATASHEET MQ137

MQ137 Semiconductor Sensor for Ammonia

Sensitive material of MQ137 gas sensor is SnO_2 , which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ137 gas sensor has high sensitivity to Ammonia, also to other organic amine. The sensor could be used to detect different gas which contains Ammonia, it is with low cost and suitable for different application.

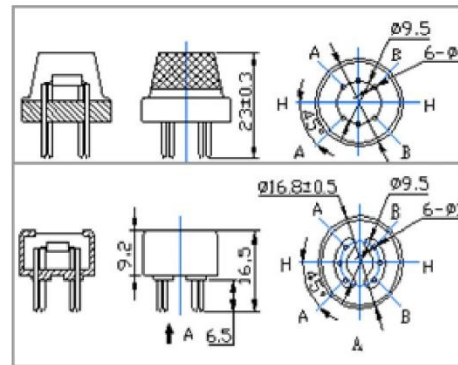
Character

- * Good sensitivity to Ammonia
- * Long life and low cost
- * Simple drive circuit

Application

- * Domestic Ammonia detector
- * Industrial Ammonia gas detector
- * Portable gas detector

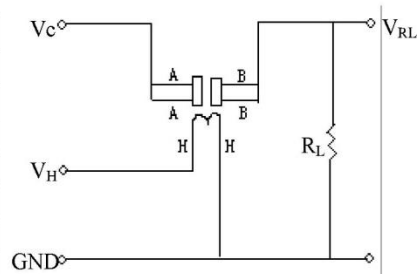
Configuration



Technical Data

Basic test loop

Model No.		MQ137	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Ammonia	
Concentration		5-500ppm (Ammonia)	
Circuit	Loop Voltage	V_c	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_s	$2K\Omega - 15K\Omega$ (in 50ppm NH_3)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(5000ppm \text{CH}_4) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6 (R_{10\%ppm}/R_{500ppm} \text{NH}_3)$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}; 65\% \pm 5\% \text{RH}$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V;$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage (V_H) and test voltage (V_C). V_H used to supply certified working temperature to the sensor, while V_C used to detect voltage (V_{RL}) on load resistance (R_L) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V_c need DC power. V_C and V_H could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R_L value is needed:

Power of Sensitivity body (P_s): $P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$

Resistance of sensor(R_s): $R_s = (V_c/V_{RL} - 1) \times R_L$

Sensitivity Characteristics

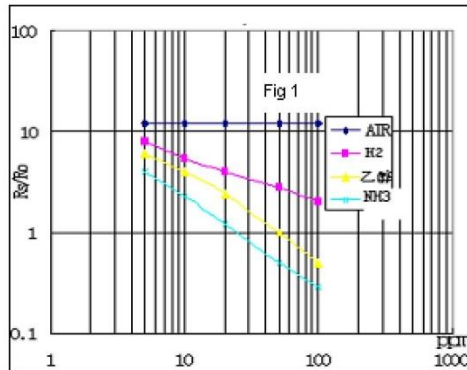


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ137, ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_0), abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in different gases, R_0 means resistance of sensor in 50ppm ethanol. All test are under standard test conditions.

P.S.: Sensitivity to smoke is ignite 10pcs cigarettes in $8m^3$ room, and the output equals to 10ppm NH_3

Influence of Temperature/Humidity

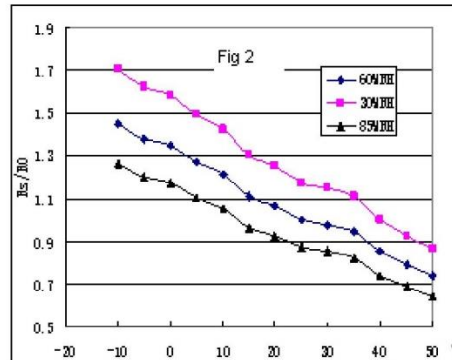
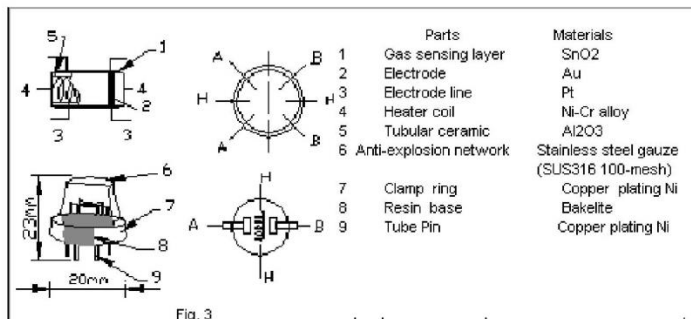


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_0), R_s means resistance of sensor in 50ppm NH_3 under different tem. and humidity. R_0 means resistance of the sensor in environment of 50ppm NH_3 , 20°C/65%RH

Structure and configuration



Structure and configuration of MQ137 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.