

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW



F609 – TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA I  
PRIMEIRO SEMESTRE DE 2013

COMUNICAÇÃO ÓPTICA: TRANSMITINDO A VOZ COM LUZ



Aluna: Naira Vieira da Silva  
Email de contato: n097692 x unicamp.br



Orientador: Prof. Dr. Cristiano Monteiro de Barros Cordeiro  
Contato: <http://portal.ifi.unicamp.br/pessoas/corpo-docente/121-558>



Coordenador: Prof. Dr. Jose Joaquin Lunazzi  
Contato: <http://portal.ifi.unicamp.br/br/pessoas/128-professores/274-141>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

**1) Introdução**

Atualmente com a crescente necessidade de tecnologia que seja sustentável, ouve-se na mídia termos como fotocélulas, que muitos conhecem apenas como “material que transforma a energia solar em energia elétrica”, porém o que poucos sabem é que a utilização de fotocélulas vai além desta aplicação.

Na verdade fotocélula é um material sensível a luz, não somente a solar, mas de qualquer espécie. Este material quando iluminado, cria uma corrente elétrica que varia de intensidade de acordo com a intensidade da luz, assim vemos que o sinal elétrico de saída a fotocélula depende do sinal de entrada da luz.

Pensando nesta ideia, podemos então variar a luz, de modo a fazer com que o sinal elétrico varie junto dela. Assim através da luz podemos transmitir informações para um receptor foto sensível que irá reproduzi-las com a variação da tensão produzida por ele.

Um feixe de luz, se analisado como uma onda, carrega muitas informações como amplitude, frequência, comprimento de onda, etc.

Um ruído sonoro, também pode ser classificado como uma onda, porém esta mecânica. A grandeza que determina se o som que ouvimos é agudo ou grave é a frequência, pois quanto maior a frequência, mais agudo será o som, logo esta é a informação mais relevante em nosso estudo.

Pretendemos então sobrepor as informações de frequência do som em uma onda luminosa, mas como?

A luz, se vista em uma análise geométrica, pode ser refletida por espelhos, e quando este feixe chega a um ângulo  $\theta$  da superfície do espelho em relação a normal desta, ele é refletido também a um ângulo  $\theta$ , como mostra a figura a seguir:

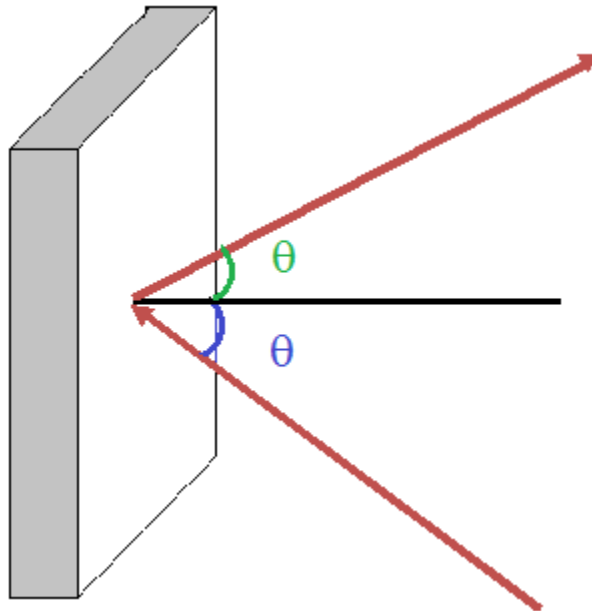


Figura 1- Ilustração que mostra a lei da reflexão. Um feixe de luz (em vermelho), que incide em um espelho a um ângulo  $\theta$  em relação a normal do espelho, e é refletido com a mesma inclinação em relação a normal.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

Sabemos também que quando falamos próximos a uma membrana, como uma bexiga esticada ou papel filme, ela vibra de acordo com a frequência da voz, desta forma ele oscila de posição indo para frente e para trás, como acontece por exemplo quando ligamos a rádio em um volume auto e vemos os vidros da casa vibrarem.

Juntando esses dois conhecimentos, se colocarmos um espelho colado no centro de uma membrana presa em um tubo de PVC, e falamos próximo dela, o espelho vai mudar de posição de acordo com o som reproduzido e com a mesma frequência do som. Posicionando um laser apontado para o centro do espelho, sua reflexão irá mudar de ângulo de acordo com a posição do espelho, e portanto irá oscilar na mesma frequência também.

Desta forma, se posicionarmos um fotosensor na frente do laser, a intensidade da luz irá mudar junto da frequência de oscilação da própria voz, e assim pode-se criar uma forma de transmitir o som através da luz, como mostra a figura 2.

De forma mais exata, o intuito do experimento é demonstrar que é possível, com uma montagem relativamente simples, modular a luz, de forma a usa-la como transmissor de sinais sonoros a longa distância.

## 2) Descrição

Trata-se de demonstrar que é possível transmitir as informações das ondas sonoras produzidas pela fala, através da modulação do sinal de um laser.

Criando um sistema onde uma membrana tampa um dos lados de um tubo circular, vamos utiliza-lo como microfone, onde ao falar próximo do tubo, a membrana irá oscilar com a voz. Colamos então um espelho no centro desta membrana e disparando um feixe contínuo de luz monocromática o mais coerente possível (um laser), vamos sobrepor as informações de ondas sonoras em uma onda eletromagnética, que servirá como portadora para longas distancias, até um receptor óptico que as transformará em informações eletrônicas, e assim com o auxilio de uma caixa de som, as tornaremos novamente ondas sonoras. Segue o esquema de montagem do experimento:

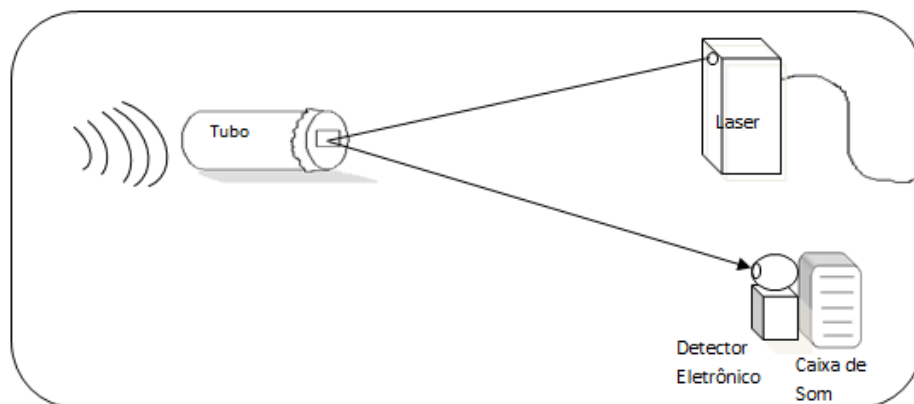


Figura 2 - Montagem experimental simplificada, onde o feixe de luz acompanha a seta, saindo do laser, sendo refletido pelo espelho que oscila no tubo, e finalmente chegando ao receptor.

Desta forma pretende-se transportar as informações da voz até o detector eletrônico.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

O material utilizado na fase de aperfeiçoamento experimental foi emprestado pelo professor orientador, contendo os seguintes itens:

- Laser de pointer (vermelho) acoplado a um suporte de vidro sendo alimentado por uma fonte ligada a rede elétrica.
- Mesa suporte com furos para parafusar
- Um espelho com lâmina de ouro em suporte ajustável
- Autofalante
- Espelho comum de 1 cm<sup>2</sup>
- Cabos elétricos
- Detector eletrônico
- Uma caixa de som

### 3) Resultados atingidos

Devemos ter em vista que durante todo o projeto procuramos modular a luz para que ela transporte a frequência do som original, então o desejável é que as curvas de tensão no detector apresentem a forma mais senoidal possível, e quão maior for a tensão pico-a-pico, mais potencia terá o sinal final, mantendo é claro a frequência inicialmente a qual o espelho foi submetido.

Na fase inicial do projeto, a ideia é otimizar o sinal recebido pelo detector. Para evitar problemas ocasionados pela utilização de um material ainda não testado para compor o tubo e a membrana, optamos por manter a montagem da figura 2-b, utilizando um autofalante ligado a um gerador de funções senoidais no lugar dos mesmos, pois neste caso garantimos que a frequência desejada será empregada ao espelho.

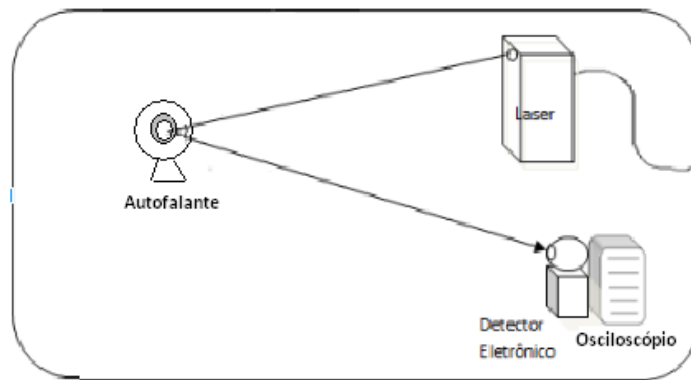


Figura 3.a - Montagem utilizada na fase de aperfeiçoamento de sinal. O feixe de luz sai do laser, é refletido no espelho que fica no centro do autofalante, que é alimentado por um gerador de função, e vai para o detector. No caso o osciloscópio para medir o sinal de resposta quanto a modulação da luz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

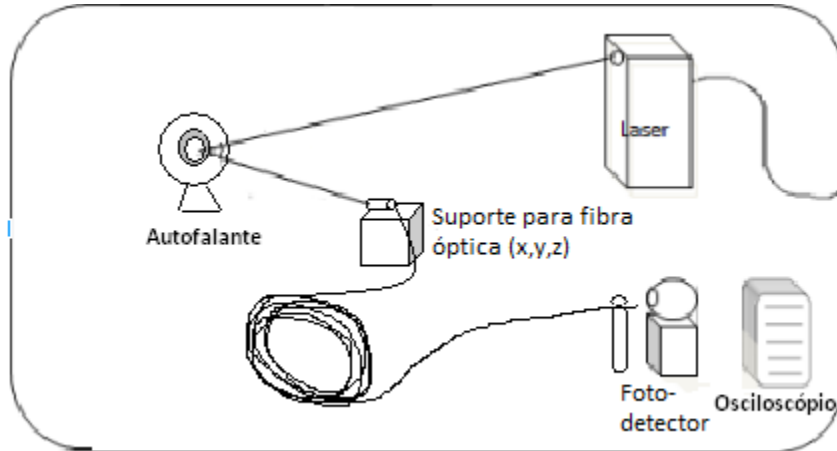


Figura 3.b- Montagem utilizada no teste de fibra óptica. O feixe de luz sai do laser, é refletido no espelho que fica no centro do autofalante, e entra na objetiva que centraliza o feixe para dentro da fibra óptica, que o leva ao detector. Usamos o osciloscópio para medir o sinal de resposta quanto a modulação da luz.

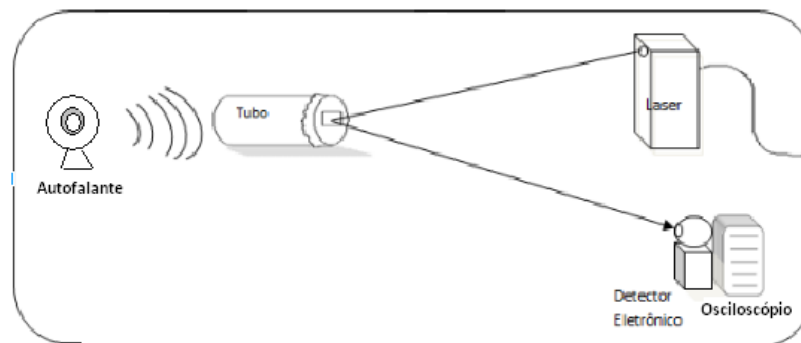


Figura 3.c- Montagem utilizada na fase de desenvolvimento do tubo e da membrana. O feixe de luz sai do laser, é refletido no espelho que fica no centro da membrana que tapa um dos lados do tubo e vai para o detector. No caso usamos um autofalante para emitir o som de acordo com a frequência desejada, e o osciloscópio para medir o sinal de resposta quanto a modulação da luz.

Após alguns testes, foi acrescentado ao modelo um filtro de 4% de transmitância, que bloqueia parte da luz que chega ao detector, evitando assim que este apresente uma curva de saída saturada. Seguem as curvas antes e depois da mudança na configuração.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

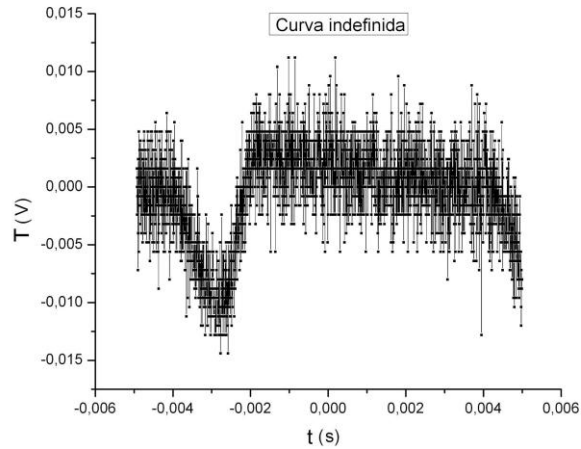


Figura 4.a - Gráfico de Tensão em função do tempo do detector, com o autofalante ligado a uma frequência de 500 Hz.

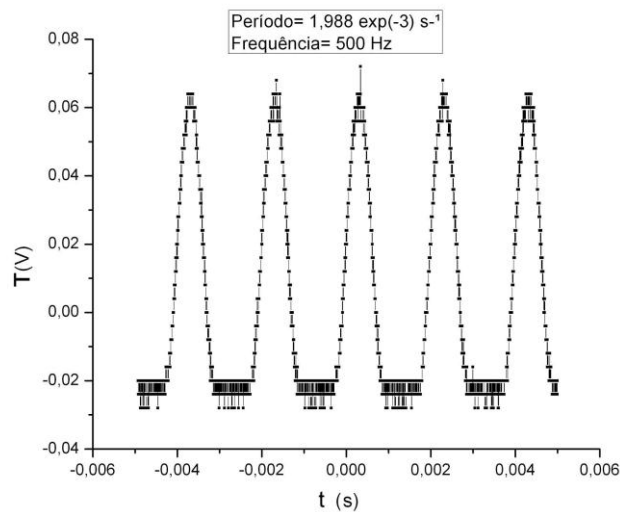


Figura 4.b - Gráfico de Tensão em função do tempo do detector, com o autofalante ligado a uma frequência de 500 Hz com o filtro de 4% de transmitância, posicionado antes do detector.

Como o laser é alimentado por uma fonte que é ligada a rede elétrica doméstica, e sabemos que a mesma trabalha com CA, mesmo após a filtragem da fonte ainda há uma certa oscilação da tensão no laser.

Para corrigir este aspecto, foi adicionado um capacitor de 20  $\mu\text{F}$  em paralelo com a fonte. Segue o gráfico de tensão apresentada pelo detector que recebe diretamente o sinal do laser antes e depois da mudança:

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

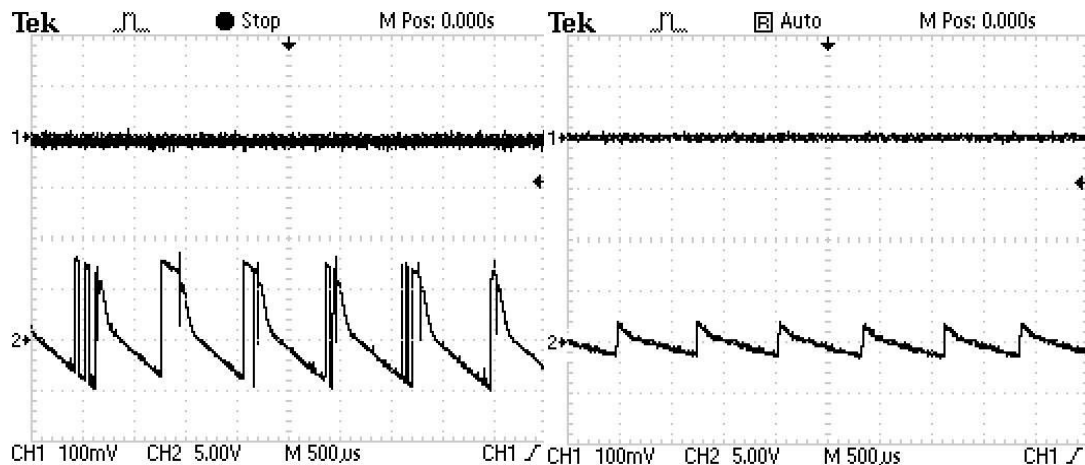


Figura 5- Gráficos tirados do osciloscópio. A esquerda apresenta a curva de tensão pelo tempo provocada pelo laser no detector antes de se adicionar um capacitor ao esquema, a esquerda aparece a curva de tensão pelo tempo provocada pelo laser após a mudança.

**Teste com fibras ópticas multimodo e monomodo.**

Neste estágio, planejamos implantar um mecanismo que permita que a luz percorra distâncias mais longas, carregando assim as informações do som a lugares mais distantes, sem perder suas características já moduladas. Assim, pretendemos definir qual tipo de fibra apresenta melhores resultados para essa tarefa, a multimodo ou a monomodo.

Com o intuito de testar a eficiência de cada uma delas, utilizamos uma fibra com modo de campo de  $50\mu\text{m}$  de diâmetro e outra de  $9,5\mu\text{m}$ , como multimodo e monomodo respectivamente. A montagem da fibra foi feita como esquematizado na figura 3.c.

Testamos as respostas comparando as fibras. Obtemos os seguintes resultados:

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

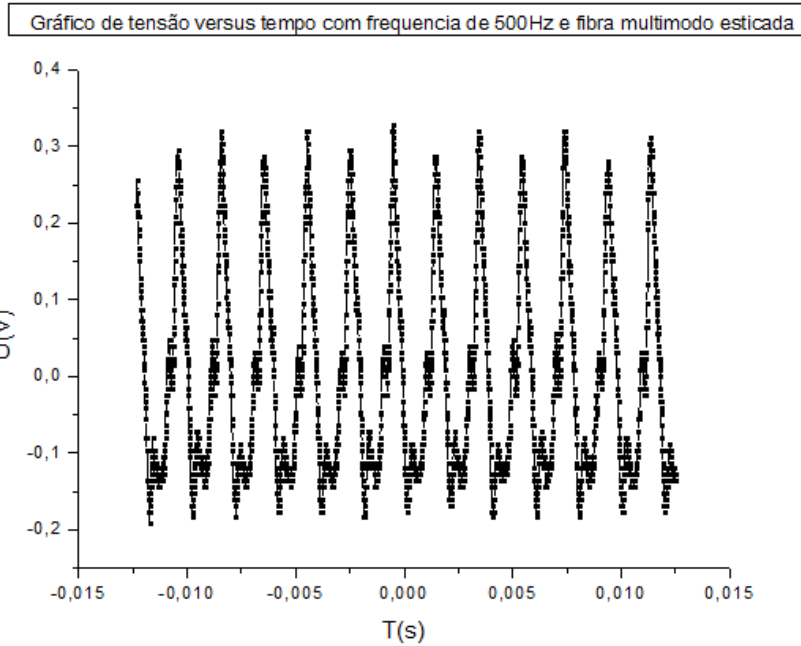


Figura 6 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para uma frequência de 500Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica multimodo esticada.

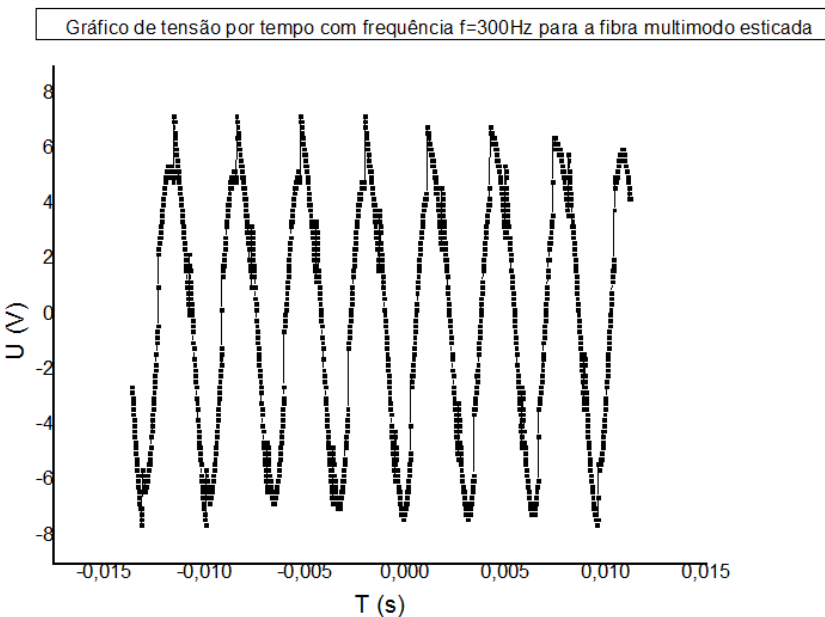


Figura 7 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para uma frequência de 300Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica multimodo esticada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

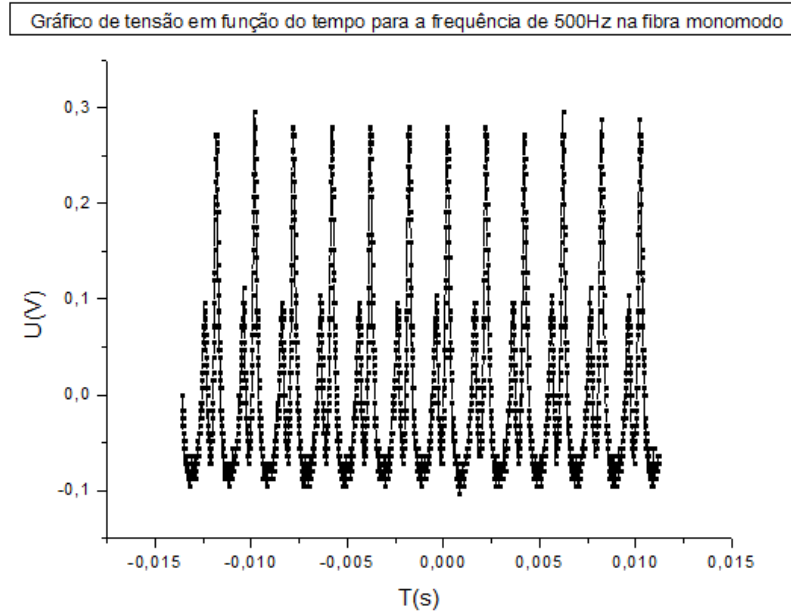


Figura 8 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para uma frequência de 500Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica monomodo.

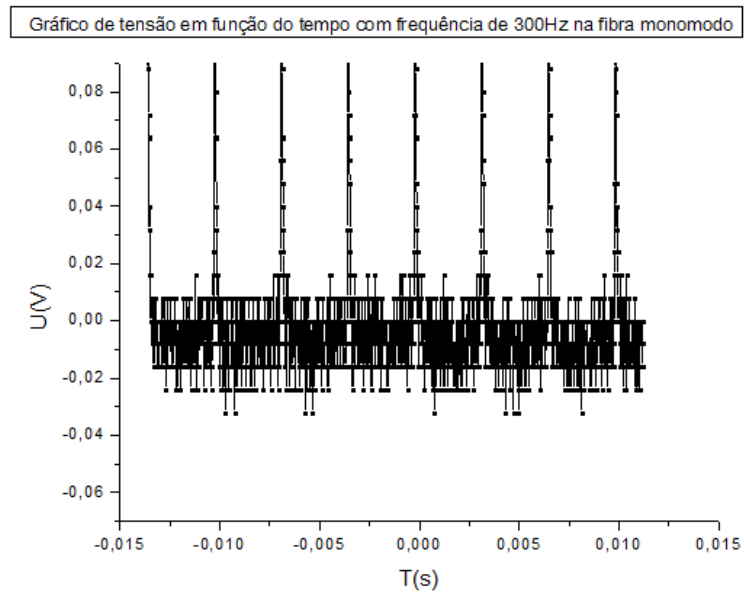


Figura 9 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para uma frequência de 300Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica monomodo.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

A fibra multimodo respondeu melhor ao transportar a luz em faixas distintas de frequência modulada, porém a fibra monomodo não apresentou respostas muito boas para frequências altas, logo considerou-se que a fibra multimodo é a que funciona melhor para o experimento.

Porém, precisávamos testar se a maneira como essa fibra fosse posicionada iria influenciar no sinal modulado da luz, já no capilar da fibra multimodo ocorrem várias reflexões que poderiam causar interferências no sinal dependendo da curvatura do mesmo. Fizemos testes para checar a resposta dessa fibra, e os resultados seguem a baixo:

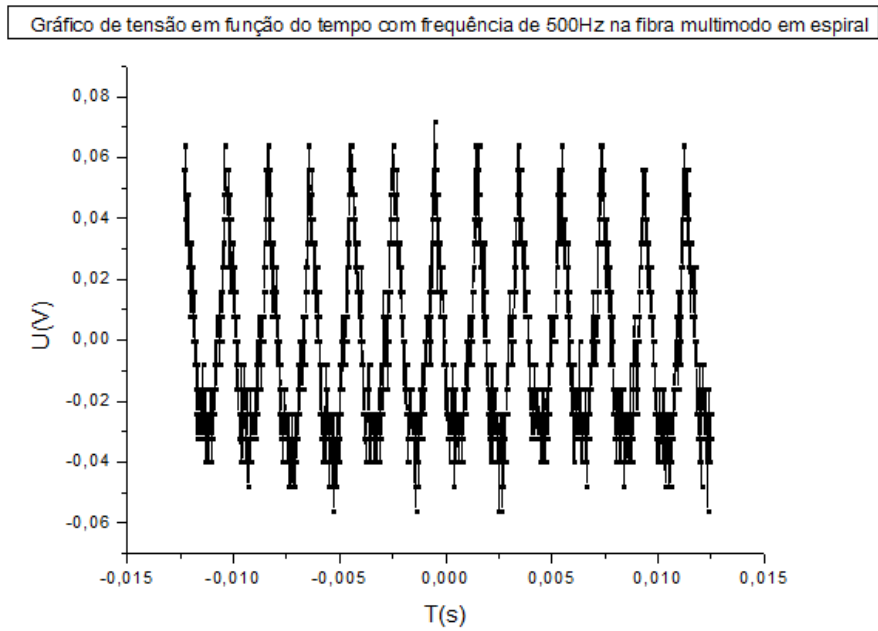


Figura 10 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para a frequência de 500Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica multimodo enrolada em espiral.

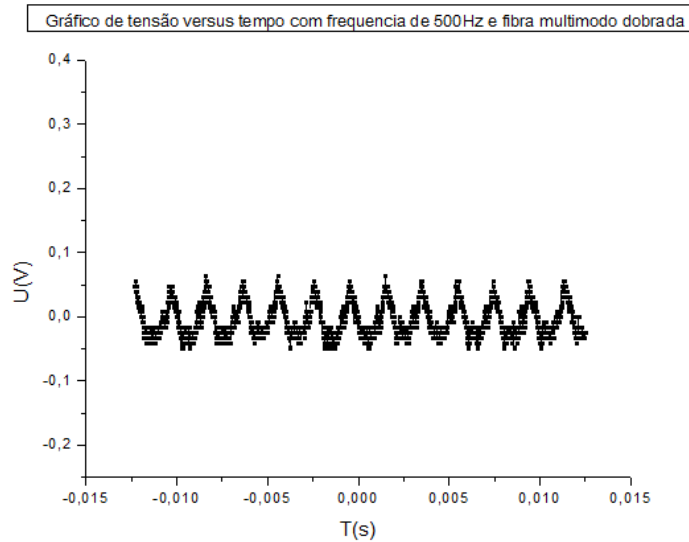


Figura 11 – Gráfico de tensão por tempo da resposta de modulação da luz, para a frequência de 500Hz, após ser transportada através de 7 metros de fibra óptica multimodo dobrada.

Pensando que a voltagem é proporcional a intensidade do feixe, analisando as figuras 6, 7 e 8 vemos que a intensidade da luz é influenciada pela posição da fibra, logo se ela for dobrada, a intensidade da luz que chega ao detector será bem menor do que se ela estiver esticada. Porém a frequência não é influenciada por essa característica.

### **Desenvolvimento do tubo e da membrana**

A partir deste estágio, começamos os testes para definir o melhor raio para o tubo que será usado no lugar do autofalante, e também do material que se usará para fazer a membrana.

Os testes foram realizados usando-se uma disposição alternativa dos materiais. Como era preciso medir a resposta luminosa dos diferentes objetos de estudo para diferentes frequências, colocou-se o tubo como indicado na montagem da figura 3.c, e na abertura do cano (do lado oposto ao da membrana), posicionou-se um autofalante ligado a uma fonte de corrente alternada, para que se pudesse estabelecer qual frequência exata estava sendo produzida próxima a membrana e qual frequência era reproduzida mecanicamente pela mesma.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

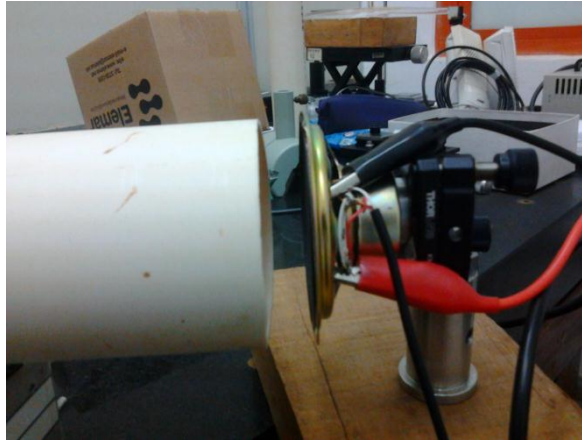


Figura 12 – Fotografia da montagem, onde se vê como o autofalante fica em relação a entrada do tubo, a 1cm de distância da borda.

**Testes sobre a influencia do raio do tubo na banda de frequências nítidas no receptor**  
**(Etapa 2).**

Nesta etapa, testaremos os diferentes raios de tubo para diferentes frequências, usando como membrana o filme de béquer, para estabelecer qual deles modula a luz em uma faixa maior de frequências de oscilação.

Os gráficos a seguir foram plotados com medias obtidas através de um osciloscópio, e foram feitos no programa Origin 8.1. As curvas em vermelho representam o ajuste da curva a uma função senoidal, onde o parâmetro de frequência é livremente ajustado de acordo com a distribuição dos pontos colhidos.

• **Cano 1 – Raio de 5 cm**

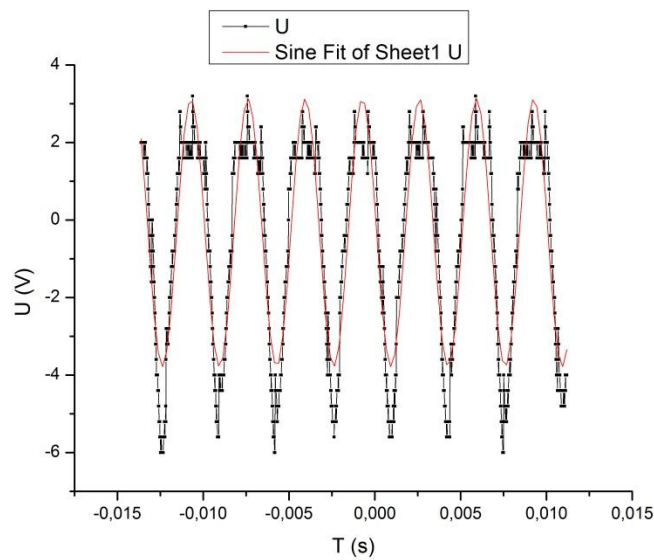


Figura 13 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 300 Hz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

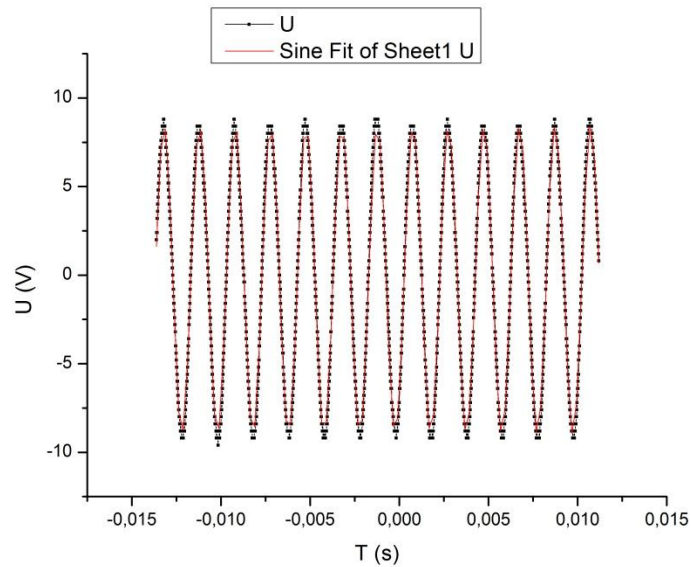


Figura 14 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 500 Hz.

Vemos que a partir deste ponto, as medidas ficam confusas, e isso acontece porque justamente agora não vemos mais a luz modulada, mas apenas a oscilação de intensidade do próprio laser.

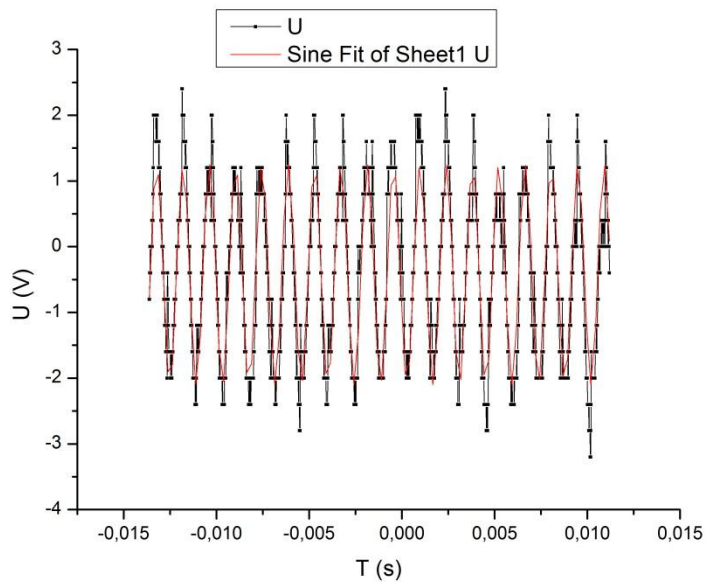


Figura 15 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 700 Hz.

A partir dos 600 Hz a luz não é mais modulada, e a tensão no detector apresenta apenas a curva de ruídos devido a inconstância do laser.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

- Dados para o cano 2 – Raio de 10 cm

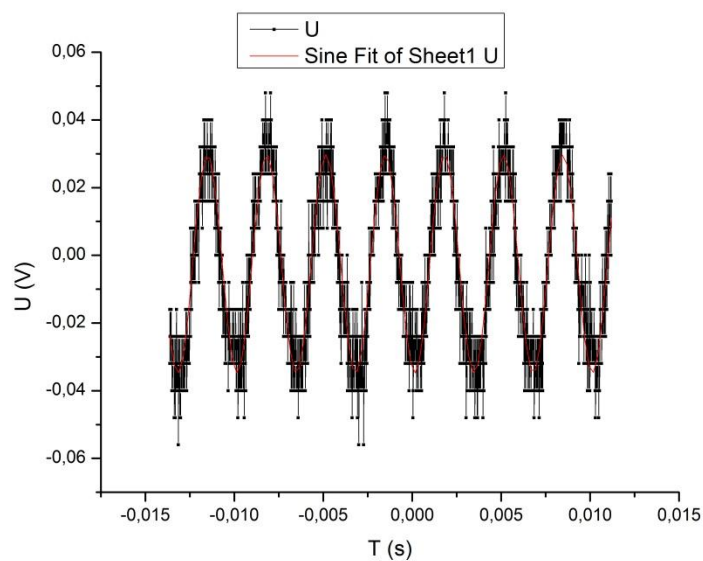


Figura 16 - Tensão modulada em função do tempo, para uma frequência de 300Hz.

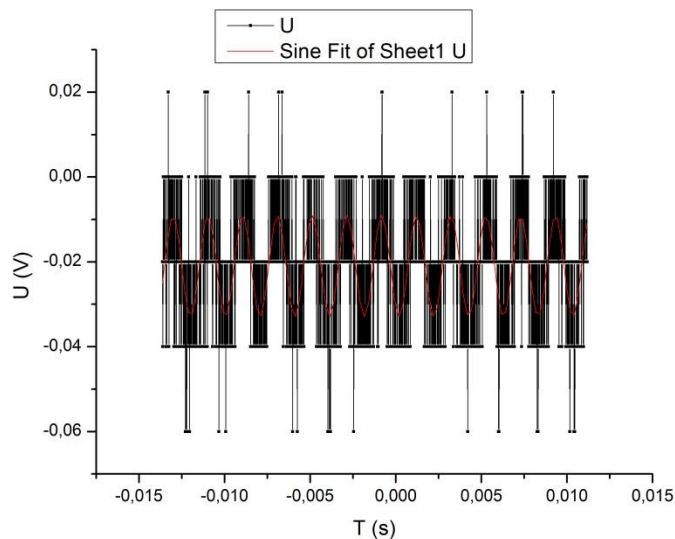


Figura 17 - Tensão modulada em função do tempo, para uma frequência de 500Hz.

A partir desta frequência, vemos que o sinal que o osciloscópio apresenta é apenas do ruído do laser, como na figura a seguir.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

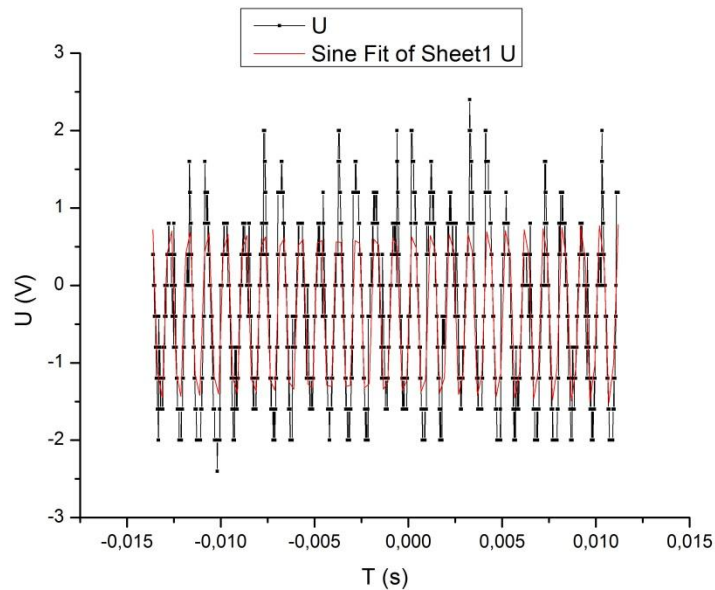


Figura 18 - Tensão modulada em função do tempo, para uma frequência de 700Hz.

**Conclusão da etapa 2:**

Analisando os gráfico das figuras 13-18, montamos uma tabela de respostas a baixo:

Tabela 1 – Resposta sobre a modulação para diferentes frequências dos canos 1 e 2, onde M=Modula Significativamente e N=Não modula significativamente.

Frequência do som	Resposta do cano 1	Resposta do cano 2
300Hz	M	M
500Hz	M	M
700Hz	N	N
1 kHz	N	N

Observando e analisando os dados colhidos, podemos dizer que apesar do cano 2 possuir o dobro do raio que o cano 1, essa diferença não é significativa quanto a resposta da membrana a diferentes frequências, já que ambos apresentam praticamente os mesmo resultados, apenas a 500Hz o cano 2 modula o sinal, porém este não apresenta características senoidais limpas, significando que há uma certa resistência do material a propagar a onda mecânica, logo o melhor raio para o tubo é o de 5cm.

**Testes sobre os materiais da membrana (Etapa 3).**

Lembrando que o teste a cima foi realizado com o papel filme de béquer, vamos seguir com o restante de materiais testados, agora usando o tubo 2.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

Mais uma vez os gráficos a seguir foram plotados com médias obtidas através de um osciloscópio, e foram feitos no programa Origin 8.1 onde as curvas em vermelho representam o ajuste a uma função senoidal, para a qual os parâmetros de frequência e amplitude são livremente ajustados de acordo com a distribuição dos pontos colhidos.

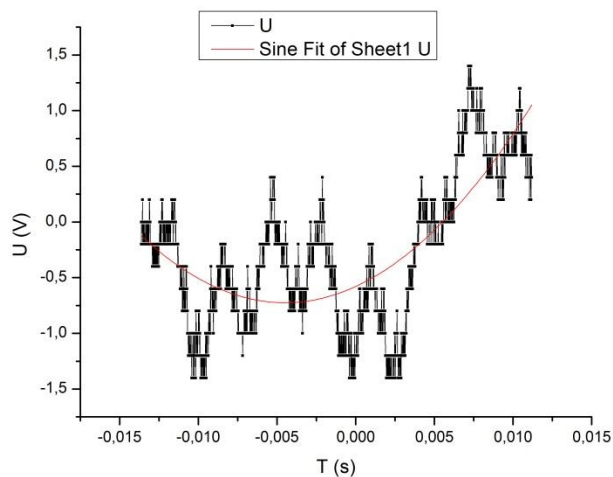


Figura 19 - Materiais utilizados para o teste a seguir. Seguem na figura da esquerda para a direita: Embalagem de alimento, papel filme de béquer, sacola plástica e bexiga.

Seguem a baixo os resultados para cada material.

- **Embalagem de alimento (embalagem de pacote de bolacha)**

Este material foi pensado como a primeira alternativa, já que nas patentes de Alexander Graham Bell, o material utilizado para se fazer a membrana não era especificado, mas descrito como um material plástico com brilho metálico.





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

Figura 20- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 300 Hz.

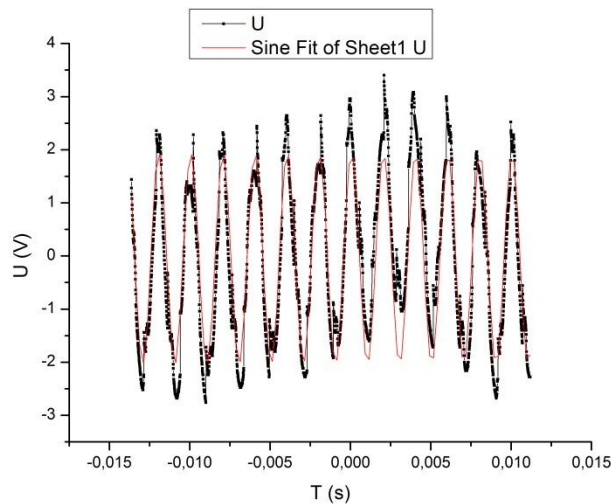


Figura 21- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 500Hz.

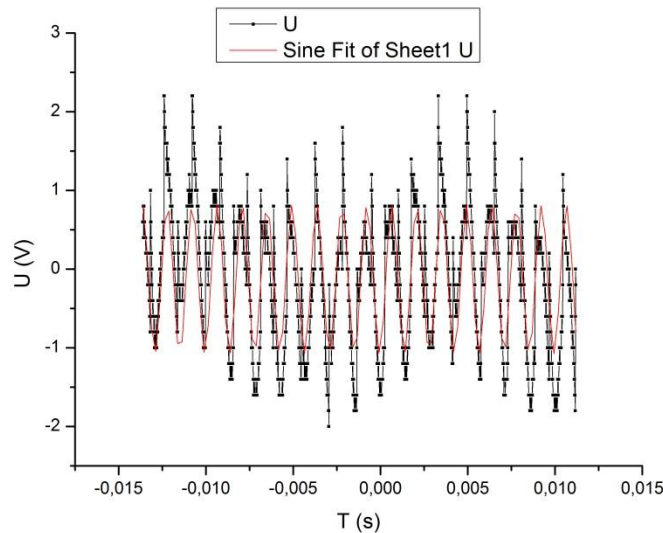


Figura 22 - Tensão modulada em função do tempo, para uma frequência de 700Hz.

- **Sacola plástica**

Esse material foi uma tentativa de diminuir a massa específica da membrana, com a esperança de que ela respondesse melhor aos estímulos do gerador de função.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

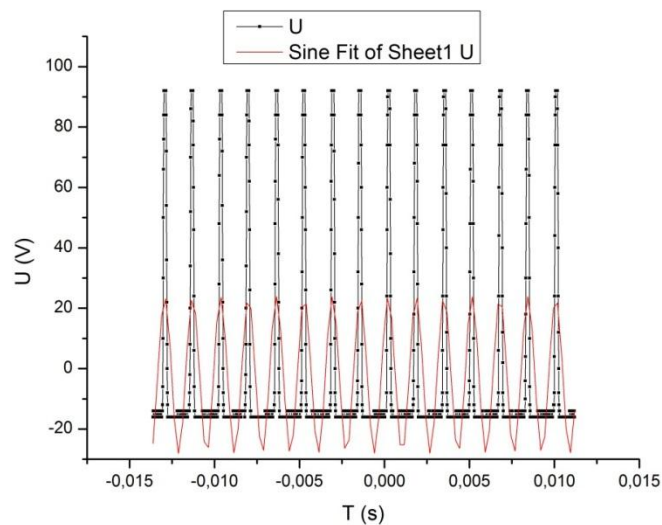


Figura 23 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 300 Hz.

A partir de medias acima de 250 Hz, já vemos uma deformação nos sinais transmitidos pela membrana, porém fica mais evidente a partir dos 400 Hz que o material não é apropriado.

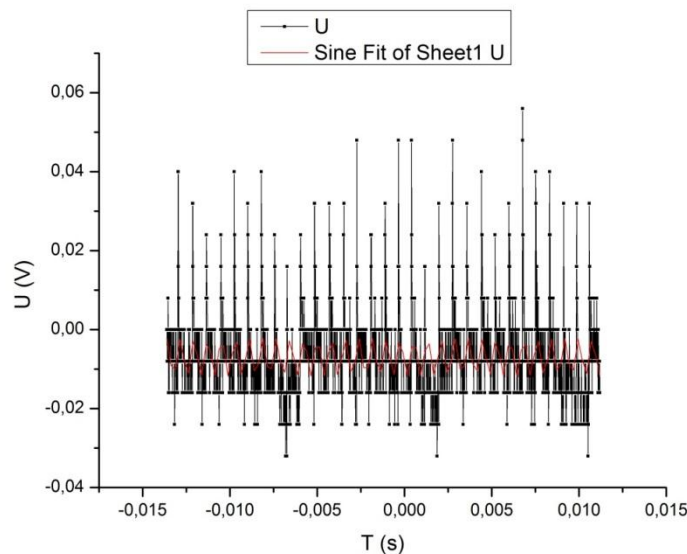


Figura 24 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 500 Hz.

- **Bexiga**

A bexiga apresenta oscilações de grande amplitude, devido a sua grande elasticidade, porém essa mesma propriedade faz com que as ondas mecânicas propagadas na mesma sejam

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

levemente amortecidas, o que faz com que o som fique sem precisão por conta da sobreposição das ondas sonoras de frequências distintas.

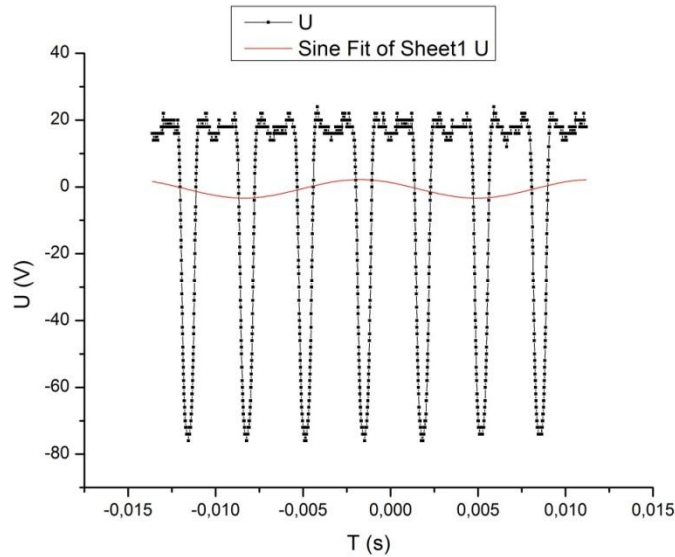


Figura 25 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 300 Hz.

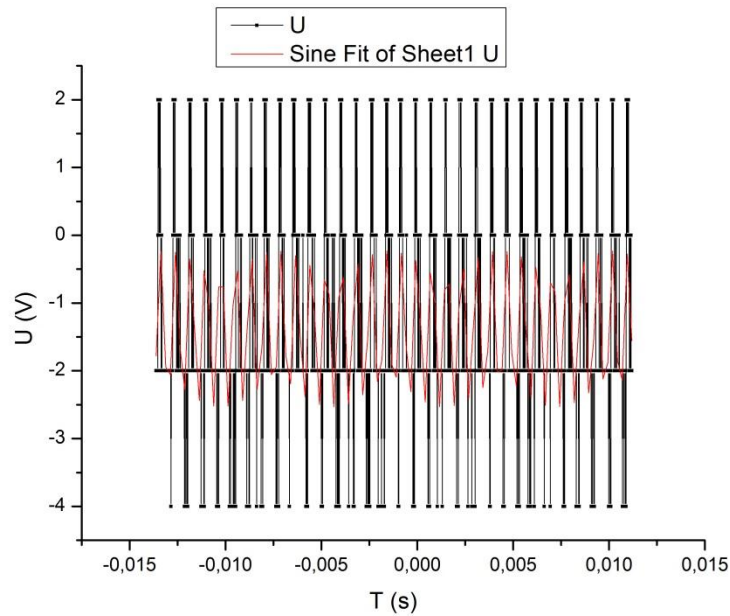


Figura 26 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 500 Hz.

A partir desta frequência o material não responde mais a estimulação.

- **Papel de seda**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

O papel de seda foi pensado como alternativa, caso os resultados estivessem sendo prejudicados pela elasticidade alta dos materiais utilizados até o momento.

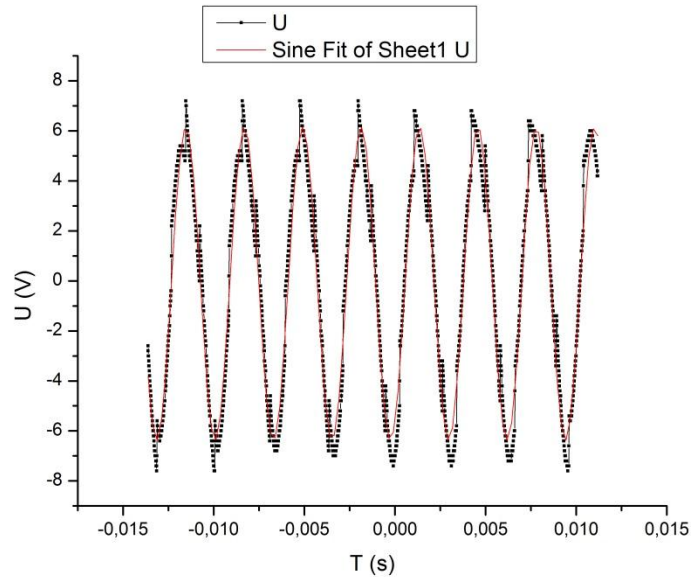


Figura 27 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 300Hz.

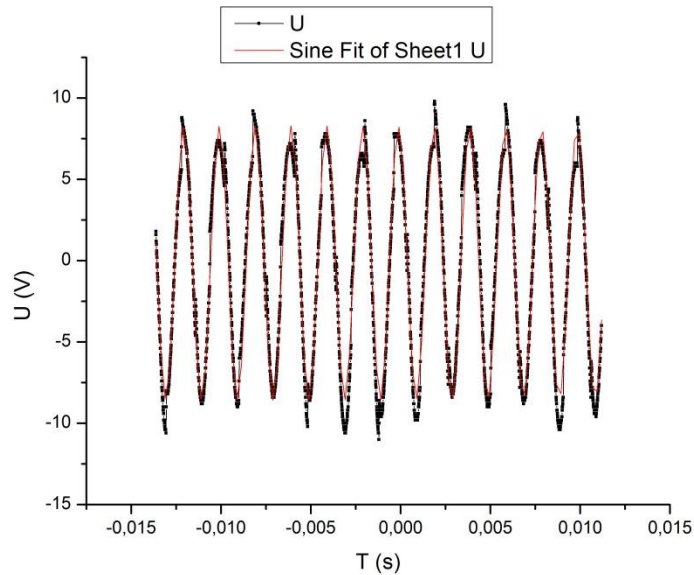


Figura 28 - Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 500Hz.

Mais uma vez, a partir da frequência de aproximadamente 600 Hz o material não responde mais as vibrações, portanto o período observado já não condiz com o esperado para a frequência usada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

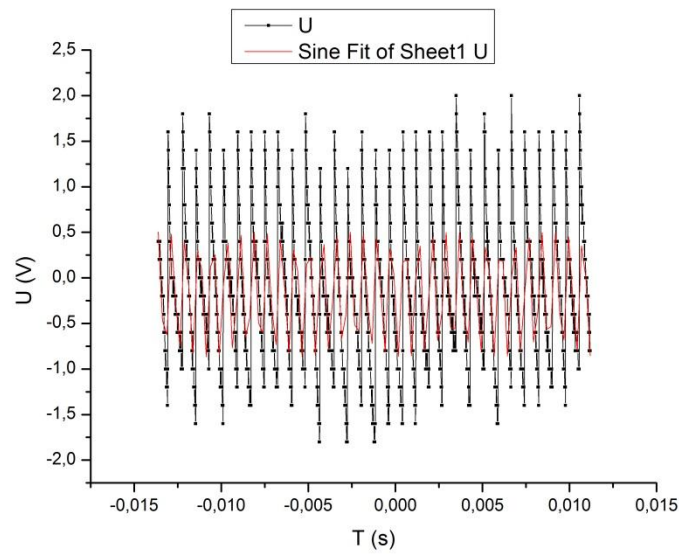


Figura 29- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 700Hz.

- **Plástico central de um twitter**

Neste caso usamos a semiesfera de plástico que se localiza no centro de um twitter (Caixa de som para altas frequências), com a esperança desse material possuir uma frequência de ressonância a cima de 500Hz e apresentar melhores resultados para altas frequências no experimento.

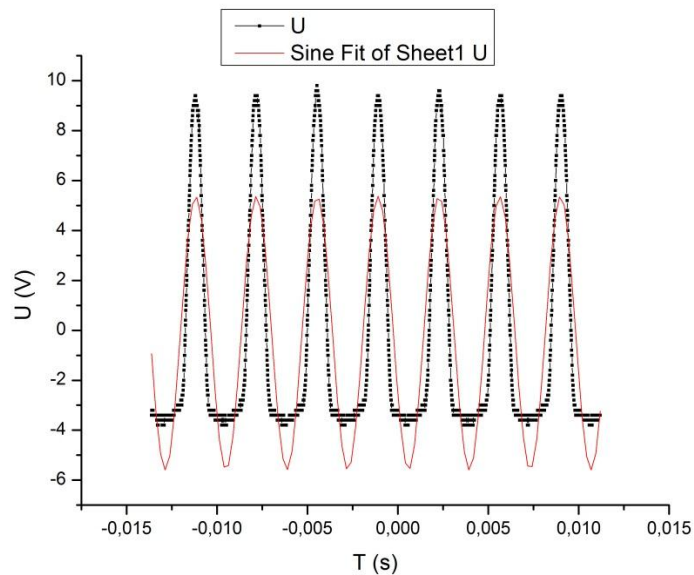


Figura 30- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 300Hz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

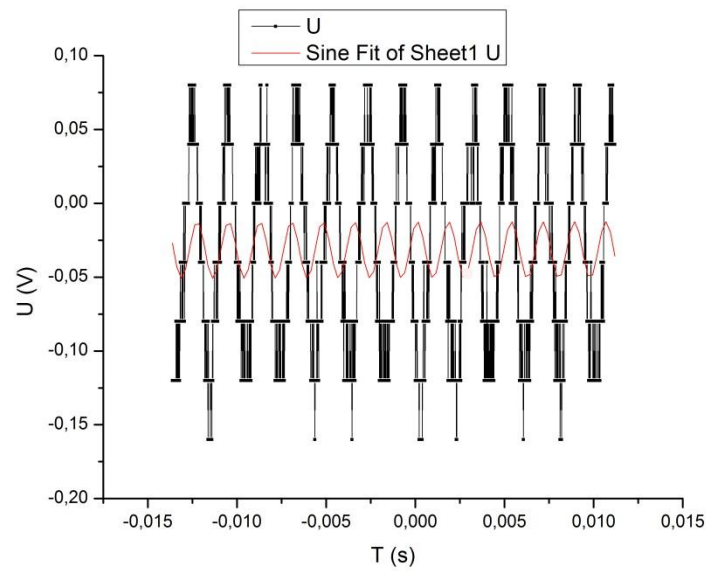


Figura 31- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 500Hz.

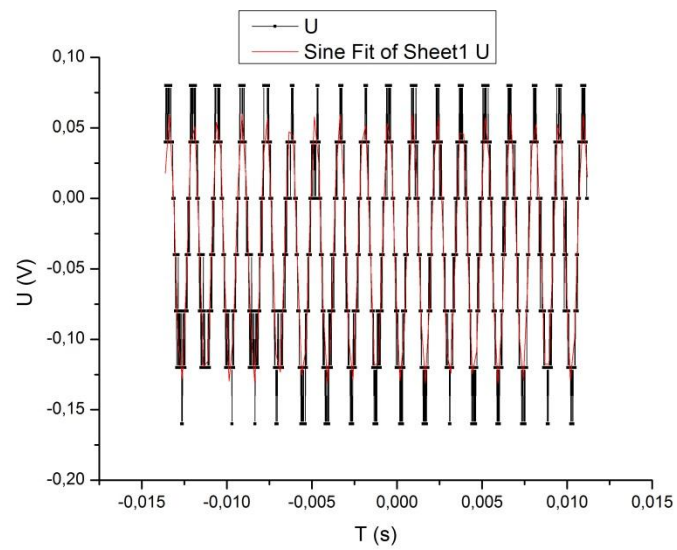


Figura 32- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 700Hz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

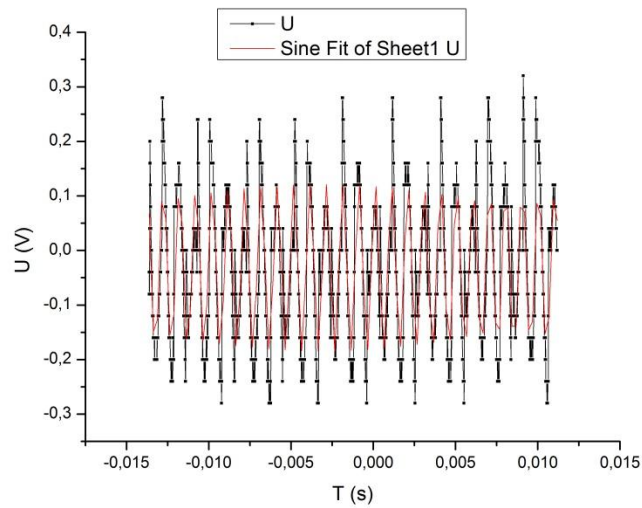


Figura 33- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência 1KHz.

Analisando as curvas, vemos que o twitter modulou bem as frequências de 500Hz a cima, por vemos que nessas curvas, encontramos valores de frequências próximos dos esperados.

- **Membrana de autofalante.**

Neste teste, usamos apenas a parte externa de um autofalante, para testar se o material projetado para reproduzir uma banda larga de frequências audíveis exerce sua função mesmo sem sua bobina.

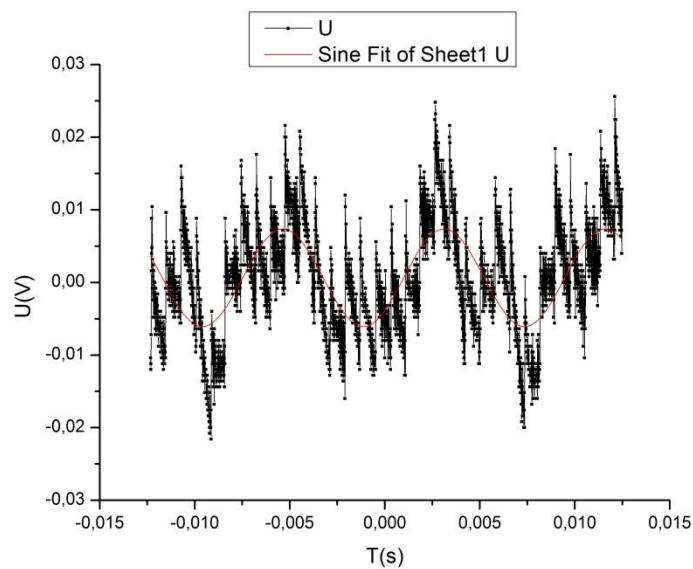


Figura 34- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 300Hz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

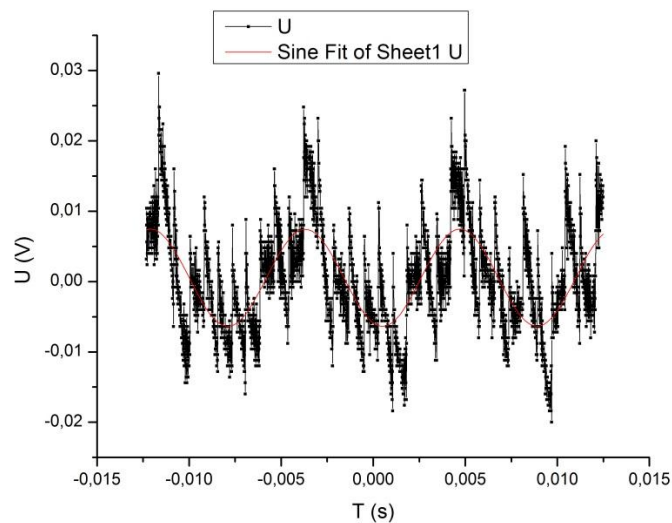


Figura 35- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 500Hz.

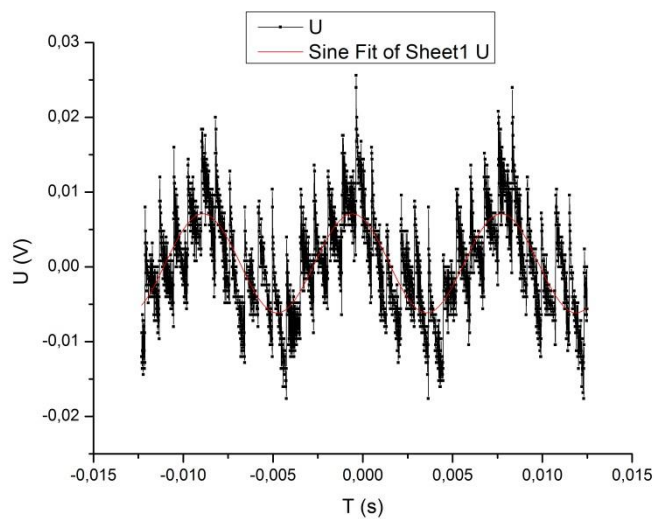


Figura 36- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 700Hz.

Vemos que a cima de 500Hz, há muita interferência na curva, o que indica que o som não sairá nítido o suficiente ao fim.

- **Membrana mista (papel filme de laboratório e plástico)**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

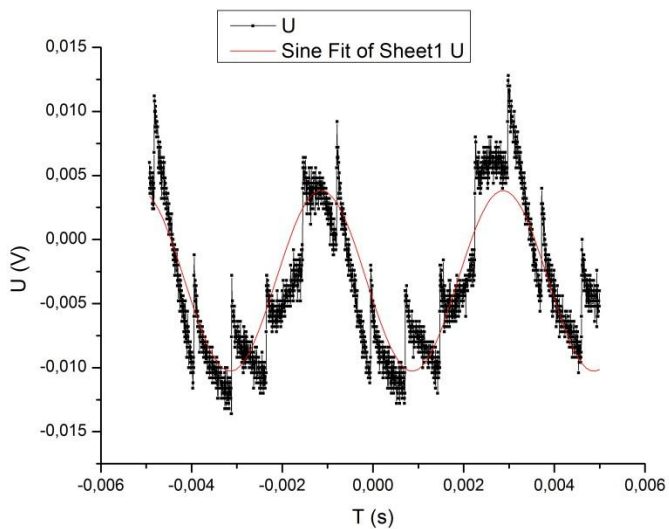


Figura 37- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 300Hz.

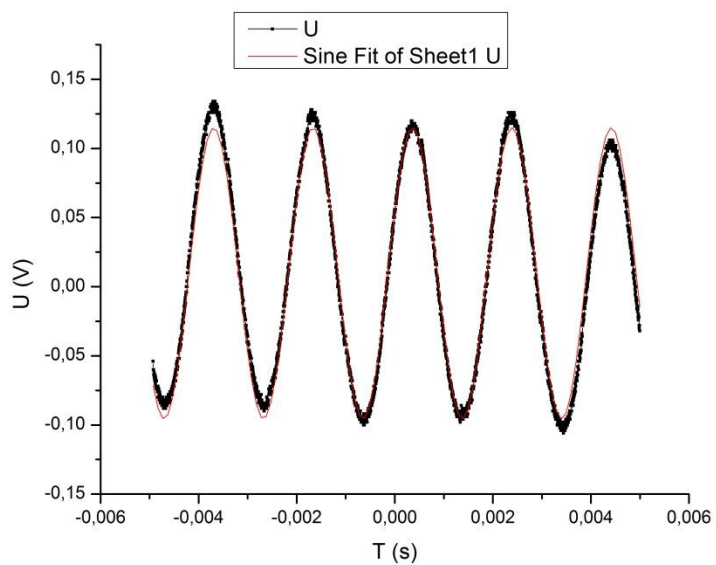


Figura 38- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 500Hz.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP  
INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW

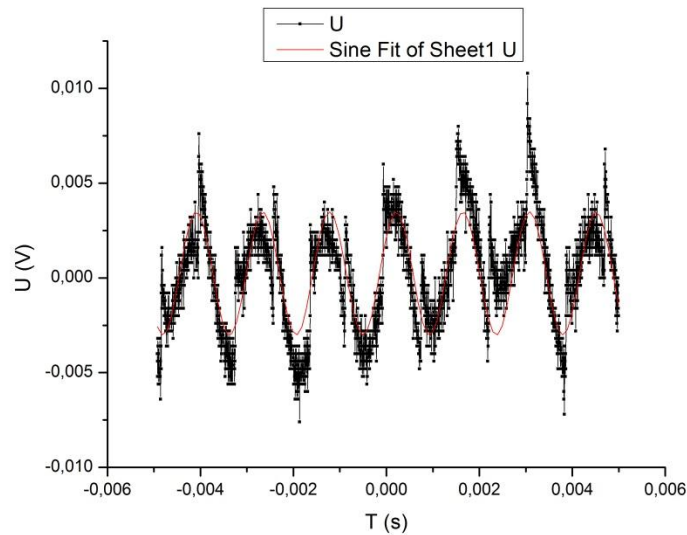


Figura 39- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 700Hz.

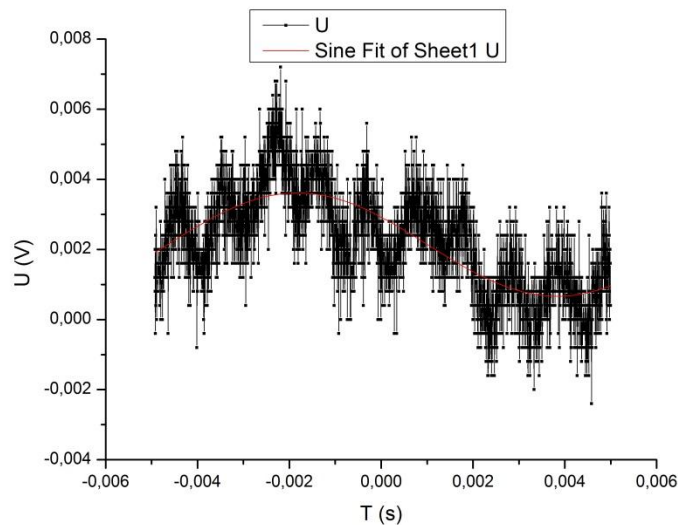


Figura 40- Tensão modulada em função do tempo para uma frequência de 1KHz.

Já no gráfico de 1KHz, vemos que o gráfico se apresenta pouco senoidal e com muitos ruídos, o que indica que os tons agudos mais não podem ser bem modulados por essa membrana com precisão.

**Conclusão da etapa 3:**

Através dos testes sobre o material para criar a membrana, podemos também construir uma tabela ilustrativa para demonstrar as respostas dos diferentes materiais quanto a modulação

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

de frequências distintas, obtidas com os gráficos 19 ao 40. Temos como parâmetro de avaliação da modulação a frequência do sinal emitido pelo fotodetector, comparando-a com a frequência sonora esperada à qual a membrana foi submetida.

Tabela 2. Resultados sobre os testes para otimização da membrana, onde M=Modula Significativamente e N=Não modula significativamente.

Frequência	Filme de béquer	Embalagem de alimentos	Sacola plástica	Bexiga	Papel	Plástico	Membrana de Autofalante	Membrana montada
300 Hz	M	N	N	N	M	N	N	M
500 Hz	M	M	N	N	M	N	M	M
700 Hz	N	N	N	N	N	M	M	M
1 kHz	N	N	N	N	N	M	N	N

Vemos que a membrana mista é a que exerce melhor seu objetivo, sendo também esta a apresentar melhores resultados no teste qualitativo final (demonstrado no vídeo 4, cujo link se encontra nos anexos deste trabalho).

### Montagem final do experimento

Após a otimização do sinal, a montagem final do experimento esta composta por um capacitor de 20  $\mu\text{F}$  associado em paralelo com a fonte que alimenta o laser, um filtro de 4% de transmitância, um cano de 5cm de raio tapado em uma das extremidades por uma membrana feita de papel filme de béquer e plástico, uma lente com distância focal de 4,5cm (que funciona como uma alavanca óptica) e um detector fotoelétrico ligado a uma caixa de som, como na figura a baixo:

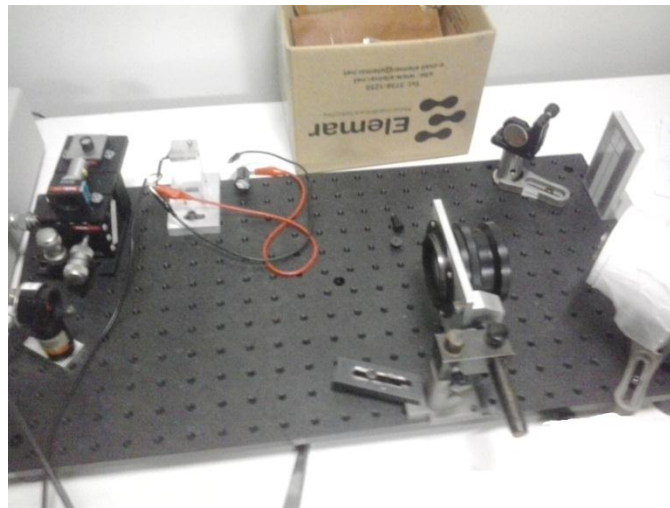


Figura 41 – Fotografia da montagem final do experimento em laboratório.

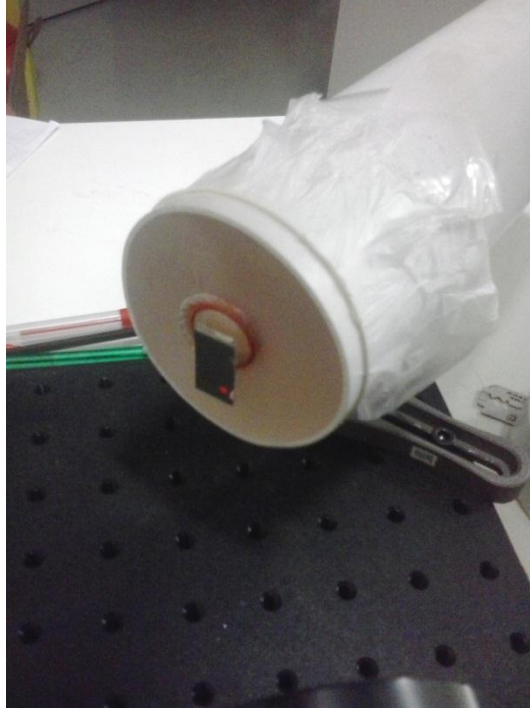


Figura 42 – Fotografia da membrana mista avaliada como a mais eficiente.

Não utilizamos a fibra óptica na montagem final, pois um dos objetivos do trabalho é montar uma versão caseira do experimento, logo os equipamentos para clivar a fibra e focar o feixe de luz em seu capilar estão fora do orçamento.

#### **Montagem da versão caseira**

Finalmente construímos uma versão caseira do experimento, contendo as mesmas mudanças para otimizar o experimento, porém adaptadas para componentes de baixo custo.

Os componentes dessa versão são:

- Laser de pointer (vermelho, sendo alimentado por uma fonte mais complexa e eficiente em transformar CA em CC).
- MDF mogno que serve como suporte.
- Espelho comum de 1 cm<sup>2</sup>
- Cabos elétricos
- Fototransistor (que opera como fotodetector).
- Cano de PVC de 3 polegadas (tubo de ressonância)
- Papel filme de béquer e copo plástico (membrana mista)
- Uma caixa de som

Utilizamos o copo plástico no lugar do plástico de twitter pois este apresenta um material semelhante e de custo mais baixo, usamos cola instantânea para unir o fundo do copo ao papel filme de forma que ficassem o mais estável possível.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

Também o fotodiodo foi montado, seguindo o circuito da figura 43. Foram previamente testados na referencia 1 modelos de fotodiodos, porém este fototransistor foi o que apresentou melhores resultados.

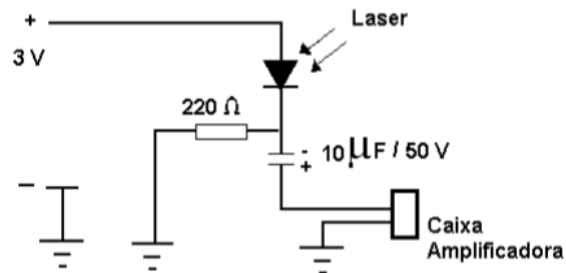


Figura 43 – Circuito simplificado do fototransistor Utilizado como fotodetector.

A montagem foi testada de forma qualitativa como consta no vídeo 5 (link nos anexos), junto da mesma foi montada uma caixa de reparos, para que na eventual ruptura da membrana ou algo similar, o experimento possa voltar a operar com êxito.



Figura 44 – Tubo e membrana mista montados para formarem a versão caseira do experimento.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**



Figura 45 – Foto da montagem caseira completa, já com todos os componentes unidos a mesa de suporte e operando.

#### **4) Dificuldades encontradas**

A principal dificuldade foi encontrar um orientador, a partir do momento em que consegui conversar com o professor Cristiano, ele me sugeriu o aperfeiçoamento do projeto referenciado (1), que foi orientado por ele mesmo em semestres anteriores, e assim começamos a desenvolver os conceitos do zero, para que eu pudesse ficar habituada ao material utilizado no experimento e a própria montagem.

Após essa fase, encontrou-se vários problemas no sinal do receptor, e solucionar esse problema foi um grande obstáculo, pois havia desenvolvido habilidades investigativas que me permitissem supor qual era a raiz do problema e muito menos a sua solução. Com paciência o professor Cristiano me deu diretrizes que solucionaram muitos problemas, e também com a colaboração do funcionário do laboratório de ensino, Costa, consegui chegar aos resultados atuais.

Outro problema está no fato de que o fotodetector, utilizado do experimento (1), não é um aparelho ao qual estou acostumada, e como este apresenta necessidade de manutenção, estou encontrando dificuldades em ajustá-lo corretamente.

#### **Meu orientador concorda com o projeto e expressa a seguinte opinião:**

“A aluna terminou com sucesso a primeira etapa do projeto que consistia em:

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

i) reproduzir antigos resultados baseados na modulação de sinal luminoso com alto-falante e espelho e posterior de modulação com fotodetector e alto-falante e, ii) melhorar a relação sinal ruído deste experimento preliminar. Segunda fase do projeto será a mais importante onde três grandes metas estão colocadas: i) substituir transmissão do sinal atualmente no ar por fibra óptica, ii) testar modulação da voz humana através de membrana fixada em tubo ressoante e, iii) testar transmissão pelo ar por grandes distâncias (provavelmente limitada pela divergência do laser).”

### 5) Referências

Para a realização do trabalho foram usadas as seguintes referências:

Sobre a disciplina F 609:

- **1- Comunicação óptica: transmitindo o som com luz e fibras ópticas** – Aluno: Guilherme de Sá Antunes, Orientador: Prof. Dr. Cristiano Monteiro de Barros Cordeiro.  
[www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F609\\_2012\\_sem2/GuilhermeA-Cristiano\\_RF2.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2012_sem2/GuilhermeA-Cristiano_RF2.pdf) (12/05/2013)
- **2- Transmissão de sinal sonoro por laser** – Aluno: Cristian Rosa da Silva, Orientador: Prof. Marcos Cesar de Oliveira.  
[www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2006/CristianRMarcosCesar\\_F609\\_RF2.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/CristianRMarcosCesar_F609_RF2.pdf) (12/05/2013)

Referências bibliográficas:

- **A Simple Laser Microphone for Classroom Demonstration**, James M. Moses and K.P. Trout, The Physics Teacher Volume 44, Dezembro de 2006.
  - ❖ *Sugeridas pelo coordenador Prof. Dr. Jose Joaquin Lunazzi*
- **Photophone (Wikipedia)**  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Photophone> (13/04/2013)
- **Bibliography of early optical (Audio) Communications**  
<http://www.bluehaze.com.au/modlight/ModLightBiblio.htm> (13/04/2013)
- **Microphone Listens with Light**  
[http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=54177&refer=weeklyNewsletter&utm\\_source=weeklyNewsletter\\_2013\\_06\\_20&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=weeklyNewsletter](http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=54177&refer=weeklyNewsletter&utm_source=weeklyNewsletter_2013_06_20&utm_medium=email&utm_campaign=weeklyNewsletter) (30/06/13)

O experimento (1) esta diretamente ligada ao trabalho realizado, já que o que foi feito é o aperfeiçoamento desta referência com a ajuda do próprio professor coordenador.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS – UNICAMP**  
**INSTITUTO DE FÍSICA – IFGW**

O trabalho (2) a cima citado foi usado como fonte de pesquisa para que se desenvolvesse uma ideia qualitativa de modulação de sinal, na fase de pré-construção do projeto.

As referências bibliográficas, auxiliaram o trabalho a caminhar, pois muitas vezes forneciam informações chave sobre problemas que precisavam ser solucionados. Algumas delas foram importantes para que o projeto ganhasse uma visão histórica, já que estas contam como o cientista, Alexander Graham Bell, desenvolveu um microfone capaz de transmitir o som a centenas de metros de distancia através da luz em 1878. Desta forma estas auxiliam os espectadores a compreender as possíveis aplicações do projeto no dia-a-dia.

**6) Anexos:**

Vídeos sobre os testes qualitativos dos materiais para a confecção da membrana:

1-Teste com embalagem de alimentos:

[http://www.youtube.com/watch?v=vC9\\_kJa5hUY](http://www.youtube.com/watch?v=vC9_kJa5hUY) (11/06/2013)

2-Teste com bexiga:

<http://www.youtube.com/watch?v=6CGqWymZXaM> (11/06/2013)

3-Teste com sacola plástica:

<http://www.youtube.com/watch?v=uYyruwhpOPw> (11/06/2013)

4-Teste com a membrana mista:

<http://www.youtube.com/watch?v=iqM8fP7g62Q> (04/07/2013)

5- Experimento caseiro operando:

<http://www.youtube.com/watch?v=sxfTSy81> (11/07/2013)