

Universidade Estadual de Campinas

Projeto de F809
Sonoluminescência

Relatório Final

Natalia Prado de Abreu
Orientador: Daniel Ugarte

Campinas 2002

Conteúdo

1	Introdução	2
2	O Fenômeno da Sonoluminescência	3
2.1	O mecanismo de produção de bolhas	3
2.2	Propriedades	5
2.3	Teorias e explicações	6
3	Construção de um aparelho para observação da Sonoluminescência	9
3.1	Componentes	9
3.2	O Circuito	11
3.3	Os Transdutores Piezoelétricos	11
3.4	Colagem dos PZTs	13
3.5	A Preparação da Água	13
3.6	A montagem	16
4	Dificuldades Experimentais	17
5	Operação da Montagem	19
5.1	Monitoramento pelo Osciloscópio	19
5.2	O Movimento do Bolha	19
5.3	Monitoramento do Sinal do Microfone e a emissão de luz	20
6	Conclusão	22

Capítulo 1

Introdução

Sonoluminescência (SL) é o fenômeno em que energia sonora é convertida em luz. A SL foi descoberta em 1934 por dois físicos alemães, H. Frenzel e H. Schultes, na universidade de Colônia [4]. Eles notaram o escurecimento de algumas placas fotográficas que estavam em volta de uma banheira de água exposta a ondas acústicas e atribuíram os resultados à luminescência do campo sonoro. Assim o fenômeno foi chamado de "sonoluminescência".

O modo de sonoluminescência descoberto envolvia múltiplas bolhas em um meio (que no caso era a água) e foi chamado Sonoluminescência de Múltiplas Bolhas ("Multi-Bubbles Sonoluminescence", MBSL). Os mecanismos envolvidos na MBSL são pouco entendidos pois estão associados ao crescimento e o colapso aleatório de várias bolhas. Até recentemente, o estudo da SL estava limitado a uma análise em que os resultados eram médias temporais das medidas dos efeitos da MBSL.

Em 1988, um importante avanço no estudo da SL aconteceu quando D. F. Gaitan, na época trabalhando na universidade do Mississippi, descobriu as condições para a sonoluminescência de uma única bolha na água [10]. Este modo de SL foi batizado de Sonoluminescência de Bolha Única ("Single-Bubble Sonoluminescence", SBSL) em oposição à MBSL. A descoberta da SBSL permitiu um exame mais detalhado e consistente da física envolvida no fenômeno. Contudo, uma explicação completa do fenômeno de SL ainda esta por ser encontrada.

Capítulo 2

O Fenômeno da Sonoluminescência

2.1 O mecanismo de produção de bolhas

Para produzir SBSL, uma única bolha de ar deve estar suspensa na água e ser bombardeada por ondas acústicas. Um aparelho utilizado para verificar o fenômeno de sonoluminescência consiste basicamente de um recipiente de vidro (cilíndrico ou esférico) e um circuito de alimentação. O recipiente funciona como um container para o meio em que o fenômeno ocorre, é mais comum utilizar um frasco esférico de vidro de 100 ml cujo raio deve ser de aproximadamente 6 cm [1]. O circuito consiste de um gerador, que funciona como a fonte das ondas, um amplificador, piezos elétricos transdutores (PZT) e um circuito apropriado que contém basicamente alguns resistores e um indutor.

A bolha formada dentro do recipiente estará sujeita à uma significativa diferença de pressão devido as vibrações mecânicas geradas pelo PZTs. Uma onda estacionária, correspondente ao primeiro harmônico, criada dentro do frasco é responsável por guiar a bolha. Como as ondas sonoras se propagam à uma velocidade de 1500 m/s na água, a frequência das ondas ressonantes do recipiente é

$$f = \frac{v}{d} = \frac{1500 \text{ m/s}}{0,06 \text{ m}} = 25000 \text{ kHz} \quad (2.1)$$

O uso de um recipiente de vidro pode fazer com que este valor da frequência seja aumentado em até $\approx 10\%$. Um amplificador será utilizado para gerar um som de 110 dB, altura comparável a de um avião a jato. Felizmente, a frequência excitada fica acima da faixa audível pelo ser humano.

Inicialmente o raio da bolha é de alguns microns. A medida que a onda de som (ou seja a pressão acústica formada por ela) diminui, a bolha aumenta de tamanho, chegando

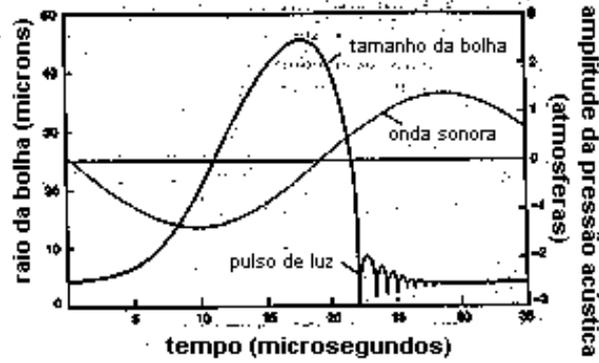


Figura 2.1: Gráfico explicativo de um ciclo de emissão de luz da SL.[3]

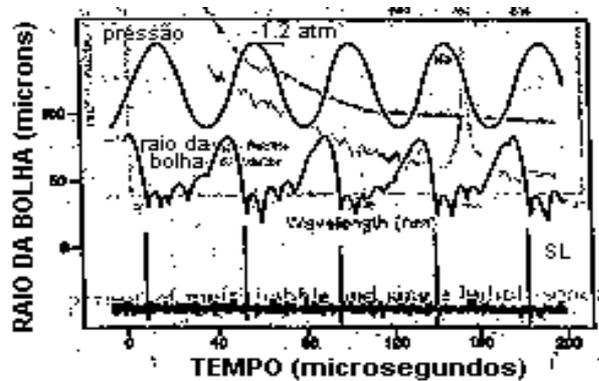


Figura 2.2: Intervalo de tempo de emissão de luz em função do raio da bolha.[10]

à 50 microns. Neste instante a bolha é praticamente vácuo pois seu volume apresentou um aumento de aproximadamente 1000 vezes sem que outras moléculas de gás entrassem em seu interior (a pressão no interior da bolha é de aproximadamente 10^{-3} atm). Quando a pressão exercida pela onda sonora começa a aumentar novamente, a diferença de pressão entre o interior e o exterior da bolha resultam em um rápido colapso. O raio da bolha rapidamente diminui de 50 microns para cerca de 0,5 microns, isto é, um volume um milhão de vezes menor (pressão no interior da bolha é de aproximadamente 10^6 atm). Neste estágio, a bolha para de encolher devido à força repulsiva dos átomos de gás em seu interior. Exatamente neste ponto inicia-se a emissão de luz.

Após a emissão da luz, o raio da bolha varia até finalmente atingir o tamanho inicial. O processo completo de emissão, descrito no parágrafo anterior é repetido a cada ciclo da onda sonora estacionária (Figs. 2.1 e 2.2).

2.2 Propriedades

A sonoluminescência exibe uma física inacreditável. Como exemplo, estão indicados abaixo apenas alguns números associados ao fenômeno:

- Cada pulso de luz dura menos que 50 picosegundos (5×10^{-11} s). Como referência, neste tempo a luz atravessa uma distância de 1,5 cm. Para estabelecer este *limite superior*, cientistas da UCLA utilizaram as mais rápidas fotomultiplicadoras disponíveis.[3]
- Os pulsos de luz emitidos são extremamente regulares. O tempo entre dois *flashes* consecutivos, que é de 40 μ s para uma frequência de excitação de 25 kHz, não apresenta variação maior do que 40 ps. Este nível de precisão e estabilidade excede em muito a precisão do gerador de sinal utilizando. Por exemplo, se cada pulso de luz tivesse duração de 1 segundo, um pulso seria emitido a cada 800.000 s ou 9 dias, com uma variação de apenas 1 segundo; isto é, cada pulso seria emitido a um intervalo de tempo que poderia variar entre 799.999 e 800.001 s.[3]
- Gases nobres exibem um efeito significativo sobre o fenômeno de SL. Por exemplo, a intensidade luminosa emitida por uma bolha formada de nitrogênio puro (N_2) é muito menor que aquela emitida por uma bolha com ar, que contém cerca de 1% de argônio dissolvido. Porém, a adição de 1% de argônio (Ar) na bolha de N_2 faz com que a intensidade da luz emitida seja comparável com aquela emitida por uma bolha de ar. Resultados similares foram obtidos com He e Xe, e cada tipo de gás apresenta um espectro diferente. Ainda não se sabe porque a adição do gás nobre afeta significativamente a SL.[3]
- A temperatura da água utilizada também apresenta um efeito significativo na intensidade da luz emitida. Quando a temperatura da água diminui de 40°C para 1°C, a intensidade das emissões aumenta de um fator 200. A 1°C a intensidade da luz é tão forte que pode ser vista mesmo na presença de iluminação externa. Contudo, a 40°C é bastante difícil ver a luz, mesmo em um quarto escuro (Fig. 2.3).[6, 5]
- O espectro da SBSL é bastante suave, diferente do apresentado por MBSL, que contém linhas espectrais bem definidas que são características do líquido em que o processo ocorre (Fig. 2.4).[7]

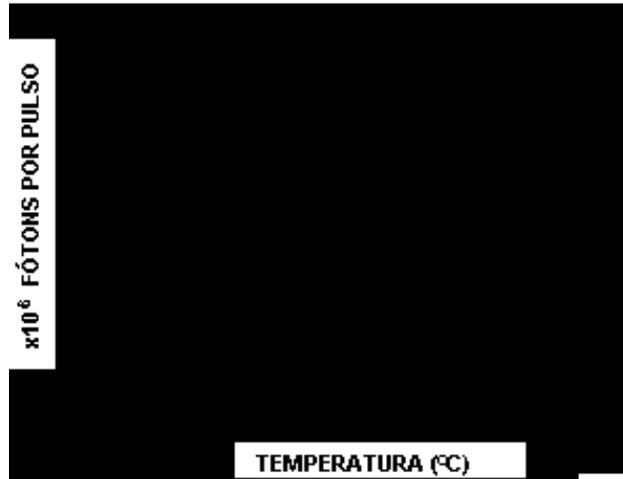


Figura 2.3: *Varição do número fótons emitido em função da temperatura da água.*[6]

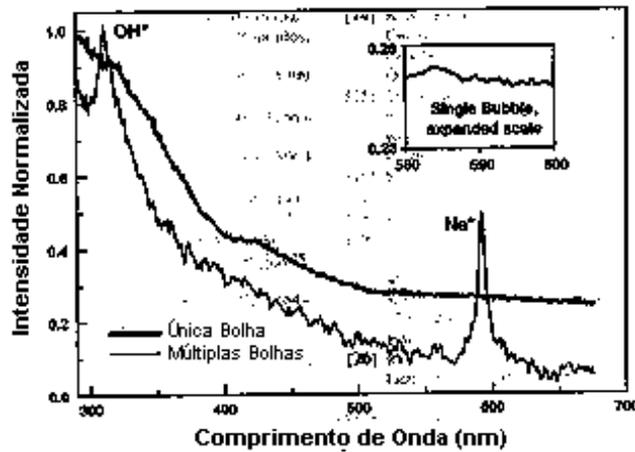


Figura 2.4: *Comparação do espectro de SBSL e MBSL.*[7]

- O espectro de SBSL é bem ajustado por uma curva de corpo negro. A temperatura estimada pelo ajuste chega a 30.000 K. O espectro indica também, a maior parte da luz emitida está na região do ultra violeta (Fig. 2.5). Como a água em volta da bolha absorve fótons com energias maiores que 6 eV (que correspondem ao comprimento de onda do ultra violeta, ou seja, 200 nm), o espectro completo da SL não pode ser determinado.

2.3 Teorias e explicações

Existem várias teorias que procuram explicar a luz emitida no processo de SL. Contudo, nenhuma dessas teorias pode explicar corretamente o fenômeno. Segue abaixo um breve



Figura 2.5: *Espectro de SBSL. A linha pontilhada representa o espectro de SBSL. A linha cheia é um espectro de corpo negro a 25000 K.*[6]

resumo dos modelos mais aceitos que tentam explicar do fenômeno de SBSL [10].

- Quando a bolha colapsa devido ao bombardeamento da onda sonora, ondas de choque esféricas são criadas. A temperatura, de aproximadamente $1.000.000^{\circ}\text{C}$, e pressão resultantes, maior que milhares de vezes a pressão atmosférica, fazem com que com o gás no interior da bolhas se transforme em um plasma, que emite luz. Esta teoria é proposta por um grupo de pesquisa da Universidade da Califórnia (UCLA) liderado por Seth J. Putterman.[3, 4]
- As ondas de choque, formadas com o colapso da bolha, induzem colisões entre as moléculas neutras do gás contido em seu interior, produzindo luz e atingindo temperaturas entre 10.000°C e 20.000°C . Esta teoria é sugerida por Lothar Frommhold da Universidade do Texas e Anthony Atchley da Naval Postgraduate School.[4]
- Ao invés de ondas de choque, as oscilações da bolha injetam pequenos jatos de líquido eletricamente carregados em seu interior, produzindo luz. Esta teoria é sugerida por Theirry Lepoint e sua equipe do Instituto Meurice em Bruxelas, Bélgica.[4]
- A alta pressão dentro da bolha faz com que a água ao seu redor congele, e a luz é produzida quando o gelo se quebra. Esta teoria foi proposta por Robert Hichling da Universidade do Mississippi.[4]
- A teoria quântica de campos prevê (efeito Unruh) a conversão de "fótons virtuais" no vácuo em fótons reais (que apresentam uma distribuição de energias de um corpo

negro) quando um espelho é acelerado no vácuo. A diferença no índice de refração entre a água e a superfície da bolha age como um espelho, convertendo fótons virtuais em fótons reais, quando se move devido a contração e expansão da bolha. Esta teoria é proposta por Claudia Eberlein da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign e da Universidade de Cambridge.[8]

Capítulo 3

Construção de um aparelho para observação da Sonoluminescência

3.1 Componentes

A montagem do aparelho utilizado para a observação do fenômeno de Sonoluminescência esta esquematizado na Fig.3.1. Neste esquema cada componente esta assinalado com uma letra e uma explicação mais detalhada de cada um é feita a seguir.

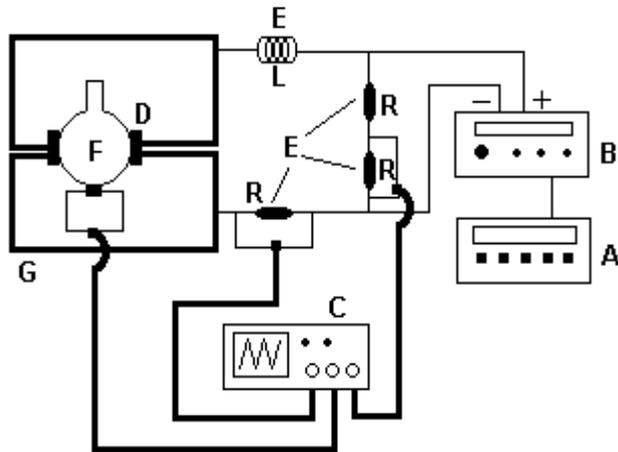


Figura 3.1: Esquema da montagem experimental.

A-Gerador de Sinal: Qualquer gerador de sinal de um laboratório de graduação é suficiente. O intervalo de frequências do gerador deve ser maior que 20 kHz, preferencialmente chegando a 30 kHz, dependendo do diâmetro do frasco. Como a frequência

ressonante pode precisar de ajustes finos é importante que o próprio gerador tenha esta função. O gerador utilizado é um SRS DS335.

B-Amplificador: No experimento é utilizado um amplificador comercial comum da marca CSR.

C-Osciloscópio: É necessário um osciloscópio que possua dois canais para monitoramento da voltagem e da corrente. Um terceiro canal para o monitoramento da bolha é opcional. No experimento utilizou-se um FLUKE PM3380B.

D-Transdutores Piezoelétricos (PZT): Os piezos podem ser comprados em lojas de som para automóveis como alto-falantes (ou Twitters). Dentro desses alto-falantes existe uma lâmina piezoelétrica, responsável pela emissão de som do aparelho, que pode ser em forma de disco ou quadrada.

E-Circuito: São necessários três resistores: $1\text{ M}\Omega$ (marrom-preto-verde), $10\text{ k}\Omega$ (marrom-preto-laranja) e $1\ \Omega$ (marrom-preto-preto). Os resistores de $1\text{ M}\Omega$ e $10\text{ k}\Omega$ são utilizados como divisores de voltagem, necessários para o monitoramento da tensão aplicada. O resistor de $1\ \Omega$ é utilizado para o monitoramento da corrente. É utilizado também um indutor cuja indutância é variável (combrindo uma faixa de $25\ \mu\text{H}$ à 54 mH).

F-Recipiente esférico: Por simetria, é melhor utilizar um recipiente com fundo arredondado. Para manter a frequência ressonante acima da faixa audível, o diâmetro do recipiente deve ser menor que $7,5\text{ cm}$. O recipiente utilizado é um balão de vidro de 100 ml da Merse.

G-Cabos: São utilizados cabos coaxiais para conectar o microfone e o PZTs, de modo a minimizar o efeito de *electical cross-talk* (efeito causado por falta de linearidade) e perdas sonoras. Fios comuns são utilizados para as demais ligações do circuito.

Cola: Para fixar os PZTs no recipiente é utilizada cola epóxi de secagem rápida (Araldite de secagem em 10 minutos). A cola epóxi é útil pois é possível removê-la do vidro facilmente.

3.2 O Circuito

O par de PZTs comportam-se como capacitores quando ligados em paralelo. Para acoplar sua impedância com a do amplificador, um indutor deve ser ligado em série com os PZTs. Calcula-se a frequência de ressonância do recipiente pela equação (2.1). No caso, o recipiente utilizando possui um diâmetro de aproximadamente 6,7 cm, o que corresponde a uma frequência ressonante de 22,4 kHz. Considerando o aumento de 10 %, causado pelo vidro do recipiente, a frequência ressonante aproximada para o sistema utilizado é 24,6 kHz. O indutor deve ser ajustável de modo que a frequência de ressonância eletrônica do circuito corresponda à ressonância física do sistema.

O indutor foi montado utilizando um núcleo de ferrite (Fig. 3.2) e para que sua indutância fosse ajustável foi colocada uma mola de latão em seu interior e um parafuso, também de latão, que prende as duas metades do núcleo. Assim, ajustando o parafuso é possível aproximar ou afastar a ferrite e com isso variar a indutância. O intervalo de indutância medido foi: 53,9 μ H (sem o núcleo de ferrite) à 24,9 mH (com o núcleo completamente fechado).

O circuito é montado segundo esquematizado na Fig. 3.3. A voltagem do sistema deve ser lida no ponto 1 (sensor de voltagem), este valor corresponde à 1% da voltagem total do circuito. A corrente deve ser lida no ponto 2 (sensor de corrente), na realidade o que é monitorado pelo sensor 2 é a tensão, porém segundo a Lei de Ohm ($V=RI$) esta é diretamente proporcional e possui a mesma fase que a corrente. No circuito os PZTs funcionam como capacitores, desse modo causam uma defasagem entre corrente e a voltagem do circuito, a introdução do indutor é necessária para eliminar esta defasagem, portanto a ressonância eletrônica é encontrada quando as duas ondas (medidas nos pontos 1 e 2) estiverem em fase.

3.3 Os Transdutores Piezoelétricos

Transdutores piezoelétricos (PZT) são transdutores que convertem uma diferença de voltagem em vibrações mecânicas e vice versa. Os piezos utilizados foram retirados de alto falantes da marca LESSON, e são um sanduíche de duas placas piezoelétricas quadradas (Fig.(3.4)). Para deixar um dos lados livre para ser fixado no recipiente de vidro, foi necessário retirar a solda (que estava no meio da placa) e refazê-la no canto.

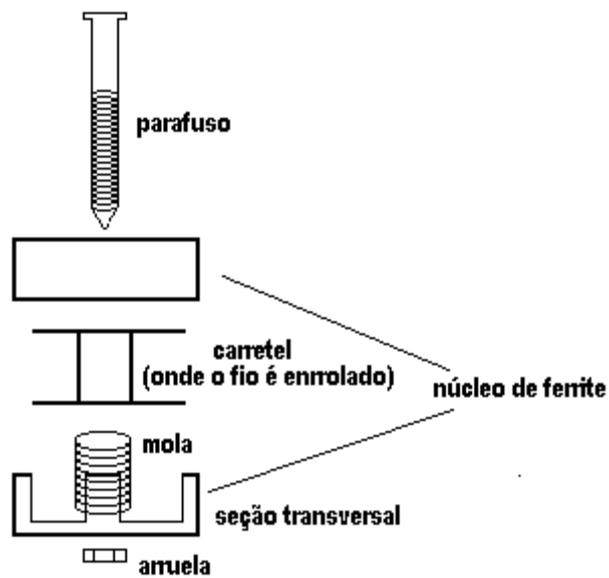


Figura 3.2: Esquema do indutor utilizado.

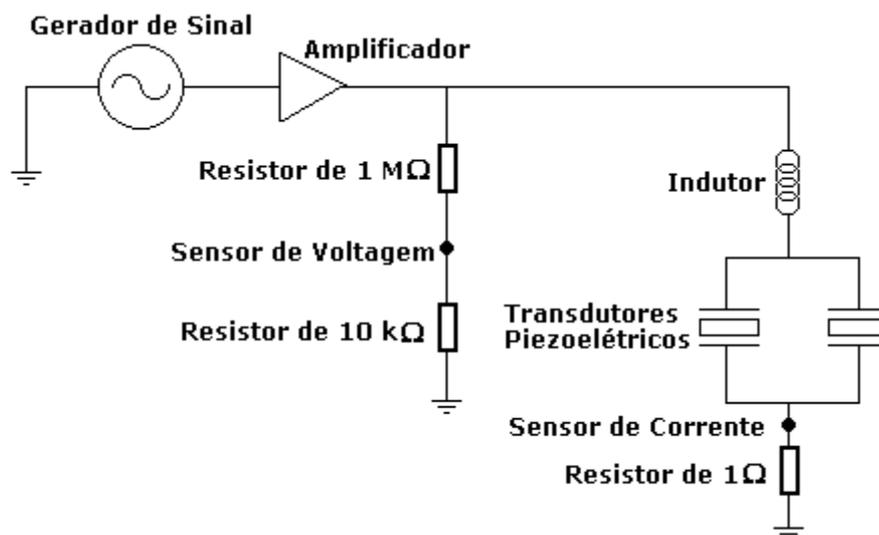


Figura 3.3: Esquema do circuito.

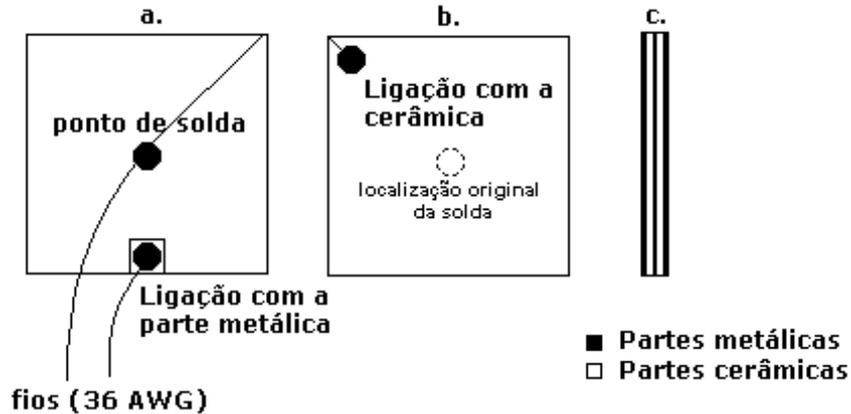


Figura 3.4: *Esquema dos Piezos: a) parte que fica voltada para fora do recipiente, b) parte colada no vidro e c) visão lateral dos PZTs.*

Isto deve ser feito com muito cuidado, uma vez que excesso de calor pode danificar as cerâmicas ou mesmo quebrar o piezo. Uma vez refeita a solda do piezo é interessante testá-los. Para isso, liga-se os PZTs ao circuito com uma frequência baixa, na faixa audível ao ser humano (20Hz à 20kHz).

Para fazer a ligação dos piezos com o cabo coaxial foi utilizado um fio fino de cobre (36 AWG) para evitar perdas sonoras.

3.4 Colagem dos PZTs

Uma vez pronto, os PZTs devem ser colados no recipiente de vidro. Deve-se utilizar cola suficiente para preencher o espaço entre cada PZT e o vidro. Por simetria, deve-se colar os PZTs nos lados do recipiente, um diametralmente oposto ao outro; o microfone deve ser colado no fundo do frasco (Fig.(3.5)). Feita a colagem é importante testar todo o aparato, com o recipiente cheio de água. Ao introduzir algumas bolhas de ar na água o recipiente inteiro irá produzir um som indicativo, em torno da frequência de ressonância, se os PZTs estiverem funcionando corretamente.

3.5 A Preparação da Água

A sonoluminescência ocorre em um campo acústico que deve ser intenso o suficiente para fazer com que o raio da bolha varie, mas não deve ser tão intenso ao ponto de causar

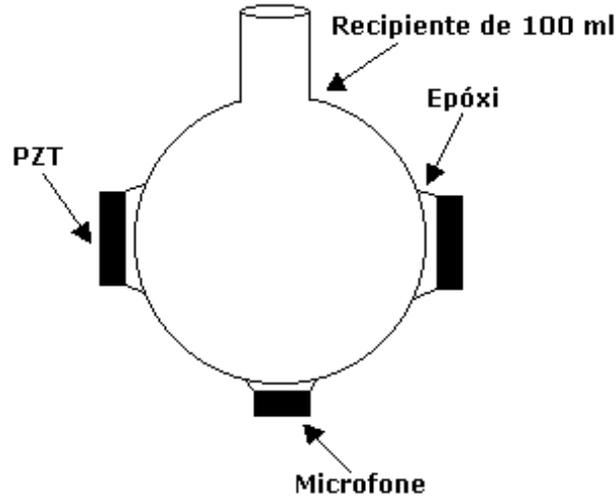


Figura 3.5: *Piezos colados no recipiente de vidro.*

instabilidades que levem a auto-destruição da bolha. Sob grandes oscilações, existe uma diferença considerável entre os tempos de expansão e de contração do raio da bolha: $t_{\text{expansão}} > t_{\text{contração}}$. Este efeito é chamado retificação difusa. Desse modo mais moléculas de gás entram do que saem, resultando na expansão da bolha. A difusão retificada é reduzida se a quantidade de gás dissolvido é menor que o nível de saturação do líquido .[9]

Para produzir SL, o ar dissolvido na água deve ser parcialmente removido e deve-se utilizar água deionizada e destilada. O modo mais simples de retirar o gás da água é fervê-la (por aproximadamente 15 minutos). Em seguida a água deve ser resfriada (pode-se colocar o recipiente no congelador e esperar alguns minutos) e quando atingir a temperatura desejada estará pronta para ser utilizada. A água vai reabsorver o ar retirado dentro de algumas horas.

Com a água pronta, cuidadosamente deve-se colocá-la no recipiente, deixando-a escorrer pela parede do frasco. Isto irá introduzir um pouco de ar de volta na água, aproximadamente 1/50 da concentração atmosférica, que é a concentração correta para a obtenção do fenômeno de SL. O recipiente deve ser preenchido até a parte de baixo do pescoço, de modo que o fluido forme uma massa com formato esférico.

Antes de conseguir ver a luz, é necessário prender uma bolha de ar no centro do recipiente utilizando as vibrações dos piezos. Esta tarefa pode tornar-se extremamente difícil dependendo da maneira como a água foi preparada. A Fig.3.6 fornece um esquema das principais características do processo [2].

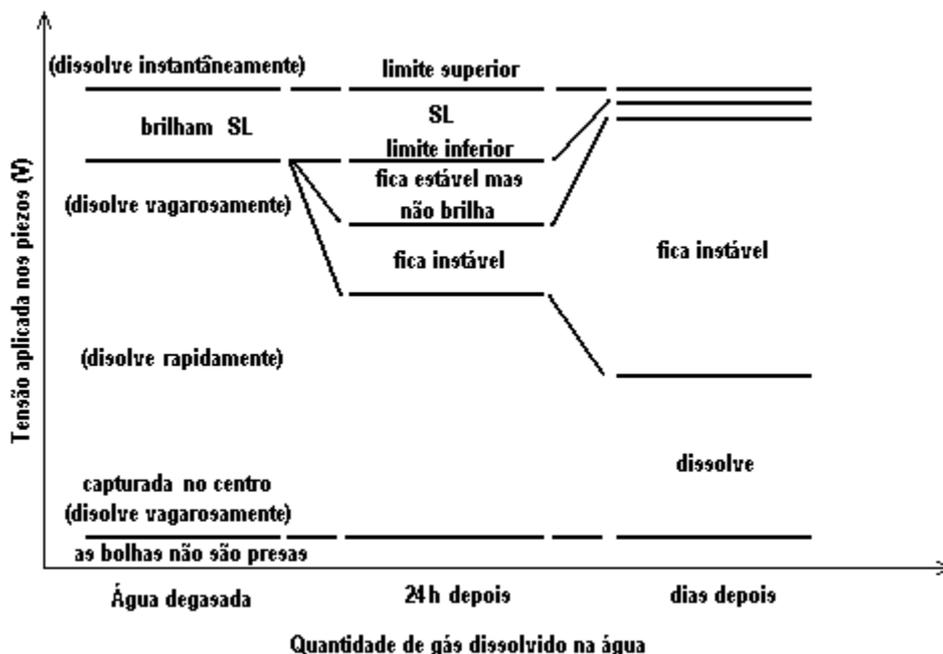


Figura 3.6: Características da bolha como função da intensidade sonora aplicada e da quantidade de gás dissolvido na água.[2]

- Com a água completamente degasada, na maior parte do intervalo de tensões, as vibrações fazem com que a bolha dissolva. Conseqüentemente SL pode ser atingida somente quando a tensão está exatamente na região correta, e está bastante estável.
- Uma pequena quantidade de gás dissolvido permite a formação de uma banda de energia em que a bolha é capturada definitivamente, mas fica instável. Este comportamento apresenta uma abrupta transição de um movimento instável e frenético da bolha no centro do frasco para um estado completamente estável, em que a bolha fica parada. Então, após ultrapassar um segundo limite, a bolha começa a oscilar vagarosamente e emite luz.
- Quando a água contém muito gás dissolvido, o intervalo de tensão em que o movimento é estável e oscilante (quando a SL acontece) fica extremamente pequeno, tornando o ajuste do equipamento complicado e conseqüentemente dificultando a obtenção da luz.

3.6 A montagem

Tendo completado todos os passos descritos acima, tem-se a montagem do aparato experimental completa:

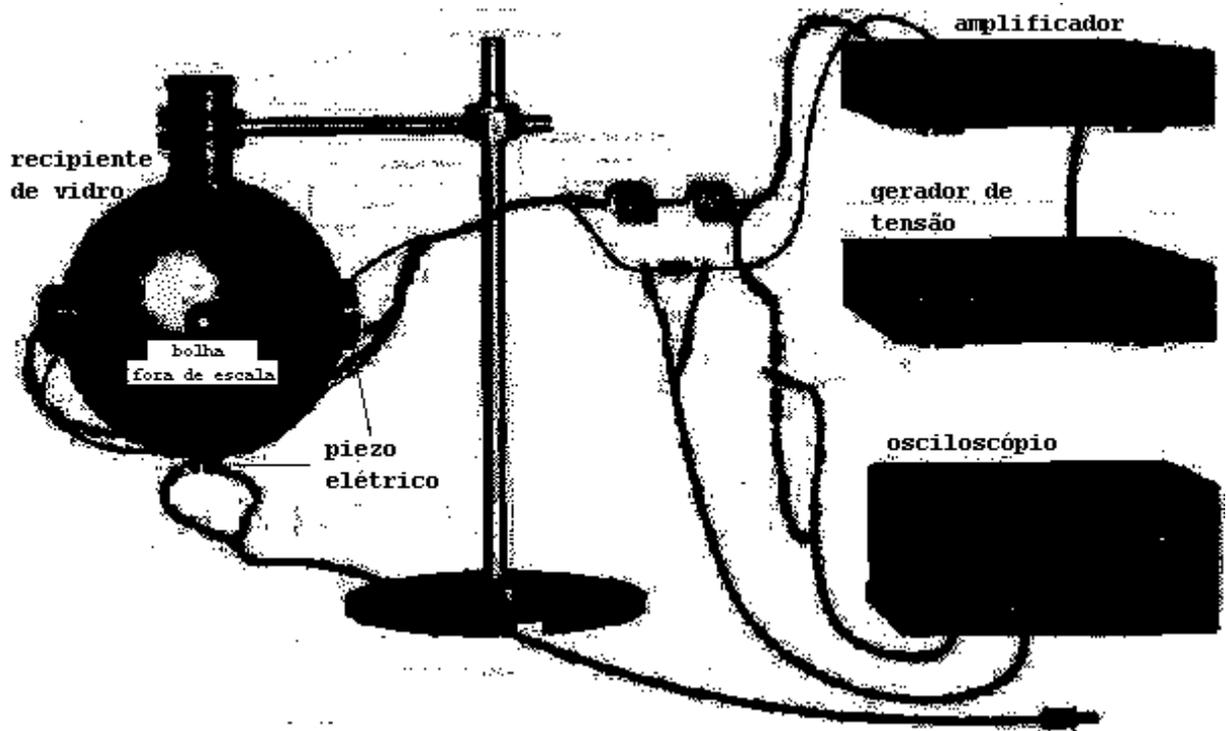


Figura 3.7: *Montagem Experimental.*

Capítulo 4

Dificuldades Experimentais

Durante os testes da montagem feita, foram descobertos dois pequenos problemas, mas que depois tomaram quase todo o tempo que tinha para me dedicar ao projeto. O primeiro foi que o modo pelo qual os piezos foram colados no vidro não permitia que toda a potência de seu movimento fosse transferida para a água. O segundo foi que o amplificador que estava disponível para o uso no laboratório é muito velho e apresenta muita oscilação, ele também distorce muito o sinal de saída a partir de uma dada tensão de entrada, que não é a tensão suficiente para visualizar o fenômeno de SL.

Para contornar o primeiro problema testamos três montagens diferentes. A primeira esta esquematizada na Fig. 4.1, em que, para fixar os PZTs no vidro foi colada uma arruela de aço entre o PZT e o vidro. Este esquema não deu certo, e achamos que isto ocorreu pois a partir de uma determinada frequência o aço não transmitia integralmente a vibração dos piezos para a água. Então tentamos utilizar um recipiente mais fino de modo que, apesar do aço interferir um pouco, a transmissão do movimento dos PZTs ficasse mais fácil, novamente a montagem não funcionou bem. Finalmente tentamos colar o PZT diretamente no vidro com a cola epóxi, e este foi o *setup* que respondeu melhor aos testes, isto é, com esta montagem foi possível, ainda que com alguma dificuldade, capturar uma bolha no centro do frasco.

Depois da montagem terminada notamos outro problema, a falta de simetria na colagem nos PZTs no vidro fazia com que as bolhas fossem empurradas para a superfície do vidro. Infelizmente este fenômeno só foi notado no final do semestre, quando já não era possível mais tentar criar alguma técnica para otimizar a posição dos PZTs.

O segundo problema surgiu depois que o último arranjo foi feito, pois mesmo estando

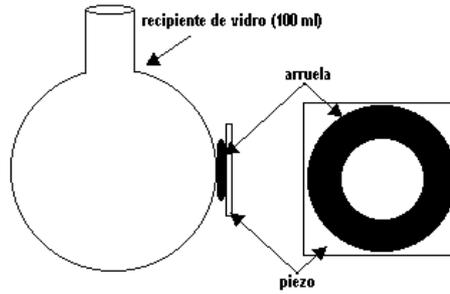


Figura 4.1: *Primeira tentativa de colagem dos PZTs.*

tudo montado corretamente não se conseguia fazer a bolha emitir luz. Analisando os componentes da montagem chegou-se a conclusão de que o problema deveria estar no amplificador. Chegamos a procurar por componentes para montar nosso próprio amplificador, porém não tínhamos tempo de montá-lo, uma vez que o CI necessário para o circuito do amplificador teria de ser encomendado e não chegaria a tempo.

Devido a todos estes problemas que apareceram, não conseguimos observar o fenômeno de sonoluminescência. A próxima seção do relatório refere-se à otimização do sistema montado a fim de se conseguir chegar no ponto em que a SL acontece. Os dois primeiros passos necessários para a otimização do sistema foram atingidos com sucesso porém a potência necessária para a bolha luminescer não foi atingida, **portanto a seção 5.3 do próximo capítulo contém uma breve explicação do que deveria ter sido observado, que foi retirada de um artigo da *Scientific America*[3] e de uma página da *Internet*[2].**

Capítulo 5

Operação da Montagem

5.1 Monitoramento pelo Osciloscópio

Com o recipiente cheio de água, preparada da maneira explicada no Capítulo 3, e toda a eletrônica ligada, deve-se ligar o gerador aproximadamente na frequência de ressonância física do recipiente (no caso de 24,6 kHz). Na tela do osciloscópio deve estar sendo mostrada a tensão e a corrente (pontos de monitoramento 1 e 2 do circuito da Fig. 3.3). O volume do amplificador deve ser ajustado de modo que pelo sensor de voltagem esteja passando 1 Volt pico-a-pico. Então deve-se ajustar a indutância, apertando ou afrouxando o parafuso, até que ambas curvas mostradas estejam exatamente em fase. As ondas em fase indicam a ressonância elétrica do circuito.

Agora deve-se remover uma das curvas e colocar em seu lugar a saída no microfone. Quando a frequência é variada, através gerador de sinal, um pico bem largo (entre 1 e 2 kHz) deve ser visto superposto á curva senoidal característica da frequência do gerador. Este pico corresponde à ressonância elétrica do circuito. A ressonância acústica deve aparecer como um pico muito mais estreito no sinal do microfone, de aproximadamente 100 Hz, e também como uma pequena queda no sinal da corrente.[1]

5.2 O Movimento do Bolha

A maneira mais fácil de encontrar a ressonância pela primeira vez é examinar a bolhas dentro do recipiente de vidro. Com um conta gotas, deve-se extrair um pouco da água de injeté-la novamente. Isto irá criar algumas bolhas (bem pequeninas e difíceis de ver). Ajustando o gerador deve-se chegar a frequência em que as bolhas começam a se mover em

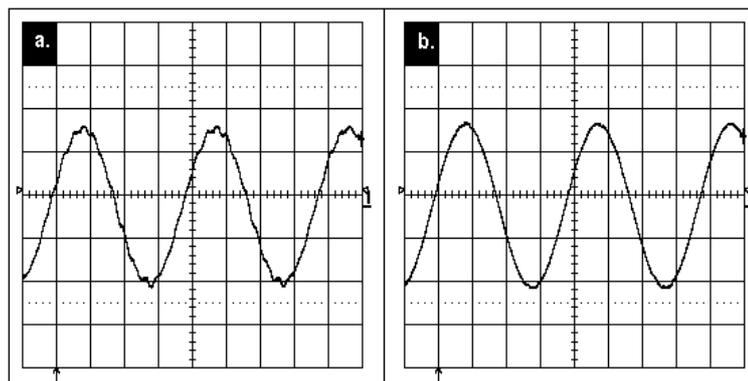


Figura 5.1: a) Ondulação vista no sinal do microfone quando uma bolha é capturada no centro do recipiente, b) Sinal do microfone quando não há bolhas.[2]

direção ao centro do recipiente, se fundindo em uma só. É interessante praticar bastante os passos descritos acima para ficar acostumado, pois é bastante complicado manter a bolha no centro do frasco.

5.3 Monitoramento do Sinal do Microfone e a emissão de luz

Com a bolha no centro do recipiente, deve-se aumentar vagarosamente o volume do amplificador. Inicialmente a bolha ficará estável, em seguida ela começará a "dançar" em torno da posição inicial. Continuando a aumentar o volume a bolha irá estabilizar novamente e então encolher, ficando praticamente invisível. A bolha irá desintegrar se o volume estiver acima de uma dada intensidade. O melhor resultado de emissão de luz é obtido quando a intensidade está logo abaixo desse limite.[1]

Uma vez que a bolha torna-se invisível, é mais fácil monitorar o experimento utilizando a saída do microfone. Pequenas ondulações[2] (ver Fig. 5.1) irão aparecer no sinal no microfone, visto pelo osciloscópio. Este sinal é um som em alta frequência emitido pelas bolhas quando colapsam em cada ciclo aústico. Conseguir fazer as bolhas emitirem luz é mais difícil que conseguir obter as ondulações. Se tiver sucesso, a bolha irá brilhar e parecerá "uma estrela no céu da noite" (Fig. 5.2).

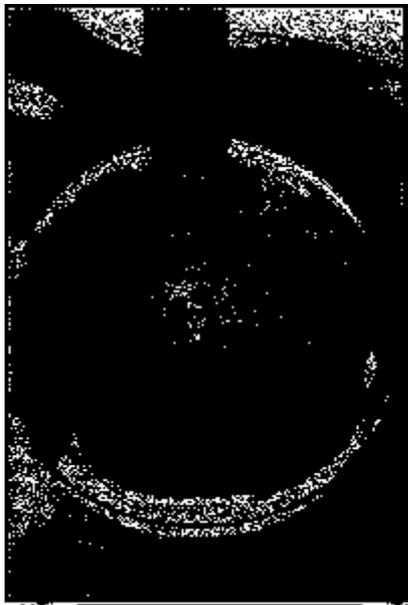


Figura 5.2: *Sonoluminescência (foto de um experimento feito no LLNL-Lawrence Livermore Nacional Laboratory).*

Capítulo 6

Conclusão

O experimento proposto, montagem de um aparelho para a verificação do fenômeno de Sonoluminescência, apresenta embutido em suas propriedades conceitos importantes da física, como a transformação de diferentes formas de energias (mecânica em eletromagnética), radiação de corpo negro, ressonância de um sistema e processos físicos que ocorrem a altas pressões e temperaturas.

O experimento requer alguns equipamentos eletrônicos simples, como um osciloscópio, um gerador de sinal e amplificador de áudio mas a montagem é simples e rápida de fazer. Porém o ajuste dos parâmetros necessários para a observação do fenômeno de SL é demorada e em alguns pontos complicada.

A maior parte do projeto foi concluída com sucesso. A montagem experimental foi feita, a frequência de ressonância encontrada e foi possível focalizar uma bolha no centro do recipiente. Contudo não foi possível visualizar a emissão de luz. Isto se deve a baixa potência transferida ao recipiente, que pode ser devido ao fato do amplificador não responder de maneira conveniente (de forma linear) ou à falta de acoplamento mecânico entre os piezos e o recipiente, impedindo que a potência do movimento fosse transferida adequadamente à água. Apesar de não se ter podido gerar o fenômeno de sonoluminescência, acreditamos que a otimização final do processo requer pouco tempo adicional.

Bibliografia

- [1] Robert A. Hiller e Bradley P. Barber, *Producing Light from a Bubble of Air*, Scientific America, **272** 96 (1995).
- [2] W. A. Steer, *Sonoluminescence*,
URL: <http://www.techmind.org/sl/sono.html>
- [3] S. J. Putterman, *Sonoluminescence: Sound into Light*, Scientific America, **272** 46 (1995).
- [4] Aaron Levinson, *Sonoluminescence Overview and Future Applications*,
URL: <http://ne43.ne.uiuc.edu/ans/sonolum.html>.
- [5] Bradley P. Barber, C. C. Wu, Ritva Lösted, Paul H. Robert e Seth J. Putterman, *Sensitivity of Sonoluminescence Experimental Parameters*, Phys. Rev. Lett. , **72** 1380 (1994).
- [6] Robert Hiller, Seth J. Putterman e Bradley P. Barber, *Spectrum of Synchronous Picosecond Sonoluminescence*, Phys. Rev. Lett. , **69** 1182 (1992).
- [7] Thomas J. Matula *et al*, *Comparison of Multibubble and Single-Bubble Sonoluminescence Spectra*, Phys. Rev. Lett. , **75** 2602 (1995).
- [8] Claudia Eberlein, *Sonoluminescence as Quantum Vacuum Radiation*, Phys. Rev. Lett. , **76** 3842 (1996).
- [9] Lawrence A. Crum, *Sonoluminescence*, Physics Today, **47** 22 (1994).
- [10] Jin Yamamoto, *Research on Sonoluminescence and Construction of a Single Bubble Sonoluminescence Device*, Research Experiments for Undergraduates, College of William and Mary Williamsburg.