



Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW
Tópicos de Ensino de Física – F609C

A Lâmpada de Arco Elétrico (Humphry Davy)

Apresentação: 13/06/2013

Horário: 17-19h



Autor: Breno Caetano Oliveira – 059238

(breno.caetanoliveira x gmail.com)

Orientador: Prof. Mônica Alonso Cotta

(monica x ifi.unicamp.br)

Co-orientador: Amaro Ricardo Fernandes

(arfes x hotmail.com.br)

Coordenador: Prof. José J. Lunazzi

(lunazzi x ifi.unicamp.br)

1) Introdução

A escolha do experimento foi feita com o intuito de conseguirmos demonstrar o mesmo em ambiente escolar. Posteriormente, o tema escolhido foi eletricidade, visando um experimento que aborde conceitos vistos em sala de aula que normalmente são explicados somente teoricamente. A proximidade do aluno com a eletricidade no seu cotidiano e a dificuldade em conectar os conceitos absorvidos em aula com sua realidade foram fatores cruciais para escolha do tema. Assim, com a **lâmpada de Davy** tentaremos quebrar essa barreira.

Humphry Davy foi um químico inglês nascido em 1778. A invenção da lâmpada que leva o seu nome, inicialmente permitiu que mineradores trabalhassem de forma segura na presença de gases inflamáveis. A intensa luminosidade produzida pela lâmpada estendeu sua aplicação para iluminação pública e para projetores de imagens. Atribui-se a Davy como sendo o primeiro cientista a observar um arco elétrico em condições controladas.

A aplicação do arco elétrico não ficou somente reduzida à iluminação, o calor desenvolvido nas lâmpadas de arco elétrico foi útil para fusão e soldagem de metais, bem como, utilizadas em fornos industriais.

2) O Experimento

Para execução da lâmpada de arco elétrico foi feita uma montagem que o leitor pode visualizar melhor no tópico “Fotos” logo abaixo. Para isso, utilizamos uma fonte de tensão variável, mas a diferença de potencial foi fixada em 12 V. Conectores de cerâmica foram conectados a fonte de tensão através de fios, em seguida, e eletrodos de carvão foram retirados de pilhas convencionais, e depois inseridos nos conectores. Com a fonte de tensão ligada, aproximamos os eletrodos de forma sutil e o arco elétrico foi produzido com sucesso.

Não foi possível visualizar o arco elétrico em si pela intensa produção de luz que o fenômeno gera.

3) Resultados Atingidos

Produzir um arco elétrico através do aparato experimental citado acima já tinha sido realizado com sucesso na etapa anterior, o que faltava era melhorar o circuito.

Na versão anterior, os conectores eram de plástico e podiam se mover sobre uma canaleta também de plástico. Mas, ao realizar vários testes a canaleta e os conectores de plástico

começaram a derreter, pois a temperatura produzida pelo fenômeno é altíssima, varia entre 2.000 à 3.000 °C. Logo, optamos por retirar a canaleta e os conectores de plástico.

Os conectores de plástico junto com os eletrodos de carvão formam um sistema bem leve. Ao aproximar os dois conectores uma centelha é produzida, esse fato gera um impulso nos eletrodos arrastando-os para trás, o que faz com que a distância entre as pontas dos eletrodos se afastem, e assim, perdemos o efeito. Portanto, a solução foi trocar os conectores de plástico por conectores de cerâmica, pois são mais pesados, e eliminar a canaleta, fixando um conector numa base de madeira. O segundo conector ficará livre para termos liberdade em fazer o contato com o outro eletrodo.

A produção de luz depende da tensão elétrica: quanto maior a d.d.p. maior é a intensidade luminosa. O fenômeno também depende fortemente do contato entre os eletrodos, para uma mesma d.d.p. se o contato for mal feito (pontas não alinhadas) não conseguimos obter luz, a fonte entra em curto circuito a todo o momento, mas se para um contato bem feito a produção de luz é intensa, e conseguimos visualizar o fenômeno por alguns segundos: como o eletrodo é muito aquecido, gases que dificultam a respiração são liberados, nos obrigando a desligar a fonte; o efeito vai perdendo a intensidade e uma pequena chama se forma entre os eletrodos, fazendo necessário também desligar a fonte.

Testamos o experimento com uma bateria de carro de 12V/20A e a luminosidade obtida foi um pouco maior que para a fonte usada. Qualitativamente, para maior luminosidade necessitamos de uma corrente elétrica maior, portanto, podemos afirmar que no experimento alimentado pela bateria a corrente elétrica é maior. Esse fato nos induz a concluir que a resistência interna da bateria casada com a do circuito é menor que a resistência interna da fonte casada com a resistência do circuito, por isso obtemos maior luminosidade com a bateria. (Teorema de Thevenin)

4)Fotos

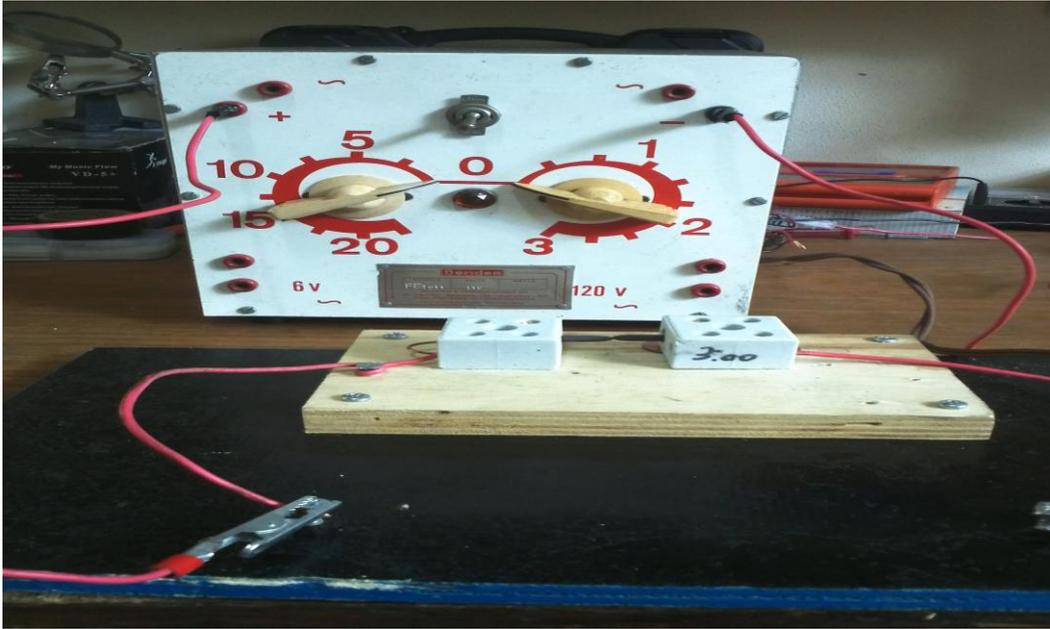


Figura 1: Fonte de tensão com o circuito referente ao experimento, verificamos a presença dos conectores de cerâmica e dos eletrodos de carvão. A fonte de tensão foi trocada em relação ao Relatório Parcial, pois a antiga queimou.

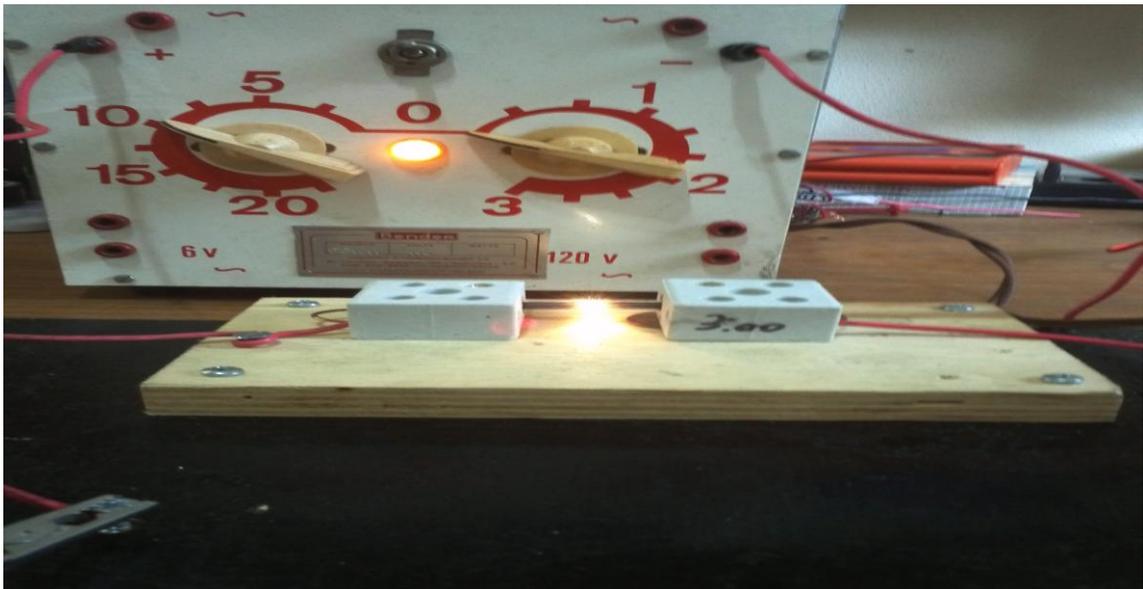


Figura 2: Fonte de tensão ligada fornecendo uma d.d.p. de 10. O contato entre os eletrodos não foi bem sucedido, por isso temos pouca produção de luz.

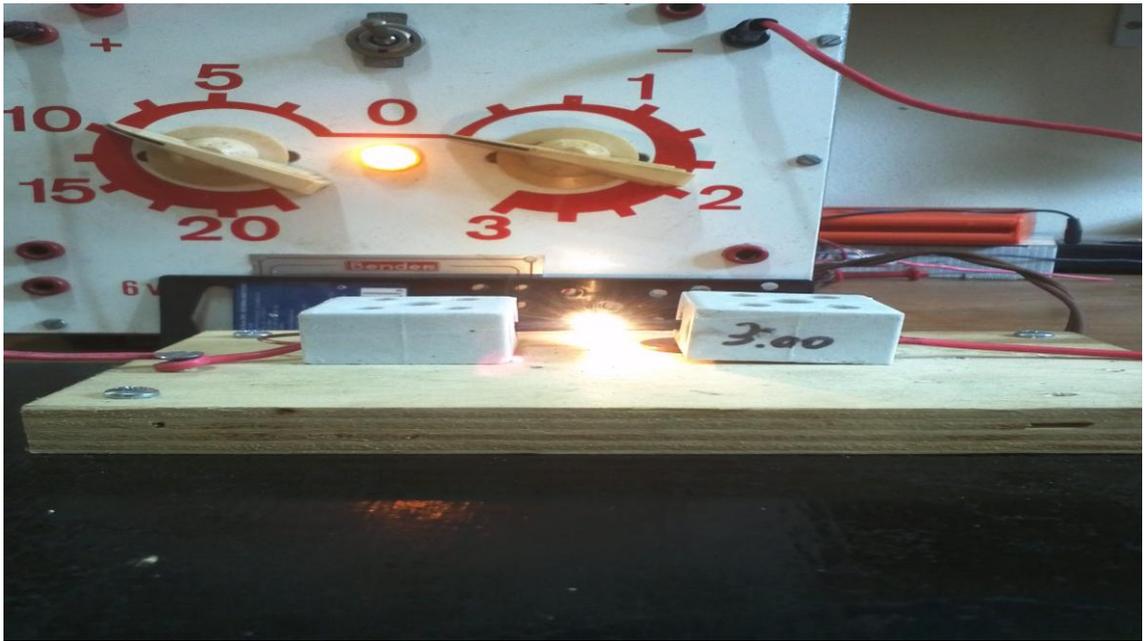


Figura 3: Fonte de tensão ligada fornecendo uma d.d.p. de 10V. Nesta situação obtemos um bom contato, a produção de luz aumentou.

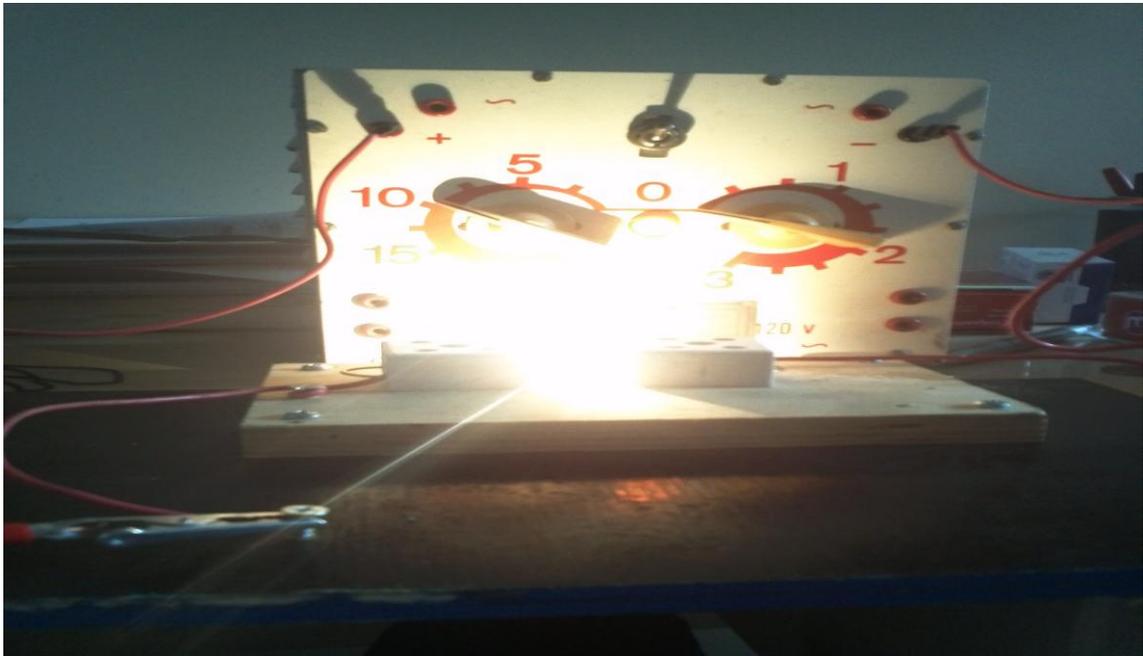


Figura 4: Fonte de tensão ligada fornecendo uma d.d.p. de 10V. Um ótimo contato foi obtido, a produção de luz é tão intensa que a marcação de 20V não pode ser vista.

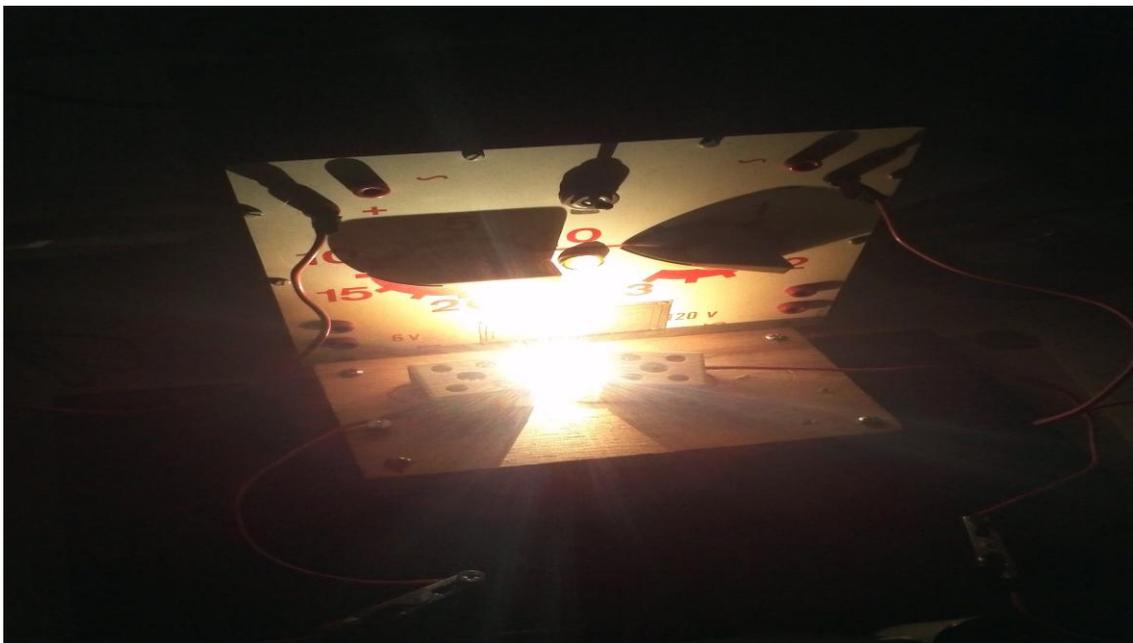


Figura 5: Experimento sendo executado no escuro total.

Observação: as fotos indicam uma ddp de 10V, mas depois de alguns dias de uso e inclusive no dia do evento a ddp usada foi de 12V, pois não estávamos conseguindo ver o efeito para 10V devido ao desgaste dos eletrodos por sucessivos testes.

5) Dificuldades encontradas

Esse é um experimento de montagem simples. Eletrodos de carvão não são encontrados com facilidade, portanto alguns eletrodos foram retirados de pilhas. Esse procedimento é demorado e deve ser feito de forma lenta, tomando sempre muito cuidado para não entrar em contato com o ácido contido nas pilhas. Se feito de forma brusca, a chance de quebrar o eletrodo de carvão é alta.

Encontrar uma fonte de tensão em que o efeito aconteça também é um fator complicador, inicialmente foi utilizada uma fonte de computador, mas o efeito era muito discreto mesmo para d.d.p's de 20V. Fontes de computador são adequadas para o experimento, para uma corrente elétrica acima do permitido, entram em curto circuito, o que impossibilita a produção contínua do arco elétrico.

A aproximação dos eletrodos também é uma dificuldade presente no experimento, esse processo deve ser feito de forma sutil. Para algumas aproximações o efeito não ocorre ou acontece de forma bem limitada. (Vide o tópico "Fotos"). Ter um eletrodo bem apontado facilita na obtenção do arco elétrico e conseguimos obter mais êxitos por aproximação.

O experimento não pode ser repetido muitas vezes seguidas, pois libera gases que dificultam a respiração. Outro fator é a intensa produção luz, o espectro de frequência do arco inclui uma grande proporção de radiação na zona dos raios ultravioletas, podendo causar danos à retina ocular de um ser humano^[11], podemos reduzir esse problema com o uso de chapas de raios-X ou óculos de sol.

6)Teoria (Descrição do trabalho em três níveis)

Básico

O experimento visa reproduzir a Lâmpada de Humphry Davy e descrever como um arco elétrico funciona. Para isso, eletrodos de carvão (retirados de pilhas) foram ligados a uma fonte de tensão, assim obtemos luz branca. Esse procedimento foi usado para ajudar mineradores a iluminar seus locais de trabalho, e posteriormente a lâmpada foi estendida para iluminação pública. Hoje, esse fenômeno físico é utilizado no processo de soldagem industrial.

Ensino Médio

Este trabalho visa mostrar que através do aparato montado conseguimos tornar um fluido que não conduz eletricidade em condutor elétrico, ou seja, sua rigidez elétrica é quebrada através da diferença de potencial aplicada nas pontas dos eletrodos de carvão. Isso ocorre, pois o campo elétrico entre as pontas dos eletrodos se eleva à medida que aproximamos as pontas dos eletrodos. Esse fenômeno é o mesmo que ocorre com os raios, onde podemos fazer a analogia entre os eletrodos de carvão, as nuvens e a Terra, todos tendo a mesma função.

A luz aparece pelo fato de fornecermos energia aos átomos presentes no fluido e nos vapores de carbono, assim os elétrons que orbitam esses átomos ganham energia e “saltam” para as camadas mais externas dos átomos. Portanto, obtemos um átomo energeticamente instável.

Para o átomo voltar a sua estabilidade energética, os elétrons que se encontram em camadas mais externas retornam para as camadas mais internas liberando energia em forma de luz (fótons).



Figura 6: Salto quântico

A energia emitida por esse fóton pode ser calculada pela relação $E = h \cdot \nu$, onde h é a constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s) e ν é a frequência do fóton.

Observação: Dificilmente comenta-se de plasma em aulas do ensino médio.

Graduação em Física

O princípio de funcionamento da Lâmpada de Davy está ligado a produção de um arco elétrico entre os eletrodos de carvão do aparato experimental (Figura 1). Para criar um arco elétrico necessitamos produzir plasma, e através desse conceito que se estenderá a explicação desta parte.

Plasma é um gás ionizado, ou seja, possui íons positivos e elétrons livres, resultando numa carga total de valor aproximadamente zero, assim podemos dizer que o plasma é eletricamente neutro. Basicamente, para gerar plasma devemos fornecer energia a um fluido isolante; na Lâmpada de Davy isso é feito através da diferença de potencial entre as pontas dos eletrodos de carvão, aproximando os eletrodos, o aumento do campo elétrico naquela região é tão grande (poder das pontas) que ocorre a ruptura dielétrica do fluido, tornando-o condutor. No momento da ruptura dielétrica, uma centelha elétrica é produzida originando uma reação em cadeia (avalanche), onde o gás se ioniza mais ainda, produzindo mais íons positivos e elétrons livres.

Dentro de todo esse processo, há o fenômeno da recombinação, onde um elétron livre e um íon se atraem, existe a tendência do gás a neutralizar-se. O fenômeno do salto quântico explicado acima também ocorre, mas em proporções muito menores. A liberação de fótons se deve a alguns fenômenos físicos: *Efeito Bremsstrahlung*, onde a radiação é liberada pela desaceleração dos elétrons; a excitação e a ionização de átomos neutros pelo choque com elétrons livres, o átomo que antes era neutro fica energeticamente instável, para o átomo deixar o estado de excitação, há a liberação de energia em forma de fóton, já os átomos ionizados positivamente devem receber elétrons e os átomos ionizados negativamente devem perder seus elétrons (emissão de luz) para em ambos os casos voltar a neutralidade característica do plasma.

A produção de plasma pode ser feita de inúmeras maneiras: radiofrequência, micro-ondas, temperatura, pressão, magnetização das partículas; neste experimento o plasma é gerado por corrente contínua (vide Figura 2 – fios conectados a parte DC da fonte).

Além das recombinações entre íons positivos e elétrons livres, temos o movimento dos elétrons livres para o eletrodo de carvão que se comporta como polo positivo (Ânodo), ou seja, esse movimento de elétrons livres cria uma corrente elétrica entre os eletrodos. Como a temperatura nessa região é extremamente alta, ocorre a convecção de gases para cima, elevando a corrente elétrica (espalhando os elétrons) que está passando por ali, assim a corrente elétrica ganha forma de arco. O eletrodo de carvão sofre *sputtering* durante o processo (o que explica a liberação de gases), pois observa-se um padrão de corrosão nele depois de por em prática o experimento algumas vezes. A corrosão é provocada pelo choque dos elétrons e eventuais íons negativos que se dirigem para o polo positivo.



Figura 7: Arco elétrico – nesta imagem fica evidente que a alta temperatura provoca a convecção de gases; o espalhamento de elétrons associado dá a forma de arco ao trajeto da corrente elétrica.

Neste experimento, não conseguiremos visualizar este arco, tanto pela pequena distância entre os eletrodos quanto pela intensidade da luz produzida que chega a “esconder” o arco.

7)A ionização dos gases na lâmpada de arco elétrico

Inicialmente, pensamos que somente o ar seria ionizado originando o plasma, mas sua ionização só ocorre para ddp's altíssimas, 4 kV para uma separação de 1 mm entre os eletrodos^[10], e usamos no experimento 12V.

A alta temperatura obtida nas pontas dos eletrodos faz com que o carbono presente nos eletrodos de carvão sublime, criando uma região com vapor de carbono. Essa região que contém o vapor de carbono pode ser evidenciada da seguinte forma: um arco elétrico não é determinado somente pela existência do plasma, também é necessário para sua ocorrência a emissão de elétrons pelo eletrodo negativo, ou seja, temos o efeito termoiônico ocorrendo neste eletrodo. Para ocorrer esse efeito, a superfície do eletrodo deve estar a altas temperaturas, desta maneira podemos afirmar que o eletrodo de carvão está criando uma região com significativa pressão de vapor de carbono nas suas vizinhanças. Assim, o vapor de carbono é ionizado (primeiro potencial de ionização muito menor que o ar $\sim 12V$), permitindo o fluxo da corrente elétrica entre os eletrodos.

Mas, como verificamos no experimento a lâmpada de arco elétrico brilha intensamente, se o ar não fosse ionizado teríamos de ter uma intensa concentração de carbono na região para que o brilho visto no experimento ocorresse. De fato, a questão é bem intrigante, pois o ar é ionizado com uma ddp muito menor? Poderíamos suprir nossas dúvidas com um sistema de controle da distância entre os eletrodos que permitiria estimar o valor real do campo elétrico entre as pontas, para assim, afirmarmos com propriedade se o ar é ionizado ou não. Ter um dispositivo que controle a umidade também seria eficaz, pois a pressão parcial de água pode afetar o resultado. Para definir esses parâmetros citados acima, seria necessária uma instrumentação bem mais rebuscada que a utilizada, que foge do escopo da disciplina.

Em uma estimativa do campo elétrico entre as pontas dos eletrodos junto com a orientadora Mônica, tentamos a grosso modo verificar quantitativamente o valor que estávamos obtendo no experimento. Uma lupa do DFA foi utilizada e analisamos a distância entre os eletrodos numa situação de êxito para obtenção de luz. O aumento da lupa era de aproximadamente de 20 vezes, como não estávamos vendo a distância entre as pontas supomos uma distância já amplificada de 0,5 mm. Portanto, estaríamos amplificando $0,5 \text{ mm}/20 = 0,025 \text{ mm}$. Supondo nas pontas os exatos 12V da fonte, o campo elétrico seria igual a $12\text{V}/0,025 \text{ mm} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ V/m}$, o que é praticamente 10 vezes menor que a rigidez dielétrica do ar ($3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$). Como citado acima, precisamos de um aparato experimental muito melhor para estimar o campo elétrico real entre as pontas dos eletrodos.

8) Temperatura nos eletrodos



Figura 8: “Mancha” deslocada para o eletrodo negativo.

Diante da foto acima, o professor Lunazzi nos indagou sobre a seguinte pergunta: Por que a base de madeira está mais queimada no eletrodo negativo (fio preto)?

Para explicar esse fato, primeiramente pensamos na temperatura dos eletrodos: quanto maior a temperatura mais queimada a base ficará. Como o lado do eletrodo negativo está muito mais queimado a intuição é dizer que este eletrodo tem maior temperatura, mas não é isso que ocorre.

O físico John Peter Gassiot provou que a temperatura do eletrodo positivo é sempre muito maior que a temperatura do eletrodo negativo^[13], portanto o que pensamos no parágrafo acima está errado. Provavelmente isso ocorre devido a alta energia cinética com que os elétrons chegam ao eletrodo positivo.

Ligamos o fato da mancha aparecer deslocada para o eletrodo negativo devido a este eletrodo ser menor, pois a chama aparece no contato entre as pontas dos eletrodos, ou seja, se tivermos eletrodos do mesmo comprimento a chama queimará a base de forma simétrica.

Os estudos apontam que o eletrodo negativo (fio preto) adquire forma de ponta, pois vai se desgastando pela emissão de elétrons (efeito termoiônico) e o eletrodo positivo (fio vermelho) adquire forma de cratera devido ao choque dos elétrons que se dirigem até esse eletrodo.

9) Pesquisa realizada

Palavras-chave: Lâmpada de Humphry Davy; plasma; produção de plasma; arco elétrico; arco voltaico; ionização do ar; arco elétrico vapores.

Os sites utilizados estão contidos nas “Referências”. Os relatórios desta disciplina que se assemelham a este projeto estão ajudando muito teoricamente, também estão citados nas “Referências”.

10) Referências

[1] Kleiber, J. Física – Volume III. Editora Globo. 4ª edição. 1961

- *Livro de eletrodinâmica e eletromagnetismo encontrado na escola em que ministro aulas, seu conteúdo vai um pouco além do ensino médio. O livro foi achado através da palavra “Lâmpada de Humphry Davy” no software de busca na biblioteca da escola. Há uma discussão breve sobre a Lâmpada de Humphry Davy.*

[2] http://pt.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy

- Site em português que conta resumidamente um pouco da história de Davy.

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Humphry_Davy#Davy_lamp

- Site em inglês que conta a vida de Davy de uma forma extensa, muito mais completo que a versão em português. Neste link temos um texto sobre a Lâmpada de Davy, o que não é encontrado na versão da referência [2].

[4] http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=YKU_AAAAcAAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=+humphry+davy+lamp&ots=srBUrasg1Z&sig=ZJ3bY29TLO2Pv5G81w7JWBGeXss#v=onepage&q=humphry%20davy%20lamp&f=false

- Temos neste link um ebook que conta detalhadamente a história de Humphry Davy, é uma biografia. Excelente para ser usado em um curso de História da Ciência, pois relata tanto a vida familiar de Davy como a vida acadêmica. Suas indagações e repostas diante de problemas de química e física são abordadas á nível intermediário.

[5] http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2010/FredericoC-Monica_RF2.pdf

- Relatório feito para esta disciplina que aborda o **Oscilador de Hertz**. O objetivo da leitura deste relatório foi obter mais informações sobre o arco voltaico. O aluno Frederico obtém um arco voltaico na Figura 8 do relatório.

[6]http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2004/022954RafaelH-Machida_RF.pdf

- Experimento realizado para a disciplina F809 – Interação de Plasma de RF com Campos Eletromagnéticos. O objetivo de experimento foi produzir plasma através de um equipamento que gera radiofrequência. A leitura deste texto foi muito útil, pois o aluno Rafael aborda o conceito de plasma de uma forma muito clara. Não poderia deixar de dizer que os resultados atingidos pelo aluno foram excelentes.

[7]http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2003/003069Hugo_Machida_F809_RF.pdf

- Experimento realizado para a disciplina F809 – Produção de Plasma por RF para Demonstração das Linhas de Campo Magnético e Estudo das Cores. A leitura deste texto acrescentou muito, pois o aluno aborda várias formas de se obter o plasma.

[8]http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2003/002362Raimundo-Machida%20F809_RF02_0.pdf

- Este também é um experimento que aborda a produção de plasma por RF, não tem muitos dados e nem fotos do experimento, pois esse é o projeto do experimento. Aborda de forma bem didática o conceito de plasma.

[9]http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2003/002200Mauricio-Machida_F809_P.pdf

- Mesma situação da referência [8], é um projeto sobre a geração de plasma por RF.

[10] http://emc.ufsc.br/~seff/graduando/soldagem/bibliografia/PScapII_ArcoV.pdf

- Texto da Universidade Federal de Santa Catarina que aborda o arco voltaico para a soldagem. Nele há um bom aprofundamento nos conceitos físicos relacionados ao arco elétrico, mas não foi suficiente para sanar nossas indagações.

[11]http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed72_fasc_arco_eletrico_cap1.pdf

- Neste link temos o primeiro capítulo da revista “O setor elétrico” que visa discutir a proteção contra o arco elétrico. Neste primeiro capítulo é relatada a natureza e riscos do arco elétrico. Nele encontramos um texto bem claro de nível intermediário sobre o arco elétrico, a leitura fica interessante quando o autor começa a abordar os riscos do arco elétrico.

[12] <http://www.iem.unifei.edu.br/professores/edmilson/Arco.pdf>

- É um texto voltado para o público de engenharia metalúrgica e aborda o conceito de arco elétrico para soldagem de metais de uma forma bem profunda e complexa, há muitos termos em que não somos familiarizados, julgo ser específicos do ramo da soldagem. Uma parte do texto serviu para pensarmos nos problemas deste relatório.

[13]<http://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=beiKrBT8q68C&oi=fnd&pg=PA1&dq=electric+arc+difference+temperature+in+electrodes&ots=J9eqYivqvW&sig=lo8F-05rwlbPR8iJ4QdvZoVCBc8#v=onepage&q=electric%20arc%20difference%20temperature%20in%20electrodes&f=false>

- Esse link se refere a um ebook de Cambridge com o título “ The Electric Arc”, conta a história do arco elétrico com maiores detalhes físicos.

[14]http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_arco_voltaico

- Retrata a como a lâmpada de arco elétrico foi importante para o cinema e iluminação de ambientes.

11)Declaração do Orientador

“O Breno realizou um bom trabalho, de demonstração de fenômeno em tema relacionado à eletricidade. Embora os exatos fenômenos físicos não possam ser determinados com este experimento somente, a abordagem didática da demonstração tem uma grande amplitude, do ensino fundamental à graduação. Neste sentido, o trabalho que o Breno desenvolveu ao longo do semestre cumpriu seus objetivos de apresentação didática. Cabe também ressaltar que Breno realizou o projeto de forma independente, com algumas discussões apenas com os orientadores (na universidade e na escola onde trabalha). Considero o projeto bem sucedido, em grande parte graças à dedicação que o Breno demonstrou durante o semestre.”