

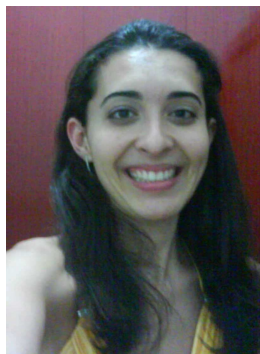
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW
Tópicos do Ensino de Física I – F609

*“LA ROSA AZTECA” E “O RAIOS DA MORTE DE
ARQUIMEDES” – DEMONSTRANDO PROPRIEDADES DOS
ESPELHOS CONVERGENTES*

Relatório Final

Aluna: Aline Pinto Barbosa, RA: 058716

alinepb1988@hotmail.com



Orientador e Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

lunazzi@ifi.unicamp.br



Campinas
2º semestre de 2009

1) Introdução

Segundo um bem conhecido ditado popular, “nem tudo é o que parece ser”. De fato, inúmeros fenômenos (mecânicos, térmicos, ópticos, elétricos, eletromagnéticos, etc.), nos surpreendem e despertam nossa curiosidade por entendê-los justamente devido a nos possibilitarem observar padrões que intuitivamente não esperávamos.

Se a tentativa de explicar esses padrões “não esperados” foi justamente o que impulsionou o desenvolvimento da física ao longo dos anos, motivando tantos cientistas a dedicarem tantos anos de sua vida estudando tais fenômenos, essa também parece ser uma boa forma de despertar o interesse e a curiosidade das pessoas em geral pela física: instigá-las a desvendarem o que está por trás do que “parece ser”.

É possível produzir muitos desses fenômenos físicos “surpreendentes e instigantes” apenas aproveitando/explorando as propriedades dos materiais... dos espelhos, por exemplo.

Há fortes indícios arqueológicos de que os ancestrais indígenas mexicanos não só conheciam e fabricavam espelhos de alta qualidade (como abordado nas referências [1], [2] e [3]), mas também observavam e interpretavam algumas de suas propriedades como fenômenos divinos/metafísicos, manifestações do deus-sol, de modo que possuir espelhos e utilizá-los no peito ou no pulso era símbolo de status social elevado.

Dentre esses indícios arqueológicos, podemos citar as esculturas muito conhecidas das serpentes de penas saindo para fora dos espelhos, bem como a crença dos olmecas no Deus Tezcatliopoca (Deus do Espelho Fumegante), que era representado como tendo, em vez de um pé, um espelho fumegante¹. Ambos os indícios descrevem a interpretação, segundo esses indígenas, de duas propriedades relevantes dos espelhos côncavos: respectivamente, a de ser possível através deles formar imagens à frente do espelho (que dão a impressão de estar saindo do mesmo) e a capacidade desse tipo de espelho de convergir os raios incidentes paralelos a seu eixo para um determinado foco, elevando a temperatura do mesmo a ponto de ser possível a combustão de um objeto nele colocado.

Nos experimentos aqui descritos propomos a exploração/aproveitamento justamente dessas duas propriedades dos espelhos côncavos, a fim de produzir certos fenômenos que surpreendam e instiguem o público, tornando-o assim mais curioso e interessado nas explicações físicas para os mesmos.

2) Descrição Geral/ Objetivos

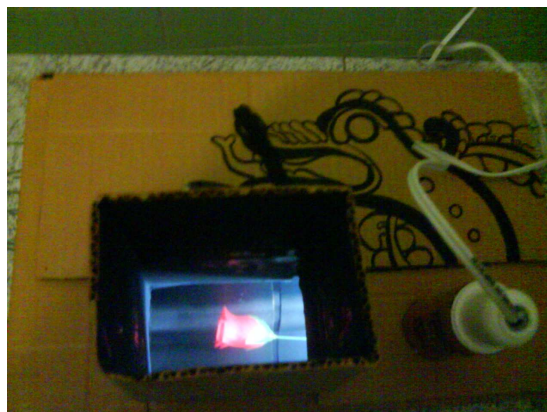
O trabalho aqui relatado esteve dividido em duas etapas, a princípio independentes.

¹ Garcilaso de la Vega, filho de conquistador espanhol e princesa inca, contou em livro em espanhol que existiu essa crença dos olmecas no Deus Tezcatliopoca, com espelho fumegante no lugar do pé.

Na primeira delas, pretendia-se reproduzir uma ilusão de ótica conhecida como “La Rosa Azteca”², comumente realizada em atrações populares na Argentina há algumas décadas atrás e que consiste da utilização de um espelho convergente para dar a ilusão de uma rosa intocável, ainda que esta não seja um holograma, mas apenas uma imagem real posicionada à frente do espelho.

Porém, devido às dificuldades encontradas na realização desse intento, o experimento produzido acabou por utilizar um espelho cilíndrico em vez de um esférico e por produzir uma imagem virtual atrás do espelho em vez de uma real à frente do espelho.

De qualquer forma, mesmo com tais modificações, foi igualmente possível dar ao público do Ação Ciência³, a ilusão ótica de que uma rosa estava numa posição onde na verdade estava a sua imagem ou, se isso não foi plenamente possível (devido às limitações na qualidade do espelhamento da churrasqueira), no mínimo confundir os alunos sobre a posição da rosa.



Na segunda etapa, pretendia-se fabricar manualmente um espelho convergente, atritando duas pedras de hematita, até se chegar a dois espelhos: um côncavo e outro convexo, processo este realizado por Carlson, visando a investigação da técnica de lapidação dos espelhos olmecas, segundo descrito em um de seus artigos (ver referência [7]), cujas páginas de interesse para este trabalho se encontram anexadas ao final do relatório.

O espelho convergente assim construído seria depois usado para queimar um algodão, já previamente enegrecido, colocado em seu foco, simulando o efeito conhecido como “Raio da Morte de Arquimedes”, descrito adiante. Tal tarefa seria inspirada num vídeo do Prof. Lunazzi que assisti, em que este usava um espelho côncavo, com energia no foco equivalente à de um espelho olmeca, para acender algodão que tinha sido previamente escurecido, queimando-o e apagando-o rapidamente.

Porém, apesar da afirmação presente no artigo de Carlson:

² Vale destacar que o título aqui usado para esse experimento foi obtido de Lunazzi (1995): [Proceedings of the “II Reunión Iberoamericana de Óptica”, Guanajuato - GTO - Mexico, 18-22 Sept. 1995, SPIE V 2730, p.2-7.](#)

³ Evento no qual este experimento foi apresentado em 28/11/09.

“With relatively little time and effort, I found that I could produce both spherical and paraboloidal “Olmec” mirrors of circular or elliptical border. The use of the correct technique is the key”

a nossa tentativa de reproduzir a “técnica correta” foi frustrada, já que através dela não alcançamos nem mesmo um desbaste considerável das pedras de hematita, quanto mais a construção de um espelho convergente. Desse modo, essa etapa do trabalho não prosseguiu para além do que ilustram as seguintes fotos:



Ainda assim foi possível aprender muito com essa etapa do trabalho, bem como chegar a algumas hipóteses (a serem mencionadas no tópico 5 deste relatório), sobre as causas de a nossa tentativa ter sido frustrada.

3) Teoria

Formação de imagem em espelhos cilíndricos



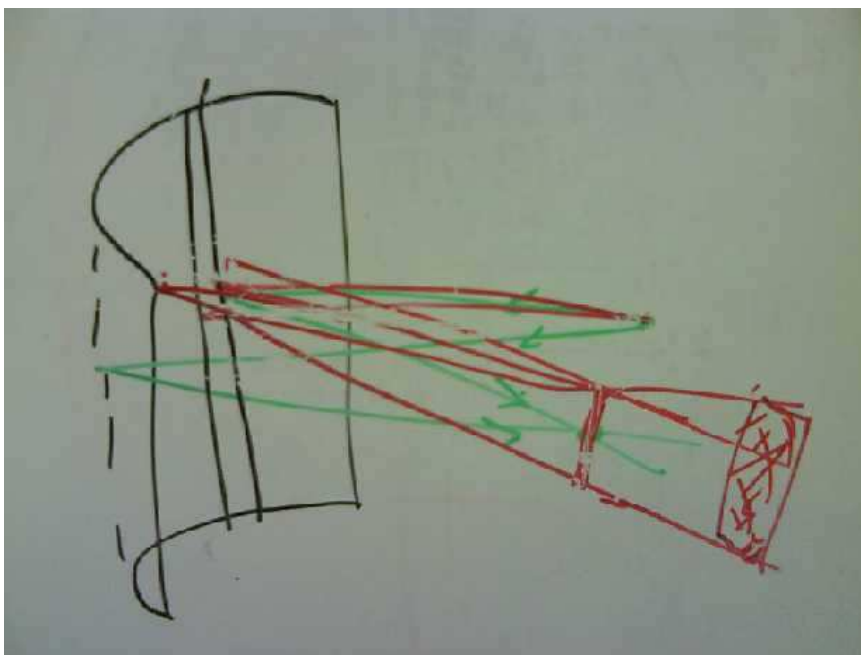
Pode-se dizer que a formação de imagens por meio de espelhos cilíndricos acontece de uma maneira dual, sendo análoga à formação através de espelhos esféricos num plano e à formação através de espelhos planos, no plano perpendicular a esse.

Isso porque se seccionamos tal superfície cilíndrica perpendicularmente ao eixo principal do cilindro, obtemos secções côncavas (como num espelho esférico côncavo) enquanto se seccionamos tal superfície paralelamente ao seu eixo, obtemos secções planas (como num espelho plano), *aproximadamente*.

Vale destacar essa última palavra (“*aproximadamente*”). Afinal, da mesma forma que um elemento de arco, por menor que seja, não é um segmento de reta; um elemento de espelho cilíndrico, por menor que seja, também não equivale exatamente ao elemento plano de um espelho plano.

Porém, suporemos tal aproximação, na medida em que a mesma não provoca modificações significativas nos resultados experimentais. Sendo assim, para os espelhos cilíndricos também podemos aplicar a lei de reflexão segundo a qual o ângulo de reflexão de um feixe luminoso é igual a seu ângulo de incidência num dado plano.

Desenhando-se os raios de incidência e de reflexão para os espelhos cilíndricos obedecendo tal lei, percebe-se uma das principais diferenças desses espelhos em relação aos planos e esféricos: enquanto nesses últimos *um ponto* do objeto origina também *um ponto* da imagem, nos espelhos cilíndricos um ponto do objeto só forma também um ponto da imagem caso os dois raios refletidos estejam coplanares à normal de incidência (como ilustrado em cor verde na Figura 5). Como nem sempre isso acontece nos espelhos cilíndricos, também é possível que em vez de um ponto da imagem a reflexão nesses espelhos forme uma linha da mesma, com os raios refletidos (não coplanares a uma mesma normal de incidência) sendo divergentes (como ilustrado em cor vermelha na Figura 5).



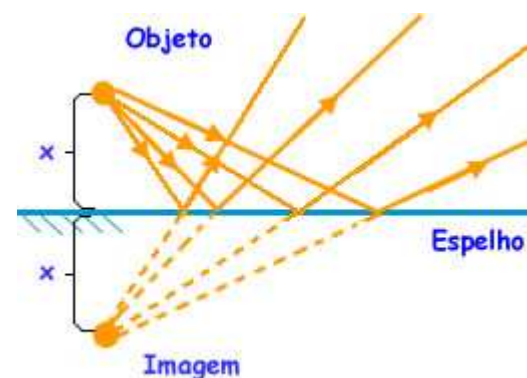
Formação de imagem num espelho cilíndrico, no caso de raios refletidos coplanares (em verde) e não coplanares (em vermelho) à mesma normal de incidência.

Nesse caso, isso gera um certo astigmatismo na imagem, que acaba sendo enxergada comprimida ou expandida na direção horizontal. Esse astigmatismo, porém, resulta tolerável se observamos desde uma certa distância, porque o tamanho relativamente pequeno da pupila do olho gera a seleção de um feixe fino onde a divergência da imagem virtual acaba tendo pouco efeito na imagem. Por isto, se olharmos a imagem de um objeto colocando a curvatura do espelho num plano horizontal veremos as imagens acontecerem como num espelho côncavo, geralmente à frente do espelho. Porém, nunca invertidas.

Mesmo tentando-se simplificar ao máximo o raciocínio físico envolvido no processo de formação de imagens em espelhos cilíndricos, não utilizando-se, para descrevê-

lo, todo o rigor matemático que seria necessário, ainda assim fica perceptível que a explicação física para o processo não é trivial. Assim, ao apresentarmos o experimento, utilizando esse tipo de espelho, procuramos fornecer ao público uma explicação um pouco mais superficial, destacando apenas a propriedade do mesmo de formar imagens à frente do espelho (tal qual um espelho côncavo) e de, em relação a objetos colocados paralelamente a seu eixo, formar imagens igualmente espaçadas do eixo principal, só que do lado oposto (tal qual um espelho plano). Portanto, vale destacar os padrões de formação de imagens dos espelhos planos e dos espelhos côncavos.

Nos espelhos planos, o prolongamento dos raios refletidos gera uma imagem *virtual*, *direita* e de tamanho *igual* ao do objeto, estando essa imagem à mesma distância *atrás* do espelho que o objeto se encontra à frente do mesmo.



Atenção: a imagem é virtual porque é formada do cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos e não do cruzamento dos próprios raios refletidos.

Já nos espelhos côncavos, as características e posições da imagem dependerão da posição do objeto em relação ao espelho, seguindo o padrão de formação mencionado a seguir.

- Se o objeto estiver:
 - entre o foco e o vértice do espelho, a imagem será virtual, direita e maior que o objeto (é o caso das lupas);
 - no foco, os dois raios refletidos nunca se cruzam, de modo que não há formação de imagem;
 - entre o foco e o centro de curvatura do espelho, a imagem será real, invertida e maior que o objeto;
 - no centro de curvatura, a imagem será real, invertida e igual ao objeto;
 - além do centro de curvatura, a imagem será real, invertida e menor do que o objeto.

Quanto à posição dessas imagens, exceto no primeiro caso, de formação de uma imagem virtual, em todos os outros casos, as imagens se formam à frente do espelho, ao utilizarmos espelhos côncavos.

Esses padrões de formação de imagens nos espelhos côncavos podem ser encontrados traçando-se para cada posição do objeto os respectivos raios refletidos correspondentes a cada raio incidente proveniente de algum ponto do objeto. Afinal, o cruzamento dos raios refletidos provenientes de um ponto do objeto, formarão uma imagem **real** desse ponto e o cruzamento do prolongamento dos raios refletidos provenientes de um ponto do objeto formarão uma imagem **virtual** desse ponto, mas seja a imagem real ou virtual, em ambos os casos a imagem, assim como o objeto, também será um ponto (diferentemente dos espelhos cilíndricos, como já mencionado).

Propriedades dos espelhos esféricos côncavos

Uma superfície lisa de forma esférica que reflete especularmente a luz é um espelho esférico. Se a luz estiver se refletindo na superfície interna dizemos que o espelho é côncavo (enquanto se a reflexão ocorrer na superfície externa dizemos que o espelho é convexo).

Segundo as leis da reflexão, temos:

1° – O raio incidente, a normal à superfície refletora no ponto de incidência e o raio refletido estão situados em um mesmo plano.

2° – O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Obedecendo às leis de reflexão citadas acima, podemos traçar os raios refletidos correspondentes a cada raio incidente proveniente de um objeto colocado na frente de um espelho qualquer (plano, esférico côncavo, esférico convexo e cilíndrico).

Porém, no caso específico dos espelhos côncavos, o desenho desses raios refletidos nos permite não somente prever os padrões de formação de imagem de acordo com as posições do objeto, como também perceber uma propriedade importantíssima desse tipo de espelho: o fato de ele possuir um foco real, ou seja, de todos os raios que incidem paralelamente a seu eixo, se encontrarem no seu foco, possibilitando nesse ponto, uma grande concentração de luz, de calor, enfim, de **energia**. É devido justamente a isso que os espelhos côncavos são muitas vezes também chamados de espelhos **convergentes**.

O feixe de luz que é emitido por um ponto luminoso é sempre divergente (diverge de um ponto, se espalhando em todas as direções). Além disso, a maioria dos corpos que nos cercam refletem difusamente a luz que incide sobre eles (assim, esta folha de papel, uma parede, um móvel de uma sala, etc. são objetos que difundem a luz que recebem espalhando-a em todas as direções).

Porém, os feixes de luz que nos atingem provenientes de uma fonte muito afastada, são constituídos de raios praticamente paralelos. Sendo assim, é de se esperar que os raios

do Sol que chegam à Terra sejam praticamente paralelos podendo portanto serem concentrados num único ponto por um espelho côncavo no qual incidirem.

Isso de fato acontece e seria a base para o experimento “O Raio da Morte de Arquimedes” em que demonstrar-se-ia o intenso acúmulo de energia solar no foco devido à convergência dos raios solares ali, colocando um algodão enegrecido (Por que enegrecido? Ler o próximo tópico.) nesse ponto e observando a combustão do mesmo.

Vale destacar que não só um raio luminoso que incide em um espelho côncavo paralelamente ao seu eixo reflete-se passando pelo foco e proporcionando uma concentração de energia ali, mas também a recíproca é verdadeira. Ou seja: um raio luminoso que incide em um espelho côncavo, passando por seu foco, reflete-se paralelamente ao eixo do espelho, sendo, portanto, possível através deste espelho, transformar um feixe de luz inicialmente convergente em um feixe de luz paralelo.

É importante destacar também que o nome “O Raio da Morte de Arquimedes” se deve a um bem conhecido mito em torno do cientista e inventor grego Arquimedes, que viveu no século III aC, na cidade de Siracusa, na Sicília (sul da Itália). Conta-se que uma preocupação constante do rei de Siracusa era a proteção de sua cidade contra as ameaças de invasão pelas tropas romanas. Por isso, ele contratou Arquimedes para projetar e construir dispositivos de guerra, destinados a contra-atacar o inimigo. Entre as armas que Arquimedes teria preparado para defender Siracusa, contam os historiadores que havia grandes espelhos côncavos para fazer convergir os raios solares sobre os navios da esquadra romana. Como já mencionado, a concentração da luz solar provoca uma grande elevação da temperatura e assim, teria sido possível incendiar a esquadra inimiga.

Alguns historiadores têm dúvidas sobre se Arquimedes realmente conseguiu realizar essa façanha. Tentando mostrar que haveria possibilidades práticas para que ela pudesse ter acontecido, um engenheiro grego, em 1973, procurou reproduzi-la. Colocou 70 espelhos planos (cada um com cerca de 1,5m x 1m) dispostos em um semicírculo, de modo a fazerem convergir os raios solares sobre um bloco de madeira, situado a 50m da costa (o conjunto de espelhos planos atuava como espelho convergente). Procedendo dessa maneira, em um dia ensolarado, o engenheiro conseguiu incendiar o barco, que em poucos segundos foi consumido pelas chamas! Experiência parecida também foi realizada recentemente (em 2005), por um engenheiro do MIT, conforme descrito na referência [4].

Por que o algodão enegrecido sofreu combustão e o algodão branco não?

De um modo geral, ao nos referirmos à cor de um objeto estamos supondo que ele esteja sendo iluminado com luz branca (luz solar ou luz de uma lâmpada comum). Sabendo que a luz branca é constituída pela superposição das cores do espectro, podemos concluir que um objeto se apresenta verde, por exemplo, porque ele reflete preferencialmente a luz verde, absorvendo quase totalmente as demais cores, isto é, ele envia para nossos olhos apenas luz verde. Do mesmo modo, um objeto vermelho é aquele que reflete a luz vermelha e absorve todas as outras cores, podendo-se dizer o mesmo para um objeto azul, amarelo etc.

Um objeto é branco (quando iluminado com luz branca) porque reflete todas as cores que recebe, não absorvendo praticamente nenhuma luz e, assim, envia a luz branca para nossos olhos. Por outro lado, um objeto preto absorve toda a luz (de todas as cores) que incide sobre ele, não enviando nenhuma luz para nossos olhos.

Depois dessa explicação fica fácil entender porque o algodão enegrecido sofre combustão e o branco não. Isso acontece porque o algodão branco reflete intensamente a luz incidente, não permitindo que o interior do algodão receba energia térmica o suficiente para que possa ocorrer a combustão. Por outro lado, quando enegrecemos a superfície do algodão, a absorção de energia térmica se torna mais intensa, permitindo o aquecimento de todo o algodão e possibilitando assim, a combustão do mesmo.

Seria interessante chegar a essa conclusão com o público primeiramente questionando o que eles têm de diferente (o algodão branco e o enegrecido). Se sugerissem que é “a cor”, pretendia-se aproveitar tal sugestão para perguntar: “E o que é a cor?” e, a partir daí explicar-se-ia, enfim, a diferença de comportamento dos dois algodões com base nas diferenças de reflexão/absorção da luz incidente por objetos “brancos” e “pretos”.

4) Materiais Utilizados

“La Rosa Azteca”

- Churrasqueira cilíndrica em aço inox;
- Caixa de papelão (não montada);
- 1 rosa artificial e mais alguns caules idênticos ao dessa;
- Fita crep e estilete;
- Lâmpada fluorescente (para iluminar o interior da caixa sem esquentá-la muito);
- 1 rolinho de papel higiênico (para dar suporte à lâmpada);
- Fio de nylon e agulha (usados para prender a rosa na posição desejada);
- Tinta ocre e preta fosca (para pintar a caixa, externa e internamente, respectivamente).

“O Raio da Morte de Arquimedes”

- Duas pedras de Hematita (no caso, usou-se uma mistura de magnetita com martita, o que resulta em um composto equivalente à hematita no que se refere às propriedades);
- Morsa (para prender uma das pedras enquanto se trabalhava com a outra por cima);

- Abrasivo de grão nº 180 e composto por carbureto de silício, óxido de alumínio e polidor (usado para auxiliar o desbaste)
- Óxido de alumínio (seria usado para o polimento fino – e final – das pedras);

Materiais que seriam utilizados caso o espelho convergente ficasse pronto e pudéssemos queimar o algodão com o mesmo:

- Algodão (se possível o não-industrial, mais amarelado);
- Pinça de madeira para segurar o algodão;
- Isqueiro ou fósforo para enegrecer o algodão.

5) Procedimentos Experimentais/ Desenvolvimento

1ª etapa – La Rosa Azteca

No experimento inspirado no truque “La Rosa Azteca”, devido às dificuldades encontradas (mencionadas no tópico 6 deste relatório), trocou-se o espelho côncavo pela parte côncava espelhada de uma churrasqueira cilíndrica de aço inox. O objetivo permaneceu o mesmo: conseguir a ilusão de uma rosa intocável, devido simplesmente à qualidade e à posição da imagem formada.



Churrasqueira de aço inox utilizada.

Aproveitando-se os furos existentes na lateral perpendicular ao eixo do cilindro, introduziu-se uma rosa paralelamente a esse eixo de modo que parte do seu caule ficou para fora, permitindo que fosse movimentada. Percebeu-se que a imagem da rosa se formou também paralelamente ao eixo do cilindro, à mesma distância do eixo que a rosa, porém, do lado oposto. Isso tornou possível esconder a rosa com certa facilidade, mostrando ao público apenas a imagem da mesma que, devido à sua qualidade, dava mesmo a ilusão de uma rosa intocável.

Para isso, escondeu-se a parte cilíndrica da churrasqueira com uma caixa de papelão recortada e furada em locais estratégicos (Figura a). Na parte de cima da caixa, fez-se dois recortes (Figura b): um que permitisse iluminar o interior da caixa, possibilitando a

visualização do experimento; e outro que permitisse enxergar a imagem – e somente a imagem – da rosa colocada no interior da churrasqueira, com o caule saindo para fora por um furo da mesma.



Figura a – Caixa furada e recortada.



Figura b – Vista de cima da caixa.

Já nas partes laterais da caixa, perpendiculares ao eixo principal do cilindro, fez-se o máximo possível de furos, sendo um estrategicamente calculado para coincidir com o furo da churrasqueira de onde sai o caule da rosa (Figura c). Por fim, em cada um dos outros furos fixou-se pedaços de caule, a fim de posteriormente desafiar o público a “puxar a rosa”, escolhendo o “caule verdadeiro”. Pretendia-se dar a cada um o direito a uma única tentativa.



Figura c – Vista lateral da caixa, contendo os furos.

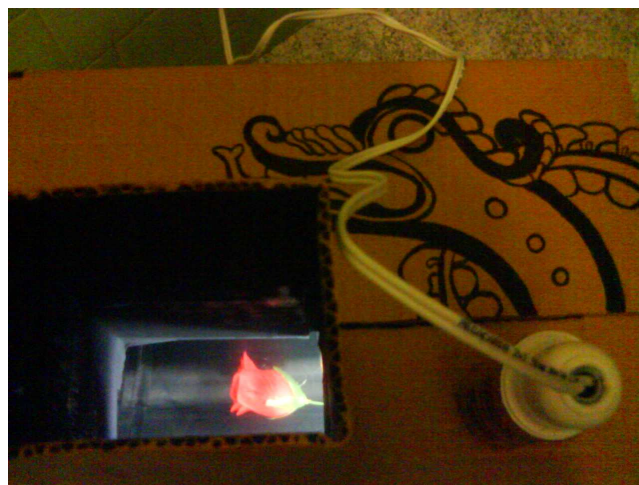
Considerando que existiriam 15 “caules” de cada lado (30 no total), atitudes esperadas/previstas eram:

- Que os alunos escolhessem puxar aqueles caules mais próximos à saída do caule da imagem da rosa, que é justamente o lado oposto ao da saída do caule da rosa-objeto.
- Que alguns mais desconfiados considerassem que a brincadeira deve ter uma “pegadinha” e, portanto, escolhessem puxar caules do lado oposto da saída dos caules, tanto da imagem quanto do objeto. *Nesse caso, poderia ser uma*

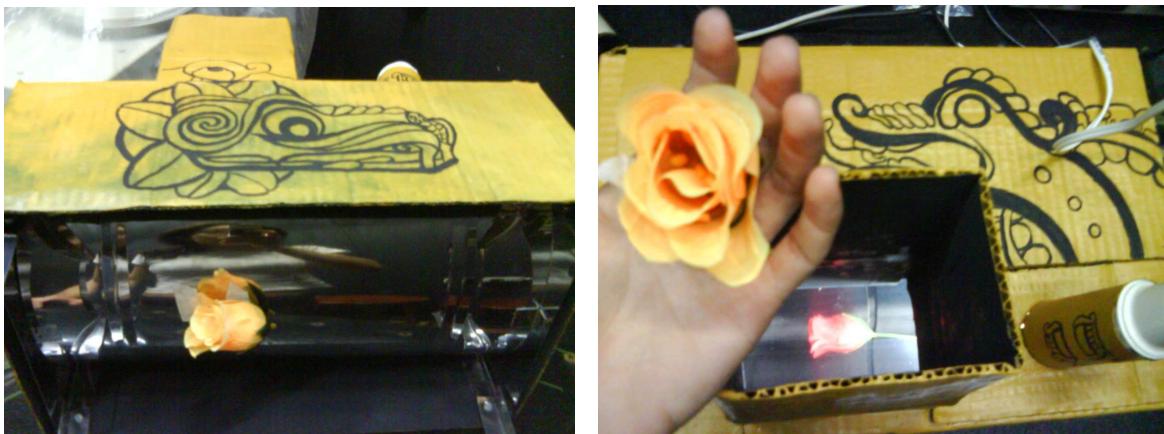
boa oportunidade para levá-los a refletir que, embora a física muitas vezes desmistifique alguns fenômenos, mostrando que nem tudo o que parece ser de fato é, deve-se tomar cuidado para não generalizar esse pensamento e acabar por associar a física às soluções sempre “mais improváveis e não imaginadas” para os problemas. Tal reflexão poderia inclusive ser bem ilustrada pelo experimento em questão, na medida em que auxiliássemos os alunos a perceberem que havia uma explicação lógica no que estavam visualizando e que, portanto, valia à pena procurá-la em vez de ficar “chutando” as respostas (muitas vezes por esses meios esquisitos, como o fato de “por ser mais improvável”).

Devido aos “defeitos” desse 1º esboço do experimento, este foi aperfeiçoado, montando-se uma nova caixa, de modo a corrigir tais defeitos e também (e principalmente) de modo que desta vez esta ficasse aberta, a fim de encontrarmos mais facilmente a posição ideal da rosa para que se produzisse uma boa ilusão ótica.

Em seguida, a aluna Clarisse do IA da Unicamp me auxiliou a pintar a caixa, decorando-a com desenhos (mostrados no apêndice, pág. 38) que, segundo os arqueologistas, são representações da civilização olmeca para os espelhos convergentes (com serpentes saindo dos mesmos representando a formação de imagens à frente desse tipo de espelho). As fotos a seguir mostram o resultado final obtido para este experimento:



Conforme sugerido pelo Prof. Lunazzi foi acrescentada ainda ao experimento, parte de uma outra rosa (dessa vez amarela), que foi fixada embaixo da churrasqueira de modo que sua posição coincidissem com a posição da imagem da rosa vermelha. O objetivo era surpreender o público, quando esse fosse orientado a “pegar a rosa vermelha” e, de repente, se deparasse com uma rosa amarela em suas mãos.



Apresentação do Experimento no evento Ação Ciência/2009

Infelizmente, o Ação Ciência realizado no dia 28 de novembro de 2009 não contou com a presença de monitores voluntários, de modo que eu precisei ajudar os organizadores do evento (apenas quatro pessoas!) a receber o público do evento, explicando a eles todos os outros experimentos também. Isso impediu que eu ficasse concentrada somente na apresentação de meu experimento, bem como que eu tivesse tempo para fazer os devidos registros (filmagem e/ou fotos) dessa experiência. Os poucos registros que possuo são os seguintes:



Aquela “caixa com desenhos estranhos, iluminada por dentro e contendo uma rosa” de fato cumpriu o objetivo de chamar a atenção e despertar a curiosidade do público para “o que estava acontecendo ali”. Mas me pareceu que este ficou um pouco decepcionado ao perceber que o truque consistia apenas da “formação de uma imagem por um espelho”... esperavam talvez algo menos “trivial”.

Porém, procurei ressaltar com eles justamente que a simples exploração das propriedades dos materiais em geral e, nesse caso, dos espelhos em particular, pode possibilitar a produção de muitos fenômenos físicos instigantes.

Para isso, complementei a apresentação do experimento levando outros dois tipos de espelhos (além do cilíndrico): um esférico côncavo e um esférico convexo. Orientei-os a explorarem esses espelhos e a relatarem o que observavam. A maioria conseguiu concluir que o espelho convexo produzia imagens “mais abrangentes da cena ao redor”, ao que aproveitei para comentar que era por isso que utilizações muito comuns do mesmo eram em retrovisores de carros e espelhos de segurança de lojas e de ônibus. Quanto ao espelho côncavo, todos perceberam que sua imagem ficava “aumentada” quando estavam bem próximos ao espelho, ao que aproveitei para comentar que era por isso que utilizações muito comuns do mesmo eram em espelhos de maquiagem.

Fiz um breve comentário teórico sobre a formação de imagens nesses dois espelhos, destacando que da mesma forma que um espelho plano, o espelho convexo formava sempre um mesmo tipo de imagem (sempre menor que o objeto) independentemente da posição do objeto em relação a ele, enquanto que o espelho côncavo forma imagens com diferentes características, dependendo da posição do objeto. Comentei, por exemplo, que quando o objeto se encontra distante o suficiente desse espelho, a imagem se forma invertida, mas nem todos conseguiram visualizar essa inversão, devido ao espelho não ser de tão boa qualidade, distorcendo bastante a imagem, na medida em que o objeto é afastado do foco.

Voltando ao experimento da rosa, vale comentar que, contrariando o esperado, ninguém tentou movimentar a rosa puxando os caules do lado oposto ao lado onde de fato o caule verdadeiro e o caule da imagem se encontravam. Talvez porque a maioria do público era composta por alunos de Ensino Fundamental, que provavelmente ainda não possuem essa péssima mania de associar a física às soluções mais improváveis, por mais que estas não tenham sentido algum.

Quanto à rosa amarela fixada em baixo da churrasqueira, deixei que o público a descobrisse sozinho, apenas caso sentissem uma curiosidade natural de tentar pegar a rosa colocando a mão por baixo da caixa. E, de fato, como a maioria descobriu rapidamente que se tratava de “uma imagem em um espelho”, apenas um garoto da 5ª série foi que colocou a mão por baixo da churrasqueira e, retirando a rosa amarela, perguntou: “o que é isso?”. Como ao tocar a rosa ele não enxergou sua mão através do visor, ele já esperava mesmo que não estivesse retirando a rosa, mas, segundo ele, a sensação inicial era de que ele estava tocando a rosa verdadeira e só depois é que vinham os questionamentos: “O que é isso?”, “O que isso está fazendo aqui?”

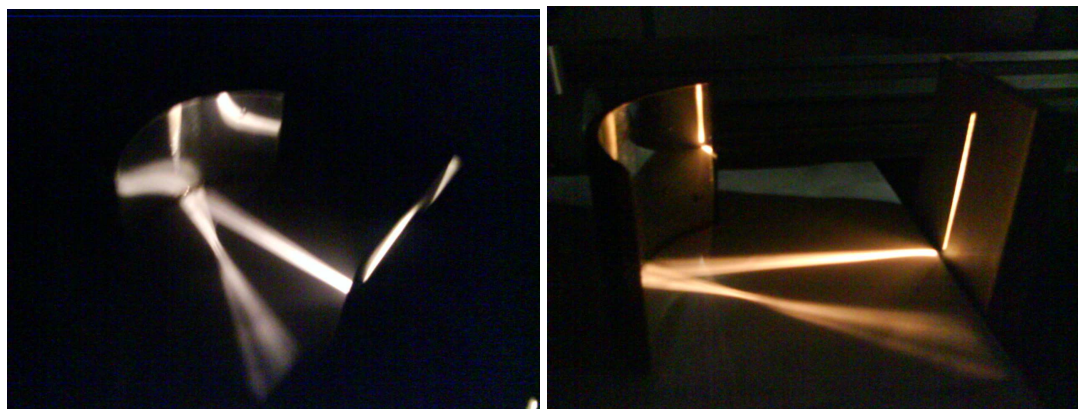
Também é importante comentar que, como o experimento foi preparado para dar uma única chance a cada pessoa de puxar o caule certo, e como não foi possível apresentá-lo dessa maneira, tendo várias vezes formado-se um tumulto de pessoas tentando puxar o caule certo, até de fato encontrá-lo, e de modo que eu não consegui orientá-las sobre a força e o cuidado com que deveriam puxá-lo, a rosa acabou saindo do lugar algumas vezes, como nesta em que me flagaram consertando o experimento em pleno evento, na frente do público:



No geral, a participação nesse evento foi uma experiência valiosa para mim. Percebi que embora os “experimentos maravilhosos” possam ajudar a despertar a curiosidade e o interesse do público pela física, o ideal seria que os mesmos viessem sempre acompanhados de uma explicação clara e completa sobre o tema, de modo a não deixar lacunas conceituais que tendem a contribuir apenas para a extensão do tabu de que “física é muito difícil de aprender”.

Finalmente, como não foi possível demonstrar o foco dos espelhos convergentes (não só porque o espelho de hematita não havia ficado pronto, mas também porque não poderiam ser aproveitados os raios solares no local fechado em que aconteceria o evento) aproveitei um dos experimentos do evento para comentar sobre isso. Esse consistia de dois “espelhos sonoros”, de modo que falando no foco de um deles era possível escutar o som no foco do outro (posicionado bem distante) e vice-versa. Assim, usando-o como exemplo, foi possível comentar sobre essa propriedade dos espelhos convergentes de que “os raios que incidem paralelamente ao seu eixo, convergem para seu foco e vice-versa”.

Eu, porém, havia preparado (para caso não houvesse esse experimento) uma demonstração simples da existência do foco dos espelhos convergentes, utilizando uma lâmpada de fendas. Tal demonstração se encontra ilustrada pelas fotos a seguir:



2ª etapa – O Raio da Morte de Arquimedes

Após a obtenção de duas amostras de hematita, graças à colaboração dos geólogos Marcelo e Henrile da mineradora Ferrous, buscou-se alguém que pudesse cortar uma das pedras para nós. Isso porque as amostras eram muito grandes (aproximadamente 20 cm de diâmetro cada uma) de modo que seria inviável atritá-las uma contra a outra.

Conseguiu-se a ajuda do Cristiano, do setor de Laminação do IG-Unicamp, que a meu pedido seccionou uma das amostras em três partes. Uma delas foi reservada e com as outras duas (uma maior e outra menor) iniciou-se o trabalho de atritamento das duas pedras, mas não sem antes conseguir uma morsa emprestada com o Sr. Walter, técnico do Laboratório de Materiais a Baixas Temperaturas (LMBT), do IFGW da Unicamp.

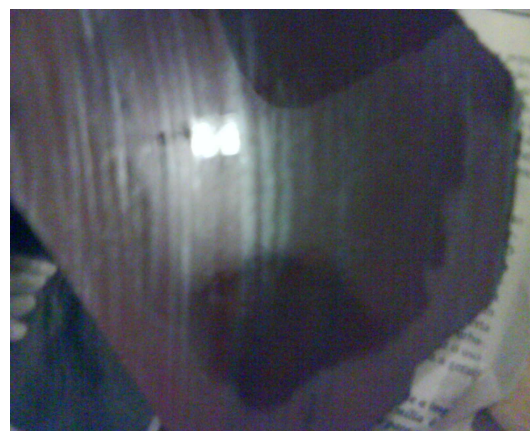
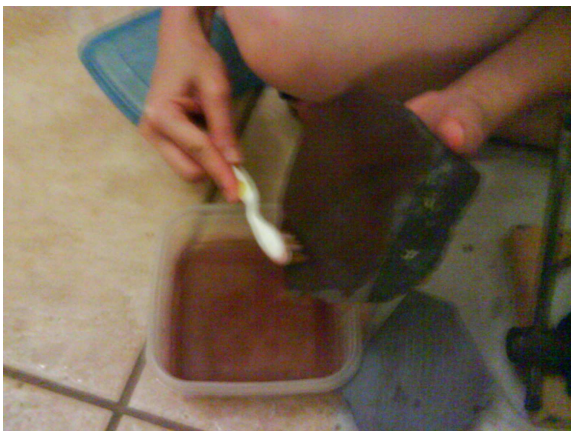
Com a morsa e as duas pedras “em mãos”, iniciou-se a tentativa de debastar as pedras. Fixou-se a maior delas na morsa e trabalhou-se com a outra por cima, consistindo esse “trabalho” do deslizamento de uma pedra sobre a outra, fazendo movimentos circulares e simultaneamente de vaivém, tal qual o movimento de um pêndulo de Foucault e

também como sugere Carlson em seu artigo: *“A long back-and-forth stroke applied while occasionally rotating the work and tool blanks in opposite directions will almost assure a resultant spherical concave mirror with a circular border”*.

Claro que o ideal mesmo seria trabalhar com a pedra maior (a que pretende-se que fique côncava) por cima e a menor (que pretende-se que fique convexa) por baixo, já que estando a mais pesada por cima, a força (e portanto, a pressão) aplicada na de baixo aumentaria, facilitando o desbaste; e também porque é assim que nos sugere Carlson ao dizer: *“Two “blanks” are used – a tool piece on the bottom and the work piece on top. (...) The tool unavoidably becomes convex as the work piece becomes concave.”*

Porém, a pedra maior (ainda que fosse menor do que a amostra original) continuava pesada o suficiente para tornar inviável impor-lhe movimentos circulares e de vaivém com a agilidade desejada. Por isso optei por trabalhar com essa pedra maior por baixo, mesmo contrariando a minha principal referência para esta etapa do trabalho.

Trabalhei nestas condições por três dias, durante 1h30min por dia. As fotos dessa etapa do trabalho bem como as fotos das pedras após esse total de 4h30min de trabalho estão mostradas a seguir:





OBS: Como abrasivo eu usava os próprios grãos de hematita (que é um mineral altamente abrasivo) porém acrescentando água. De vez em quando eu retirava o excesso de pó de hematita que soltava das pedras com o auxílio de uma escovinha, para que esse pó em excesso não acabasse impedindo continuarmos o desbaste (ou a tentativa de) das pedras.

Percebeu-se que após essa etapa do trabalho certas regiões das pedras já haviam adquirido o desejado brilho espelhado, porém o desbaste das mesmas era desprezível, posto que totalmente imperceptível.

Assim, por sugestão do Prof. Lunazzi, para conseguir um desbaste mais efetivo, procurei aumentar a pressão sobre as pedras diminuindo a área onde a força seria aplicada, ou seja, diminuindo a superfície de contato entre elas. Para isso, recorri novamente ao Cristiano e pedi que ele cortasse um pedacinho da amostra que eu havia reservado, bem como que arredondasse um pouco as suas bordas, para que o processo de debastar as pedras deixasse de ser dificultado pelas arestas da borda da pedra menor, como vinha acontecendo.

Além disso, também por sugestão do Prof. Lunazzi, resolvi desta vez acrescentar um outro abrasivo entre as pedras que não fosse o próprio pó de hematita, até porque em seu artigo Carlson indicava: ***“With suitable grades of wet abrasive compound in between, the work piece is rubbed back and forth over the tool.” “Quartz sand (SiO₂) and natural emery (Al₂O₃) would serve well as readily available grinding compounds. The process of elutriation (mixing in water, decanting the water laden with fine suspended particles, and then evaporating) can produce a selection of coarse and fine grades of abrasive.”***

No laboratório onde trabalha o Prof. Lunazzi, encontramos diferentes tamanhos de grãos abrasivos, com o número de grão sendo inversamente proporcional ao diâmetro do mesmo. Assim, escolhemos o abrasivo de menor n^o, ou seja, de maior tamanho de grão, para que pudesse auxiliar o desbaste das pedras (lembrando que o polimento fino seria realizado posteriormente com o auxílio de grãos mais finos, de óxido de alumínio). O abrasivo de menor n^o que pudemos encontrar foi um de n^o 180, composto de carbureto de silício + óxido de alumínio + polidor. Apesar de ser o de menor n^o dali, esse abrasivo ainda era bem fino. Mesmo assim prosseguimos o trabalho com ele. Na foto a seguir, tal abrasivo se encontra misturado a água, visto que Carlson sugere o uso de abrasivos líquidos:



Utilizando esse “abrasivo + água”, bem como a pedra menor e de borda mais arredondada, atritou-se novamente as pedras, fixando a maior na morsa e fazendo movimentos rotatórios e de vaivém com a menor por cima. Procedeu-se a retirada do excesso de pó (dessa vez composto de hematita + “o abrasivo”) e de água, todas as vezes em que estes acumulavam. Dedicou-se mais dois dias a esse trabalho, realizando 1h30min em um dia e 2h no outro dia, num total de 3h30min.

O resultado não foi muito animador! Não só não houve desbaste (ou se houve, continuou imperceptível), como também a pedra maior perdeu o brilho espelhado que havia adquirido, se tornando fosca, como pode-se perceber nas fotos já mostradas anteriormente no tópico 2 deste relatório.

Observa-se também nas fotos mencionadas que a pedra maior adquiriu uma “sombra” em formato de um círculo central que corresponde justamente à superfície que esteve em contato com a outra pedra. Apalpando-a, entretanto, percebeu-se que essa “sombra” não corresponde a um *desbaste* (no caso, a um afundamento) na pedra maior, mas sim a um *polimento fino*, responsável por deixar essa região da pedra bem lisinha em relação ao restante da mesma. A mesma maciez e efeito liso foi evidentemente percebida também na pedra menor, que também “deveria” ter adquirido uma leve convexidade, mas que da mesma forma não sofreu desgaste perceptível.

Vale destacar também, nesta parte que relata o desenvolvimento deste experimento, que simultaneamente aos processos que acabaram de ser descritos, houve também a tentativa de, a título de comparação, encomendar a uma marmoraria, que utilizaria máquinas/ferramentas próprias para o trabalho, um “espelho côncavo de hematita” a partir da amostra que eu havia reservado, como mencionado no 2º parágrafo deste texto.

Após muitas tentativas frustradas (como relatado no tópico 6), consegui encontrar uma usina na qual o Sr. Denilson se prontificou em ajudar, prometendo fazer a usinagem precisa da pedra pra mim.

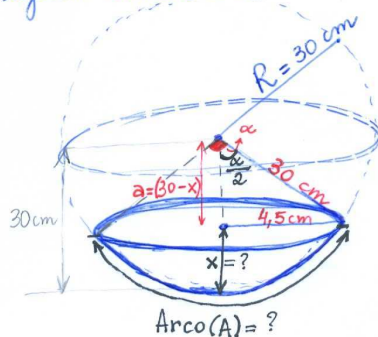
As orientações que lhe forneci sobre as medidas da concavidade desejada foram baseadas nos cálculos mostrados no Apêndice 1 e são as seguintes: o raio da seção de circunferência da concavidade deveria ser de 4,5cm, a profundidade da mesma deveria ser de 0,34cm e seu arco, ou seja, o comprimento de uma linha que percorresse a concavidade de uma extremidade à outra seria de 9,034cm. Tudo isso para atender a sugestão do prof. Lunazzi de que o espelho tivesse uma distância focal de 15cm, ou seja, um raio de curvatura de 30cm.

* Diâmetro da maior área da minha amostra = pouco mais de 9 cm

⇒ Possibilidade de fazer uma concavidade com o seguinte raio de seção:

$$r = \frac{\text{diâmetro}}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ cm.}$$

* Como quero que a concavidade seja tal que o espelho côncavo formado tenha distância focal (f) = 15 cm e, portanto, raio de curvatura (R) = 30 cm, preciso descobrir o x e o A da figura abaixo:



Tenho, por T. de Pitágoras:

$$30^2 = (4,5)^2 + a^2$$

$$a^2 = 900 - 20,25$$

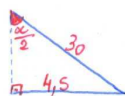
$$a = 29,66 \text{ cm}$$

mas, como $a = 30 - x$, tenho:

$$x = 30 - a$$

$$x = 30 - 29,66 \therefore \boxed{x = 0,34 \text{ cm}}$$

Para encontrar o valor do Arco(A), basta considerar que:
 $A = \alpha R$. Assim, tenho:



$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{4,5}{30} = 0,15 \Rightarrow \left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sin^{-1} 0,15 = 0,1506 \text{ rad}$$

$$\therefore \alpha = 2(0,1506) \Rightarrow \boxed{\alpha = 0,3011 \text{ rad}}$$

$$A = \alpha \cdot R = 0,3011 \cdot (30 \text{ cm}) \Rightarrow \boxed{A = 9,034 \text{ cm}}$$

Portanto, quero que minha concavidade tenha 0,34 cm de profundidade e 9,034 cm de arco.

Porém, alguns dias depois, o Sr. Denilson me ligou informando que não havia conseguido fazer a usinagem da pedra, porque o torno mecânico (que utilizavam para a usinagem de ferro, aço inox, etc), simplesmente não conseguia desbastar a pedra de hematita.

Hipóteses para a não obtenção do desbaste das pedras

Pelo visto, nem eu nem o torno mecânico da usina do Sr. Denilson conseguimos verificar o desbaste das pedras de hematita, muito menos com “relativamente pouco tempo e esforço”, como afirmou Carlson em seu artigo.

No meu caso, se a tentativa fosse a de reproduzir o processo de fabricação dos espelhos olmecas convergentes, e se supuséssemos que a tecnologia envolvida nesse processo é mesmo a sugerida por Carlson (de simples atritamento de duas pedras de hematita, sem ferramentas sofisticadas, apenas utilizando a “técnica correta”), eu poderia justificar o fracasso desse experimento simplesmente alegando que a relação que os primitivos olmecas tinham com o tempo provavelmente era muito diferente da relação que a civilização atual (na qual me incluo) tem com o mesmo. Em outras palavras, é claro que seria mesmo impossível atingir em algumas horas, ou mesmo em um semestre inteiro, resultados que talvez os olmecas só atingiram após gerações e gerações e, ainda assim, provavelmente utilizando a mão-de-obra de índios bem fortes, o que, definitivamente, não é o meu caso.

Mas abandonei esse argumento no momento em que li a tal afirmação de Carlson de que havia conseguido replicar a tecnologia de lapidação dos espelhos olmecas com relativamente pouco tempo e esforço, apenas atritando duas pedras de hematita com um abrasivo líquido entre elas e fazendo os movimentos corretos.

A minha principal hipótese é de que “a porta não se abriu porque não usei a chave correta”, afinal, apesar de Carlson ter afirmado que: “The use of the correct technique is the key”, eu não segui à risca a técnica sugerida como correta por ele.

Em primeiro lugar, eu utilizei as pedras menor por cima e maior por baixo, exatamente ao contrário do que foi sugerido.

Em segundo lugar, o “efeito liso e macio” da minha última tentativa de desbaste deu fortes pistas de que o abrasivo utilizado não era o correto para esta etapa do experimento, tendo gerado mais um polimento fino do que um desbaste. Utilizando um abrasivo com grãos maiores (e, portanto, nº menor que 180) quem sabe conseguíssemos melhores resultados.

E foi exatamente isso que o Prof. Lunazzi me sugeriu então fazer, como uma última tarefa: conseguir um abrasivo de grãos maiores. Porém, as dificuldades encontradas, sobretudo devido a outros compromissos acadêmicos acumulados ao final do semestre (que esteve ainda mais tumultuado que o normal, devido a ter começado tarde, por causa da gripe suína), me impediram de encontrar tal abrasivo. Essas dificuldades estão relatadas no tópico 6 deste relatório.

Quanto ao torno mecânico da usina onde trabalha o Sr. Denilson, não consegui pensar em nenhuma explicação plausível para ele não ter conseguido desbastar a hematita, sobretudo após ter lido os trechos já mencionados do artigo de Carlson.

Quanto a esse artigo, vale à pena ler algumas de suas páginas no Apêndice, págs. 67 e 68. Trata-se de um artigo no qual Carlson busca investigar a técnica de lapidação dos espelhos olmecas, demonstrando surpresa com a qualidade dos mesmos e inquietação pelo fato de essa tecnologia ter desaparecido.

6) Dificuldades Encontradas

La Rosa Azteca

O espelho côncavo: A primeira dificuldade encontrada foi achar um espelho côncavo ideal para a realização do experimento. Testou-se a formação da imagem da rosa com vários espelhos côncavos, desde o espelho comum de maquiagem até os espelhos maiores e de maior qualidade disponíveis nos laboratórios de óptica da Unicamp. Os resultados eram sempre os mesmos: ou a imagem era deformada (por alguns mais, por outros menos, mas, nesses casos, sempre o suficiente para que não desse a impressão de uma rosa intocável), ou quando a qualidade da imagem era boa (sem deformação), por algum motivo o ocultamento da rosa se tornava improvável (distância focal muito grande e conseqüentemente objeto e imagem muito distantes, ou distância focal muito pequena, com objeto e imagem muito próximos ao espelho).

Além disso, após consultar várias lojas de espelhos (de Campinas e de São Paulo) percebeu-se que nelas geralmente se encontram espelhos planos e convexos (esses últimos utilizados em retrovisores de carro e como espelhos de segurança em estabelecimentos comerciais), porém, dificilmente encontram-se espelhos côncavos, ainda mais se necessários com as especificações de qualidade e distância focal requisitadas por este experimento. Até cheguei a encontrar pela internet o telefone de um fabricante de telescópios e acessórios para os mesmos (por coincidência, professor de física da UFMG), porém este me informou que poderia fazer um espelho de qualidade e com as dimensões desejadas para mim, se não fosse o prazo exíguo.

Quando desistiu-se de encontrar o espelho côncavo de qualidade e distância focal simultaneamente ideais para a realização do experimento, a tempo de poder apresentá-lo no evento Ação Ciência (que ainda não havia sido adiado de fins de outubro para fins de novembro), o Prof. Lunazzi sugeriu a alternativa de usar como espelho côncavo “a parte côncava de uma churrasqueira de aço inox”.

A caixa de papelão: Outra dificuldade encontrada foi em relação à caixa de papelão, utilizada para esconder a rosa-objeto e a churrasqueira. Inicialmente encontrou-se uma caixa que, por sorte, se encaixava perfeitamente à churrasqueira. Porém, embora eu tenha planejado os recortes e furos da melhor maneira que pude, após recortada e furada, a caixa apresentava alguns probleminhas, tais como:

1) Eu havia utilizado o fundo da caixa e este não era aberto, o que tornava muito difícil o encontro da posição ideal da rosa-objeto;

2) A luz que no fim das contas decidi utilizar para iluminar a caixa, era bem mais fina que o recorte que eu havia destinado para esta finalidade – iluminação, de modo que seria necessário refazê-lo, menor e de preferência no formato de um círculo com o diâmetro de um rolo de papel higiênico (no qual a lâmpada se encaixara direitinho);

3) Os furos que eu havia feito nas laterais da caixa eram maiores que os caules destinados a eles, o que acabava permitindo a passagem de luz, pelos furos que coincidiam com os furos da churrasqueira, denunciando assim qual era o caule verdadeiro.

Por tudo isso, achei melhor refazer os furos e recortes, procurando uma caixa que ao mesmo tempo pudesse proporcionar maior facilidade na descoberta da posição ideal da rosa. Procurei bastante esta “caixa ideal”, mas nem mesmo uma caixa com as mesmas dimensões da churrasqueira eu tive a sorte de encontrar de novo.

Solucionei o problema comprando uma daquelas caixas de papelão não montadas nas lojas Kalunga, no centro de Campinas. Assim, eu pude construir a tal “caixa ideal”, nas dimensões e com as características que eu pretendia.

A iluminação da caixa: Fiquei um bom tempo procurando uma luminária “ideal” para resolver o problema da iluminação da caixa, mas em todas as lojas que eu procurava, não encontrava luminárias nem no tamanho nem no formato, nem muito menos no preço que eu desejava: todas eram relativamente grandes, extravagantes e/ou caras. Até que numa dessas lojas desabafei que o que eu queria na verdade era algo muito mais simples: apenas um suporte para a lâmpada, de onde partisse um fiozinho que a ligasse na tomada. Prontamente, ela respondeu: “Mas por que você não me disse antes? Isso eu faço por você agora mesmo.” Foi só aí que *eu* e ela descobrimos que na verdade eu queria apenas um bocal de lâmpada ligado a uma tomada, e não uma luminária.

A apresentação no Ação Ciência: Como mencionado anteriormente no tópico 5, o Ação Ciência realizado no dia 28/11/09 não contou com a presença de monitores voluntários. Isso representou uma dificuldade na medida em que demandou minha concentração e esforços muito mais no auxílio à organização e concretização do evento em geral, do que na apresentação do meu experimento em particular.

O Raio da Morte de Arquimedes

Obtenção da hematita: A primeira grande dificuldade, claro, foi a obtenção das amostras de hematita. Como eu pretendia obter amostras relativamente grandes (de aproximadamente uns 20cm de diâmetro), só havia possibilidade de eu consegui-las em alguma mineradora, sobretudo as de Minas Gerais, que contam com grandes quantidades do mineral hematita (sobretudo as minas de Ouro Preto). O problema é que amostras desse tamanho de hematita normalmente são comercializadas somente em grandes quantidades, de modo que não só não consegui boas respostas ao ligar em algumas mineradoras como também em uma, em particular, foi só falar que eu era aluna da Unicamp e que precisava de amostras de hematita, que desligaram na minha cara.

Felizmente o Prof. Elson Paiva de Oliveira, do Instituto de Geociências (IG), da Unicamp, me aconselhou a enviar um e-mail ao Marcelo Batelochi (gerente de Geologia e

Planejamento de Lavra), que trabalha na Ferrous (uma mineradora em MG, para onde os alunos do IG – Unicamp realizariam uma excursão em breve). Marcelo e Henrile da empresa Ferrous foram muito atenciosos respondendo meu e-mail de solicitação da hematita, além de terem me enviado duas amostras de magnetita + martita (\approx hematita) pelo correio, sem que eu tivesse que pagar nada por isso.

Corte das pedras: Após a obtenção da hematita, a próxima dificuldade foi encontrar um local que cortasse aquelas grandes e pesadas amostras em fragmentos menores, a fim de viabilizar o trabalho de desbaste manual por atritamento. Mas em todas as marmorarias de Barão Geraldo, me responderam que não podiam fazer o serviço. Alegavam que ou a pedra era **muito dura** para o tipo de ferramenta que conseguiria fixa-la, realizando o corte preciso que eu queria, ou que, para outro tipo de ferramenta que conseguiria corta-la apesar de sua dureza, ela era **muito grande** comparada à serra, inviabilizando corta-la em amostras do tamanho que eu almejava; sem contar que com esse outro tipo de ferramenta não seria possível fixar a pedra a fim de fazer cortes precisos.

Felizmente, uma semana após essa busca frustrada, o Cristiano do setor de Laminação do IG da Unicamp, que também me foi indicado pelo Prof. Elson, voltou de sua “licença paternidade”. Solicitei então sua ajuda e ele foi extremamente prestativo. Mesmo sem ter certeza se sua máquina iria ou não conseguir cortar a pedra de hematita, ele se disponibilizou a tentar. Tentou e conseguiu, dividindo, a meu pedido, uma das pedras em três amostras menores e posteriormente cortando um pedaço menor de uma dessas 3 amostras, arredondando suas bordas.

Obtenção da morsa: Chegou um momento desse trabalho em que eu já estava cansada de ficar pedindo favores/incomodando quem em mal conhecia. Mas para iniciar a tentativa de desbastar as pedras eu precisava de uma morsa. Foi aí que incomodei mais um desconhecido: o Sr. Walter, técnico do LMBT, que conheci por intermédio de uma colega que também trabalha nesse laboratório. O Sr. Walter me emprestou a morsa com uma imensa boa vontade, além de ter disponibilizado outros materiais como lixas mecânicas, caso eu precisasse para o polimento.

Encomenda do espelho côncavo de hematita: A título de comparação, tentei encomendar um “espelho côncavo de hematita” numa marmoraria, onde poderiam utilizar máquinas próprias para isso. Mas liguei para 10 marmorarias de Campinas e praticamente todas me responderam que não faziam esse tipo de serviço. Algumas davam a entender que não faziam esse serviço porque não tinham as ferramentas necessárias. Outras já falavam explicitamente o que eu acredito que era o caso de todas, ou seja: que tinham ferramentas para isso, mas que tinham que fazer um molde e para eles não compensava tal serviço já que se tratava de *uma* pedra só. Porém, na “Tropical Mármore e Granitos”, localizada na estrada da Rhodia, me indicaram uma usina na qual muito provavelmente fariam esse serviço pra mim. De fato, o Sr. Denilson que me atendeu nessa usina primeiramente disse que seria possível sim fazer o serviço, mas alguns dias depois me ligou desmentindo, afirmando não ter conseguido fazer a usinagem da pedra com o torno mecânico que possuía, devido à pedra ser muito dura... o que me deixou um pouco desconfiada.

Mãos à obra: Quando coloquei as mãos literalmente “à obra”, outra dificuldade surgiu naturalmente: com a pedra maior e mais pesada por cima como sugerido por

Carlson, meus movimentos com a pedra perdiam muito em agilidade e destreza. Mesmo quando troquei a pedra maior por uma menor e a pedra menor por uma menor ainda, a “nova pedra maior” continuava pesada o suficiente para que se tornasse inviável impor-lhe movimentos circulares e de vaivém com a agilidade desejada. Solucionei isso trocando as pedras de lugar: fixei a maior em baixo e trabalhei com a menor em cima, mesmo contrariando a minha principal referência para esta etapa do trabalho: o artigo de Carlson.

O tempo para as civilizações primitivas vs o tempo para as civilizações atuais:

Ao todo, foram apenas 8 horas de trabalho (4h30min na 1ª etapa e 3h30min na 2ª etapa) que consegui dedicar para a tentativa de desbastar as pedras. Esta foi uma grande dificuldade encontrada nessa etapa do trabalho: a ausência de tempo livre que eu pudesse disponibilizar para essa tarefa, pois além dos compromissos acadêmicos eu, como muitos outros alunos de graduação, também trabalho. Nesse sentido, creio que um experimento de reprodução das técnicas de fabricação de objetos pelos primitivos, deve levar em conta essa relação que os povos primitivos tinham com o tempo: provavelmente muito diferente da que temos hoje com o mesmo.

A não obtenção de abrasivo de grãos maiores: Como mencionado no tópico 5 desse relatório, esta foi a última orientação do Prof. Lunazzi: que eu conseguisse um abrasivo de grãos maiores, já que o abrasivo que havíamos conseguido não estava contribuindo para o desbaste das pedras, mas apenas para um polimento fino das mesmas.

Porém, devido ao acúmulo de outros compromissos acadêmicos nessa mesma época (a saber: final do semestre), tive pouco tempo para procurar tal abrasivo. A procura consistiu no seguinte: liguei para o Cristiano, do Laboratório de Laminação do IG (o mesmo que havia cortado as pedras para mim) e que podia ser que tivesse esse abrasivo mais grosso, mas ninguém atendeu (suponho que ele tenha entrado de férias).

Fui também “incomodar” novamente o Prof. Elson, do IG, e ele me disse que eles não tinham, que isso eu conseguiria era com o Cristiano mesmo.

Também liguei para o Denílson, da usina onde eu havia deixado a pedra para usinagem, e ele me disse que o que eles usavam lá era uma pasta abrasiva, chamada “carborundum”, e que poderia me fornecer uma amostra. Porém, como a intenção deste trabalho com as pedras de hematita era justamente reproduzir uma suposta técnica primitiva (dos olmecas), não faz sentido usar um material industrializado para isso, como é o caso da pasta abrasiva.

Não tive tempo, nem transporte, para procurar em outros lugares, por exemplo, em marmorarias. Porém, creio que seria possível sim encontrar em algumas delas um abrasivo natural, com o tamanho de grãos desejado.

7) Declaração do Orientador

O meu orientador realizou os seguintes comentários:

- *Na entrega da primeira versão (RF1) deste relatório:*

“O trabalho está sendo realizado satisfatoriamente e resulta muito completo. O esforço é muito, inclusive físico.”

- *Na entrega da versão final (RF2) deste relatório:*

“O trabalho foi excelente, realizado com entusiasmo e dedicação, com interação com o público, e que avançou em um tema bastante ignorado pela ciência e pela mídia que, se pudermos resolver no futuro, vai ser considerado em escala mundial pelos interessados em espelhos arqueológicos.”

8) Comentários Feitos pelo Orientador/Coordenador

Comentário sobre o Projeto:

“Projeto aprovado (PA). Apenas coloque algumas palavras das que mais caracterizam as referências a páginas minhas em geocities, porque no fim de outubro serão retiradas porque o serviço vai exigir pagamento de manutenção. E indique que a afirmação do uso do título "La Rosa Azteca" vem de mim, que recebi da colega argentina M.A. Rebollo. Entregue como P2”

Comentário sobre o Relatório Parcial:

“O trabalho está se desenvolvendo satisfatoriamente.”

Recados trocados através do correio do Ensino Aberto (TelEduc):

Em 18/09/2009 00:59:38, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Olá Lunazzi!

Você poderia me dizer de novo qual é mesmo o óxido que você me indicou para utilizar para o polimento fino dos espelhos curvos?

Obrigada!

Aline.

Resposta: **Óxido de alumínio, vem em graos com diferente tamanho.**

JJL

Em relação ao projeto entregue em 20 de setembro, o prof. Lunazzi escreveu:

Projeto aprovado (PA).

Apenas coloque algumas palavras das que mais caracterizam as referências a páginas minhas em geocities, porque no fim de outubro serão retiradas porque o serviço vai exigir pagamento de manutenção.

E indique que a afirmação do uso do título "La Rosa Azteca" vem de mim, que recebi da colega argentina M.A. Rebollo.

Entregue como P2

Em 26/09/2009 16:23:26, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Oi Lunazzi!

Enviei o projeto com as modificações q vc me pediu.

VC pode conferir se está tudo ok?

Obrigada!

Aline

Resposta: Projeto aprovado, acredito no sucesso. O trabalho de polimento não é pouco, e uma vez iniciado vale até contratar alguma pessoa desempregada ou carente para ajudar.

Na Geociências o Prof. Roberto Xavier, Metalogênese, talvez possa ajudar. Antigamente tinha o R 8271 .

Quanto a realização de queima, já foi realizado na UNICAMP, mas com espelho convencional, mostrei-lhe o vídeo e está em meu trabalho "On the quality of the Olmec mirrors and its utilization": <http://arxiv.org/pdf/physics/0701327>

Mas não foi feito na disciplina, nem foi feito no mundo com materiais do tipo usado na América indígena.

Bom trabalho!

JJL

Em 29/09/2009 22:19:40, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Oi Lunazzi!!

To tentando conseguir o espelho concavo.. mas ainda estou insegura se mesmo um de foco menor e melhor qualidade me permitirá obter a ilusão de que posso tocar a rosa.

R.: **Mas já percebeu que, não porque sabe que um experimento existe, resulta fácil de se fazer.**

Então, o que gostaria de saber de você é, se por acaso, eu conseguir o espelho melhor e ainda assim a ilusão não ficar muito boa pra ser apresentada no Ação Ciência, se eu poderia trocar este experimento

R.: **As vezes que não deixei um aluno fugir do experimento, ele acabou conseguindo.**

por um similar: o que usa dois espelhos convergentes, tendo um deles um furo, onde se tem a ilusão de estar não só o objeto como também o seu reflexo, como se o furo fosse uma superfície espelhada.

R.: **Tem um nome comercial: "Mirage". Porque acha que seria mais fácil? Não consultou a página da disciplina?**

Aí está o link de um vídeo que encontrei no Youtube para esse experimento:

R.: **Não precisa, recebi de presente de um aluno. Feito na China custa R\$ 20, mas isso não quer dizer que seja fácil de se fazer.**

Eu tenho outra alternativa, mas não desista de procurar espelho.

se o próximo que achar, tendo diâmetro da ordem de 30 cm, não funcionar, mostro minha alternativa.

JJL

E então, o que você acha?? Tudo bem que é menos original que a rosa, mas creio que seja um truque mais eficiente, além de permitir dar a idéia de que a imagem formada é real na medida em que serve de objeto para o outro espelho formar uma segunda imagem (que aparenta ser o reflexo do "objeto ilusório").

<http://www.youtube.com/watch?v=Z-HjwY7yNHY>

Obrigada,

Aline.

Ainda em 29/09/2009, Lunazzi escreveu:

Posso te mostrar um vídeo do Cirque du Soleil e achar que poderíamos fazer, afinal, temos os mesmos elementos, o corpo.

Nesse caso precisa de conhecimento e treino. No seu, apenas conhecimento ou tentativa e sorte.

JJL

Em 14/10/09 Aline escreveu:

Oi Lunazzi!!

Sobre as amostras de hematita, aí vai o email que um dos caras me mandou:

Ficará em R\$60,00 para enviar... e aí? posso contar com dinheiro do instituto? Posso pedir para despachar ou não??

Obrigada!!

R.: Transfiro mensagens trocadas hoje porque nao quero té-las senão aqui dentro da sala virtual. Acrecento que enviei pedido de verba para a graduação, e que vou procurar de todas maneiras que seja feito o pagamento, por isso vai adiante mas tente obter um recibo nominal.

Lunazzi

Sim, em princípio, e não. Tem dois problemas:

- Como seria possível ter uma nota fiscal com nome ou da FUNCAMP ou da UNICAMP? Acredito que somente se eles enviarem a cobrar, retirando no correio a nota sai. Mas eles terão que depositar o dinheiro em caução lá, por no mínimo 30 dias. Desse jeito já pode ser feito.

- No momento a verba não chegou para mim, não sei quanto mais vai demorar. Se vem pelo correio, ganhamos alguns dias podemos deixar o material lá até retirarmos. Nesse caso é pela FUNCAMP

Um outro recurso seria eu pedir dinheiro á ecretaria de Graduação, que pede talvez á Diretoria. Vou perguntar, mas demorarei algo em saber. A nota ai seria pela UNICAMP, mas definimos isso na hora da retirada no Correio.

Lunazzi

Em 14/10/09 Lunazzi escreveu a todos:

Nunca está demais insistir em que a web é virtual, o que lá existe pode sumir como uma bolha de sabão.

Tem aditivos ao Mozilla Firefox com os que o texto que pega pelo mouse acaba sendo guardado em um servidor para você, e fica lá disponibilizado para todo mundo. Nao lembro agora o nome.

Geocities (www.geocities.com) foi o primeiro serviço massivo para colocação de páginas, pagando-se em troca de propaganda. Em 1996 coloquei várias páginas lá, incluindo as profissionais.

No 26 de outubro, daqui a poucos dias, vai exigir pagamento e apagar todas as páginas de quem não pagar. Entre elas as minhas, que estou com esforço migrando para Google e para ifi.unicamp.br

De maneira que, se tem referências de interesse de vocês em Geocities, seria bom que tentassem copiar porque pode que muitas delas desapareçam. E com isso uma parte da cultura mundial. Soube que existe um projeto para instituições colocarem material que acham importante, e a idéia é que ele ficaria preservado por longo tempo. Reflitam sobre isto: internet nem é gratuita, nem muito livre, nem permanente. Quanto tempo depois que a pessoa morre leva para o material desaparecer? Por isso é que nossas tradicionais bibliotecas "com massa" ainda terão o que oferecer por um bom tempo.

Prof. Lunazzi

Em 16/10/2009 14:57:51, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Olá Prof. Lunazzi!!

Voce acredita que o Marcelo solicitou que a Ferrous pagasse o envio pra mim??

Ele acabou de me enviar um email falando que a encomenda já foi postada e que foi tudo pagos pela Ferrous...

Vou terminar de fazer umas coisas do Relatório Parcial e depois vou conferir isso nos Correios.

Talvez eu te ligue hoje tbm...queria te mostrar o experimento da rosa como está...mas nesse exato momento ainda estou enrolada aqui..

PS: De qualquer modo, pode continuar tentando a verba, pq pode ser que precise se me enviarem a hematita lá de Ouro Preto também.. lembrando que a encomenda que o Marcelo me mandou não é hematita pura, enquanto que a que talvez me enviem lá de OP provavel que seja...

Até mais

Aline

Resp: **Beleza. Nao esqueça de incluir a firma nos agradecimentos, e de informá-los do resultado do trabalho.**

Podemos tentar pedir um pouco de ouro ...

JJL

Em 16/10/2009 15:02:33, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Ah, mais uma coisa... o Ação Ciência foi adiado. Ainda não se sabe se será no dia 28/10 ou 05/12, segundo o Diego.

Isso é ótimo!!!!

R: **Espero que de certo.**

Porque meu tempo está muito limitado, estou tendo varias provas e trabalhando bastante...

Mas com esse adiamento, vai dar não só pra fazer algo legal em relação ao experimento da rosa, como também quem sabe dê pra apresentar o experimento de queimar o algodão com o espelho de hematita lá hein?! Ja pensou, que legal seria?

R: **Ótimo. Vai acabar fazendo o fogo para o churrasco na churrasqueira com o sol. O cozinhando saslsicha nela pelo sol ...**

Posso continuar contando com sua ajuda?

R: **Enquanto estiver bom de saúde e espírito ...**

Abç

Aline.

[]s

JJL

Ainda em 16/10/09, Lunazzi escreveu:

Depois da demonstração de hoje fiquei pensando que não teria tentado colocar a imagem da mão simétrica realmente, com a mão acima do nível do espelho e a imagem simetricamente também, o que devia gerar a imagem flutuando por acima do espelho. Será que nesse caso distorce?

2a a tarde estarei em meu laboratório.

JJL

Em 29/10/09, Lunazzi escreveu (a respeito do RP2):

- Colocar o traçado de raios dos espelhos cilíndricos de forma mais completa, faltam alguns raios.

- Avisa que as páginas de Geocities www.geocities.com/prof_lunazzi nao mais existem porque Geocities passou a cobrar pelo armazenamento. Daqui a pouco darei o endereço onde ela será recolocada. No RF será incluída.

- Comentário do orientador: O trabalho está se desenvolvendo satisfatoriamente.

Em 29/10/2009 20:06:46, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Oi Lunazzi! Ok!

Vou fazer os "remendos" no relatório, mas vai ter de ser amanhã porque acabei de ver que o cabo que conecta meu cel ao computador não está aqui comigo, então não será possível acrescentar a outra foto..

Amanhã, assim q eu chegar do meu trabalho te enviarei o RP2 com as devidas modificações.

Obrigada,
Aline.

R: **Sim. O problema dos cabinhos, acontece aqui com frequencia.**
JJL

Em 23/11/09, Lunazzi escreveu:

Assunto: **As duas páginas cruciais do Carlson na confecção dos espelhos.**

Anexo as mesmas. Para semana próxima, quando retomar o trabalho de polimento. Vamos pegar abrasivo daqui.

JJL

Em 02/12/2009 18:25:47, Aline Pinto Barbosa havia escrito:

Olá Lunazzi!!

Não sei não.. esse polimento da hematita não tá dando certo..

Vc lembra q te mostrei fotos de q polindo com a propria hematita, sem outros abrasivos, a pedra não debastou mas pelo menos apareceu um brilho espelhado?

Então.. ontem, que usei o abravivivo líquido, a pedra voltou a ficar fosca, semelhante (em brilho) a uma ardósia..

R: **Isso seria normal.**

e não percebi nenhum desbaste tbm não (talvez pq permanei só duas horas atritando-as)

R: **Ese é o problema, nao ter conseguido curvatura na superfície.**

...só percebi q as seções atritadas ficaram bem lisinhas, macias (qndo passamos a mão).. acho q é devido ao tipo do polimento que fiz, pois embora tenhamos pegado os graos 180 (mais grossos) eles continuam muito finos, e acho q serviram mesmo apenas para um polimento fino das pedras... mesmo assim, eu não sei porque perderam o brilho espelhado...

R: **Seria porque o grao é maior?**

Vou tentar mais algumas horas de trabalho, mas estou bem lotada de coisas pra fazer com o fim do semestre, então se não der eu já vou partir para apresentar os resultados (esperados ou nao) no relatorio final, ok?!

R: **Sim. Lembrando que o RF ainda nao é necessariamente o final.**

Até mais!!

Aline

Até,

JJL

9) Pesquisa Realizada/ Referências

A maioria das referências aqui citadas foram encontradas através do website de busca “Google”, utilizando como palavras-chave: Espelhos Olmecas; Espelhos Olmecas Convergentes; Qualidade dos Espelhos Olmecas; Aparição de figuras na frente dos espelhos convergentes; O Raio da Morte de Arquimedes; Testando o Raio da Morte de Arquimedes; Arxiv.org. – Óptica – Lunazzi - Qualidade dos Espelhos Olmecas e sua utilização; Espelhos Cilíndricos; Formação de Imagens nos Espelhos Cilíndricos

A seguir são explicitadas brevemente as funções de cada referência:

[1] http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/prof_lunazzi/Olmecas/Olm1.htm

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/prof_lunazzi/Olmecas/Olm2.htm

Estas páginas virtuais chamam a atenção para a alta qualidade dos espelhos olmecas, através inclusive de fotografias dos mesmos tiradas no Museu Nacional de Antropologia no México, em 1995. As páginas também introduzem a surpresa pelo fato dessa tecnologia avançada ter simplesmente desaparecido.

Elas também possuem um link para algumas páginas de referências que contêm figuras interessantes, inclusive as representações olmecas para os espelhos convergentes, com serpentes saindo dos mesmos. Ver o Apêndice correspondente a essa referência.

[2] <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0701/0701327.pdf>
<http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0701/0701328.pdf>

Tanto o primeiro artigo, referente à “Qualidade dos Espelhos Olmecas e sua utilização” quanto o segundo, intitulado “Espelhos Olmecas: um exemplo de espelhos arqueológicos americanos” constam de análises/descrições a respeito dos espelhos arqueológicos das civilizações olmecas. Nesses artigos são mostradas fotografias das imagens, como prova da boa qualidade desses espelhos.

[3] <http://www.klepsidra.net/klepsidra14/olmecas3.html>

Este artigo, intitulado “Olmecas: O Elo Perdido das Civilizações Mesoamericanas” descreve detalhadamente a civilização olmeca, destacando suas principais características sociais, culturais, religiosas, econômicas, etc. Nele há um tópico (Ver o Apêndice correspondente a essa referência!) intitulado “Espelhos Côncavos”, que destaca não só o fato de os olmecas conhecerem os espelhos côncavos confeccionados em hematita e de a confecção dos mesmos ser bem mais complicada que a dos espelhos planos, mas principalmente a utilização “estranha” que os olmecas parecem ter feito desse tipo de espelho.

[4] http://web.mit.edu/2.009/www/experiments/deathray/10_ArchimedesResult.html
http://web.mit.edu/2.009/www/experiments/deathray/10_Mythbusters.html

O “Raio da Morte de Arquimedes” constitui uma famosa lenda segundo a qual Arquimedes teria queimado uma frota romana inteira valendo-se de um grande espelho que possibilitava direcionar a luz solar, tendo esse “raio da morte” gerado elevada temperatura que incendiou todas as embarcações. Depois disso, vários experimentos foram realizados na tentativa de reproduzir essa “lenda”, tendo muitos deles obtido sucesso, como foi o caso de um projeto recente (2005), chamado “Arquimedes Death Ray: Idea Feasibility Testing”, desenvolvido no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), por David Wallace. As referências acima tratam justamente da descrição desse projeto e de seus resultados.

[5]
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/JoaoP_Tamashiro_RF2.pdf

Esse relatório que pertence ao acervo eletrônico da disciplina F609 propõe a formação de pseudo-imagem através de uma superfície cilíndrica espelhada e também contém outras referências relevantes sobre a formação de imagens em espelhos cilíndricos.

[6] Documento em pdf, encontrado no google com a referência: F-429C Prof. José J. Lunazzi 10 sem. 2001, intitulado “**Óptica Geométrica: Introdução a imagens e experiência com espelhos cilíndricos**”.

[7] Duas páginas de um artigo do Carlson, que me foram enviadas pelo TelEduc pelo Prof. Lunazzi, nas quais Carlson descreve o experimento arqueológico que realizou na tentativa de descobrir a técnica de lapidação dos espelhos olmecas. Essas duas páginas estão anexadas no Apêndice [7], correspondente a essa referência.

10) Agradecimentos

- Ao Prof. Ennio Peres, que no início deste trabalho (antes de o Prof. Lunazzi poder confirmar a possibilidade de me orientar) aceitou ser meu orientador e foi quem sugeriu que eu apresentasse meu trabalho no Ação Ciência;
- A Natacha, Diego e demais organizadores do Ação Ciência, que me permitiram apresentar o experimento da rosa nesse evento, além de terem me acolhido muito bem como ajudante na organização do mesmo;
- A Clarisse, aluna de Artes Plásticas do IA da Unicamp, que com entusiasmo e boa vontade me auxiliou na pintura da caixa;
- A Marcelo e Henrile, geólogos e empresários da mineradora Ferrous (Congonhas – MG), que conseguiram as duas amostras de magnetita = martita (\approx hematita) e enviaram-nas para mim pelo correio sem que eu tenha tido que pagar valor algum por isso. A eles um agradecimento especial, pois tal atitude demonstrou admiráveis solicitude e boa vontade em ajudar;
- Ao Sr. Walter, técnico do Laboratório de Materiais a Baixas Temperaturas (LMBT), do IFGW – Unicamp, que me emprestou a morsa, a qual foi essencial no trabalho de polimento das pedras;
- Ao Cristiano, do Setor de Laminação do IG – Unicamp, que com muita boa vontade cortou as pedras para mim todas as vezes em que precisei de amostras menores;
- Ao Prof. Elson Paiva de Oliveira, do IG – Unicamp, que me deu informações importantes sobre a hematita e o polimento da mesma, além de ter sido quem me indicou o Cristiano, do Setor de Lapidação, bem como o Marcelo Batelochi, da mineradora Ferrous, ambos já mencionados anteriormente.
- Ao Denílson, que de todas as marmorarias procuradas, foi o único que se disponibilizou a realizar a usinagem (desbaste e polimento) da pedra para mim, com as medidas precisas que lhe forneci, ainda que depois ele tenha me informado

que sua máquina (torno mecânico) que fazia a usinagem de ferro, aço inox, etc, simplesmente não estava conseguindo realizar a usinagem daquela pedra.

- Ao Adriano, meu colega de república, que me ajudou todas as vezes em que precisei transportar as tão pesadas pedras;
- E, finalmente, agradecimentos especiais ao meu Orientador, o Prof. Lunazzi, bem como ao técnico do laboratório de óptica, AC Costa, pela grande colaboração, não só cedendo espaço para a realização de experimentos e emprestando materiais, mas também e principalmente me instruindo e dando dicas com toda a paciência e boa vontade.

A todos esses, os meus sinceros agradecimentos por terem me ajudado na realização deste trabalho que, por tantas vezes se mostrou muito mais complicado do que inicialmente parecia ser.

11) Apêndices

Incluimos como apêndices, as páginas da internet das referências:

[1] – Ver páginas de 32 a 38 desse pdf

[3] – Ver página 38 e 39 desse pdf

[6] – Ver página 39 e 40 desse pdf

[7] – Ver páginas 41 e 42 desse pdf

[1]



Pequenas esculturas Olmecas de figuras femininas usando espelhos no peito. A direita, embaixo, espelho Olmeca divergente de uns 5 cm de largura e que permite ver o rosto de uma pessoa (página seguinte).

Não é um assunto simples dizer como teria começado a óptica. As sombras são, sem dúvida, o tipo de imagem mais primitivo. A luz, é a energia que sempre manteve a vida na terra (sabe-se depouquisimos seres vivos que podem viver sem a luz, ou sem se alimentar de outros que necessitam dela). Os primeiros movimentos (p.ex. vegetais) na procura de posições mais iluminadas talvez seria o começo.

Quais são os documentos que mostram o trabalho do homem por criar instrumentos ópticos?

Fala-se dos espelhos chineses, que considero metálicos e portanto não muito lisos. Também, se diz dos gregos antigos e dos árabes, que já teriam tratados sobre a luz.

Mas muito dificilmente se encontra uma menção aos espelhos americanos, que seriam mais antigos pois surgiram pelos Incas há 4.000 anos, e que os Olmecas aprimoraram há 3.000 anos, dando à ossuíame todo tipo de curvaturas e **criando as imagens de maior qualidade de seu tempo.**

Eles são feitos de minério de ferro, se quiser saber mais, leia meus artigos:

2. “ On the Quality and Utilization of Olmec Mirrors” , J.J. Lunazzi, in Proc. Of the II Reunión Iberoamericana de Óptica, Guanajuato, Mexico, 24-27.09.95, SPIE V 2730 p.2-7.
<http://arxiv.org/abs/physics/0701327>
2. “ Olmec Mirrors: an Example of archaeological American mirrors” , J.J. Lunazzi, chapter 22 of the book “ Trends in Optics” V3 published by the International Commission for Optics – ICO, Ed. Anna Consortini, Ac. Press. 1996, p411-421, including a color picture.
Ler o artigo: <http://arxiv.org/abs/physics/0701328>
Comprar o livro: [ISBN 0-12-186030-2 http://www.apnet.com/](http://www.apnet.com/)

e suas referências:

2. Fung Pineda, R. (1987), “ The Late Pre-ceramic and Initial Period” , in: R.W. Keatinge ed. “ Peruvian Prehistory” , Cambridge University Press, 67-98,.

2. Burger, R.L. (1984), " The Prehistoric Occupation of Chavin de Huántar, Peru" , Univ. Of California Publications in Anthropology, V. 14. University of California Press, Berkeley, 203-204.
3. Nordeskiold, E. (1926), " Mirrors convexes et concaves en Amérique" , Journal de la Societé des Americanistes de Paris, n.s. tome XVIII, Paris, 102-110.
4. Carlson, J.B. (1981), The University of Maryland: " Olmec Concave Iron Ore Mirrors: The Aesthetic of a Litic Technology and the Lord of the Mirror" , Dumbarton Oaks Conference on the Olmecs, Dumbarton Oaks, Washington, 117-147.
5. Lunazzi, J.J.(1995)," On the quality of the Olmec mirrors and its utilization" , Proc. Of the II Reunión Iberoamericana de Óptica, Guanajuato – GTO, Mexico, 18-22.09.95, to be published by SPIE.
6. Fuentes, C. (1992), " El espejo enterrado" , Fondo de Cultura Económica, Mexico.
7. Taube, K.A. (1993), University of California at Riverside: " The Iconography of Mirrors at Teotihuacan" in " Art, Ideology and the City of Teotihuacan" , J.C. Berlo ed., 169-204, Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington.
8. Saunders, N.J. (1988), " Chatoyer, Anthropological Reflections on Archaeological Mirrors" , in " Recent Studies in Pre-Columbian Archaeology" Vol. I, N.J. Saunders, O. De Montmollin editors, 1-39, BAR International Series 313, Oxford, 1-37.
9. de la Vega, Garcilaso (1550?), " Libro Sexto de los Coméntarios Reales de los Incas" , ch. XXII.
10. Gullberg, J.E. (1959), " Technical Notes on Concave Mirrors" in Excavations at La Venta, Tabasco, 1955, Smithsonian Institution Bureau of American Ethnology, Bulletin 170, United States Government Printing Office, Washington, USA, 280-283 and pl.62.
- 2.□.□ Craig, Vaughan, (1981), " Ore Microscopy and ore petrography" , J. Wiley and Sons,.

12. Heizer, R.F., Gullberg, J.E.(1981), University of California, Berkeley, in “ Concave Mirrors from the Site of La Venta, Tabasco: Their Occurrence, Mineralogy, Optical Description, and Function” , Dumbarton Oaks Conference on the Olmecs, Dumbarton Oaks, Washington, 109-116.

NOVO! (2007) “ [Espejos precolombinos del Perú](http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2007/vol24-No.2/rcf-2422007-170.PDF) ” , Revista Cubana de Física, V. 24, N2, 2007, p.170 <http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2007/vol24-No.2/rcf-2422007-170.PDF> <http://arxiv.org/abs/physics/0702024>

[Vai a página seguinte, sobre espelhos olmecas.](#)

[VOLTA Á PÁGINA PRINCIPAL](#)



Rosto de uma pessoa visto refletido no espelho Olmeca da página anterior. Obtida, como as demais desta página, pelo autor no Museo Nacional de Antropologia – □ossuí – DF – 1995.

A qualidade dos espelhos Olmecas e o fato dessa tecnologia avançada ter desaparecido são surpreendentes. Eles influenciaram na religião (Tezcatlipoca, “O espelho fumejante”, deus que tem por vez de um pé, um espelho, de onde sai fumaça, p.ex.) e teria feito com que os nativos reverenciassem os europeus que chegavam, pois estes □ossuíam espelhos, coisa que somente sacerdotes ou pessoas danobreza □ossuíam. A história, assim, resulta algo diferente do que imaginamos quando aprendimos sobre “A Conquista”, na escola.

A aparição de figuras na frente dos espelhos convergentes (existe um truque baseado nisto, conhecido nos parques de diversões como “A Rosa

Azteca”) pode ter sido explorada como assunto divino. A imagem surge suspensa no ar, como se fosse um holograma.



Figura de uma mão obtida por meio de um espelho Olmeca convergente. Aparece pela frente do espelho, a uns 15cm.



Alguns espelhos Olmecas convergentes. O maior tem diâmetro de aprox. 12cm



Assista o vídeo! [Pelo YouTube](#) ou [\(20 Mb, necessita do visualizador RealPlayer\)](#)

Se o tema lhe interessou, vai para o livro de visitantes de minha página de pesquisa e registre:

+ Olmecas. Se houver suficientes pedidos, tentarei colocar mais informação.

Várias pessoas e entidades colaboraram para que eu pudesse fazer este trabalho. A menção está nos meus artigos.

[Veja algumas páginas das referências \(em inglês\)](#)

[VOLTA Á PÁGINA PRINCIPAL](#)



Fig. 22 Feathered serpent passing through feathered mirror rim, Temple of Quetzalcoatl, Teotihuacan.

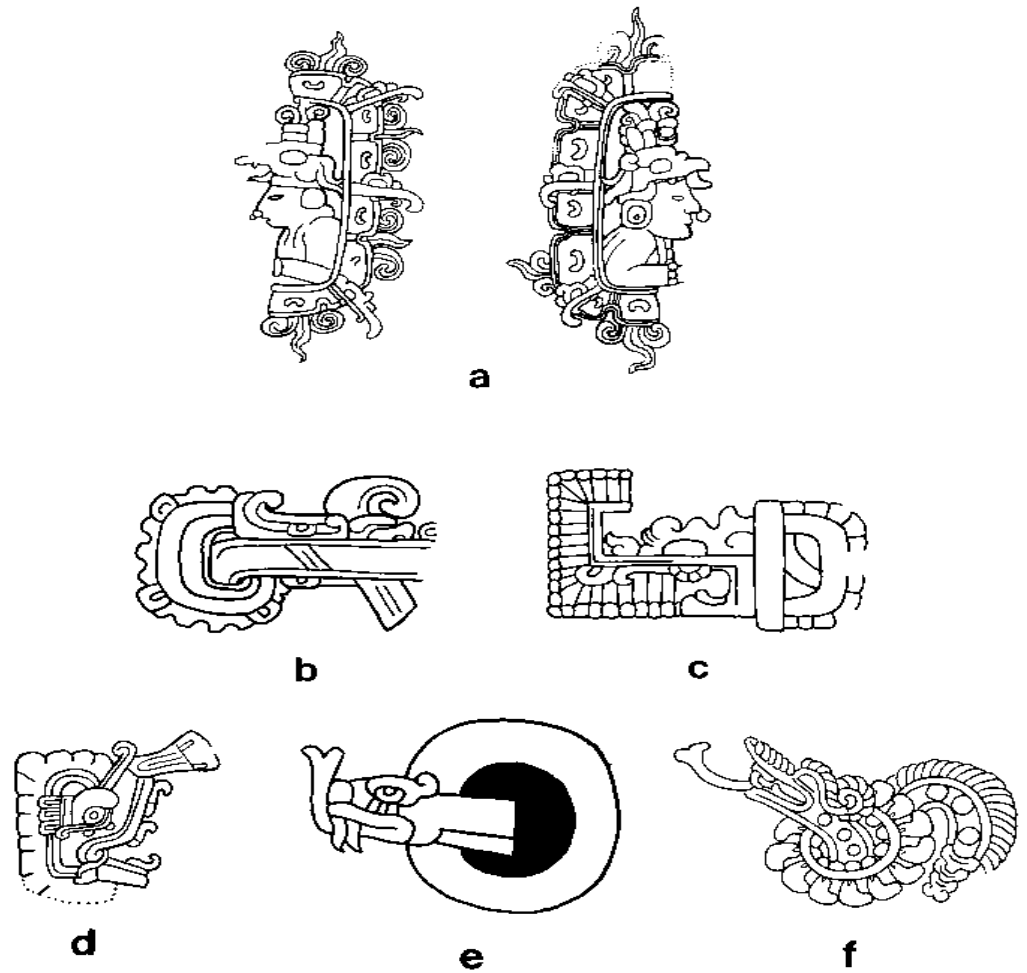


Fig. 21 Pre-Hispanic representations of mirrors as passageways. (a) Classic Maya depiction of burning, petaled mirrors containing human figures; note hook-snouted serpents. Detail of Caracol Stela 5 (after Beetz 1981: fig. 6); (b) Protoclassic serpent emerging out of notched mirror; detail of Altar 14, Kaminaljuyu; (c) Serpent emerging out of mirror with *nen* reflection sign; detail of Sarcophagus Lid, Palenque; (d) Serpent head emerging from mirror worn at back of head, Mound 1, Santa Rita (after Gann 1900: pl. xxix); (e) Serpent emerging out of surface of blue-rimmed mirror; detail of Codex Cospi page 24; (f) Detail of ceramic bowl from Las Colinas; feather serpent passes through mirror rim (from Taube 1986: fig. 8b).

[3]

Olmecas: O Elo Perdido das Civilizações Mesoamericanas

Danilo José Figueiredo
danilo@klepsidra.net

5.4.1 – Espelhos Côncavos:

Os Olmecas conheciam os espelhos côncavos confeccionados em hematita, mas daí a isto ter tanta relevância a ponto de receber um sub-item dedicado a esse fato, já é demais, certo?

Errado! Espelhos côncavos, por si sós já são criações complicadas, na medida em que sua confecção é mais difícil do que a dos espelhos planos. Justamente pelo fato de eles necessitarem de uma curvatura correta para que seu foco esteja perfeitamente alinhado com seu vértice.

No entanto, o que me fez dedicar este sub-item aos espelhos côncavos Olmecas não foi nem sequer isso, mas sim a utilização estranha que os Olmecas parecem ter feito deste tipo de espelho.

Ao que parece tratava-se de uma exclusividade de poucos, possivelmente os sacerdotes, fazer uso de tais artefatos. Eles eram carregados (segundo nos mostram gravuras) junto à cintura e parecem ter sido utilizados pra refletir de maneira concentrada os raios solares com algum fim. É possível que este fim fosse a criação do fogo (qualquer criança já deve ter feito ao menos uma vez na vida a experiência de incendiar gravetos secos com uma lupa num dia de sol). Talvez através de tais espelhos os sacerdotes Olmecas simulassem poderes mágicos criando fogo à partir do nada.

Porém, também é possível, se bem que menos provável, que esses espelhos fossem utilizados como arma por alguns guerreiros (neste texto sempre me refiro aos combatentes como guerreiro e não como soldados por que o termo soldado tem, embutido em si, o significado de que o indivíduo é pago para lutar por um governo e não se pode precisar se havia algum tipo de monetarização da economia Olmeca) de patente mais alta. A finalidade dessa arma seria cegar o inimigo ao refletir os raios de sol em seus rostos. Pode parecer estranho, mas é possível.

Os espelhos poderiam ser, ainda, algum tipo de instrumento religioso sem função definida, como um amuleto, mas não deixavam de ser espelhos.

[6]

O presente apêndice consiste de um trecho do texto intitulado “**Óptica Geométrica: Introdução a imagens e experiência com espelhos cilíndricos**”, retirado do documento em pdf, encontrado no google com a referência: F-429C Prof. José J. Lunazzi 10 sem. 2001.

"Espelhos Cilíndricos:

As imagens destes espelhos acontecem de uma maneira dual: enquanto num plano agem como esféricos, no plano perpendicular a esse agem como planos.

O resultado é que focalizam imagens em posições diferentes, p.ex., uma horizontal e outra vertical, sendo uma delas sempre virtual e simétrica do objeto em relação ao espelho. Este tipo de defeito chama-se astigmatismo, mas resulta tolerável se observamos desde uma certa distância, porque o tamanho relativamente pequeno da pupila do olho gera a seleção de um feixe fino onde a divergência da imagem virtual acaba tendo pouco efeito na imagem. Por isto, se olharmos a imagem de um objeto colocando a curvatura do espelho num plano horizontal veremos as imagens acontecerem como num espelho côncavo, geralmente a frente do espelho. Porém, nunca invertida.

Assim, as imagens resultam comprimidas ou expandidas na direção horizontal, o que foi aproveitado no Cinemascope, onde as imagens são comprimidas para caberem num filme de formato normal (35mm) e descomprimidas na projeção sobre tela muito mais larga que a correspondente a esse formato."

[7]

John B. Carlson

Mirror Number 17, which comes from the state of Guerrero (Gay 1972: Fig. 38), has an almost flat surface inside an elliptical border and convex beveled surround. Under close examination, it was seen to be hyperboloidal or "saddle-shaped"—concave when viewed along the minor axis, and convex along the major axis (Fig. 17). This magnetite mirror is clearly of Type 2, but could never have been designed as a burning mirror.

EXPERIMENTAL ARCHAEOLOGY:
THE OLMEC MIRROR LAPIDARY TECHNIQUE

Gullberg (1959) was impressed by the manifest sophistication of the Olmec mirror lapidary technique, both in grinding and polishing the iron-ore minerals. He suggested that special grinding and polishing tools, perhaps of wood charged first with abrasive and then with polishing agents, were necessary to achieve the surface molding, parabolization, convex bevel, and sharply defined border region. He suspected that more than a "characteristic hand-stroke" was necessary to achieve the finished product. Having tried my hand at duplicating the Olmec mirror lapidary technology, I would disagree totally with these earlier speculations. With relatively little time and effort, I found that I could produce both spherical and paraboloidal "Olmec" mirrors of circular or elliptical border. The use of the correct technique is the key.

The method is fundamentally the same as that used in grinding modern concave telescope mirrors. Two "blanks" are used—a tool piece on the bottom and the work piece on top. With suitable grades of wet abrasive compound in between, the work piece is rubbed back and forth over the tool. The tool unavoidably becomes convex as the work piece becomes concave. Any good book on amateur telescope-making will give the details (e.g., A. J. Thompson 1973). A long back-and-forth stroke applied while occasionally rotating the work and tool blanks in opposite directions will almost assure a resultant spherical concave mirror with a circular border. This is true regardless of the original shape of the tool or work piece (see Figs. 3, 4, 7, and 9). The desired symmetry is imposed by rotating the pieces—

the longest axis of the tool seems to dictate the maximum diameter of the concavity. Furthermore, the use of very long circular grinding strokes tends to take more material out of the center and thus parabolizes the mirror in a natural fashion. The skilled lapidary has considerable choice in parabolizing the mirror or not.

The mirrors with elliptical borders are manufactured by using a smaller tool piece with a preselected major and minor axis. It need not be particularly symmetrical (see Fig. 7). The grinding stroke used is ovoid, and the pieces are *not* rotated relative to each other. A characteristic hand motion, without any great display of skill, yields a very symmetrical elliptical concavity indistinguishable from an Olmec original. The border is very sharp, and the surround region does not become scuffed by the interior grinding.

I would submit that these methods and results are so straightforward that they constitute the very origin of the Olmec concave-mirror tradition and aesthetic. In setting out to produce flat surfaces by rubbing two stones together, one inadvertently—and virtually inevitably—produces a concavity in the top piece and a convexity on the bottom. Grinding optically flat surfaces is a difficult task and involves the permutated grinding of at least three blanks.

A major enigma for me had been the nature of the Olmec aesthetic or utility of a concave mirror within a convex beveled mirror surround. The answer now seems clear. In the spirit of economy, the Olmec lapidary used his previous convex tool piece as the new work piece—a central concavity was ground in the old convex tool. In less than half an hour, I ground an elliptical concavity in the center of the spherical convex tool from my previous mirror (Fig. 9). The results were gratifying—it appears that the Olmec mirror aesthetic results from the economy of materials and the grinding technique itself!

In this context, I believe I have found a "missing link" in this process. There is a notable lack of convex-mirror examples among collections of Olmec artifacts. If the above hypothesis is correct, this fact is readily accounted for if the convex tools were virtually

all used later to produce new concave mirrors having the unique Olmec aesthetic. Catalogue item f_1 is the only known *convex* spherical mirror fragment of high polish (Fig. 6). It had been broken, and has no holes drilled in it. I would speculate that it was a former tool piece that had been polished in preparation for the grinding of a central concavity. It broke and was discarded. Note that this fragment is very similar in size and appearance to the tool piece (Fig. 7) that was used to grind a concavity in a previous tool piece (Fig. 4) and produce a new mirror with a central elliptical concavity (Fig. 9). The back of mirror Number 18 (Fig. 18) is unique in that it was ground convex and polished. Perhaps this back was a former tool piece that did not seem to be of sufficient quality to proceed with the next phase of grinding a concavity. Measured radii of curvature of fragment f_1 , of the back of mirror Number 18, and of the convex surrounds of several of the other mirrors are evidence in support of this hypothesis, as all possess radii of curvature characteristic of the concavities.

The iron-oxide-ore minerals used by the Olmec are not particularly hard. Magnetite, for example, is approximately six on the Mohs hardness scale, slightly harder than glass. Quartz sand (SiO_2) and natural emery (Al_2O_3) would serve well as readily available grinding compounds. The process of elutriation (mixing in water, decanting the water laden with fine suspended particles, and then evaporating) can produce a selection of coarse and fine grades of abrasive.

The exact polishing procedures are more problematical, but it is most straightforward to assume that the readily available red or brown ochre was used. This is essentially hematite jewelers' rouge or crocus, and it produces an excellent polish on glass and the iron-ore minerals in question. Using a fine polishing material like red hematite to polish a piece made of the same substance yields the highest possible degree of optical surface quality. Flannery (1968) found a section of the Early Formative San José Phase site of San José Mogote in the Valley of Oaxaca that was apparently an artisan-workshop area for crafting exotic trade items of shell, obsidian, and iron ores. Over 500

iron-ore mirror fragments, as well as quartz and iron-ore polishers, were found only in this one barrio. Ochres were found in conjunction with, and adhering to, mirror fragments. It would be most rewarding to inspect this collection of fragments for tool pieces and other items needed at various stages of the manufacturing process outlined above.

Fine ochre rouges for polishing the mirrors could have been prepared by either of two methods: (1) the elutriation process as described previously, or (2) the roasting of pure crystals of iron pyrite to produce colcothar, a brownish-red peroxide of iron that was used in Roman times to polish glass. For the present experiments, I used hematite jewelers' rouge in conjunction with both a "pitch lap" and pieces of leather impregnated with hematite rouge. Both wet and dry polishing were successful. The Olmec could conceivably have prepared a pitch lap from pine pitches and beeswax. Polishing to achieve high optical quality takes considerable time, and I will presume that the Olmec craftsmen had a sufficient amount of that natural commodity.

In summary, the Olmec lapidary created concave iron-oxide-ore mirrors of high optical quality and unique aesthetic design. The metallic-finish, nontarnishing, iron-oxide minerals are perhaps the ideal materials to use for making such stone mirrors. The singular Olmec aesthetic can be readily understood as a direct result of the technique of mirror-grinding itself in conjunction with the full utilization of the raw materials at hand. One must then wonder why this aesthetic and process were cultivated at the expense of what might seem from our perspective to be a simple utilitarian flat mirror. ?

OLMEC MIRRORS AS PECTORAL PENDANTS

Gullberg (1959) suggested several possible purposes or uses for the mirror: a burning mirror, a camera obscura, and a magnification device for self-contemplation. Schagunn (1975) has suggested astronomical uses. Ekholm (1973) has demonstrated that at least one large mirror (Catalogue No. 13) could be used as a burning mirror and suspects that perhaps several smaller mirrors might have been used in conjunction to produce sufficient heat. A