

NOTAS TÉCNICAS  
VOLUME Nº 1  
Nº 2

MANUAL DE  
LAPIDAÇÃO E POLIMENTO  
DE  
LENDES E PRISMAS

FRANÇOIS L. K. NEXTS

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

AV. WENCESLAU BRÁZ, 71

RIO DE JANEIRO

1963

# I N D I C E

## PARTE I

	Pág.
Capítulo I :	
Máquina para serrar blocos de vidro	1
Capítulo II :	
Formato mais adequado para as lentes	2
Capítulo III : Lapidagem de superfícies óticas	4
Fases de lapidação	4
Noções sobre o polimento	5
Capítulo IV : Material usado para a lapidação	6
Generalidades	6
Tipos de substâncias	9
Tempo de lapidação	10
Capítulo V : Polimento em geral	14
Mecanismo do polimento	14
Bases usadas para o polimento	17
Diversos exemplos	19
a) Polimento de um disco plano de vidro comum, diâmetro de 100 a 200 mm.	19
b) Polimento de um disco de 50 mm de diâmetro ou um pouco menor.	22
Capítulo VI : Máquinas para polir e lapidar	25
Notas preliminares	25
Máquina universal de lapidação	26
Capítulo VII : Confeção dos moldes	28
Notas técnicas	28
Dispositivos para a confecção dos moldes	29
Capítulo VIII : Lapidagem esférica	32
Introdução	32
Lapidagem de uma lente positiva com grande raio de curvatura e diâmetro em relação a espessura	33

Lentes positivas "grossas" com raio de curvatura muito pequeno em relação ao diâmetro.	35
Lentes negativas	38
Produção em série de lentes	38
Centralização	39
Capítulo IX : Produção de discos de vidro	42
Capítulo X : Lentes de alta precisão e micro lentes.	44
Contrôle da precisão	44
Medidas de espessura	45
Montagem de micro lentes	46
a) Doublets	46
b) Meia bola	46
c) Meniscos (autocentralizados)	47
d) Diversos dados técnicos	47
Alguns exemplos completos sôbre lapidação e polimento de lentes :	
1º) Peça frontal de um condensador de campo escuro.	48
2º) Uma janela antireflexo, grau zero para oscilógrafo electromagnético.	51
3º) Um pequeno espelho com 20 mm de diâmetro	53

## PARTE II

Lapidação e polimento de prismas	54
----------------------------------	----

## PARTE III

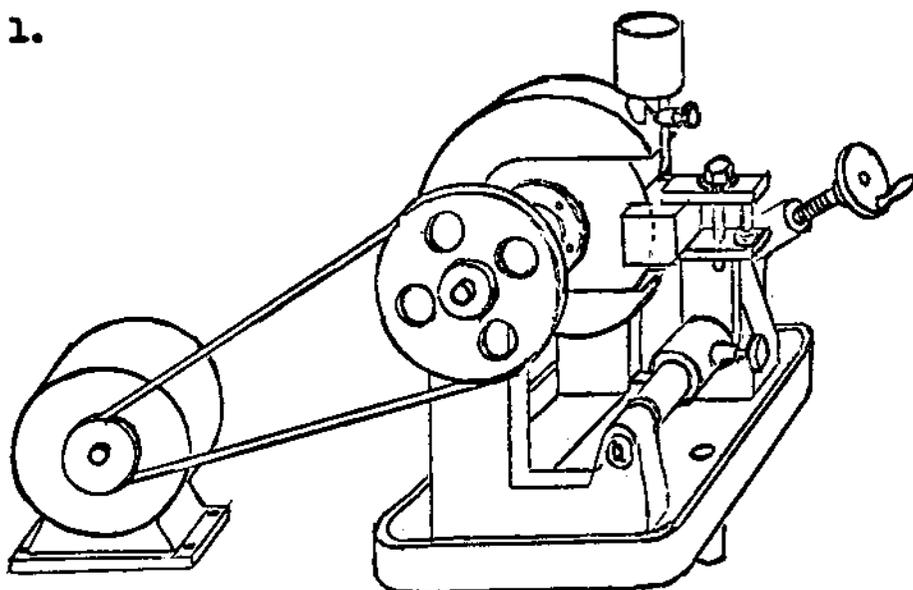
Esferometria e interferometria das superficies planas e curvas	58
a) superficies planas	58
b) Superficies esféricas	59

## NOTAS TÉCNICAS

Filtros	64
Colagem com Bálsamo do Canadá	64
Espêlhos	67
Tabela para esferômetro	72

## CAPÍTULO I

O vidro ótico remetido pelas fábricas, chega em blocos ou placas como também na forma de pastilhas. Dos blocos, podemos - serrar placas ou pequenos blocos no formato de prismas. A máquina especialmente feita para esta operação (serrar) é composta de uma serra circular (chapa de ferro com diamante) ou uma serra de bronze com diamante "sintered" e mais as seguintes peças : mandril, eixo, rolamentos, polias e motor, e uma parte chamada suporte onde colocamos fixamente o bloco de vidro, de acordo com a figura 1.



Uma vez serrado o bloco, deixando cair sobre o mesmo um contínuo filete d'água, temos o material no formato desejado para as próximas operações. Não sendo possível dispor de uma máquina para serrar com "disco de diamante", como recurso, usamos um disco de metal não muito mole, como : ferro, aço inoxidável, bronze fosforoso, etc, desde que tal disco esteja bem plano (desempenado) e de espessura entre 0,5 a 1 mm. O material comumente usado em combinação com estes discos para ajudar o corte, deverá ser pasta de carborundum (esmeril em pó + água) nº 220 ou, para um trabalho mais fino, nº 3F. Por intermédio de um pincel, mantemos uma camada fina no disco, evitando sempre que a serra fique seca, cortando assim com relativa facilidade placas de vidro. Com quartzo, este processo não é muito aconselhável devido

a sua extrema dureza, sendo por isso, mais conveniente o uso da serra com diamante.

## CAPITULO II

### FORMATO MAIS ADEQUADO PARA AS LENTES

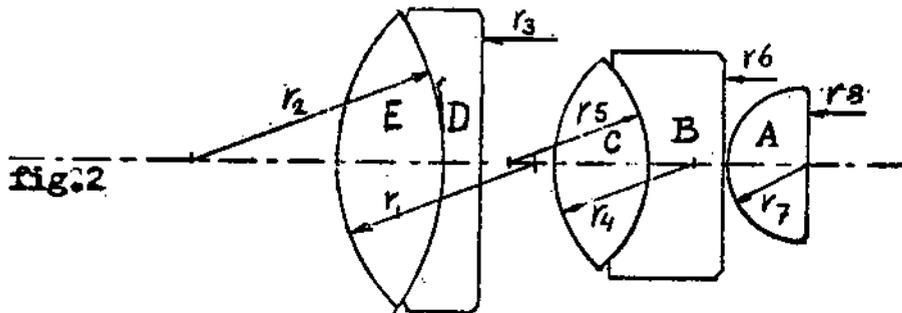
Nos diversos aparelhos óticos encontra-se praticamente todas as formas possíveis de lentes e prismas. Como nem todas estas formas são fáceis de lapidar, polir e montar, devemos sempre tentar já no início da construção dos aparelhos e nos cálculos dos sistemas óticos, confeccionar as lentes o mais possivelmente de acordo com as características abaixo :

- 1º) - O maior número possível de superfícies planas. Por quê ? - Porquê uma superfície plana podemos fazer com grande precisão, fácil de controlar, pois dispomos de um disco plano - que serve como "molde" e um vidro plano para controlar pela interferência o resultado. Verificamos também que lapidando muitas peças com as faces planas de uma só vez, fica muito mais econômico do que um conjunto com determinada curvatura.
- 2º) - Nos sistemas muito complicados (diversas superfícies) devemos tentar fazer o máximo para que tenhamos superfícies com o mesmo raio de curvatura, a fim de diminuir o número de moldes e vidros de contacto necessários para a fabricação e controle.
- 3º) - As lentes de CROWN que serão coladas com Bálsamo de Canadá, damos uma forma biconvexa, onde  $r_1 = r_2$  ou com  $r_1$  visivelmente diferente a  $r_2$ , para evitar que a colagem das lentes (Crown com Flint) se dê com os lados errados.
- 4º) - As lentes com mesmo raio de curvatura, calcular para que tenham a mesma espessura, que no caso poderão ser lapidadas juntamente no mesmo suporte e molde.
- 5º) - Confeccionar as lentes positivas, pequenas e com os lados afiados, ficando, por isso, auto-centralizadas. É melhor diafragar com a montura, do que lapidar com o diâmetro menor com a necessidade de centralização.

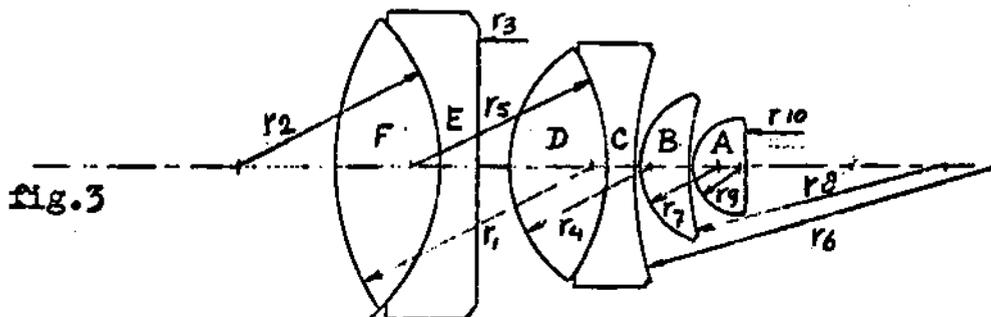
6º) - Iniciar bem o preparo das lentes negativas e dar bastante - atenção aos bordos fôsko cilíndrico, tanta na tolerância em diâmetro como à retangularidade destes bordos em relação às superfícies plano-paralelas, já no início, a fim de facilitar a montagem e centralização.

7º) - Finalmente, devemos evitar as formas difíceis de lapidar, - como as lentes de pouca curvatura e de grande espessura.

A seguir, damos alguns exemplos a favor e em contradição a estas regras : numa objetiva de 40x n.A. 0,65 para microscópio, temos (figura 2) cinco lentes : A, B, C, D e E, onde observamos - que três delas apresentam superfícies planas.



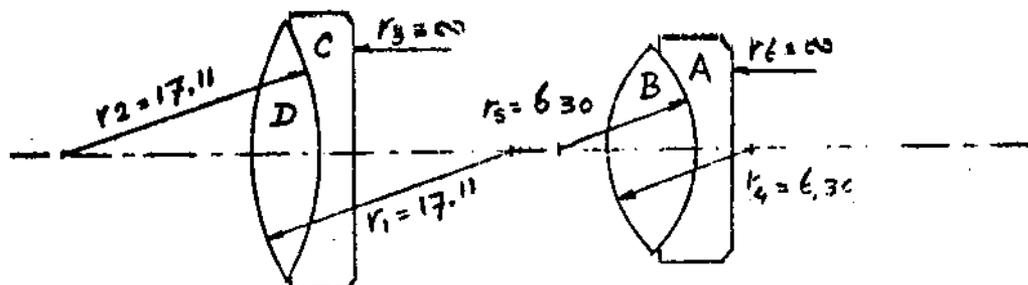
A lente C é biconvexa simétrica, sendo autocentralizada, bem como a lente E, possuindo esta últimos raios de curvatura visivelmente diferentes, p.ex. :  $r_1 = 6,77$  e  $r_2 = 8,525$ , também geralmente autocentralizada. A fig. 3, representa uma objetiva de imersão :



As lentes A - B - D e F são autocentralizadas. As curvas entre D-C e F-E são iguais. As lentes F e D são de mesma espessura e acentuadamente diferentes em relação aos raios de curvatura, como p.ex. :

lente F -	$r_1 = 6,60$	$r_2 = 5,45$
lente D -	$r_4 = 3,90$	$r_5 = 5,45$
espessura F =	1,78 mm	
espessura D =	1,78 mm	

A superfície  $r_{10}$  é plana e acontecendo às vêzes também com  $r_3$ .  
Uma única vez se observa  $r_{10} - r_6$  e  $r_3$  planas. Numa objetiva de -  
10x n.A. 0,32, podemos conseguir que :  $r_1 = r_2$  e  $r_3 = \infty$ ,  $r_4 = r_5$   
e  $r_6 = \infty$ , que é o máximo. Quanto ao vidro, vem : A = C e B = D,  
ao passo que A e C são autocentralizadas ! (fig.4)



Durante vários anos, observei pessoalmente os diversos -  
sistemas de trabalho, tanto na Europa (no período da 2ª Guerra -  
Mundial e antes) e como técnico numa representação do Rio de Ja -  
neiro, estando portanto capacitado o suficiente para afirmar que:  
tanto mais adiantada encontra-se uma fábrica de instrumentos óti -  
cos, muito mais ela se empenhará no progresso dos cálculos dos -  
sistemas de lentes, facilitando ao máximo a fabricação. Realmente  
isto nos parece lógico, porém várias outras firmas ainda não o -  
conseguiram !

\* \* \*

### CAPITULO III

#### LAPIDAÇÃO DE SUPERFÍCIES ÓTICAS

##### I) FASES DE LAPIDAÇÃO :

A lapidação de uma superfície ótica pode se dividir nas -  
seguintes fases :

- a) Dar a forma, como p.ex. : um disco plano paralelo que terá um dos lados esférico, fica lapidado brutaemente com um pó de carborundum nº 40, 60 ou 90, num molde com raio de curvatura mais ou menos na medida, girando com grande velocidade ( $\pm 600$  rpm) para "gastar" rapidamente o material, o suficiente até o ponto em que temos uma forma mais aproximada àquela que foi calculada, estando a lente bem

perto da centralização.

b) Lapidação ainda "grossa" com pó nº 150 a 220, usando um molde mais correto que gira com velocidade média e ao mesmo tempo controlando a centralização.

c) Lapidação média com pó nº 3F, fazendo a curvatura quase perfeita; rotação lenta do molde e controle da superfície com uma lupa para observar os "buraquinhos ou pontinhos" e arranhões nas zonas esféricas. O controle será feito com o esferômetro e a centralização (última), a mais rígida possível.

d) Lapidação fina com corundum ou safira sintética nº 500, 3.000 ("Norton") e outras indicações dependendo do fabricante. Não lapidar mais com carborundum que é carbureto de silício (SiC), mas com óxido de alumínio (alumina, corundum ou safira -  $Al_2O_3$ ). Rotação do molde lenta, curva perfeita, controle com lupa e esferômetro e muito cuidado com esta operação para evitar desastres como : arranhões, trinçados, pontinhas, etc. Nesta fase, não é possível darmos - muito jeito quanto à centralização pela curvatura. A superfície deve apresentar o fôsko muito fino ou seja, "fôsko - escuro".

## II) NOÇÕES SOBRE O POLIMENTO :

O polimento, última operação, feito num molde provido de uma camada de 0,5 até 1,5mm de pixe, é auxiliado com uma pasta de água com um dos seguintes óxidos : óxido de ferro ("Rouge de Paris -  $Fe_2O_3$ ); óxido de cério ( $CeO_2$ ) ou óxido de zircônio ("Zirconita" -  $ZrO_2$ ). As colorações, são respectivamente : vermelho, amarelo-marrom e quase branco.

Antigamente, foi usado somente óxido de ferro, porém os - outros compostos conseguem um polimento muito mais rápido e mais facilmente, em especial para certos tipos de vidro como : Flint extra dense". Dentre eles, o óxido de zircônio é o mais usado, - sabendo-se que é mais barato do que o óxido de cério.

Já no início do polimento, observamos se o molde de pixe põe a superfície da lente no centro ou no lado. Se necessitamos de curvaturas com alta precisão, podemos controlar à mesma com -

um vidro de contacto. O polimento é a operação mais delicada. Rotação lenta ! Contrôla constante, muita atenção e limpeza extrema para evitar arranhões.

\* \* \*

## CAPITULO IV

### MATERIAL USADO PARA A LAPIDAÇÃO

#### I) GENERALIDADES :

Os meios usados nestas cinco fases de lapidação, são os diferentes tipos de pó de carborundum e outros materiais finos. A verdadeira razão do pó de lapidar, não polindo, é especialmente o tamanho médio dos grãos deste material e a faixa de tolerância - nestas medidas intermediárias. Isto significa que os grãos devem ser bem selecionados, para que este pó sirva de maneira satisfatória nos trabalhos óticos. Um outro ponto importante é a dureza do material. Tomando diamante com dureza 10 (máximo), o carborundum alcança de 9 a 9,5 e o corundum 9 (na escala de MOHS). Comparando nesta escala, temos para o vidro comum, 5 a 5,5 e quartzo 7, o - que é bem notável durante a lapidação ! O vidro ótico apresenta - uma dureza entre 4 e 6 aproximadamente, especialmente CROWN, BORO CROWN e FLUORCROWN que são bastante duros, enquanto que FLINT DEN SE é mais mole. Geralmente um vidro com certa dureza, oferece maior resistência durante o processo de lapidação, com a vantagem - que o polimento é feito com razoável facilidade, acontecendo justamente o contrário com os vidros mais moles. A parte mais interessante na lapidação, pode ser considerada como sendo a última - fase, dando bastante atenção à superfície, que embora tenda a forma plana ou convexa, deverá em primeiro lugar ser regular e muito fina\*.

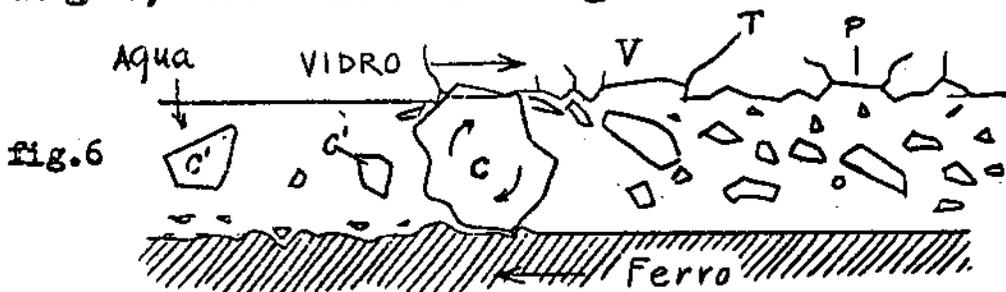
Durante a lapidação, obtemos com qualquer tipo e número - de pó uma superfície sempre cheia de imperfeições ou melhor dizendo, buraquinhos e pontinhas bem visíveis com a lupa. É claro que tanto mais lisa e menos profundas estas irregularidades, mais facilmente e rapidamente teremos o polimento, uma vez que apenas -

lapidamos para facilitar em muito esta operação. É como diz o profissional : "Bem lapidado, meio polido" !

Procuraremos agora, estudar mais detidamente o mecanismo da lapidação, de acôrdo com as observações feitas na fig.5.



Suponhamos que um bloco de vidro será lapidado num molde de ferro com pó de carborundum e água. Para que todos os grãos possam "pegar" no vidro, é necessário que eles tenham o mesmo tamanho. Aplicando uma força que desloca o vidro no sentido horizontal (paralelo a superfície do molde de ferro), os grãos que sustentam o bloco, começam a rolar. Tudo agora depende do peso do bloco e a força que aplicamos, no sentido vertical, para prender o bloco de vidro contra o molde de ferro, fazendo com que os grãos penetrem em ambas as partes. Vejamos o que acontece apenas com um grão, tendo como idéia a figura 6.

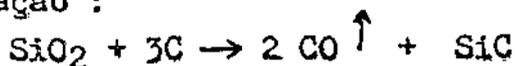


Um único grão C, sendo mais duro e rolando com as pontas afiadas, quebra pequenas áreas do vidro V, de maneira que a superfície do mesmo fica irregular, aparecendo de vez em quando um buraquinho P, bem mais profunda que a linha geral, formando também alguns trincados T sem soltar fragmentos. O próprio grão de carborundum parte-se, formando partículas menores C'. Por outro lado, os grãos rolam sobre o ferro, sendo este menos duro do que o vidro (geralmente), porém bem mais flexível, pois como sabemos, podemos dobrar um prego e não acontecendo o mesmo com um bastão

de vidro ! Desta maneira, os grãos deformam um pouco a superfície do ferro, mas o volume gasto deste material em relação ao volume de vidro é muito inferior. Lapidando um vidro num molde de ferro com pó de carborundum e água, forma-se rapidamente uma espécie de lama escura que contém partículas de todos os tamanhos de grãos - de carborundum para grãos de menor tamanho, pó de vidro e ferro. Chegamos então a um limite em que não temos mais desgaste e simplesmente uma espécie de "lubrificação" com o movimento. A massa ou pasta de pó de vidro, impede que os grãos de tamanho muito reduzido possam pegar a superfície dos sólidos em movimento. Naturalmente, acreditamos que a superfície no término desta operação fica muito mais fina do que no princípio, quando os grãos eram maiores, irregulares e afiados, porém tal não é ! Acontece que os grãos quebram tão rapidamente, que a pasta (preto-cinza pelos fragmentos de metal do molde) não é capaz de lapidar ou polir ainda por tanto tempo, a fim de alcançar os "buraquinhos" mais profundos ou mesmo os de profundidade média. De que maneira combatemos estas imperfeições ? Lapidando várias vezes com pó de carborundum gradualmente mais fino. Lava-se a superfície com água (bem lavada), bem como o molde, repetindo a operação com um novo pó. O importante é saber qual a profundidade dos pontinhos, arranhões, trincados, etc, sendo muito conveniente ter uma idéia sobre a profundidade que um pó de esmeril de um determinado número é capaz de alcançar e, finalmente, quais os meios usados para controlar estas medidas. Sobre este assunto, infelizmente devemos confessar que são poucos os livros relativos a lapidação, existindo porém um grande número de tratados teóricos de ótica. Após a 2ª Guerra Mundial, os processos mudaram certamente. Também devemos acrescentar que o pessoal especializado nos cálculos e projetos, seguramente não irão sujar suas mãos numa oficina e os operários que trabalham lapidando lentes guardam um pouco de segredo no que se refere a prática, o que é muito natural, acontecendo principalmente nas grandes fábricas, especialmente da Europa Central onde a concorrência é muito grande.

## II) TIPOS DE SUBSTÂNCIAS :

Inicialmente, vejamos o processo de fabricação de um dos nossos mais importante material : carborundum. Colocando num fôrno elétrico a  $\pm 3000^{\circ}\text{C}$  uma mistura de areia fina e coque triturado, temos a seguinte reação :



Forma-se assim, blocos cristalizados de carborundum com cristais de alguns centímetros, devendo os mesmos ser triturados num moinho ("collergang"). Moído, temos partículas de diversos tamanhos. A próxima operação, é a passagem dos mesmos com uma corrente de água por uma espécie de piscinas enfileiradas (fig.7).

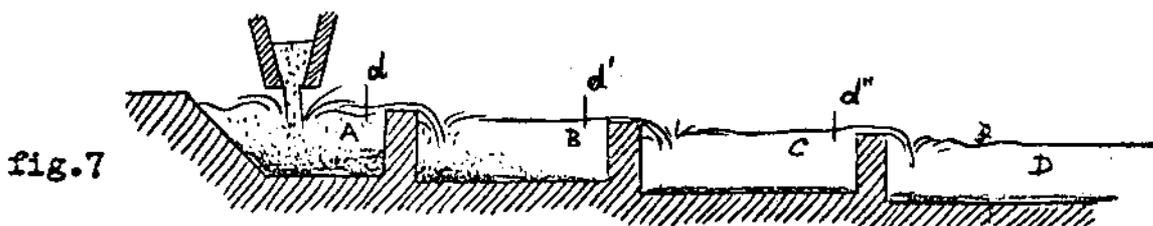


fig.7

A água corre mais rapidamente nas primeiras piscinas e lentamente nas últimas de grande superfície e menor profundidade. Os grãos maiores precipitam-se rapidamente no reservatório A. Para evitar que os grãos grossos boiando na superfície, retidos pela gordura ou pela tensão superficial da água passe de um reservatório para o outro, constroem-se diafragmas d-d'-d'', etc. Desta maneira, temos uma separação que serve somente para o primeiro passo neste sentido e as diferentes seleções não são aplicadas diretamente na lapidação em ótica. Repetindo o processo numa instalação menor, com os grãos do recipiente C, por exemplo, obtemos uma seleção mais apurada. A numeração : carborundum n° 150, 220, etc, significa que este pó passa por uma peneira de 150 ou 220 fios por polegada. Calculando no sistema métrico, sem dar valor a espessura dos fios de arame da peneira, temos para o n° 220 =  $25,4/220$  ou seja, um pouco mais do que 0,1mm para os grãos deste número. O melhor seria fazer uma microfotografia de todos os pós fornecidas pelos fabricantes, tendo-se assim uma idéia sobre o processo usado de seletividade. Fotografando com uma aumento de 125x, podemos medir facilmente os grãos, encontrando

os dados na relação abaixo :

CARBORUNDUM :

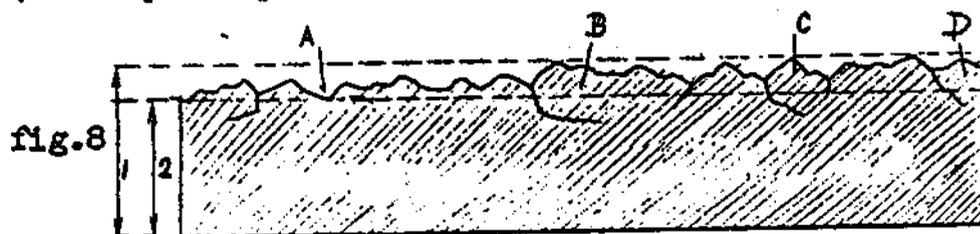
Nº 150	D = $\pm$ 200 microns	d = até $\pm$ 160 microns
Nº 220	D = $\pm$ 160 microns	d = até $\pm$ 100 microns
Nº F	D = $\pm$ 100 "	d = " $\pm$ 60 "
Nº 3F	D = $\pm$ 80 "	d = " $\pm$ 30 a 10 "
Nº 500	D = $\pm$ 30 "	d = " $\pm$ 10 a 2 "

onde, D representa os grãos maiores e d os menores que se encontra nesta amostra. Notamos logo que a diferença nos grãos aumenta rapidamente com os números mais altos (pós mais finos). Parece que não é tão fácil preparar um pó fino bem selecionado e realmente encontra-se às vezes grandes dificuldades para encontrar no mercado, principalmente, um pó que sirva para a última fase de lapidação. O melhor processo de verificação do grau de fineza, consiste em tomar um pouquinho do mesmo com água entre duas placas de vidro, lapidando e examinando o resultado com uma lupa ou no microscópio, uma vez que certos pós tem a propriedade de arrancar o vidro mesmo que microscópicamente o resultado nos parece bom ! A explicação para este fato deve ser a seguinte : se um pó muito fino, contém por exemplo 1 grão mais "grosso" em alguns milhares de grãos selecionados (finíssimos), é claro que o mesmo de verá causar um arranhão, não sendo observado num microscópio pois seria à mesma coisa que procurar uma agulha no palheiro. Fica estabelecido então, que uma lapidação muito prolongada (com pó bem fino), em muitos casos mesmo com um exame bastante cuidadoso, pode não se apresentar de maneira satisfatória. Por outro lado, devemos lembrar que a limpeza extrema e a paciência, são dois fatores importantes que muito influem neste ponto.

### III) TEMPO DE LAPIDAÇÃO

Qual é a profundidade das irregularidades que um certo pó produz na superfície do vidro e qual o tempo de lapidação com este pó para passar ao próximo tipo mais fino, alcançando assim os "buraquinhos" mais fundos ? Observemos a figura 8. Suponhamos que uma placa de vidro é lapidada plana e paralela com um pó bem

grosso (nº 80 p.exemplo).



Com um micrômetro, medimos a espessura ( 1 na fig.8). Lapidamos esta superfície com um pó muito fino, p.ex., nº 500 (geralmente isto não se faz) até que a cavidade mais profunda A desapareça e medimos novamente com o micrômetro, encontrando a distância 2, concluindo que o buraco mais fundo foi de 1 até 2. Em geral, menos que o diâmetro dos grãos que produziram estes buracos ! Vendo com a lupa, concluímos que a superfície está boa, porém polindo à mesma pode se soltar de repente um pedacinho de vidro B, C ou D, donde temos novamente às mesmas imperfeições (buracos). As partes trincadas oferecem este perigo e como apontamos, não se deve lapidar diretamente de um pó grosso para o mais fino. Desta maneira, devemos lapidar com pó de números intermediários, não do nº 80 para 500 ou 3000, mas na ordem : 150 - 220 - F - 3F - 500 - 1000, etc, o que conduz mais rapidamente (economicamente) a um bom resultado.

Necessitamos usar todos os números que existem ? Não ! Tudo tem um certo limite e isto depende em maior parte do tamanho da superfície para lapidar. Tanto maior a área, tanto mais números diferentes vamos usar. Um espelho para telescópio, p.ex., de um metro de distância focal e 10 cm de diâmetro, iniciando com uma placa plana, podemos aplicar os seguintes números : 60 - (80) - 100 - 150 - 220 - 2F - 3F - 500 - 800 e 1000 que é quase o máximo. Porém, temos também números inferiores como : 20, 30, 40, 48, 90, etc, mas, não sendo este espelho muito curvo, é desaconselhável estragar muita a superfície logo no princípio para chegar a curva desejada e depois lapidar durante certo tempo desnecessariamente procurando remediar o mal feito. Tendo uma lente de 20 mm de diâmetro, pouca curva, tomamos : 150 - 220 - 3F - 600 e 1000 e para uma lente frontal de 4 mm ou menor (de uma objetiva de microscópio) iniciamos diretamente com 3F e em seguida nº 500 e 1000.

Podemos tomar os números até 150 como "normais", servindo somente para dar a forma, e os mais finos, para o tratamento da superfície ou preparação para o polimento. A tabela abaixo apresenta na primeira coluna o nº do pó de carborundum usado, em seguida, a profundidade P das irregularidades produzidas pelo material na superfície e o limite lapidando com muito cuidado até a formação de uma pasta que impede o mecanismo da lapidação explicado anteriormente. A última coluna, dá a camada de vidro possível de retirar economicamente com este pó. Esta tabela não é mais do que uma bruta aproximação, pois fica na dependência do tipo de vidro e da habilidade do profissional ou especialista.

Nº do pó de carborundum	Profundidade das irregularidades	Profundidade que pode ser alcançada
Nº	P	P'
150	0,5 mm	1 mm
220	0,3	0,5
F	0,15	0,3
2F	0,10	0,2
3F	0,08 - 0,05	0,1
500 (x)	0,03 - 0,01	0,05
600-800 (x)	0,01 - 0,005	0,03
1000 (xx)	0,003-0,001	0,02
3000 (xxx)	0,001-0,0005	0,01

Orientando melhor, talvez possamos dizer que : lapidando quartzo tomamos a metade dos números das colunas P e P', enquanto que para vidro Flint extra denso devemos "aumentar um pouco" estes valores. Os números dos pós marcados com x, oferecem muito perigo para arranhões, tomando-se bastante cuidado durante as operações com este tipo. Com números mais finos, como 1000 e 3000, esta dificuldade se faz sentir de tal maneira que é preferível substituir estes por números de corundum ou safira sintética ( $Al_2O_3$ ). Em todo caso, resta ainda uma superfície com as propriedades de P = 0,001 ou 0,0005, isto é, na ordem de um micron, bastante desagradável para o polimento, pois esta operação é muito lenta e o passo de um pó mais fino que existe pelo processo de separação -

como o indicado anteriormente, para o pó de polimento feito de substâncias quimicamente em forma de micro e submicro cristais, é relativamente grande. Ressalta-se também que o mecanismo de polimento é bem diferente da lapidação, como acabamos de expôr atrás. Por isso mesmo, o polimento é uma técnica especial de tal maneira que as grandes fábricas criam profissionais especializados nesta parte, executando sòmente esta última operação e até classificando-os em grupos diferentes a saber : especialistas no polimento "em massa" (polimento de lentes para óculos); especialistas em polir lentes para instrumentos de precisão média e aquêles que o fazem a mão (handpolierders ou handpolishers, termos em alemão e inglês respectivamente) conseguindo superfícies absolutamente planas, esféricas ou parabólica-elíptica e hiperbólicas, assim como trabalhos de polimento zonal de correção de extrema precisão, etc. !

\* \* \*

\*

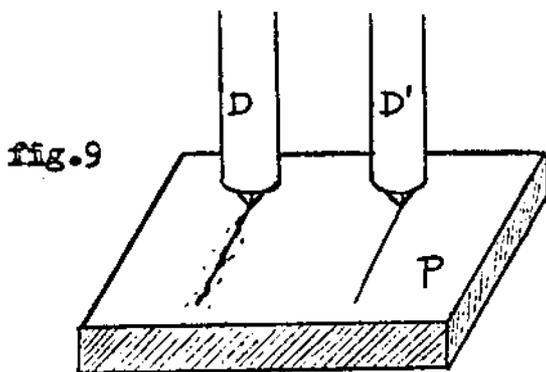
## CAPITULO V

### POLIMENTO EM GERAL

#### I) Mecanismo do polimento :

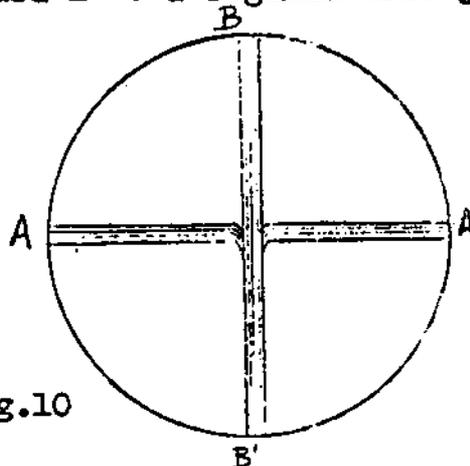
Inicialmente, devemos dizer que apenas tratamos aqui sô - bre a lapidação de lentes e prismas em série ou peça por peça, em - pregados nos aparelhos óticos e de precisão média. Por êste moti - vo, não emitimos qualquer opinião sôbre o polimento de lentes pa - ra óculos em massa ou sôbre qualquer material de precisão inferi - or. Por outro lado, trabalhos de alta precisão feitos a mão, in - terferométricos ou por meio de contrôle de Focault, igualmente não fazemos referências, dando sômente um sentido de orientação sem - se preocupar com um capítulo especial.

Vimos que a lapidação é efetuada em moldes de ferro, bron - ze, latão, etc, e que os problemas se faz sentir com os pós mar - cados com (x) (xx) (xxx) indicados na última lista. A medida que a lapidação fica mais adiantada, passando de um pó mais fino que existe para o pó usado no "polimento", introduzimos um tratamento radicalmente diferente. Para explicar o mecanismo do polimento do vidro ou de "substâncias vídrosas", vejamos a fig.9. Nesta figura,



P representa uma placa de vidro comum polido e D-D' são diamantes para riscar êste vidro. Su - ponhamos as duas pontas de dia - mantes perfeitamente iguais e - afiadas. Andando com certa pres - são sôbre a placa, acontece na - turalmente que êste diamante - (D) risca a superfície polida, fazendo uma linha fôska, branca e soltando fragmentos de vidro. Um processo semelhante à lapidação, sômente com a diferença que o diamante estraga muito menos do que o carborundum e não estando o mesmo rolando, não sendo isto de - grande importância para o resultado onde queremos chegar. Quanto ao segundo diamante (D'), aplicamos uma pressão sôbre o vidro de

tal maneira que andando pela superfície, não temos um risco com fragmentos, mas como resultado uma linha muito fina, observada a olho nú com certa dificuldade. O que será esta linha ? Se não se soltam fragmentos de vidro, estamos presenciando um "milagre", - pois todos nós sabemos que não se pode deformar o vidro a frio - permanentemente ! Examinando a placa com um microscópio de grande aumento, notamos que a linha é lisa tendo ainda uma certa largura ! Novamente tiramos uma linha sôbre a superfície, no sentido - em que elas se entrecruzam. Observando com o microscópio, o que - notamos ainda é mais estranho ! A primeira linha é a que vai de - A para A' e a segunda tracejada de B para B' (fig.10). Nítidamen-



te podemos verificar que a superfície do vidro perto da segunda linha, apresenta um deslocamento, aparentemente devido a liquidificação viscosa do vidro nas proximidades onde passou a - ponta do diamante. Podemos imaginar - que o vidro se derreteu pelo calor da fricção quando passou o diamante. Repetimos o experimento abaixo d'água -

mas o resultado é perfeitamente o mesmo. A próxima experiência é a seguinte : fazemos duas placas de metais diferentes e bem planas, porém não polidas. Por intermédio de fios de cobre soldados às placas, os mesmos podem ser ligados a um galvanômetro muito - sensível. Se as placas se tocam, temos um termopar, mas o medidor não indica qualquer corrente pois as placas estão com a mesma temperatura. Agora, esfregamos uma sôbre a outra, esquentando naturalmente um pouco, o que não dá porém para notar. O galvanômetro registra entretanto uma corrente e indica quando movimentamos as mesmas, que a temperatura sobe ao ponto de fusão de uma delas, - exatamente a que apresenta o ponto de fusão mais baixo. Notamos - que para nós, as placas permanecem completamente frias e, não sendo polidas, o contacto tanto mecânico como elétrico é formado pelas pontas mais altas das superfícies. Repetimos esta experiência com água entre elas, obtendo novamente o mesmo resultado. Agora é certo, mesmo parecendo inacreditável que aqui se trata realmente

de derreter as pontas, ou o material em contacto com estas pontas durante o movimento derrete-se mesmo abaixo d'água. E com metais conhecidos, bons condutores de calor ! Houve naturalmente um exagero de nossa parte, pois o galvanômetro é um oscilógrafo de grande sensibilidade que responde também instantaneamente os impulsos muito curtos e fracos, sendo este caso apenas para simplificar o exemplo. Entretanto, o resultado é exatamente como descrevemos. - Do exposto, podemos agora deduzir um pouquinho o mecanismo do polimento. Os micros ou sub-micros cristais preparados quimicamente, andam como pontas de diamante D! (no primeiro exemplo) com ligeira pressão sobre a superfície do vidro, derretendo localmente as pontas mais altas do mesmo e tirando inúmeras linhas sem soltar fragmentos, cruzando-se milhares de vezes por milimetro quadrado. Outra indicação deste mecanismo é que as substâncias com ponto de fusão mais elevado, apresentam um melhor polimento, mais rápido, não sendo necessário uma dureza superior pois o óxido de ferro tem cerca de 5,5 de dureza. Da mesma forma, podemos deduzir o técnica do polimento, uma vez que acabamos de dizer que todos os micro cristais devem "andar" com ligeira pressão sobre o vidro, então, não entre uma superfície de vidro e uma de metal, como ferro ou mesmo latão usado na lapidação. Uma destas superfícies deverá ser bem flexível. Experimentando, encontramos alguns materiais - que servem, como : feltro, pixe, breu, gomalaca, etc. São materiais que tomam facilmente a forma da superfície do vidro e onde os micro cristais possam penetrar um pouco, pois não devem rolar como os grãos de carborundum, mas tirar linhas esquentando como se fôsse somente uma pontinha. Naturalmente, o leitor poderá pensar que desta maneira nunca há de conseguir uma superfície polida e lisa, porém isto é muito relativo. Como o vidro não é uma substância completamente homogênea, mas feito de moléculas iguais a qual quer outro material, espera-se que se estas moléculas tiverem o tamanho dos grãos de areia, a superfície não poderá ser mais lisa do que a de um tijolo ! Se as irregularidades são inferior a 1/4 de uma onda luminosa, a superfície é lisa deste ponto de vista, - pois examinando uma de um vidro altamente polido, com microscópio eletrônico ou mesmo um de luz comum dotado do dispositivo de con -

traste de fase, o resultado é outro. Então, desde que nós alcancemos um grau inferior a  $\lambda/4$ , a superfície é polida. Muitos experimentos à respeito do polimento foram empreendidos recentemente e observou-se que podemos indicar quimicamente a presença de substâncias do polimento na superfície de uma placa de vidro polida e também que não se trata somente de derreter e deformar a superfície, mas que durante esta operação, podemos tirar camada por camada de moléculas de vidro. Também foi provado que o vidro não corre em camadas moleculares sobre as outras, pois no lugar onde polimos localmente, não se observa acumulação nos lados deste lugar. Tomando como comprimento de onda luminosa 0,5 $\mu$ , temos que as irregularidades devem ficar abaixo de 0,1 $\mu$ .

\* \* \*

## II) Bases usadas para o polimento :

Um fator importante no polimento do vidro, são as bases usadas para fazer com que os grãos do pó deslizem com ligeira pressão sobre a sua superfície. Na fig.11, temos um bloco de vidro em polimento (desenho muito mais aumentado do que a fig.6, digamos, 10000 vezes). Os grãos Z-Z'-etc, representam micro cristais

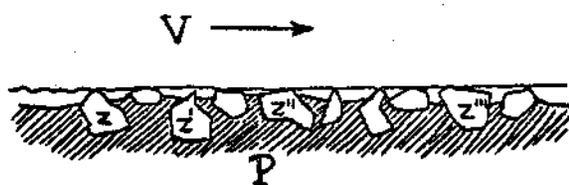


fig.11

de óxido de zircônio com cerca de 0,5 microns, imersos numa mistura de pixe e breu. Durante o deslocamento do vidro V sobre a base de pixe P, os granulos Z podem virar lentamente e desaparecem afundando

no meio viscoso. Porém, os outros aplicados numa pasta fina com água, cada vez formam rapidamente uma camada firme e endurece a base até que começa a funcionar o processo eficientemente. Assim, foi experimentado com um sucesso impressionante, uma base de pixe e breu saturada com carbonato de cálcio precipitado, servindo como endurecedor, evitando ou impedindo o afundamento rápido do óxido de zircônio. Naturalmente, aumentando o risco para arranhar, pois desde que tenhamos um grão maior entre os normais, ou pior ainda, um grão de carborundum sempre presente numa oficina de lapidação, temos um "desastre" tanto mais fácil quanto mais duro a

base de pixe ! Mas ainda não chegamos ao fim da história e devemos informar que são vários os tipos de substâncias que servem como base. Para uma lente de grande superfície, usamos uma base mole e, na medida em que esta superfície diminui ou seja, diminuição de área, aplica-se um meio mais duro. Tomando um vidro comum de dureza média, podemos polir a sua superfície sobre base de misturas diferentes tais como : pixe, breu, gomalaca e carbonato de cálcio. Representando estas substâncias pelas letras P, B, G e C, respectivamente, temos que as quantidades das misturas comuns podem ser : LP + 1B, LP + 3B, LP + 10B, LP + 5B + 2C, LP + 5B + 4C, 2G + 1C, etc. Para polir vidro comum, ficamos na dependência da área ou mais simplesmente, no diâmetro de um disco redondo de acordo com a tabela abaixo :

Velocidade da máquina	Diâmetro do disco em mm.	Composição das bases
60 rpm	x 200 mm Ø	LP + 1B
100 rpm	x 100 mm Ø	LP + 1B até LP + 3B
120 rpm	x 50 mm Ø	LP + 3B
200 rpm	(x) 20 mm Ø	LP + 10B * LP + 5B + 2C
400 rpm	10 mm Ø	LP+5B+2C * LP + 5B + 4C
600 rpm	5 mm Ø	LP+5B+4C * 2G + 1C
1000 rpm	2 mm Ø	2 G + 1C

Os marcados com um x, indicam que a superfície é grande demais para ser polida numa área de base tão mole como LP + 1B, etc, e que esta base ou molde para polir deverá ser dividido em quadrados de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>. Com 20 mm (x), podemos usar um anel desta substância desde que os diâmetros tenham uma certa relação de acordo com que iremos tratar mais adiante. Também não devemos esquecer que estas bases não dão polimento sem uma substância auxiliar, como : óxido de ferro, cério ou zircônio, não sendo ela mais do que um molde e veículo para os óxidos citados. Até este ponto, tratamos o assunto polimento de um modo geral, porém devido a certas complicações que teremos de enfrentar, será mais conveniente daqui por diante tratarmos este assunto mais

individualmente para cada caso.

### III) Diversos exemplos :

- a) Polimento de um disco plano de vidro comum, diâmetro de - 100 a 200 mm.

Considerando bem lapidado, controlado e limpo, podemos preparar um dispositivo para o polimento. O tamanho deste dispositivo, pode ser um disco plano com um diâmetro de 1,5 vezes maior do que o disco de vidro e, em principio, feito de qualquer metal (mesmo alumina fundido). Com um bico de Bunsen, esquentamos este disco até o ponto de fusão do pixe com breu (mistura um por um). Podemos verificar o grau de aquecimento, tocando com um pedacinho deste material no disco quente. E não devemos esquentar mais do que isto ! Derretendo uma quantidade de 30 gramas desta substância, podemos aplicar uma camada de cerca de 1,5 a 2 mm de espessura sobre o disco. Lembramos novamente que o mesmo não deverá estar tão quente a ponto da substância correr como óleo, mas o suficiente para aderir bem no metal e ficando num estado facilmente deformável. Com o auxilio de um outro disco de metal ou uma placa de vidro C (fig.12), dividimos a massa numa espessura regular.

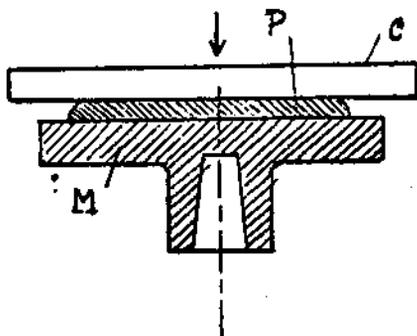


fig.12

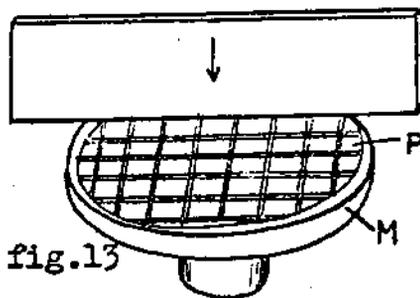


fig.13

A placa C deverá estar fria e molhada com um pouquinho de água com sabão, para evitar que o pixe grude na chapa, tudo naturalmente bem limpo. Aplicando uma certa pressão, podemos nivelar a camada do pixe sobre a placa M. Em seguida, tomamos outra chapa de metal, fria e molhada e, calcando, faremos divisões na camada ainda aquecida e um pouco mole do pixe (fig.13). Terminamos esta operação, esfregando num movimento circular o disco de vidro e observando um contacto regular e igual sobre toda área. Resfriamos o molde M na água, solidificando-se o pixe, donde podemos iniciar o trabalho. Montando este molde no eixo da máquina, giramos

o mesmo com baixa rotação, mais ou menos 100 rpm.(fig.14). O disco de vidro D, estará dotado de uma placa de metal N tendo um pequeno centro C'. Esta placa de metal, geralmente de latão (ou ferro para grandes medidas) é colado

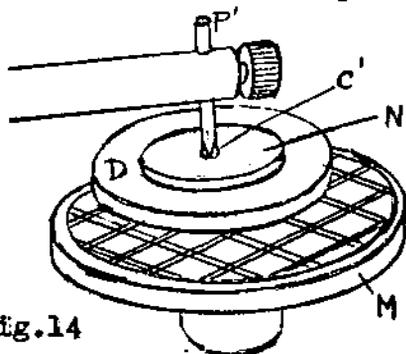


fig.14

com o mesmo pixe misturado a breu (1P + 3B ou 1OB). Neste centro, o ponto P' da máquina estará apoiado, colocando-se uma gota de óleo em C'. Com o auxílio de um pincel, aplicamos uma pasta fina de óxido de zircônio com água filtrada neste molde,

pondo a máquina em funcionamento com mais ou menos 60 a 100 rpm.

Durante a primeira fase do polimento, vamos observar cada 30 segundos onde o mesmo está se iniciando, isto é, no centro, no lado ou sobre toda área do disco, pois já no princípio, esta observação é compensada com a oportunidade de acertos. Em primeiro lugar, esta operação deve seguir as orientações: o disco D (fig.14) deve rodar facilmente no mesmo sentido que o molde M; o disco D deve "pegar" com toda área sobre toda área da pixe, o que quer dizer, embora da mesma forma (neste caso, plano) deve alcançar sobre o lado e sobre o centro da camada de pixe. Visto por cima (fig.15),

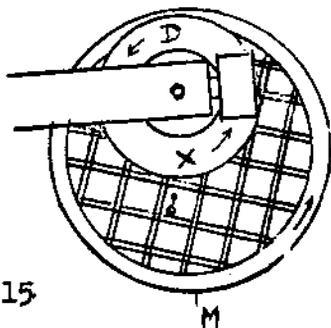


fig.15

compreendemos que girando no sentido

das flechas do molde M, o disco acompanha este movimento pegando sobre toda área. Podemos dar um jeito acontecendo uma das três coisas:

1º) O disco D começa a polir no meio. Isto necessita um pequeno deslocamento do ponto da máquina mais para o centro do molde M. Se neste caso o pixe ficar fora do disco, cor

tamos o mesmo no lado extremo com uma faquinha durante a rotação.

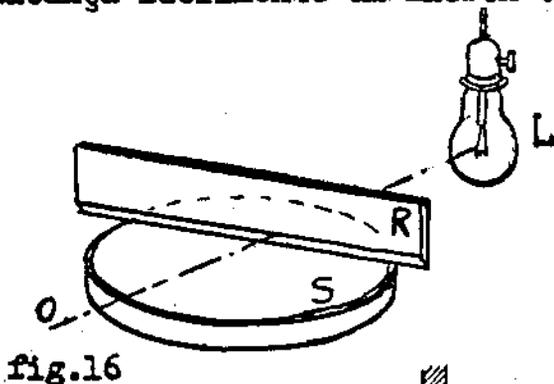
2º) O disco D começa a polir sobre o lado. Neste caso, reagimos de modo contrário: colocamos o ponto da máquina um pouco mais para fora do centro. Em ambos os casos, é sempre aconselhável cortar também a camada central do pixe, pois o mesmo tem a tendência

para acumular material no centro, deformando o plano durante o polimento.

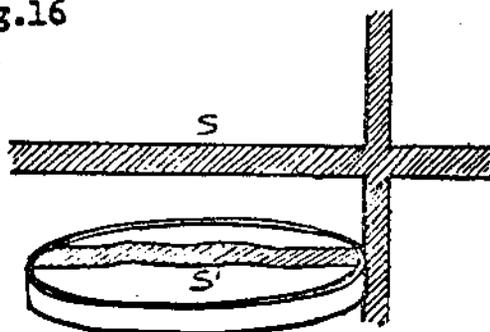
3º) O disco está polindo sobre toda área. Neste caso, nada faremos, uma vez que o processo anda corretamente.

De vez em quando, faz-se uma limpeza com algodão, verificando o progresso do polimento do disco nos primeiros 20 minutos a olho nu. Observamos o desaparecimento do estado fôsko da superfície. Porém, se o andamento das coisas é bom, podemos pensar que depois deste prazo a superfície do disco estará polida. Tomando uma lupa com um aumento de 10 vezes no mínimo, vemos geralmente que o disco ainda se apresenta fôsko. Com certa paciência, continuamos o trabalho até que observando com a lupa, verificamos a perfeição do serviço. Deste modo como estamos tratando, não podemos esperar uma superfície muito plana pois, polindo um pouquinho aqui e um pouco acolá, até um perfeito polimento e considerando que tiramos meio micron de toda área e até mesmo que a lapidação foi perfeitamente plana, o que em geral não é, temos um disco que apresenta alguns anéis de Newton no caso mais otimista ! Podemos calcular com um resultado bem pior, digamos com 5 ou mais anéis ! E não redondos ! Mas deformados e com diâmetros divididos, irregulares. Se a precisão deve ser mais elevada, de dois anéis de interferência ou menos, é melhor polir à mão (considerando que não dispomos de máquinas e dispositivos "muito especiais). Uma indicação rápida podemos dar neste sentido. Notamos acima que o disco deve ser bem plano (lapidado) e para controlar, usamos vários métodos. Vejamos alguns : uma régua bem reta R para verificar como indicado na fig.16, a forma da superfície S em várias direções, olhando para uma lâmpada L. A luz que passa bem tangente à superfície, de L para O, passa exatamente onde falta o contacto entre R e S, com uma distância mais do que um ou alguns microns. Também sem a régua, podemos notar alguma diferença, olhando para a imagem de reflexo como na fig.17. As linhas horizontais S de uma janela, pode servir como objeto para formar a imagem S'. Estando esta imagem deformada, indica uma aberração na superfície do disco. A luz tem que refletir muito mais tangente do que o indicado na fig.17. A precisão não é muito alta, alguns microns. Observando

a imagem  $S'$  de um objeto no infinito por meio de um telescópio - (neste caso é melhor um ponto luminoso, estrela, etc) a precisão alcança facilmente um micron ou menos. Note bem que o disco ainda



não se acha polido. Mas, para uma luz bem tangente, uma superfície lapidada muito fina, reflete com bastante nitidez para estas provas. Um outro meio, é medir com um esferômetro maior e de boa precisão. Uma dificuldade é naturalmente que o esferômetro deve ser ajustado num plano padrão, isto é, deve já existir um disco de referência. Dependendo dos meios usados para a lapidação do disco plano, podemos medir a diferença que o esferômetro indica entre o molde e o disco. Se o molde foi con-



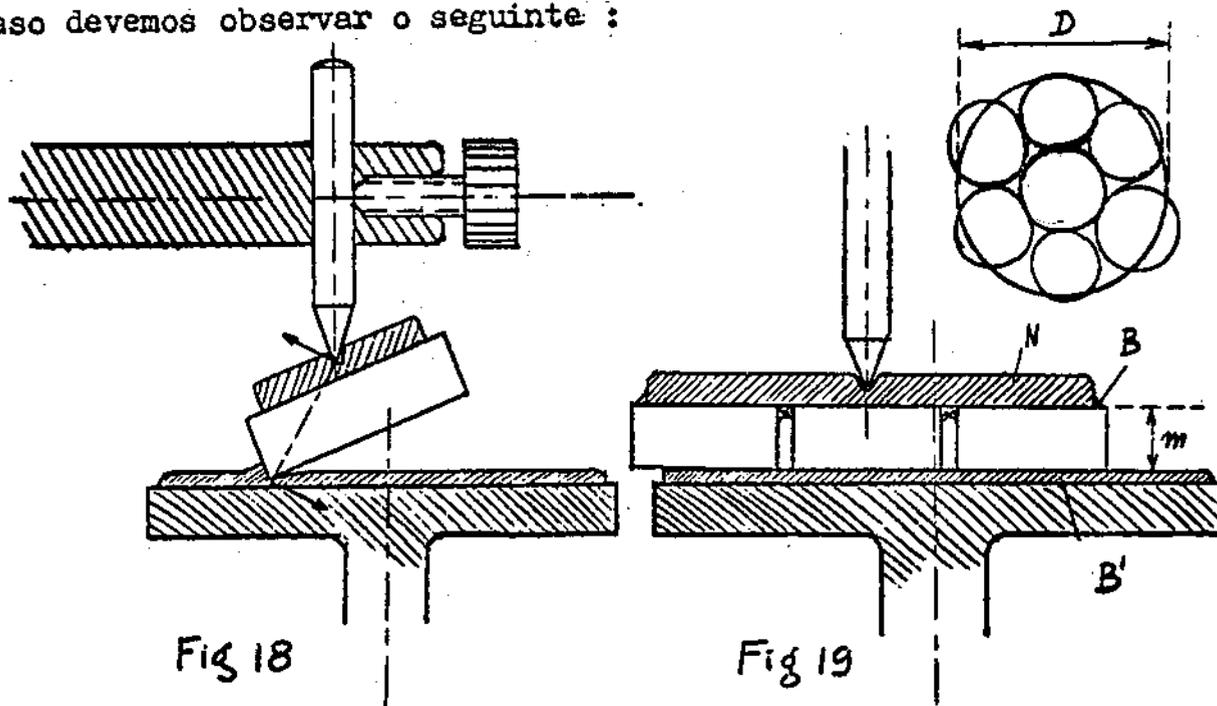
vexo, o disco deverá ficar côncavo e vice-versa, desde que ambos não sejam planos. Como este assunto é tratado na "esferometria", estudaremos o mesmo mais detalhadamente num capítulo à parte.

\* \* \* \*

b) Polimento de um disco de 50 mm de diâmetro ou um pouco menor.

O processo é o mesmo descrito anteriormente, porém tudo relativamente menor. O tempo do polimento será menor e consequentemente o tempo dos intervalos de observação, ao passo que a máquina poderá girar um pouquinho mais rapidamente (80 - 120 rpm). Com discos de diâmetros inferiores a 20 mm este modo de polir apresentará certos problemas desde que os mesmos não sejam muito finos, entre 1 e 2 mm. Como vemos na fig.18, um disco mais alto, p.ex., 8 mm de espessura e 20 de diâmetro pode passar o limite, com a consequência de a placa levantar (virar), saindo do ponto da máquina, estragando o molde e trincando a própria placa. Neste caso, é muito difícil polir um objeto como este, bem plano. Um

meio de conseguirmos isto mais facilmente, consiste em colar alguns destes discos juntamente num único disco de metal N, fig.19 abaixo. Por exemplo : um deles no meio e vários ao redor. Neste caso devemos observar o seguinte :



- 1º) O diâmetro D de todos os discos juntos, determina tudo o que se refere a medida de rotação da máquina, etc.
- 2º) Os discos devem estar sólidamente colados à placa N de latão ou ferro fundido, com um pixe B que não fique mole pelo calor do polimento sobre o pixe B'.

O que significa também, controle da temperatura desta parte e resfriamento de vez em quando. Não podemos polir muito tempo sem os intervalos deste controle, pois se um dos sete discos mudar de posição, o bloco inteiro deverá ser lapidado novamente ! O mesmo aplica-se caso um dos discos tiver, por ventura, qualquer arranhão. O risco então aumenta com a área ou simplesmente com o quadrado do diâmetro do bloco inteiro. A precisão naturalmente é mais alta, estando a superfície total com uma aberração de um micron devido a um raio de curvatura enorme. Portanto, um único disco deverá ser um terço deste arco, o que significa uma aberração da ordem de uma fração de micron. É lógico que a lapidação é feita depois de colarmos todos os discos na plaquinha N, deixando os mesmos um pouco fora de N a fim de controlar as espessuras

m durante a lapidação, sabendo-se assim se estão paralelas ou não. Nos casos em que o diâmetro dos discos é inferior a 10-20mm, podemos fazer primeiramente uma placa maior de vidro, lapidada e polida, cortando esta placa em partes menores. Estas partes serão coladas na forma de um tarugo, lapidando-se posteriormente redondo. Desta maneira, podemos fabricar discos com diâmetros muito pequenos, de somente alguns milímetros e extremamente planos ! O preparo de pequenas lentes plana convexa ou plana côncavas, geralmente parte deste princípio. Sobre a confecção de pequenos prismas em série, trataremos num capítulo especial, assim como as superfícies curvas esféricas. Mas com o que foi explanado neste capítulo, nota-se que a técnica preparativa de lapidação depende largamente do modo adotado para efetuar o polimento, razão pela qual tratamos primeiramente o polimento e logo em seguida a lapidação para discos planos. Nos capítulos seguintes, veremos os meios existentes para efetuar-mos satisfatoriamente o assunto aqui estudado.

\* \* \*

## CAPITULO VI

### MÁQUINAS PARA POLIR E LAPIDAR

#### I) Notas preliminares :

Uma máquina universal para lapidação e polimento deve ser provida de uma parte intermediária na transmissão, permitindo mudanças nas rotações por minuto, p.ex., 100 - 300 e 900 rpm. O motor poderá ser de 1/4 HP para discos até 120 mm de diâmetro. A diminuição de rotações por minuto não influencia na precisão e, velocidades acima do limite não aumenta sensivelmente a produção. - Isto quer dizer que a tabela indicando 200 rpm, para executar um certo trabalho, pode ser alterada para 100 rpm sem qualquer prejuízo. Os fenômenos que limitam as velocidades maiores, são os seguintes : aumentando, durante a lapidação ou polimento, tem por efeito que a distância entre o molde e o objeto para lapidar ou polir também aumenta, sendo o líquido entre eles mais viscoso, - principalmente a pasta de água com carborundum fino ou mais ainda, com pó de óxido para polir. Os grãos deste material cessam de fazer contacto entre as superfícies. Com um pó mais grosso, nem tanto quanto um pó fino, pois com grãos maiores a distância já é maior e a viscosidade da água é pouca. Logicamente, as rotações da máquina serão mais lentas tanto mais fino o pó usado e tanto mais aproximadas as superfícies. Entretanto, um pó fino forma com um líquido qualquer uma pasta mais viscosa ("viscosidade aparente") - que seria menor caso usássemos um pó mais "grosso". Acima de um certo limite de velocidade, o efeito "lapidação" principia a cessar e inicia-se um efeito que podemos chamar "lubrificação", uma vez que a viscosidade é um fator complexo onde o movimento em relação ao tempo são fatores determinantes. Um outro limite, é o risco que corremos para fazer um arranhão durante a operação com alta velocidade. Finalmente, a última desvantagem durante o polimento é o calor. Como foi observado anteriormente sobre o mecanismo desta operação, em contraste com a lapidação ou esmerilhamento, à mesma, baseia-se no processo de derreter o vidro numa região -

submicroscópica. Porém, sendo o pixe e o vidro maus condutores de calor, necessitamos "dar tempo" para que este calor se distribua sobre partes maiores que resfriamos macroscopicamente. Uma grande quantidade de calor pode se acumular tanto no vidro como no pixe e, assim, o primeiro com grande velocidade adere ao segundo. - Como consequência, a máquina pára repentinamente, arrancando sua ponta fóra do centro e com iguais danos e prejuizos verificados - na fig.18. Também muito desagradável é quando um dos discos (fig. 19) muda de posição ou se solta, devido ao amolecimento, pelo calor, do pixe B. O próprio calor determina também a evaporação da água, no caso, misturada ao pó, o qual por sua vez ficando completamente sêco, pelo calor que aumenta instantâneamente (falta de refrigeração), produz graves consequências, sendo uma delas a adesão do vidro ao pixe. Todos estes fatores formam um papel importantíssimo na técnica de lapidação e polimento que somente poderá ser dominada após um determinado tempo de prática, dependendo muito de uma para outra pessoa, sendo um fato comum em tôdas as profissões.

\* \* \*

## II) Máquina universal de lapidação

Já mencionamos anteriormente que a máquina deverá ser regulável em relação as rotações por minuto. Como trabalhamos com carborundum e água (líquidos em geral), é interessante que os mol des girem com a superficie de lapidação tanto plana como curva, - horizontalmente ou então, com um eixo vertical voltado para cima, indicado na fig.14. O ponto da máquina P (fig.14) deverá ser variável em altura, direção e excentricidade em relação ao eixo desta máquina. Os rolamentos estarão protegidos contra carborundum e água. Estes, caindo ou respingando fóra do molde, serão recolhidos num dispositivo fácil para limpeza. Na fig.20, apresentamos uma idéia desta máquina (corte vertical).

As letras, representam respectivamente :

A - A' = eixo vertical dotado de rósca

B - C - D = polias para transmissão, permitindo variação em três velocidades.

E - E' = rolamentos ajustáveis.

F = recipiente para recolher água e carborundum, podendo ser retirado para limpeza.

G = mesa de montagem.

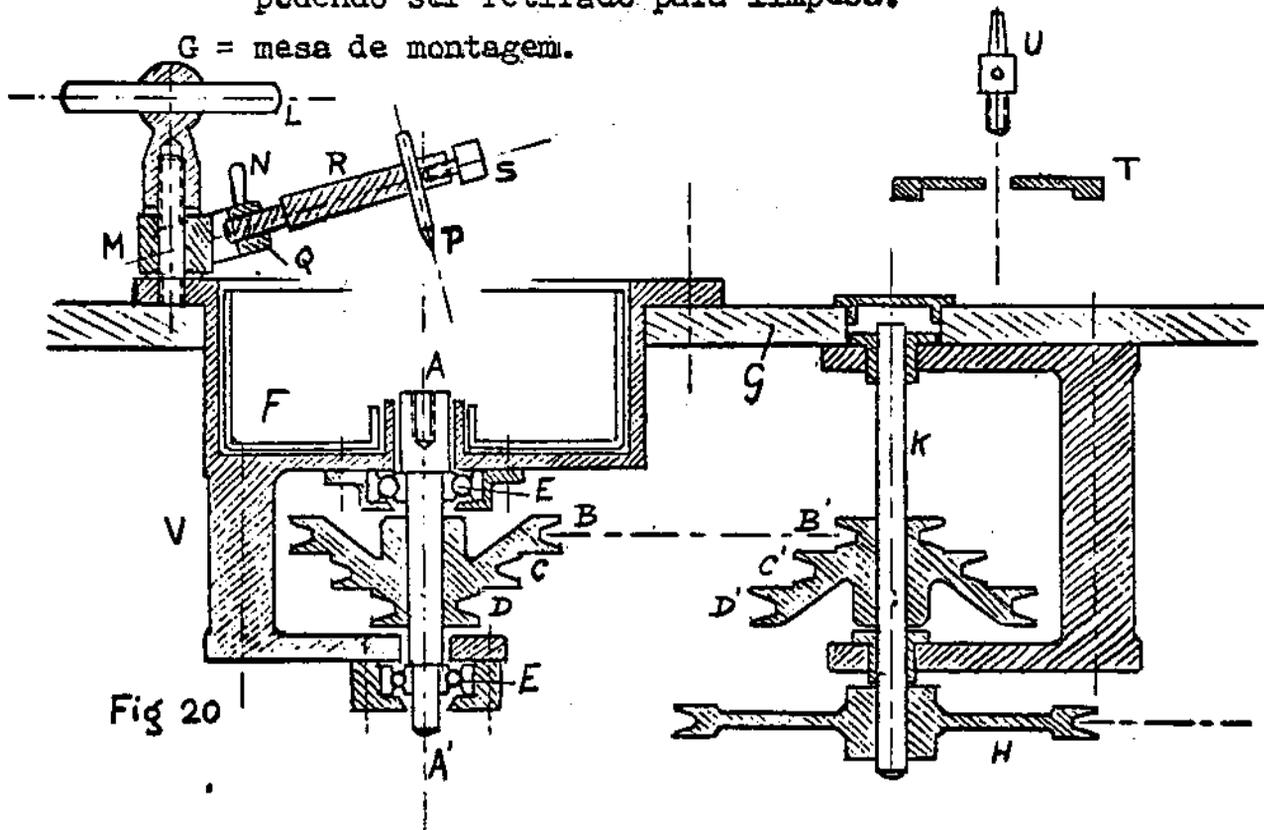


Fig 20

H = polia de transmissão intermediária para o motor.

K = eixo de transmissão intermediário.

B'-C'-D' = polias de transmissão interna, iguais a B-C-D.

L = chave de fixação do movimento excêntrico do ponto P.

M = bloco de articulação para a peça Q.

N = chave de fixação da peça R em Q.

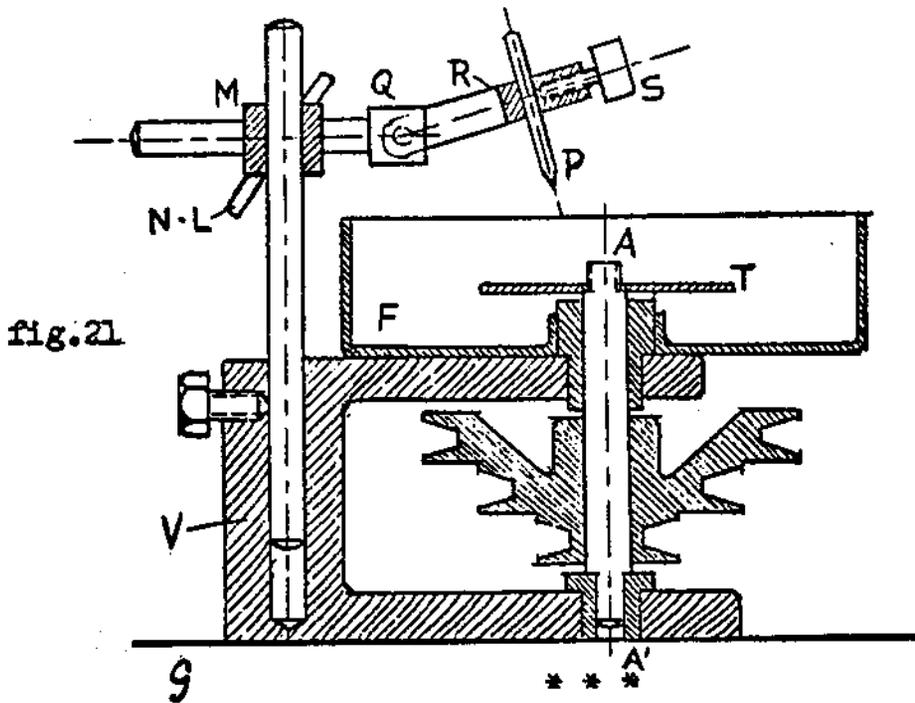
S = chave de fixação do ponto P.

T = disco de proteção para os rolamentos, montável no eixo A-A' por meio de um parafuso U possuindo parte cônica para adaptação dos moldes.

V = Base de sustentação da máquina, feito de chapas de ferro e tubos (solda elétrica) ou fundido como na - fig.21.

Embora existindo as máquinas universais, temos também as - máquinas para os trabalhos grandes e pequenos. As grandes máqui - nas, são dotadas de engrenagens ou parafusos sem fim para obten - ção de movimentos lentos, porém produzindo grandes forças.

Na confecção de peças muito pequenas, podemos construir uma máquina em menores proporções, como esta apresentada na fig.21.

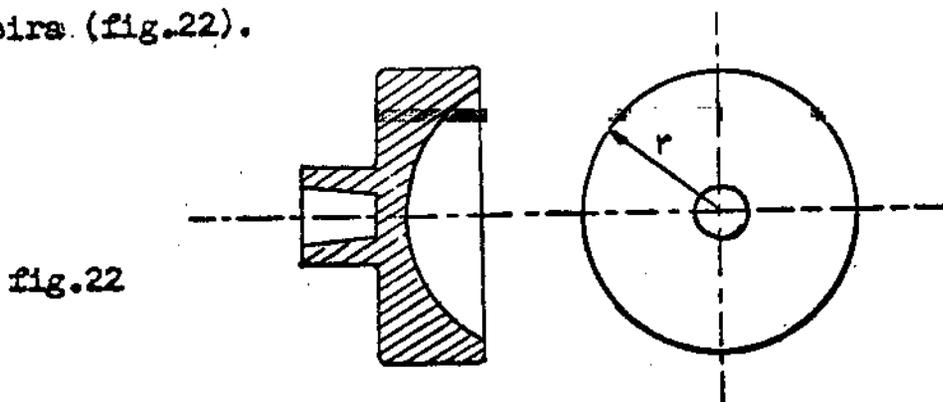


## CAPITULO VII

### CONFECCÃO DOS MOLDES

#### I) Notas técnicas :

A confecção dos moldes é uma parte de mecânica executada nas oficinas relacionadas com esta profissão. Entretanto, o lapidador deve saber alguma coisa sobre este assunto. Os moldes pequenos podem ser feitos diretamente a partir de tarugos de ferro fundido ou latão. Os maiores são fundidos conforme um modelo de madeira (fig.22).



Torneando um molde plano, devemos observar que mesmo sendo um tórno no novo, a peça ficará um pouquinho cônica e assim, o centro estará situado alguns centésimos de milímetro sobre o lado, isto é, - o centro ficará um pouco abaixo da linha geral da superfície, sendo esta ligeiramente côncava. Conhecendo esta particularidade ou diferença num tórno, podemos corrigir este defeito, mudando com - cuidado, pouco a pouco, o suporte no sentido axial quando o mesmo, para facetar plano, movimenta-se automaticamente. Lapidando na máquina universal dois destes discos, um sobre o outro, conseguimos com certa paciência dois discos já bem planos de ferro fundido e com superfícies lisas (usando pó de carborundum e água - nºs : 60 100 e 220). O controle final é o mesmo indicado na fig.16 e geralmente com um esferômetro maior. Não é muito difícil torneiar uma - superfície plana ou quase plana, cônica ou cilíndrica. Mas, para a confecção de lentes, necessitamos de moldes curvos esféricos, - convexo ou côncavo (positivo ou negativo) e com um determinado - raio de curvatura ! Nas grandes fábricas, existem naturalmente - tórnos especiais que fazem este trabalho com facilidade.

\* \* \*

## II) Dispositivos para confecção dos moldes

Numa oficina mais modesta, os meios poderão ser os seguintes :

- 1º) Torneiar inicialmente um disco de uma chapa fina (1 mm), - com raio de curvatura  $r$  (fig.22) cuja finalidade será medir exatamente onde devemos tirar material do molde, torneando a mão. Uma lima velha, arredondada no esmeril é - muito útil neste sentido.
- 2º) Podemos soltar o suporte do tórno, deslizando livremente sobre a bérça. Colocamos um bastão de comprimento igual ao raio de curvatura  $R$  entre a ponta do tórno  $P$  e a ferramenta  $F$ , para torneiar (fig.23 - visto de cima).

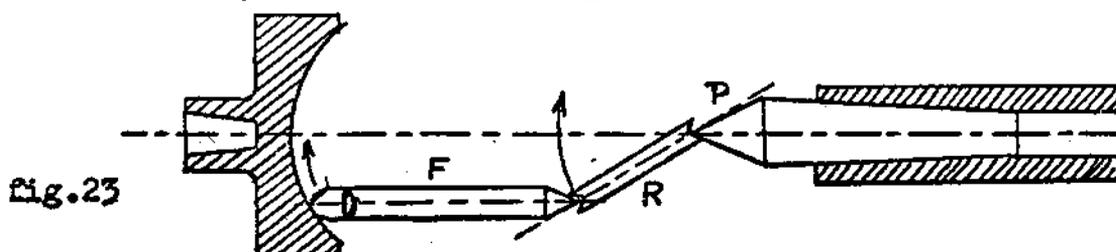
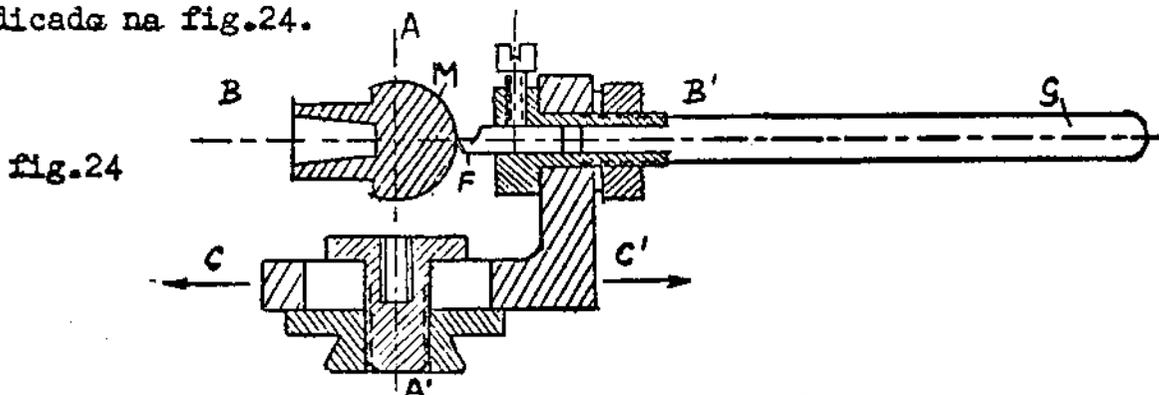


Fig.23

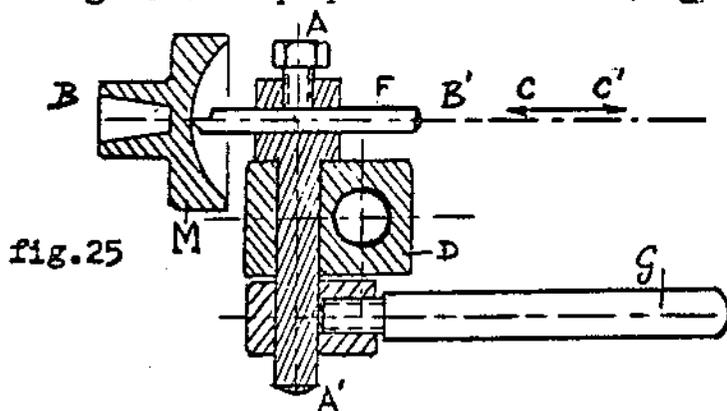
Torneando de fora para dentro, a ferramenta dá a forma esférica e o suporte sôlto acompanha o deslocamento para a esquerda dirigido pelo bastão R. Naturalmente, as peças F e R devem ser ajustadas - de tal maneira que R encontra-se no eixo do tórno quando a ponta da ferramenta F ficar exatamente no centro do molde.

3º) Os moldes positivos não podem ser feitos desta maneira, nem os negativos com pequena raio de curvatura. Outro meio é o indicado na fig.24.



No tórno, podemos desmontar o suporte de ângulos e adaptar - a peça D, ajustando o suporte lateral até que o eixo A-A' - cruze o eixo do tórno B-B', torneando assim um molde positivo com a ferramenta F. Sendo o dispositivo ajustável no sentido C-C', podemos realizar a curvatura certa do molde M. - Girando o dispositivo por intermédio do cabo G ao redor do - seu eixo A-A', tornea-se até um hiperhemisfério no molde positivo.

4º) Com dispositivo semelhante, é possível realizar um molde negativo de pequena curvatura (fig.25). Visto de cima, o bloco



D está montado no suporte do tórno. A ferramenta F ajustável na sentido C-C', torneia uma curva negativa no molde M, girando pelo eixo A-A' (cruzando o eixo do tórno) por meio do cabo G.

5º) Um molde como na fig.24, positivo, poderá ser torneado raspando-se a superfície com um anel ou tubo de aço temperado e ratificado pelo mesmo processo da fig.26. O diâmetro do furo

deverá ser menor do que o diâmetro da bola que servirá como molde.

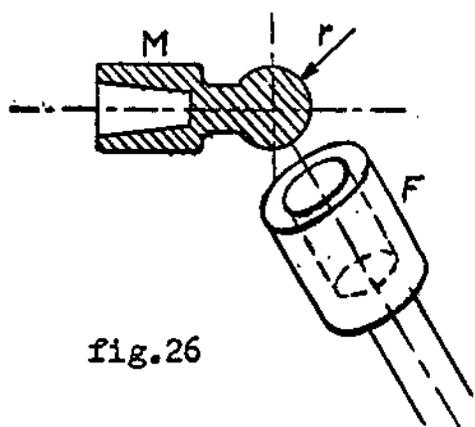


fig.26

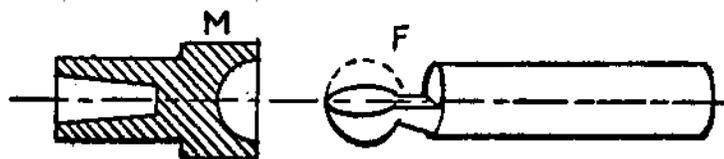


fig.27

- 6º) Confeccionando uma ferramenta como indicado na fig.27, de mesma maneira que na fig.26, cortado de aço e depois temperado, poderá servir como broca para abrir uma curva negativa de mesmo tamanho. A diferença é apenas que pela fig.26, podemos fazer curvas diferentes entre certos limites, porém a ferramenta da fig.27 permanece fixa. Para cada raio de curvatura, é necessário uma nova ferramenta.
- 7º) Dispositivo semelhante podemos fazer, torneando um disco de aço e montando-o num mandril (fig.28)

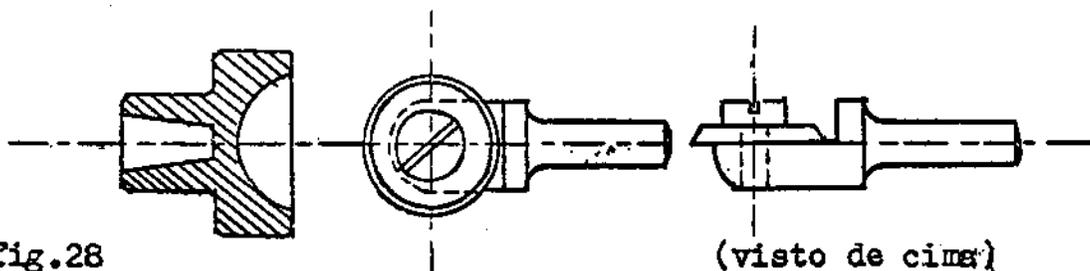


fig.28

Temperado e afiado, o disco servirá como ferramenta de corte, fazendo um molde de mesma curvatura (negativo). O tamanho dos dispositivos nas figs. 26 e 27, é limitado pela dimensão da broca para furar a ferramenta F na fig.26. Isto quer dizer que desta maneira podemos preparar moldes positivos e negativos com raios de curvatura bastante inferior as menores lentes aplicadas até hoje na ótica ! Uma lente frontal de uma objetiva de imersão (100x para microscopia), apresenta :  $r = 0,8$  mm, uma bolinha de 1,6 mm, hiperhemisférico com  $m = 0,93$ , sendo relativamente fácil de se realizar.

Geralmente, confeccionamos sempre dois moldes : um positivo e um negativo, de modo que, lapida-se um sobre o outro não somente para fazer uma superfície lisa, mas também para chegarmos a um determinado raio de curvatura com certa precisão, dependendo das tolerâncias. Instalando uma oficina para lapidação, é aconselhável confeccionar inicialmente uma série de no mínimo 50 pares de moldes com diversos raios de curvatura de acordo com a natureza dos trabalhos a executar, uma vez que sempre acontece que necessitamos de um molde com uma curvatura mais ou menos tal para realizar rapidamente qualquer trabalho em vista. Muitas vezes, utilizamos estes moldes para facetar lentes e discos com facetas de  $45^\circ$  como veremos mais adiante.

\* \* \* \* \*  
\* \* \*  
\*

## CAPITULO VIII

### LAPIDAÇÃO ESFÉRICA

#### I) Introdução :

Desde que exista uma grande tolerância nos raios de curvatura e não apresentando a "lente esférica" certas formas que requer uma atenção especial, solucionamos facilmente os problemas. Tudo aquilo que foi tratado nas páginas anteriores poderá ser de grande valor, pois a passagem de uma superfície plana para uma esférica (curva) é relativamente pequena. Considerando-se uma superfície plana como sendo esférica, tendo um raio de curvatura praticamente infinito ( $r = \infty$ ), não existe uma diferença principal. As dificuldades principiam quando o raio de curvatura (sendo positivo) passa a ser comparável com o diâmetro e a espessura da lente numa certa relação e, sendo maior ou menor, o problema é menos grave, pois como observamos na fig.18, a relação entre  $m$  e  $D$  já tem suas consequências. É claro, por essa razão, que uma lente de grande diâmetro e pequena espessura não necessita muita atenção, tendo um grande raio de curvatura ou seja, pouca curva - uma vez

que neste caso o raio não poderá ser pequeno). Fixada a uma placa de latão ou de ferro com um centro para a máquina de lapidação (ponto), temos a fig. 29 servindo de exemplo.

II) Lapidação de uma lente positiva com grande raio de curvatura e diâmetro em relação a espessura.

Vamos tirar tôdas as conclusões sôbre a fig.29. Inicial

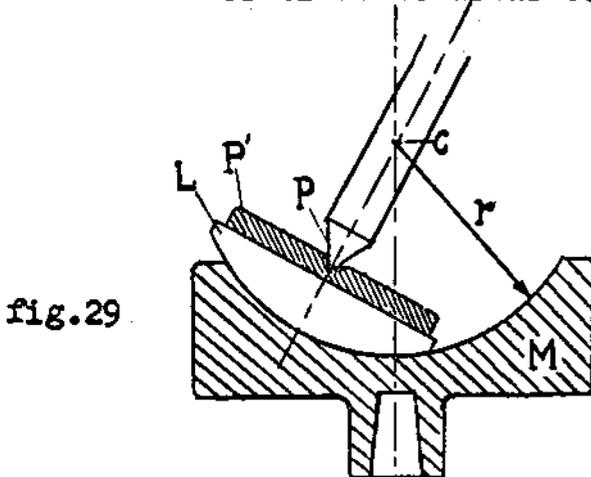


fig.29

mente, podemos observar que a posição do ponto P deverá estar fora do centro C' e, para não deformar muito a forma do molde M, o tamanho deste será tal que toda a superfície do molde "pegará" sôbre toda superfície da lente, isto é, os lados da lente L sôbre o lado do molde e sôbre o

centro deste, C'. Explicando melhor : um dos lados da lente sôbre um dos lados do molde e o outro lado da lente sôbre o centro C' do molde. O diâmetro do molde será apenas duas vêzes o diâmetro da lente. É claro também que a espessura da lente juntamente com a placa P' não poderá ser muito grande, pois o ponto P estando perto de C impede a lapidação. Desta maneira, o ponto P não estará fora do centro C (não podendo encontrar-se em outro lugar) mas, antes de chegarmos a esta situação, acontecerá à mesma coisa demonstrada na fig.18 (vide pág. 23). Também não devemos nos esquecer que se ainda conseguimos lapidar, não é certo que conseguiremos polir ! Então, as placas de vários tamanhos P' não devem ter muita espessura. Naturalmente, da mesma maneira quando nos referimos a um estoque de "pares de moldes", temos também séries de diversos diâmetros e espessuras destas placas.

Notamos bem que a lente durante a lapidação e o polimento pode girar no sentido do molde, livremente, com um pouco de óleo no ponto P. Se por acaso a lente pára de girar, devemos dar um jeito para evitar deformações esféricas (cilíndricas ou melhor, "tóricas"). Cessando de girar, o que acontece às vêzes durante o polimento, fica provado que à mesma não está "pegando" no molde sôbre toda a área, mas especialmente no centro da lente, logo

abaixo do ponto P da máquina, isto em consequência de uma excentricidade exagerada durante o trabalho como demonstra a fig.30. Desta maneira, a lente fica lapidada somente no centro e, tomando neste lugar uma curva maior com uma pequena área na forma de um anel de largura A, o molde também apresentará esta deformação.

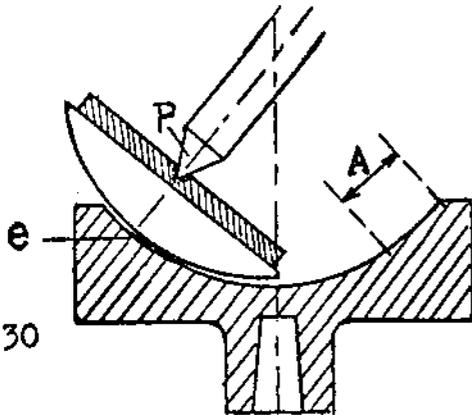


fig.30

Neste caso, a lente pára de girar ou o faz lentamente em sentido oposto. Entre a posição correta e esta que acabamos de explicar, temos uma região estreita onde podemos influir na curva. Isto quer dizer que com o ponto P mais para fora, a curva do molde e as lentes que nêle la

pidamos começam a aumentar lentamente o raio de curvatura. Expressando melhor : o raio de curvatura do molde ou seja, a curva, aumenta a medida em que lapidamos as lentes com o ponto P mais para fora.(do molde). Por esta razão, podemos nos servir deste meio para polir lentes "teimosas" que durante esta operação só o fazem nos lados. Generalizando este princípio, podemos dizer que ao contrário, colocando o ponto mais para dentro, o raio de curvatura diminuirá lentamente, sendo que desta maneira podemos polir mais os lados da lente. Portanto, fica explicado o seguinte : colocando a ponta P mais para dentro, temos um polimento sobre os lados, ao passo que, colocando mais para fora, temos o polimento no centro. Geralmente, podemos efetuar este último caso mais violentamente se invertermos totalmente a operação : colocando a lente no

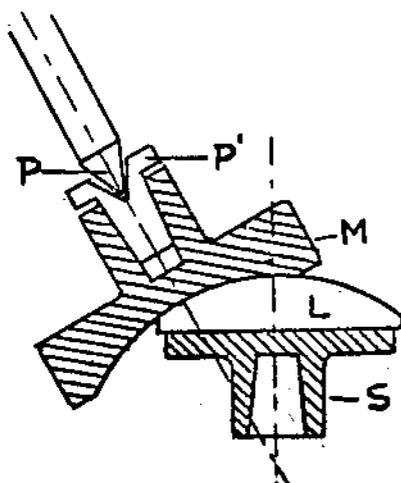


fig.31

eixo da máquina e deixando rodar livremente o molde sobre a sua superfície (fig.31). A lente L está colocada num suporte S e o molde M é provido de uma peça P' para ser ligado com o ponto P da máquina. Assim, o raio de curvatura deve diminuir, pois agora o caso é o inverso : o molde está "gastando" no centro e a lente mais -

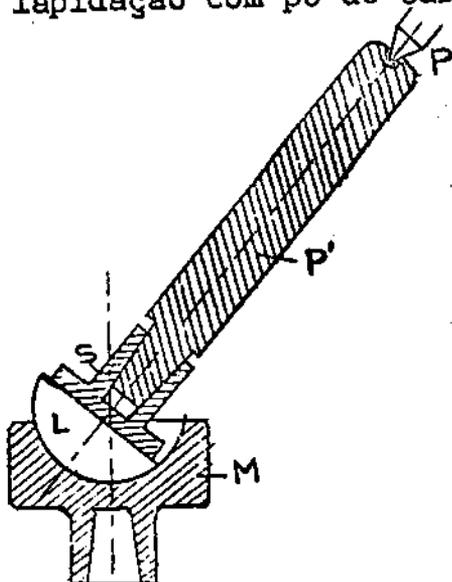
no lado ! Os sistemas apresentados na fig.30 e 31 ainda não oferecem um meio rápido para mudar a curva ou para alcançar um certo raio de curvatura com grande precisão. O molde de ferro ou mesmo de latão, gasta tão pouco em relação ao vidro que esta solução é extremamente lenta. Lembremos a fig.6 : o latão gasta-se mais rapidamente do que o ferro mas, mesmo assim, 50 ou mais vezes menos que o vidro comum. Lapidando um molde sobre outro, a operação também é muito lenta. Porém, vidro sobre vidro, o processamento é rápido ! Então, se devemos preparar algumas lentes somente com curvas de precisão, lapidamos uma lente negativa e por seu intermédio podemos lapidar a lente positiva rapidamente até o raio de curvatura correto. Isto refere-se aos moldes que temos em estoque, de onde sempre devemos encontrar um que tenha uma curvatura perto daquela desejada. Mas, por outro lado, suponhamos que devemos confeccionar um certo número de lentes todas somente com um raio de curvatura, porém com pequenas tolerâncias. Naturalmente, é mais econômico neste caso, fazer-se um par de moldes também com esta precisão na curvatura. Como temos de confeccionar uma série de lentes, p.ex., 20 no total, estragamos bastante o molde com carborundum grosso (nº 60-120-150-220). Neste caso, lapidamos primeiramente todas as lentes num molde de curvatura aproximadamente correta para depois não maltratar em demasia os moldes de precisão, sendo aconselhável estudar novamente as figs.30 e 31 para garantir que na última lapidação nestes moldes, as curvas não mudam pelo desgaste.

III) Lentes positivas "grossas" com raio de curvatura muito pequeno em relação ao diâmetro.

Com este assunto, chegamos a outra extremidade, mas ainda não temos a necessidade de lapidar como indicado na fig.31, pois aquela maneira poderá vir a ser uma de nossas soluções. Vendo que o ponto da máquina não pode se encontrar no centro de curvatura, trabalhando pelo esquema da fig.29, encontramos outra solução : faremos uma placa P' (fig.29) muito alta ! Desta maneira, o ponto da máquina fica do outro lado do centro de curvatura. O suporte S da fig. 31, com um cabo comprido P' da fig.32, resolve perfeita-

mente o problema, porém surge outro! Suponhamos que lapidamos de algum modo um bloco de vidro mais ou menos "em forma", e que iniciemos a lapidação com pó de carborundum nº 150. O raio de curvatura desta "quase meia-bola" deve ser menor que o raio do molde,

fig.32

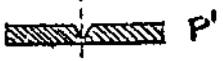


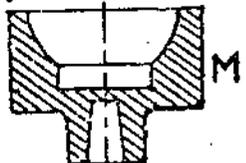
pois agora, a medida dos grãos - que ficam entre o molde e o vidro ocupam também um certo lugar. Em regra geral, podemos dizer - que o raio de curvatura de nossa lente  $r'$ , deverá ser :  $r - g = r'$  sendo :  $r =$  raio de curvatura do molde e  $g =$  tamanho dos grãos de carborundum. Sendo  $r$ , p.ex., 100

mm e os grãos 0,1 mm, temos uma diferença de um milésimo no raio de curvatura e, com um pó mais fino, o raio  $r'$  muda rapidamente - sem notarmos. Mas, uma lente como na fig.32, com raio  $r' = 9,9$  mm, não passará tão facilmente para 10 mm como o molde, pois sendo - quase uma meia-bola, não existe a possibilidade de o raio de curvatura determinar o diâmetro. Fica explicado o seguinte : não podemos lapidar uma meia-bola com pó "grosso" até a curvatura desejada, deixando sempre 0,1 mm para tirar com um pó mais fino.

Na fig.32, apresentamos um meio muito valioso para fazer lentes tipo médio entre as duas extremidades que aqui tratamos e, na lista abaixo, podemos ver que lapidando com uma placa pela fig. 29, o limite para  $D = 1$  e para  $m = 0,15 \times$  o raio de curvatura  $r$ . Por um terceiro método, podemos lapidar relativamente fácil uma - lente na forma de um pouco mais do que uma meia-bola (hiperhemisfério).

Sendo  $n = +1$ , temos :

Método	$D$ . máximo	$m$ máximo	Suporte, ferramenta.
nº 1	1	0,15	
nº 2	1,9	0,7	

Método	D. máximo	m máximo	Suporte, ferramenta
nº 3	2	1,4	

A solução para este problema, é um molde que tenha um furo no centro, de maneira que o mesmo lapida (polimento depois) de acôrdo com a fig.33. Sendo o raio de curvatura  $r = 1$ , a altura deste anel será  $A = \pm 0,4$  e o furo do molde  $B = \pm 1,4$  vezes o raio. É claro que um molde nesta forma pode mudar rapidamente a curva para menor. Deste modo, podemos lapidar com um pó nº 60 a 220, etc, chegando até 3000 ! com o mesmo molde, diminuindo  $r$  até o valor certo, pois agora o respectivo acompanha facilmente a mudança na curvatura da meia-bola. Como indica a fig.33, lapidamos

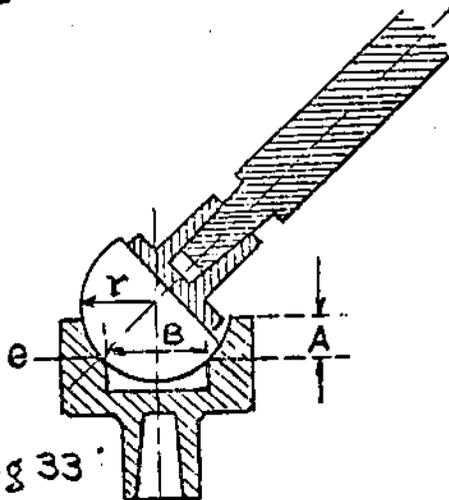


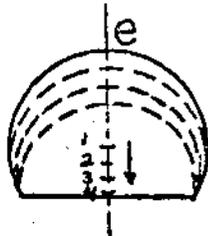
Fig 33

mais no centro e desta bola do que no lado, mas na posição inversa, mais no lado. Expressando melhor : na posição da fig.33, a lapidação é mais forte no centro e, lapidando com o molde sobre a bola (posição inversa) a lapidação é mais forte no lado. Naturalmente, com a compreensão de que em ambos os casos,  $r$  diminui mais rapidamente numa posição do que na outra. Lapidar

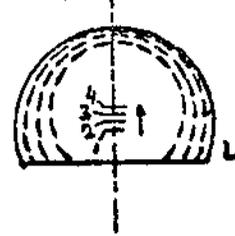
uma lente desta maneira até certos determinados valores para  $D$  e  $m$ , requer alguma habilidade, mas depois de alguns exercicios, leva-se a um bom término esta operação. Neste trabalho, devemos calcular para alcançar os valores para  $D$  e  $m$  ao mesmo tempo. Aqui, nós temos um grau de liberdade menor do que nos casos tratados anteriormente. Por isso, temos a fig.34 para orientação, onde  $A$  é o desgaste lapidando a bola num molde da fig.33 e  $B$  na posição inversa, i.é., bola no eixo da máquina e molde para cima !

fig.34

A



B



A bola A gasta mais no centro e . Os pontos 1-2-3-4 ou centro de curvatura, movimentam-se para o lado plano. Em B, o lado L gasta mais e o centro de curvatura sobe lentamente no sentido 1-2-3. Lógicamente, as figuras representativas são bastante - exageradas.

#### IV) Lentes negativas :

As diferenças que acabamos de tratar, perdem completamente o seu significado na lapidação de uma lente negativa. Na fig. 35, podemos ver que usando a placa fina P' da fig.29, tanto como a peça P' da fig.32, obtemos o mesmo resultado sem um efeito mui-

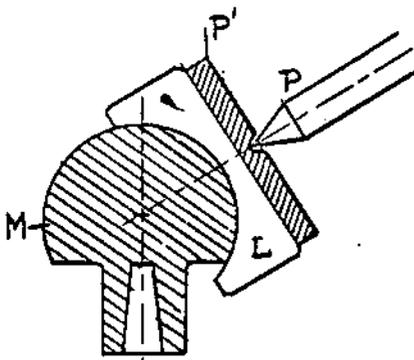


fig.35

to diferente. O terceiro método não pode ser aplicado, de modo que tratamos este assunto mais reduzido. O limite então para  $r = -1$ , será :  $D \text{ máx.} = 1,9$  e  $m = 0,7$ . Não é possível com simples meios fazer uma cavidade no vidro na forma de uma meia esfera ou mais ! Mas, tanto como -

sei pessoalmente, isto não tem grande aplicação na ótica. Somente devemos notar que para lentes negativas de grande raio de curvatura, usamos apenas o sistema da fig.35, usando a placa P' e não com a peça P' da fig.32. Não oferecendo este assunto qualquer - problema, vamos adiante para ver o método de lapidação de algumas lentes colocadas juntamente num único molde, bem como suas - consequências.

#### V) Produção em série de lentes coladas no mesmo suporte, lapidadas e polidas no mesmo molde.

Para lentes positivas, o limite como observamos é :  $D = 2r$

e  $m = 1,4 r$ , não sendo muito conveniente, pois necessita-se de - muita habilidade. Voltamos então para o limite :  $D = 1,9 r$  e  $m = 0,7 r$ . Na fig.36, sobre um molde S, colocamos sete lentes L e lapidamos com um molde M, peça P' e ponto P na posição indicada, -

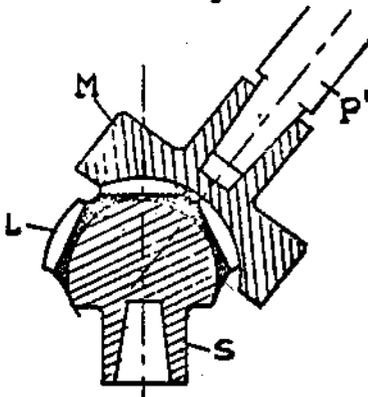


fig.36

ou lapidamos como na fig.32. Tudo dependendo daquilo que foi mencionado nestas páginas em relação a estas figuras e sobre a fig. 19. O número de placas de vidro na fig.19 ou na fig.36, não deve ser justamente sete mas, dependendo do tamanho da curvatura, etc, poderá ser qualquer quantidade conveniente. Se a curvatura é muito fraca, quase plana e as lentes pequenas, podemos lapidar e polir imediatamente vinte ou mais, até cem ! Naturalmente um pouco arriscado ! Se colamos muitas lentes juntas, de tamanho reduzido, cuidado com o calor. Com lentes negativas podemos fazer o mesmo. O número limitado, depende aqui também, somente da relação entre  $r$ ,  $D$  e  $m$ .

\* \* \*

#### VI) Centralização.

Um outro problema que se apresenta, é a colagem dos discos de tal maneira que as lentes depois não fiquem muito "descentralizadas", o que quer dizer, um lado mais fino do que o outro. Lapidando até o lado e ficando à mesma afiada como na fig.32 (meia bola), ela estará sempre centralizada, porém pode acontecer como o indicado na fig.37. O eixo óptico  $e-e'$  não coincide com o eixo mecânico  $M-M'$  e  $l$  (lado) é menor do que  $l'$ . A distância

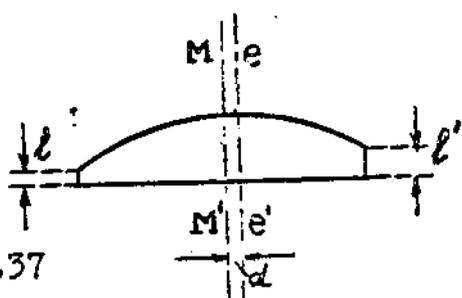


fig.37

excêntrica entre os eixos  $d$  é a discentralização da lente, embora esférica, é prismática. Existe principalmente dois meios para fazer as lentes centralizadas :

- 1º) Evitar que elas fiquem discentralizadas;
- 2º) Centralizar às mesmas.

O primeiro caso, podemos dividir em :

- a) Lapidar até o lado ficar afiado
- b) Ajustar perfeitamente para uma operação correta.

Iniciando com A, temos que : lapidando e polindo uma lente com o lado tão afiado (fino), soltam-se fragmentos de vidro das bordas, e pelos arranhões que eles produzem, teremos um trabalho completamente arruinado. Porém, para todos os casos temos sempre uma solução. Colocando duas placas de vidro, uma sobre a

outra (fig.38), podemos lapidar o conjunto até conseguirmos a forma A sem qualquer risco ! Descolando as duas peças, temos uma len

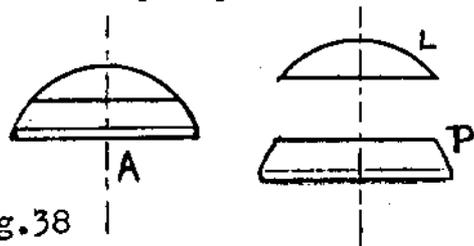


fig.38

te L com o lado afiado e uma placa P. A próxima lente, em alguns casos poderá ser feita desta placa.

2º) Centralização das mesmas : êste segundo caso poderá ser efetuado num

ma máquina especial ou mesmo num tórno. Em ambos os casos, devemos colocar a lente num eixo na posição centralizada, lapidando posteriormente o lado (fig.39).

Um tubo de latão T é facetado na extremidade P e internamente I. A lente L é montada com pixe até encostar no latão. Rodando manualmente, podemos observar um raio luminoso E-E'. Aquecendo o tubo, derrete-se um pouco o pixe, donde podemos orientar a lente de tal maneira que a imagem na superfície plana fica parada, girando à

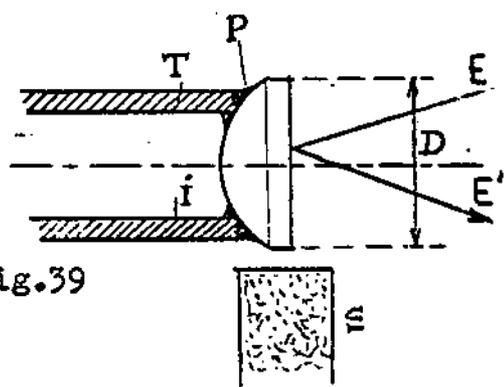


fig.39

mesma. Estando o lado convexo encostado e o lado plano retangular no eixo, a lente estará centralizada tanto pelo eixo ótico como pelo mecânico. Lapidando o lado da lente com o auxilio de um dispositivo S, êste também estará centralizado pelo eixo mecânico. O dispositivo S pode ser uma pedra de esmeril especial que lapida com água (no caso, uma máquina especial para centralização). Nestas máquinas, podemos desmontar a parte que contém o eixo com o tubo T para facilitar na posição vertical, a centralização pelo reflexo. Usando um tórno comum, o dispositivo poderá ser uma lâmina de ferro presa no suporte. Encostando sôbre o lado da lente (colocando pó de carborundum + água), lapidamos até a centralização perfeita. Resta-nos somente tratar a maneira pela qual podemos evitar a descentralização de uma lente durante a lapidação. - Êste item, dividimos em : 1º) Lapidação de uma lente positiva; - 2º) Lapidação de uma lente negativa; 3º) Um suporte com mais lentes ao mesmo tempo.

Uma lente positiva, podemos fazer a partir de uma placa de

vidro plano-paralela. Lapidando, inicia-se a formação de uma face ta F (fig.40), tendo no centro uma parte plana C. Com um aparelho A, feito de uma peça de latão em V e encostado sôbre os bordos da

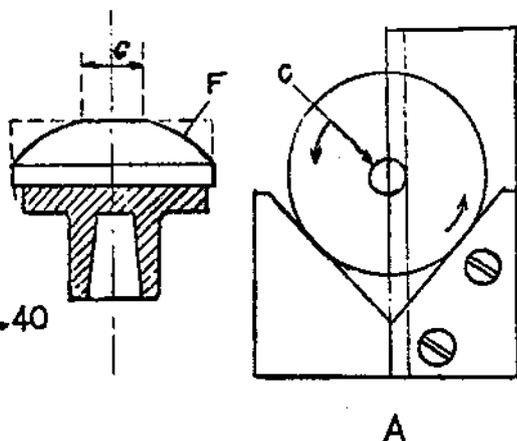


fig.40

lente, podemos girar à mesma, observando com uma régua de matéria plástica a centralização da parte plana C. Estando esta parte fora do centro, podemos conduzir a operação de tal modo que, lapidando com cuidado, após um certo tempo a parte plana C torne-se um pequeno pontinho situado exatamente no centro

(veja fig.A). Quanto as lentes negativas, obtemos uma centralização bem mais fácil, pois lapidando um disco plano paralelo (fig.41), a face curva (côncava - F')

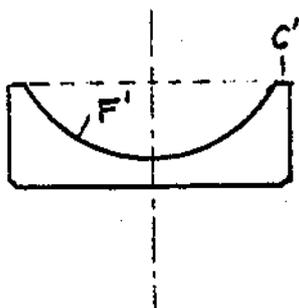


fig.41

afinal um anel plano C' no lado, fácil de controlar com uma lupa, girando a lente. Desde que a largura deste anel C' seja regular em tôda volta, a lente estará centralizada.

Vejamos agora o último caso : um suporte com diversas lentes para lapidar, sendo ajustado de tal modo para que tôdas fiquem centralizadas durante a lapidação. Na fig.42, podemos ver que o suporte deve

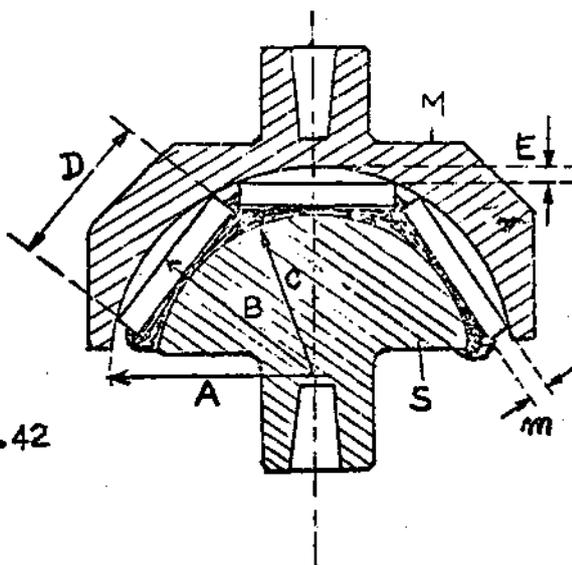


fig.42

possuir um raio de curvatura C um pouco menor do que B-m. Sendo B o raio de curvatura das lentes prontas e m a espessura das mesmas. Para orientá-las (ainda na forma de discos plano paralelo), colocamos um molde M e esquentando por um momento o suporte S. O pixe amolece e o molde M, aplicado com uma certa pressão, ajusta os discos na posição correta. O raio de curva-

tura A deste molde deve ser maior do que o raio de curvatura B das lentes. A diferença E entre eles é dada pela fórmula :

$$E = B - \sqrt{B^2 - \left(\frac{1}{2} D\right)^2}$$

Resfriando com água o suporte S, podemos iniciar a lapidação com um molde de raio de curvatura B. Observando o desaparecimento por igual das partes planas no centro destas lentes, temos um bom controle. Estes meios servem também para lentes negativas, mas de qualquer maneira, para se conseguir um trabalho perfeito é sempre necessário uma certa habilidade. Os melhores métodos são os indicados nas figs. 39 e 41. Para lentes biconvexas, usamos um dispositivo como este apresentado na fig.43. A lente L é colada numa

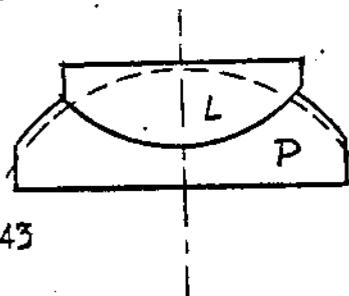


fig.43

placa de vidro P, lapidando-se o conjunto até a linha pontilhada. Descolando, têm-se a lente L biconvexa, com o lado afiado e ao mesmo tempo "autocentralizada". N.B. : antes de colar uma outra lente no lugar de L, devemos lapidar a cavidade um pouco mais profunda (alguns décimos de mm.) !

\* \* \* \* \*

## CAPÍTULO IX

### PRODUÇÃO DE DISCOS DE VIDRO

Estando os blocos de vidro ótico serrados em placas, desejamos, p.ex., discos redondos para confeccionar uma série de lentes. As placas de vidro, são inicialmente lapidadas planas sobre um dos lados com pó de carborundum e água até, digamos, com o nº 3F ou mesmo 1000. Esta parte é fácil de se realizar, porém o lado oposto deve ser plano paralelo, possuindo também uma certa espessura (alguns centésimos de mm a mais do que as lentes prontas). Estas placas, permanecem fôscas em ambos os lados. Para cortá-las em quadrados menores, não utilizamos um cortador com diamante para

vidro comum e sim um dotada com rolinhos de aço temperado, que é menos sensível para o vidro fôsko. Se as plaquinhas são muito grossas, é melhor serrar em quadrados. Tendo estas plaquinhas, podemos quebrar suas extremidades com um alicate especial, arredondando às mesmas até bem perto da medida do diâmetro das lentes. Coladas com pixe (1P + 10B) temos tarugos de forma ainda muito irregulares (fig.44). Colando um suporte sôbre um dos lados, podemos montar êste dispositivo num tórna ou em qualquer ou

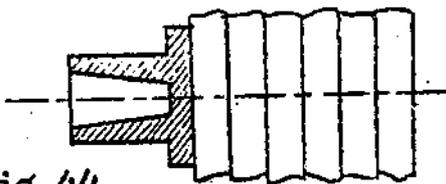


fig.44

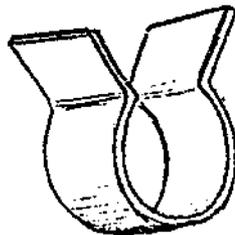


fig.45

tra máquina, p.ex., uma polideira. Estando um dos lados polido, cola-se êstes lados com Bálsamo de Canadá e os lados fôsko com pixe. Girando a máquina, lapidamos até o diâmetro correto com o auxilio de uma fita de ferro com  $\pm 0,6$  a 1 mm de espessura e dobrada na forma indicada pela fig.45. Com esta ferramenta, aplicando pasta de pó de carborundum nº 150-220 e 3F, podemos lapidar um tarugo de vidro com bastante precisão, redondo, cilindrico, liso e na medida correta com pequenas frações de um milimetro (0,01 - 0,001 mm). Terminado o trabalho, isto é, lentes polidas e centralizadas, devemos fazer uma faceta nas mesmas com um ângulo de  $45^\circ$  (fig.46). Esta operação é levada

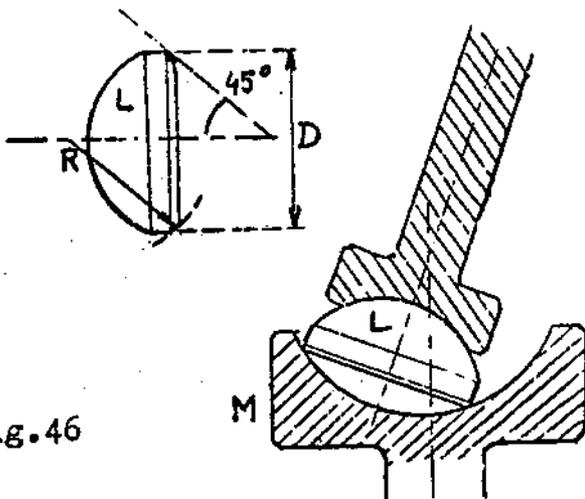


fig.46

a efeito num molde, lapidando com pó fino, de preferência com os nºs. 800 ou 1000, ou alundum 500. O raio de curvatura R deste molde deverá ter uma certa relação com o diâmetro D da lente a fim de que a faceta seja de  $45^\circ$ . Deduzimos que :

$$R = \frac{D}{\sqrt{2}} \text{ ou } \pm 0,7 \text{ v\u00e9zes o}$$

diâmetro da lente. Esta relação é muito importante, visto que a operação de facetar é assáz comum nos discos, filtros, espêlhos e lentes !

## CAPÍTULO X

### LENTE DE ALTA PRECISÃO E MICRO LENTES

#### I) Contrôle da precisão :

As lentes especiais para objetivas, formam um grupo à parte, uma vez que estes elementos geralmente são rigorosamente calculados. As tolerâncias são pequenas não somente quanto ao raio de curvatura, mas também quanto a espessura e montagem. Para o controle do raio de curvatura, temos instrumentos adequados, sendo um deles o esferômetro. A precisão deste aparelho não vai muito além de 0,1%, em geral 1% conforme o caso e dependendo da construção e do tipo. Uma precisão maior do que esta, obtemos com vidro de contacto e luz de sódio. Um vidro de contacto ou melhor, um par de vidros de contacto pode ser feito pela maneira indicada nas figs. 33 e 35. Tendo um hiperhemisfério e uma peça côncava, podemos lapidar um sobre o outro com pó muito fino até que o raio de curvatura fique justamente 5 microns a mais do que deveria ser. Polindo a bola, temos um vidro de contacto positivo. O controle do raio de curvatura de um objeto com um pouco mais do que meia bola é relativamente fácil. Medindo o diâmetro com um micrômetro de boa qualidade, a metade será o raio. Polindo a peça negativa, podemos medir a curvatura desta com o auxílio da bola e, invertendo a posição durante o polimento, podemos aumentar ou diminuir o raio de curvatura desta peça até que a mesma caia justamente na bola, controlando pela interferência. Um par de vidros de contacto pode servir como curva padrão, sendo que com eles, controlamos o esferômetro e as lentes produzidas em série durante o polimento. O número de anéis de interferência (anéis de Newton), é uma medida de aberração do raio de curvatura, mas a forma deles é uma indicação sobre a deformação esférica destas superfícies. Na luz de sódio, observamos as figuras de interferência a olho nú, porém sendo as lentes muito pe-

quenas, usamos uma lupa montada juntamente com o vidro de contacto, estando a lente colada ainda no suporte. Desta maneira, faremos a medida segurando a lente com uma das mãos e o vidro de contacto com a lupa na outra. Estes vidros ainda podem ser muito pequenos e neste caso, colamos o mesmo sobre um disco de vidro maior para facilitar a manipulação. Na fig.47, vemos o suporte S com a lente L. O vidro de contacto P está montado sobre um

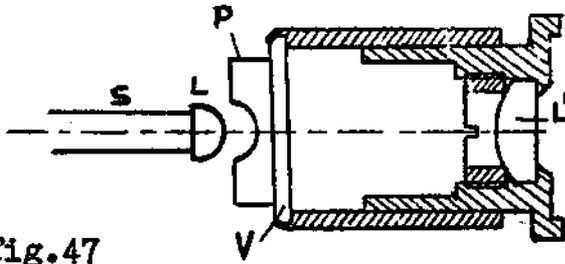


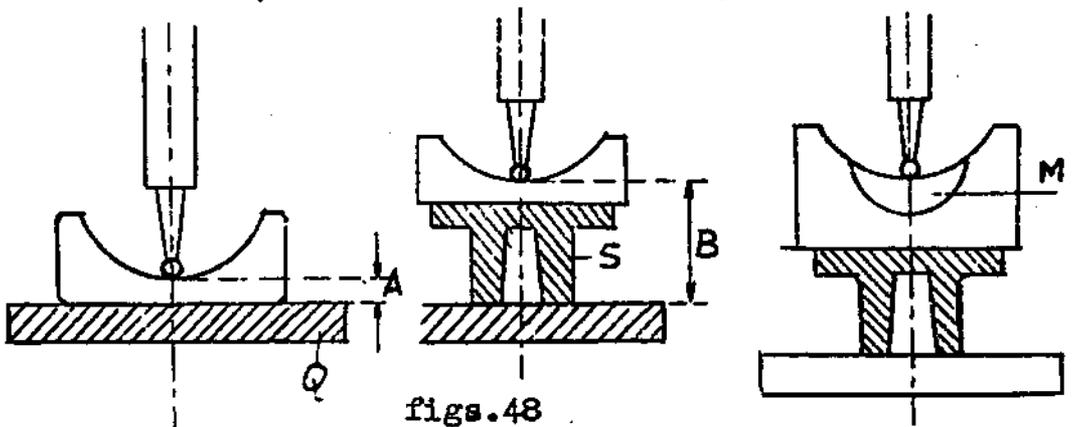
fig.47

disco de vidro V e atrás situa-se a lupa L<sub>1</sub>. Encoastando L em P (limpando primeiramente com algodão e éter) observamos a interferência na luz de sódio ou mesmo na luz bran

ca caso a diferença não seja mais do que alguns anéis.

## II) Medidas de espessura :

Para medir a espessura durante a lapidação, temos dois meios. Em primeiro lugar e mais especialmente para lentes positivas, podemos iniciar com uma placa plano paralela da espessura de alguns centésimos de milímetros mais "grossa" do que a lente. No exato momento quando a face plana C (veja fig.40) desaparece, temos então alguns centésimos de milímetro de sobra para o polimento. No outro caso, com lentes negativas, medimos à mesma depois de lapidada (a mão), obtendo a medida A (fig.48). Montando sobre



figs.48

o suporte S, medimos novamente obtendo B. Sendo A um certo valor a mais, devemos diminuir a medida B com este valor para chegar a

espessura correta. Este processo oferece  $\pm 0,01$  mm de precisão, sendo geralmente o suficiente. O suporte deve ser bem plano e paralelo. A espessura é medida com um relógio medidor fixado numa base provida de uma placa de quartzo Q. Um menisco M montado em outra peça de vidro durante a lapidação e polimento (autocentrada) poderá ser medido pelo mesmo processo.

\* \* \*

### III) Montagem de micro lentes : a) Doublets

Para lentes muito pequenas, com diâmetro inferior a 10mm, convém cravá-las numa montura de latão. Os "doublets" geralmente são colados com Bálsamo de Canadá (artificial da firma "Merck")-diretamente na montura. A fig.49 apresenta uma idéia : as lentes  $L_1$  e  $L_2$  são coladas com Bálsamo e o próprio conjunto é colado na

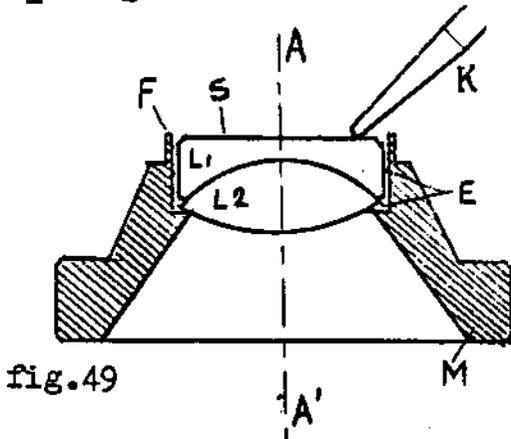


fig.49

montura M. A lente  $L_2$  é afiada no lado (autocentrada), sendo centralizada pela montura. Com o bálsamo ainda quente e girando o conjunto em torno do eixo A-A', pressionamos levemente com uma ponta de cobre K sobre a lente  $L_1$  que fica centralizada em virtude desta operação. Resfriando, podemos repuxar o lado metálico

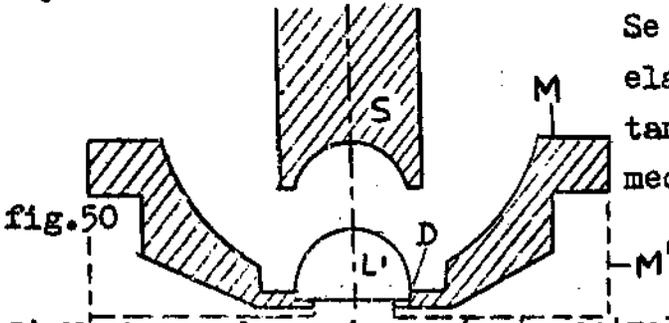
F para fechar a montura sobre as lentes. Pelo reflexo de uma imagem vista numa superfície plana S, podemos controlar a posição da lente  $L_1$ . Sendo todas as monturas iguais, de uma série de lentes, construímos um dispositivo especial que gira na posição vertical, podendo ainda ser aquecido eletricamente. Devemos notar - que o espaço E fica igualmente cheio de Bálsamo de Canadá. Terminada a operação, lavamos externamente com éter.

N.B : Conferir também a parte mecânica sobre instrumentos óticos quanto as instruções suplementares a respeito deste assunto e - quanto a confecção de monturas para lentes e prismas.

### b) Meia bola :

A montagem de uma meia bola ou um hiperhemisfério como o

da fig.33, pode ser efetuado como indicado na fig.50. A montura M é torneada por dentro, apresentando externamente a forma M'. - Aquecendo a montura, aplicamos uma camada fina de gomalaca na cavidade de encaixe D. Ainda quente, coloca-se a lente L<sub>1</sub> pendurada num mandril S com cêra sôbre a montura e deixamos resfriar. Limpando com álcool 96%, podemos torneare a montura externamente.

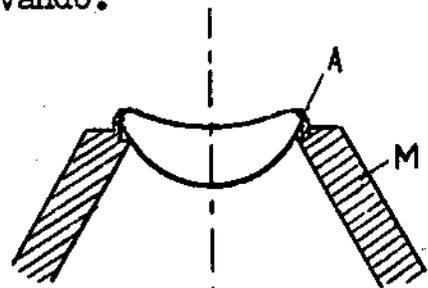
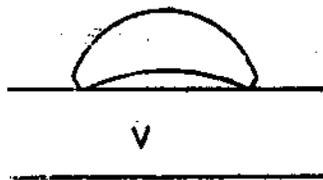


Se a lente encaixa bem justa, ela estará centralizada e retangular à superfície no eixo mecânico da montura.

C) Montagem de meniscos (autocentralizados) :

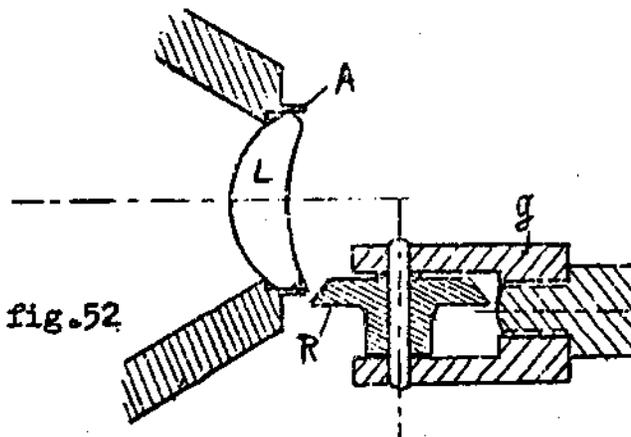
Um menisco feito como indicado na fig.48, poderá ser facetado sem sofrer muita descentralização como indicado na fig.46. Numa placa de vidro plana V, faremos mais uma pequena faceta (veja fig.51). Após isto, monta-se cravando.

fig.51



D) Diversos dados técnicos :

No caso de lentes muito delicados (p.ex., micro lentes), pode ser útil um rolinho como indicado na fig.52. Este rolinho R



de aço temperado, gira livremente sôbre um eixo fino (1mm) de aço, o qual por sua vez, é fixado num garfo. Prêso o conjunto no suporte do tórno, dirigimos o rôlo contra a parte fina da montura A, fixando desta maneira a lente L com o mesmo resultado da fig.51A. -

Durante esta operação, a lente fica colada na montura com um pouquinho de solução xaroposa de breu dissolvido no xileno. Em cer-

tas ocasiões, usamos um verniz preto para pintar o lado fôsko da lente, a fim de diminuir o reflexo da luz, antes de montá-la. - Neste caso, usamos um verniz à base de álcool e goma laça com um corante de anilina preta ou azul violeta escuro solúvel no álcool. Este verniz deve secar até ficar uma camada muito fina, da ordem de 10 microns, para não influir na precisão da centralização, - processo êste muito usado nas objetivas fotográficas. As monturas de latão para êste fim, podem ser azuladas numa solução saturada de carbonato de cobre precipitado e amonia concentrada, diluindo com o mesmo volume de água. Para conseguir uma camada passiva, esquentamos as peças num fôrno até 300°C com atmosfera comum (não redutora pelos gases da chama !). As peças assim tratadas, apresentam um belo aspecto, azul-preto, e bem resistente - (melhor do que sem o tratamento térmico). Este banho para azular não deverá ser guardado. As monturas de aluminio, podem ser eloxadas ou anodizadas, sendo coloridas em preto pelos processos comuns nestas operações. Os demais processos e tratamentos destas monturas, são encontrados na parte de mecânica fina.

\* \* \*

Chegando ao fim desta parte de lapidação e polimento, - apresentamos três exemplos completos sôbre a confecção de lentes com diversas dimensões.

1º) Peça frontal de um condensador de campo escuro (fig.53).

O material usado é vidro CROWN 5 (K5). Partindo de um bloco deste vidro, cortamos placas de 7,5 mm de espessura em seguida, lapidamos um dos lados bem plano. Neste lado, cola-se um disco de latão possuindo um pequeno centro (furo) e lapida-se o outro lado bem plano e paralelo até uma espessura de  $\pm 7,2$  mm, usando sucessivamente os diversos pós até o nº 3F. Após esta operação, - cortamos esta placa em quadrados de  $\pm 27$ mm, colando tôdas juntamente (na forma de tarugo) e procedendo

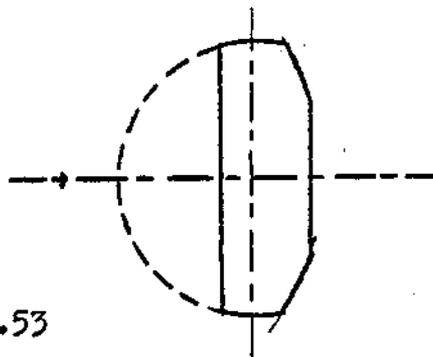


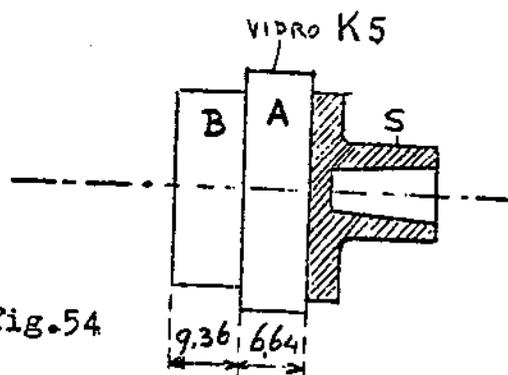
fig.53

27mm, colando tôdas juntamente (na forma de tarugo) e procedendo

como na fig.44. Para facilitar, quebramos as pontas com um alicate especial. Numa máquina para lapidar e sobre um disco de ferro fundido, arredondamos estes tarugos com pó nº 60. Mais ou menos redondos, faremos uso da lâmina de ferro (fig.45) com pó nº 150-220 e finalmente com 3F até o diâmetro de  $\pm 24,5$  mm. Descolando os tarugos, temos placas de vidro com  $24,5$  mm de diâmetro e  $\pm 7,2$  mm de espessura. Colando num disco de ferro bem plano sete destes discos, podemos lapidar com pó nº 3F, 1000 e 3000, efetuando em seguida o polimento. Colando o outro lado, lapidamos com muito cuidado até  $6,645$  mm, polindo até  $6,64$  ( $\pm 0,005$  mm). Obtemos desta maneira discos bem planos paralelos e polidos. Em seguida, - preparamos placas de vidro comum com o mesmo diâmetro, porém com espessura de  $9,36$  mm. (podendo ser vidro cristal comum com espessura de  $10$  mm que cortamos em placas e lapidamos redondo). Procedemos da mesma maneira que a anterior : cola-se sete destes discos numa placa com centro, lapidando um lado fôsko até plano paralelo com espessura de  $9,36$  mm. Colando num suporte S um disco de K5 e um de vidro comum, temos a fig.54. Corremos menor risco,

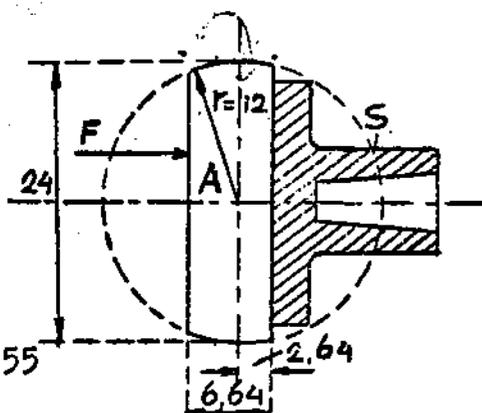
colando os discos A e B com as faces polidas, por intermédio de Bálsamo de Canadá. O suporte S deve ser torneado bem plano, colando-se o mesmo sobre o disco A com pixe e breu (1P + 10B). - Para chegar rapidamente a uma forma esférica, podemos lapidar primeiramente numa roda de esmeril "verde" (usada na lapidação de ferramentas de vidia ou metal duro). Após esta

fig.54



operação, lapidamos num molde como indicado na fig.33. O furo deste molde será  $\pm 1,4$  x o raio de curvatura. Calculamos : -  $1,4 \times 12 = 16,8$  mm. Observando bem a fig.34 (A e B), podemos chegar a um certo momento em que a meia bola medirá  $D = 24,2$  e para a parte plana na placa B, uns  $4-5$  mm como na fig.40 (C). Lapidando com pó nº 3F, aproximamos para  $D = 24,1-24,05$  e  $C = 2-3$  mm. - Com um pó mais fino (nº 1000-3000) continuamos com bastante cuidado - evitando arranhões - até  $D = 24,005$  e  $C = 0$  ! Assim, temos certeza que o centro de curvatura encontra-se a  $2,64$  mm abaixo -

da superfície como indicado na fig.53, prosseguindo finalmente com o polimento desta bola. Como estamos interessado apenas na parte A e não na parte B, devemos observar com uma lupa bem atentamente a superfície curva da parte A durante a lapidação e o polimento. A partir da operação com o pó nº 3F, podemos reduzir a velocidade da máquina para 200 rpm, usando para o polimento uma base de pixe 1P + 10B conforme a lista apresentada na página 18. Usando zirconita (pó) para o polimento, teremos uma duração de 1/2 a 1 hora. Terminada esta fase, esquentamos para desmontar o conjunto (aquecemos a parte B, descolando da parte A). Limpamos cuidadosamente com algodão e éter. Lapidamos o lado frontal com curvatura  $r = 24$  e diminuimos a face plana F até uns 10 mm (fig.



55). Daí em diante, passamos a observar a centralização desta parte plana. Com um pó mais fino, diminuiremos a diâmetro de F até  $\pm 8,5$  mm (lapidando com pó nº 3F). Logo após, lapidamos exatamente até 8,0 mm com pó nº 1000. A faceta com  $r = 24,00$  (fig.53) não deverá ser

polida. Esquentando o suporte, retiramos esta peça e limpamos em seguida com éter. Num molde, lapidamos uma pequena faceta de  $45^\circ$ . Sendo  $D = 24,00$ , usamos um molde com  $r = 0,7 \times 24 = 16,8$  mm, sendo que um raio igual a 16 até 18 mm poderá servir para esta finalidade. Terminada desta maneira, ela se apresenta como na fig.53. O contróle final é feito com um micrômetro no que se refere as medidas (espessura, diâmetro) e com a "mesa giratória" em relação a centralização da parte plana de 8 mm. (face frontal). Esta parte deverá estar completamente isenta de qualquer "arranhões ou pontinhos", uma vez que no "campo escuro", qualquer irregularidade refletirá uma luz falsa que influí na qualidade da imagem. A prateação parcial e outros tratamentos desta peça será tratado mais adiante.

\* \* \* \* \*

\* \* \*

2º) Uma janela antirreflexo, grau zero, para oscilógrafo electro-magnético amortecido no óleo de parafina.

Um espelho S de dimensões extremamente pequenas, encontra-se no centro de curvatura das superfícies curvas da peça J (veja fig.56).

A luz convergente ou melhor, a luz de um sistema  $L_1$  entra convergente neste espelho, o qual, encontra-se no ponto focal deste sistema, refletindo divergente para o sistema  $L_2$ . Nesta posição, o grau de  $J = 0$  e o espelho pode se encontrar imerso no óleo. A luz do sistema  $L_1$

não pode refletir para  $L_2$  pelas superfícies de J. Primeiramente, lapida-se um disco plano paralelo com espessura igual a 8,1 mm e diâmetro de 21,2 mm, sendo o último pó o de nº 3F. Colando um dos lados sobre um suporte, arredondamos na roda de esmeril e em seguida num molde com raio de curvatura  $r = 10,5$ , progredindo até um perfeito polimento uma vez que esta superfície não oferece qualquer problema (usamos o molde da fig.32)\*. Para facilitar este trabalho, podemos usar dois moldes com raios de:  $r = 10,7$  e  $r = 10,5$ , utilizando o de maior raio para carborundum de nºs : - 150 - 220 e 3F e o de menor para 3F - 1000 e 3000. Quanto ao polimento, usamos uma base de : 1P + 5B + 2C e óxido de zircônio e céria. O material poderá ser qualquer vidro crown leve, de preferência "fluorocrown".

\* - após a utilização do molde da fig.32, segue-se o da fig.33.

Tendo esta superfície pronta, descolamos a "lente", esquentando o suporte numa pequena chama. O outro lado da lente, é

colado num suporte com a face côncava e de raio de curvatura  $\pm r = - 10,5$  (fig.57). Como devemos tirar muito material, convém usar uma rodinha para lapidar (N) com o diâmetro correspondente a  $\pm$  o raio de curvatura  $r = 7,5$ . Esta -

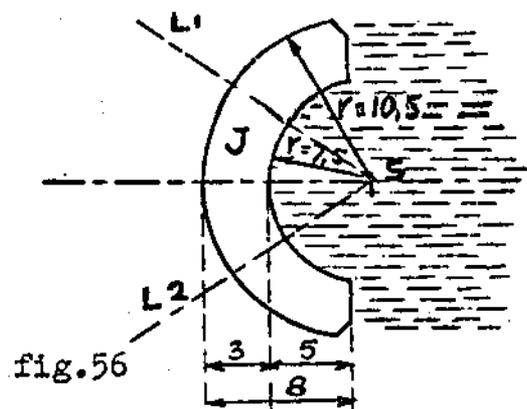


fig.56

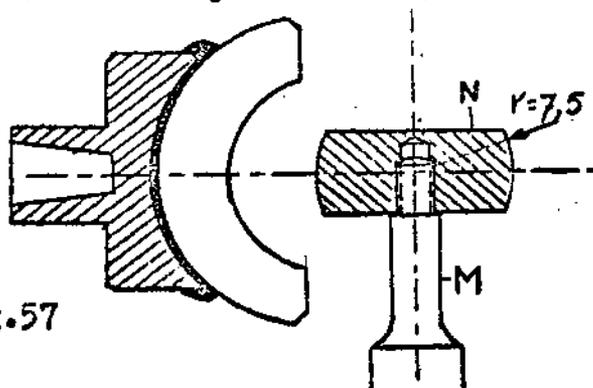


fig.57

rodinha, feita de ferro fundido, bronze ou latão, é montada num mandril M que por sua vez será fixado num tórno ou em qualquer outra máquina. Devemos acrescentar que esta rodinha lapida muito mais rapidamente do que um molde. Chegando a uma profundidade de 4,5 mm, passamos para um molde (isto é, lapidamos sobre um molde convexo), procurando centralizar o mais possível a cavidade, lapidando até 4,8 mm de profundidade com pó nº 220. Neste momento, é aconselhável retirar a peça do suporte, limpar e medir sua espessura. Assim, ficamos sabendo que no centro a espessura apresenta, digamos, 3,18 mm. Sobre os lados, procuramos a parte mais espessa, que marcamos com um lápis. Colando a peça novamente no suporte, medimos a parte central (compare fig.48M). Suponhamos que temos : 14,56 mm. Apresentando 0,18 mm a mais, - será :  $14,56 - 0,18 = 14,38$  mm, lapidando com pó nº 3F e muita atenção para a centralização, que poderá ser controlada sem descolar a peça. Lapidamos até a medida de 14,40 mm com pó nº 1000 e até 14,385 mm com o nº 3000. Com a lupa controlamos especialmente o lado desta superfície que fica irregular durante muito tempo ! sendo difícil de lapidar, pois pela espessura do carborundum mais "grosso", ela apresentava outro raio de curvatura. Após o polimento com um anel de pixe tipo LP + 5B + 2C, usando óxido de zircônio (rotações da máquina de 200 a 400 rpm), facetamos os cantos. O diâmetro da peça, tendo um diâmetro de 21mm, será facetada num molde de  $r = 0,7 \times 21 = 14,7$  ou seja, de - 14 até - 15,5 também servirá. Se necessário, faceta-se igualmente o lado interno, sendo que neste caso, não com um molde de 0,7 x o diâmetro, pois o canto interno já é quase 45°. Usamos então - um molde com cerca de 15 mm de raio. Após estas operações, descolamos a peça, limpando com éter e algodão e lapidando a face plana com um pó muito fino, 1000 ou 3000, para que a mesma (fôca) fique bem branca. Lava-se finalmente com água, retirando - qualquer grão de pó de carborundum e secando com algodão.

\* \* \* \* \*  
\* \* \*  
\*

3ª) Um pequeno espelho com 20 mm de diâmetro e cêrca de um metro de raio de curvatura negativo (fig.58)

Para esta curvatura, devemos usar no minimo um esferômetro com  $D = 40$  mm. Lapida-se sete discos de uma só vez para se obter uma superficie com 60 mm de diâmetro. Dois discos de vidro com 60 mm podem ser lapidados um sobre o outro como indicado na fig.59. Controlanda e inver-

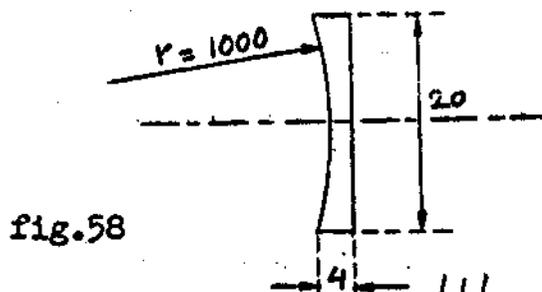


fig.58

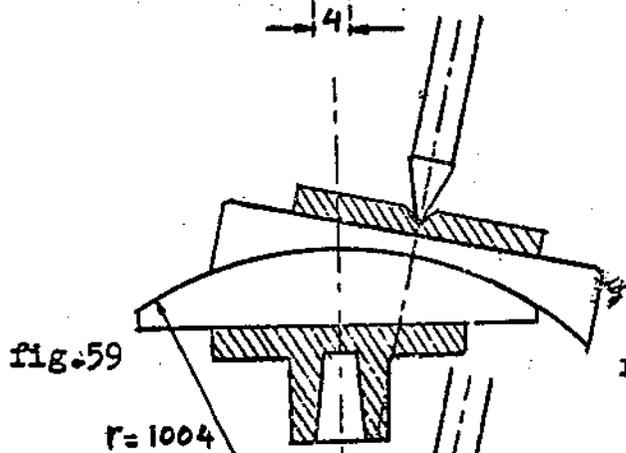


fig.59

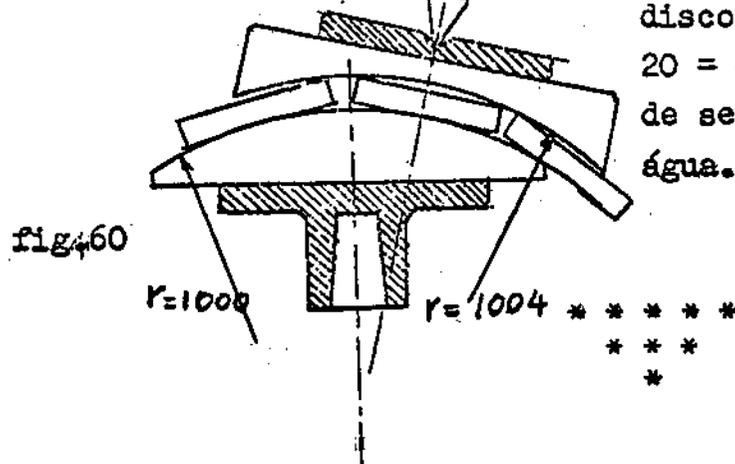


fig.60

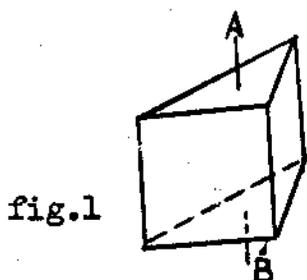
tendo a posição de acôrdo com as figuras 29 e 31, chegamos rapidamente a  $\pm r = 1000 + 4 = 1004$ , com pó nº 3F ou 500. Em seguida, colamos os sete discos de  $D = 20$  mm e  $m = 4$  na placa negativa com  $D = 60$  e  $r = -1004$  mm. Repetindo a operação, temos a fig.60 com  $r = 1000$ . Durante o polimento, podemos controlar com o aparelho de Foucault. Resta apenas facetar os discos num molde de  $r = 0,7 \times 20 = -14$  mm. O lado fôscs pode ser limpo com pó nº 3F e água.

\* \* \* \* \*  
\* \* \*  
\*

## II PARTE

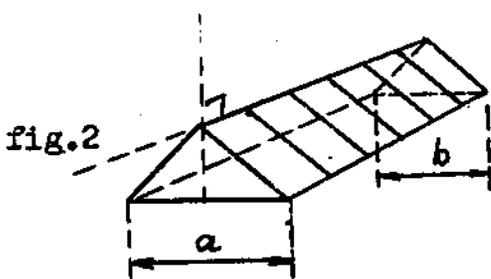
### LAPIDAÇÃO E POLIMENTO DE PRISMAS

Depois de serrar os bloquinhos, passemos à lapidação - plano paralela das superficies que não serão usadas (faces cegas) que são as faces A e B num prisma simples de  $45^\circ$  e  $90^\circ$  (fig.1).- Podemos lapidar uma das faces de todos os prismas à mão (não é -



econômica confeccionar somente um). Ten- do esta face plana, cola-se o mesmo numa placa de metal ou de vidro, lapidan- do-se a face oposta e controlando tanto a espessura como o paralelismo. Conse- guindo isto, colamos todos juntamente -

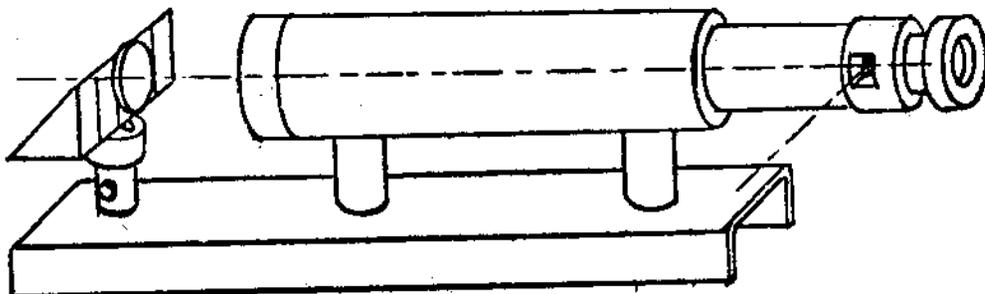
com as faces lapidadas, fazendo barras de vidro na forma prismá- tica (fig.2), de tal maneira que os três vértices formem ângulos



retos com as faces coladas. Estas - barras podem ser lapidadas à mão sô- bre um disco de ferro fundido com - carborundum e água, controlando-se - por enquanto com um esquadro e um - transferidor de ângulos comum. Duran- te este processo, procuramos que a -

largura a seja igual a b, evitando defeitos piramidal ou azimu- tal. Chegando ao pó de carborundum nº 3F, iniciamos a medição - com um pequeno telescópio de autocolimação dotado de um dispositi- vo ajustável para controlar os ângulos mais rigidamente (fig.3)

fig.3



Os prismas são colocados sobre três pontas de ágata ou quartzo. Sobre o lado que forma um ângulo de  $90^\circ$ , colamos uma pequena placa plana paralela cuja finalidade é refletir os raios do telescópio. Controlados desta maneira, mas com todas as faces fôscas, prepara-se as barras para a próxima operação que é o polimento. Para este fim, colocamos as barras sobre uma placa de vidro ou metal bem plana (aplicando um pouquinho de vaselina) de tal modo que entre as barras fique um intervalo de cerca de um milímetro, colocando ao redor bloquinhos de vidro comum (formando um conjunto circular) tendo ao centro os prismas (fig.4). O diâmetro deste conjunto é tal que um

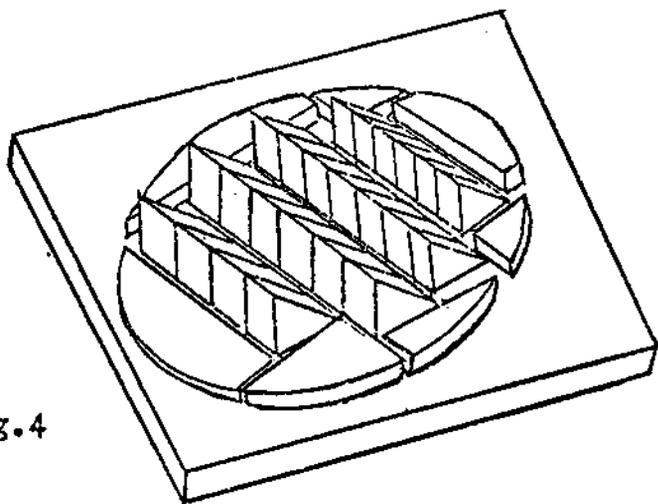


fig.4

anel de metal possa ser colocado ao redor, meio ajustado. Em seguida, vamos gesso em pasta e colocando no meio uma placa de latão com um furinho no centro onde será aplicado a ponta da máquina. Após alguns minutos, não escorrendo mais o gesso,

levantamos este anel, calçando-o com três palitos de fósforo. Desta maneira, o anel não tocará o disco de lapidação e o disco de polimento (veja fig.5). Nota-se que a primeira camada de gesso deverá ser bem rala para encher as cavidades entre os prismas

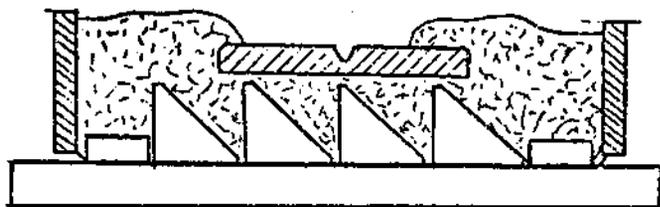


fig. 5

e as placas de vidro auxiliares. Depois, aplicamos uma outra camada de gesso, desta vez mais espessa para suportar a plaquinha de latão, sendo que esta não deverá estar apoiada sobre os prismas. Esperamos

o endurecimento do gesso pelo espaço de uma ou duas horas, retirando o bloco de sobre a placa com um movimento lateral, deslizando o mesmo sobre a vaselina. Retiramos a vaselina, lavando -

esta face com éter. Estando o gesso completamente endurecido, molhamos o bloco com água ( a fim de que o mesmo não absorva a água misturada com o carborundum) e lapidamos ligeiramente com pó nº 3F e em seguida com 600 e 1000. Asseguramos assim que todas as faces dos prismas se encontram num plano só. Novamente lavado com água, inicia-se o polimento sobre um disco de pize e breu conforme explicado na pág.18. Terminada esta operação, retiramos os prismas do gesso com muito cuidado para não danificá-los. Primeiramente, retiramos as placas de vidro auxiliares (p.ex., com uma chave de fenda), depois o anel e finalmente os prismas. Com o telescópio autocolimador, controla-se os ângulos e eventualmente lapida-se as faces ainda fôscas, reajustando um pouco. Repetimos o processo até que todas as faces úteis estejam polidas. Antes de descolar as barras, podemos aproveitar esta orientação para facetar pelo menos os três vértices (fig.6). Des-

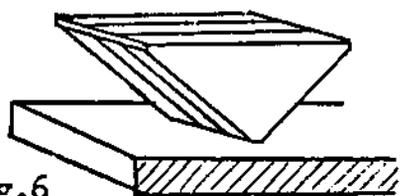
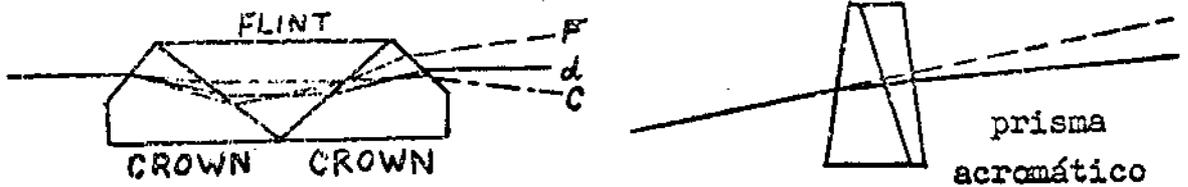
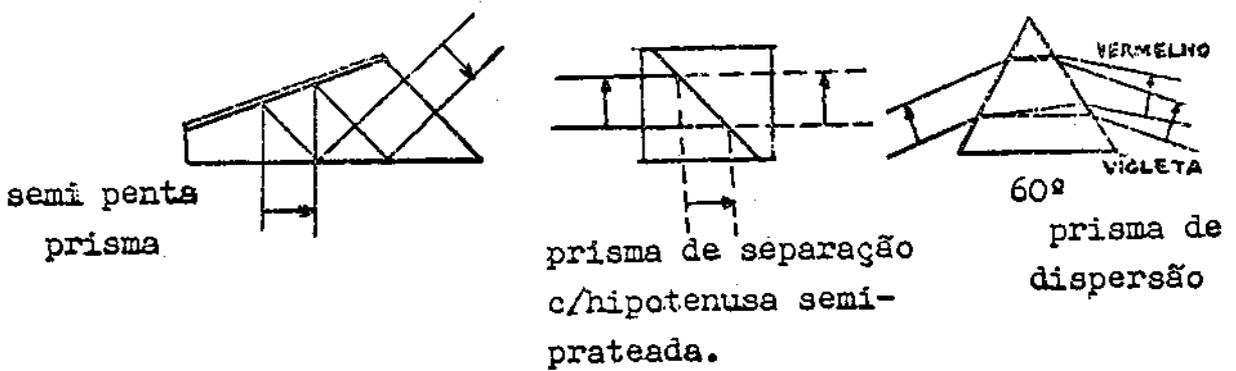
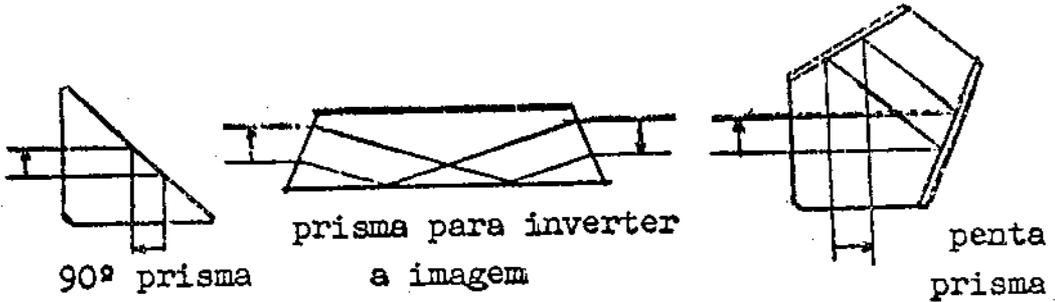


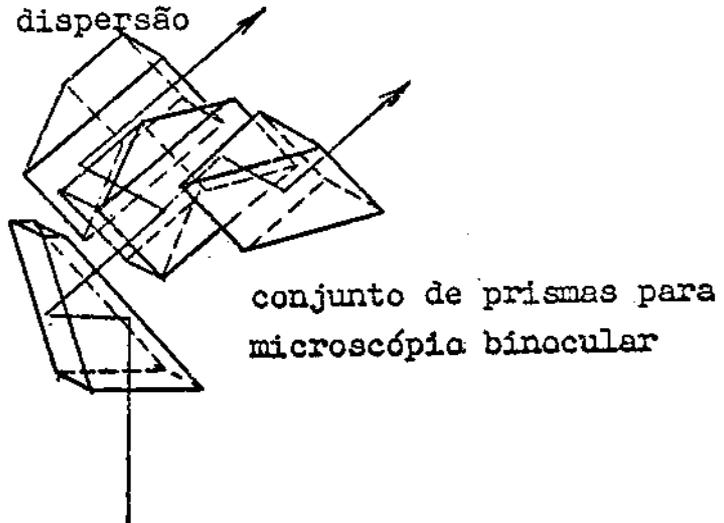
fig.6

colando, facetamos as arestas restantes. Lembramos que é necessário muita habilidade para conseguir que estas pequeníssimas facetas fiquem paralelas ! Controlando os prismas um a um com o telescópio em autocolimação, podemos selecionar aqueles que por coincidência aproximam-se o mais possível dos ângulos de 45° e 90°. Os que apresentam certas diferenças nos ângulos, fora das tolerâncias, poderá ser lapidado novamente ou usado para outros fins menos exigentes. Se as faces devem ser muito planas, controlamos durante a lapidação o bloco com um bom esferômetro e durante o polimento com um plano padrão na luz monocromática. Existe também um grande número de fenômenos para controlar os ângulos com uma precisão bem elevada e às vezes sem utilizarmos qualquer instrumento. Também existem prismas com ângulos padrão que permite a comparação de ângulos por meio da interferência. O número de diversas formas de prismas é considerável. Alguns deles, os mais comuns, estão representados na página 57.

DIVERSOS TIPOS DE PRISMAS



conjunto de prismas de vista reta para linha  $d$  e grande dispersão

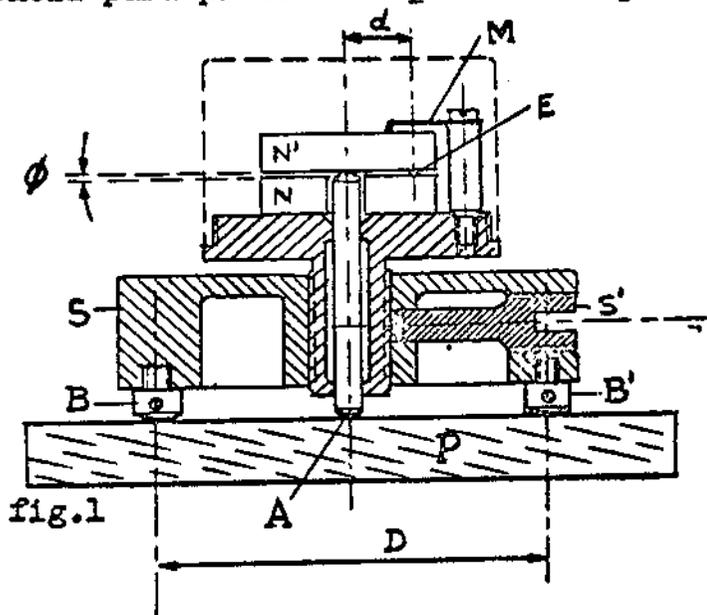


### III PARTE

#### Esferometria e interferometria das superfícies planas e curvas.

##### A) Superfícies planas :

A confecção de uma superfície plana, inicia-se com a lapidação, trabalho que permite com certa facilidade a mudança das curvas. O problema principal não é "fazer", mas o importante é - medir ou controlar esta operação. Não sendo possível tirar material mais do que uns 5 microns pelo polimento, um disco ou placa de vidro lapidada não deve apresentar desvios maiores da ordem de alguns microns ! Os meios mecânicos dificilmente alcançam esta precisão e os meios óticos não são aplicáveis, embora aqueles mencionados nas páginas antecedentes. Devemos ressaltar ainda - que uma placa plana lapidada (fôscas) não apresentará anéis de - Newton em contacto com o padrão polido. Dos vários métodos para medir com certa precisão, trataremos especialmente um deles. O - instrumento representado na fig.1, é um esferômetro de interfe - rência para placas não polidas. A placa P sob contrôlo suporta -



três "pontas" de aço temperado e retificado (B-B' B'') um bloco S. O pino A deste instrumento suspen - de a placa N' de um in - terferômetro pequeno N-N'. A placa N' gira sobre pe - quenos calços E contra a mola M. O ângulo  $\phi$  é ze - ro quando P em observa - ção é plana. Visto de ci - ma, na luz monocromática (lâmpada de sódio), ob -

serva-se linhas de interferência entre as placas N-N' deste. -

interferômetro. A ajustagem deste instrumento é feita por intermédio da rósca fina entre as partes S e C, sendo facílima e podendo ser feita durante o trabalho, pois lapidando dois discos de vidro, um sobre o outro, um deles deverá ser côncavo e o outro convexo. Logo, medindo a diferença com este instrumento, as placas não são planas ! Ficando planas, aproveitamos para ajustar o aparelho (usando as próprias placas), fixando depois S e C por meio de um parafuso de aperto S'. Como  $D/2$  é da ordem de 40 mm e  $d$  somente 10 mm, a precisão deste instrumento é suficiente para fazer placas para interferômetros de Fabry e Perot. Uma vez polida, medimos com um plano padrão e uma lâmpada de sódio que é sempre a maneira mais conveniente. Existem diversos processos para controlar superfícies planas, assim como para as superfícies curvas.

#### B) Superfícies esféricas :

Para determinar o raio de curvatura de uma bola, basta medir o diâmetro e dividir por dois, sendo o melhor método existente. A vantagem principal é que assim dividimos os defeitos do instrumento usado para esta determinação também por dois. Logo, um micrômetro com precisão de 0,01 mm pode servir para determinar o raio de curvatura de uma bola com precisão de 0,005 mm ! Neste caso não é necessário que tenhamos uma bola inteira, pois este modo é aplicável desde que o corpo em observação passa a ser uma meia bola ou mais. Ao mesmo tempo, temos um meio para confeccionar uma curva padrão que poderá servir por sua vez para controlar outras curvas ou mesmo outros instrumentos para medir curvas. Tais instrumentos denominam-se "esferômetros" que funcionam sob os mais variados princípios imagináveis. Trataremos aqui apenas alguns:

1º) Esferômetro de anéis ou esferômetro de contacto (fig.2).

Sobre uma superfície esférica de uma lente L, é colocado um anel C com diâmetro D. No centro deste anel, um pino S toca igualmente à superfície. É claro que tanto mais curva esta superfície, tanto mais este pino ficará com o ponto fora do plano deste anel, sendo que com superfícies convexas, o pino encontrará-se -á do outro lado deste plano do que com superfícies côncavas. A medida  $g$  obtida e o conhecimento de D é suficiente para calcular

o raio de curvatura  $R$ . Esta medida  $m$  pode ser determinada com um relógio medidor ou com um parafuso micrométrico. Em todo caso, -

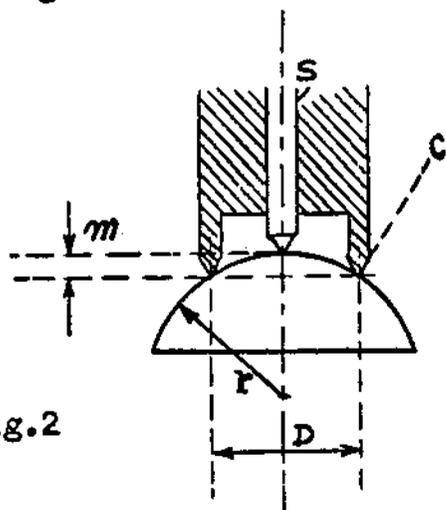


fig.2

acontece que nós determinamos  $m$  com estes dispositivos em valor linear, p.ex., em milímetros ou microns. - Porém, sendo  $D$  fixo, o raio de curvatura não é uma função linear de  $m$ . A relação entre  $m$  e  $r$  (sendo  $D$  fixo) é dada pela fórmula :

$$r = \frac{(\frac{1}{2} D)^2}{2 m} + \frac{m}{2},$$

conhecida como fórmula do esfêrometro. A consequência técnica é a seguinte : ou calculamos cada vez  $r$  por esta fórmula sabendo  $m$  e  $D$  ou então faremos uma tabela de esfêrometro baseado num certo valor para  $D$ , representando a curva gráfica de  $m$  contra  $r$  ! Operação um tanto laboriosa no principio mas extremamente conveniente na oficina. O problema é medir  $m$  com bastante precisão. Isto aparentemente não é muito difícil, mas  $m$  depende também de  $D$  o que significa que primeiramente devemos determinar  $D$  com muita precisão. Como vemos na fig.2, o valor para  $D$  não pode ser medido com micrômetros, porém  $D$  poderá ser determinado por intermédio de uma curvatura conhecida. Voltamos então para a nossa curva padrão ! Para fabricar um esfêrometro deste tipo, o caminho é o seguinte : primeiramente confeccionamos um hiperhemisfério com um tamanho conveniente para o nosso esfêrometro e uma tabela para o valor  $D$  exato ou a escolher, digamos, uma tabela de  $r$  contra  $m$  para  $D = 20$  mm. Medimos que mais do que uma meia bola apresenta um diâmetro de 35,128 mm. Temos então para o raio de curvatura  $35,128/2 = 17,564$ . Em nossa tabela, podemos ver que  $m$  neste caso deve ser 3,1245 mm. Em seguida, colocamos o nosso esfêrometro em contacto, experimentando até que o mesmo indique para  $m = 3,1281$  mm. Assim, sabemos que o anel é um pouquinho maior. Lapidando levemente o cone  $C$  (fig.2), o anel diminuirá, prosseguindo cuidadosamente com esta operação até conseguir que o valor coïn-

cida perfeitamente com o calculado pela tabela. Sendo o anel formado pelo corte de dois cones positivo e negativo, temos um meio para aumentar ou diminuir à vontade o diâmetro deste anel. Naturalmente, temos um desgaste durante o uso com um esferômetro baseado neste princípio. Por isso, devemos controlar periodicamente o diâmetro  $D$  do anel. A precisão deste esferômetro entretanto não é muito alta. Em primeiro lugar, não é possível confeccionar um anel absolutamente afiado, ficando o "fio" um pouco arredondado - ou de qualquer forma, deformado. Segundo, o ponto do pino não se encontra perfeitamente no centro do anel e também temos uma pequena deformação da superfície a medir, em virtude da pressão do anel e do pino sobre a mesma. Porém, uma grande vantagem é devido ao fato de que podemos medir também superfícies não polidas ou transparentes, p.ex., os moldes. Uma solução em relação à precisão, poderá ser o uso de um anel maior, sendo naturalmente limitado pelas dimensões das lentes (diâmetro). Então, confeccionamos vários anéis diferentes e para cada um, calculamos uma tabela ! Para controlar a deformação do "fio" do anel, devemos medir duas curvas iguais, uma positiva e uma negativa (bastante forte) e controlar se  $m$  apresenta o mesmo valor mais (+) e menos (-) para ambos os lados do zero (zero determinado pelo plano padrão) ou, por um ponto de referência. A deformação da superfície deve ser evitada, aplicando o mínimo de pressão durante o contacto.

2º) Um segundo grupo de esferômetros é baseado no princípio do reflexo (somente útil para superfícies polidas). Por exemplo, o esferômetro de Arnulf (fig.3).

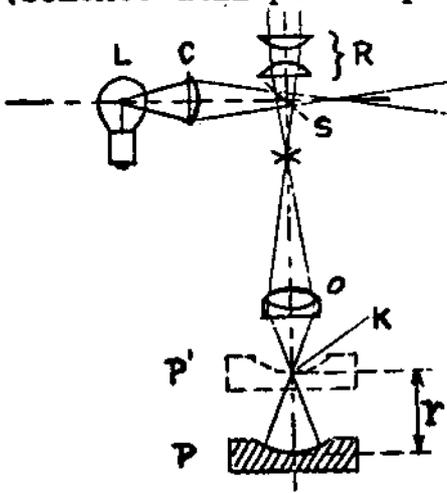


fig.3

ferômetro de Arnulf (fig.3). O instrumento é composto de uma lâmpada L, condensador C, espelho S (semi-transparente), objetiva O e ocular R. Uma marca sobre S é focalizada quando um "objeto" está situado na posição P ou P'. O deslocamento  $r$  é o raio de curvatura do objeto situado em P e -

no ponto focal do microscópio. Notamos bem que os raios refletidos voltam à mesma direção somente nestas posições. Este processo é aplicável também para superfícies convexas desde que o raio de curvatura não seja superior a distância focal livre da objetiva. A precisão é de cerca de 0,1%.

### 3º) Determinação do raio de curvatura pela interferência.

Num caso particular, onde  $r = \infty$ , podemos usar um plano-padrão em contacto com a superfície sob contróle (polida) na luz monocromática ou mesmo na luz branca. Pequenas diferenças manifestam-se pelos anéis de Newton. Usando luz comum e sendo a diferença entre as superfícies maior, observa-se com visibilidade até o anel nº 8, pois contando do ponto em contacto ótico, os anéis coloridos de ordem superior ficam rapidamente tão fracos que escapam à observação. Olhando por um filtro vermelho, este número eleva-se a cerca de 20. Com luz quase monocromática (p.ex., com o doublet de sódio), contamos até 1000 aproximadamente. Entretanto, certas fontes luminosas emitem luz mais monocromática e, assim, a linha vermelha de uma lâmpada de cádmio chega até 500.000 ou mais ! Desta maneira, é possível comparar curvas perto de  $r = \infty$  e com bastante espaço entre a placa padrão e a superfície a controlar. Voltando ao contacto ótico na luz monocromática, temos um exemplo numérico : um plano padrão sobre uma superfície quase plana, indica um ponto ou uma pequena área escura no centro (contacto ótico) e três anéis de Newton. A luz usada monocromática é a linha espectral  $g$  de uma lâmpada de mercúrio  $\lambda_g = 0,4358\mu$ . O diâmetro do terceiro anel é justamente 60 mm. Para calcular o raio de curvatura, usamos a fórmula do esfesômetro, porém substituindo  $m$  para  $n \frac{\lambda}{2}$ , sendo o  $n$  o número de anéis e  $\frac{\lambda}{2}$  a metade do

comprimento de onda :

$$r = \frac{(\frac{1}{2} D)^2}{2 (n \frac{\lambda}{2})} + \frac{n \frac{\lambda}{2}}{2}, \text{ sendo o segundo termo}$$

desprezível para superfícies quase planas, ficando:  $r = \frac{(\frac{1}{2} D)^2}{n \lambda}$

Com  $\lambda$  em milímetros, temos :  $r = \frac{900}{0,0013074} = 688400$  mm ou 688,4m.

O raio é positivo (contacto ótico - uma pequena área escura no centro com anéis). Se o raio fôsse negativo, observaríamos o contacto na forma de um anel escuro com anéis concêntricos para dentro. O sinal, positivo ou negativo, é determinado mais facilmente com luz branca para distinguir o contacto dos anéis, pois neste caso, o contacto é escuro e os anéis coloridos. Para controlar suas superfícies curvas, usa-se uma curva padrão. Uma curva padrão chama-se "vidro de contacto". Para confeccionar uma grande série de lentes de precisão elevada, devemos primeiramente fazer um par de vidros de contacto. Um deles poderá ser um hiperhemisfério, no caso em que o raio de curvatura não seja superior, digamos, a 20 mm. Lapidamos com moldes aproximadamente um pouco mais do que uma meia bola de vidro e uma parte negativa. Lapidando em seguida estas duas peças juntas, consegue-se uma meia bola com alguns microns a mais, dando o polimento com muito cuidado. Depois de pronta, polimos a parte negativa, controlando-se diretamente com a meia bola. Estando ambas polidas, casando uma dentro da outra com bastante precisão (no máximo alguns anéis de Newton), usamos daí por diante a parte negativa para controlar a série de lentes em produção. Próximo à máquina de lapidação, encontra-se convenientemente uma lâmpada de sódio para uso geral. Embora para medir as diferenças na curvatura, usamos o vidro de contacto especialmente para observar as deformações da esfera perfeita. Tais deformações, formam-se comumente nos trabalhos à máquina, sendo por isso o trabalho feito totalmente à mão com uma precisão muito superior neste tocante. Com raios de curvaturas superior a 20 mm, os vidros de contacto são "padronizados" por intermédio de um bom esferômetro universal. Para a confecção de vidros de contacto com raio de curvatura negativo superior a 500 mm, podemos fazer uso de um aparelho de Foucault ou mesmo um plano padrão, contando os anéis para curvas maiores ainda e para curvas positivas e negativas.

\* \* \* \* \*  
\* \* \*  
\*

## NOTAS TÉCNICAS

### I) FILTROS :

As fábricas de vidro ótico oferecem também vidros coloridos com certa curva espectral de absorção. Tais vidros são usados para a fabricação de "filtros". A lapidação e polimento não apresentam o menor problema, porém é possível obtermos filtros da seguinte maneira : existem certos colorantes como o "Sudan rot B", - "Azul Ceres. GN" e muitas outras substâncias orgânicas, as quais, - são solúveis nos dissolventes orgânicos como p.ex., o xileno, de maneira que, por intermédio destes compostos podemos colorir o - Bálsamo de Canadá ! Colando dois discos de vidro, plano paralelos, com este Bálsamo colorido, consegui uma série de filtros para selecionar as linhas espectrais do hidrogênio. Assim, temos bastante luz monocromática para usar com um refractômetro de Pulfrich, - coisa extremamente útil para o nosso ramo de ótica, uma vez que - não encontramos facilmente no mercado estes tipos de filtros.

\* \* \*

### II) Colagem com Bálsamo do Canadá :

O Bálsamo do Canadá é um tipo de breu, substância xaroposa encontrada na natureza, de origem vegetal e colorido ligeiramente em amarelo claro. Praticamente incolor em camadas finas. - Apresenta cheiro aromático agradável e é uma mistura de certo número de compostos sólidos de estrutura molecular insaturada, dissolvido numa mistura de óleos e essências aromáticas líquidas e - semi-voláteis. Aquecendo-o, desprende-se vapores com cheiro fortemente aromático, restando um óleo (breu) que, resfriado, é um sólido quebradíssimo podendo ser triturado até um pó bem fino de - côr amarelo e sem cheiro à temperatura normal. Tanto semi líquido como sólido, é solúvel nos dissolventes orgânicos como : benzeno, tolueno e xileno. No álcool absoluto, dissolve-se uma parte, ficando um precipitado amarelado. Existe no mercado o Bálsamo do Canadá artificial, feito com os mesmos ingredientes, apresentando - ainda o mesmo aspecto e cheiro, sendo apenas um pouco mais puro e de mais fácil manipulação, assim como menos amarelado, Desejando

o Bálsamo mais líquido, diluimos com o xileno que dissolve todos os ingredientes, sendo também o menos volátil dos compostos mencionados atrás. Para obtermos mais espesso, devemos esquentá-lo um pouco, vaporizando o dissolvente. Para colar lentes e prismas, a consistência deve ser tal, chegando ao ponto sólido e não mais do que isto ! Um contróle prático baseia-se no seguinte : num cadinho de porcelana, esquentamos lentamente um pouquinho desta substância (com chama baixa, pois à mesma é inflamável). No momento em que observamos o despreendimento de neblinas do interior do cadinho, tiramos com um fio de cobre bem limpo, uma pequena quantidade do material (gôta) e fazendo-a rolar entre os dedos. Se a mesma não apresentar uma certa aderência (ficando endurecida), sustamos o aquecimento. Não se obtendo o resultado acima, repete-se a operação. Não é necessário que a bolinha de bálsamo fique completamente endurecida a ponto de se reduzir a pó. Devemos, isto sim, evitar um aquecimento em demasia, a fim de que o dissolvente não se volatilize totalmente, uma vez que necessitamos de uma certa elasticidade entre as lentes ou entre os elementos que serão colados. Evitamos também um calor excessivo para não colorir o bálsamo em amarelo demais. Vejamos um exemplo de colagem, no caso, dois discos de vidro planos (fig.A) que é a operação mais

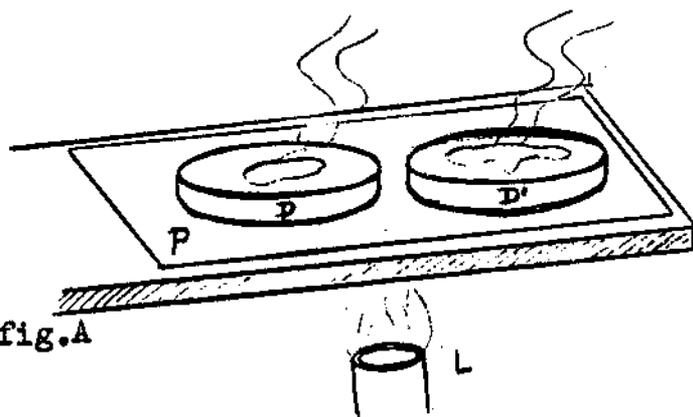


fig.A

simples nesta parte : sôbre um bico de Bunsen com chama bem pequena L, colocamos uma chapa de latão ou cobre sustentada por um tripé. Primeiramente, esquentamos o papel P para evitar condensação de água sob os discos de vidro D-D'. Assim feito, coloca-se

os discos e sôbre os mesmos uma gotinha de bálsamo. Aquecendo, este espalha-se pela superficie dos discos. Neste momento, observamos a existência ou não de bulbos de ar dentro do bálsamo. No caso da existência dos referidos bulbos, retiramos o disco com uma pinça e passamos o mesmo por sôbre a chama, estando a parte com o bálsamo voltada para baixo. Os bulbos rompem-se, desapare-

cendo imediatamente. Após isto, deixamos esfriar um pouco, colando depois os discos e tendo o cuidado para não produzir novamente os bulbos de ar. Em seguida, aquecemos ligeiramente e fazemos um movimento rotativo do disco superior, por intermédio de uma rólha calcada sôbre a sua superfície. Neste particular, observa-se que a rólha adere melhor ao vidro, além de ainda não conduzir o calor. Girando lentamente, controla-se a respectiva uniformidade do bálsamo por tóda a superfície (entre as faces) e regulando igualmente a quantidade de calor, de tal maneira que o bálsamo não fique muito liquido. Finalmente, podemos retirar o excesso existente nas bordas. Verifica-se a centralização dos discos. O resfriamento deve ser lento para evitar tensões. Totalmente frio, podemos limpar com álcool ou éter. As lentes positivas e negativas, são coladas pelo mesmo processo, colocando apenas o bálsamo na parte negativa e no último momento sôbre a parte positiva. Tanto maior a área de colagem, mais liquido deverá ser o bálsamo. Lentes pequenas, geralmente colamos na montura. Depois de fazer o contacto entre as duas gotinhas nas lentes, coloca-se às mesmas na montura M (fig.B), girando uma delas com uma plaquinha de cortiça C presa

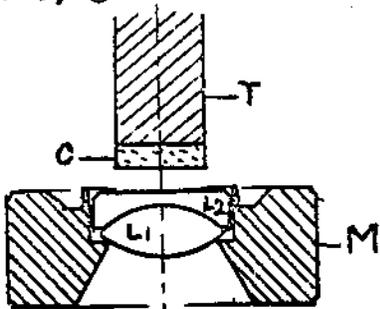


fig.B

num bastão de metal T, colada com goma laca. No caso de lentes pequenas com grande precisão na centralização, etc, esquentam-se a montura num mandril especial ajustado num tórno em movimento. Tocando com um palito ou mesmo um fio de cobre, podemos orientar as lentes retangulares ao eixo com

grande facilidade e precisão. Processo este usado necessariamente no fabrico de objetivas para microscópios, etc (compare fig.49 à página 46). Em certas ocasiões, aparece um trabalho que consiste na colagem de prismas com bálsamo. Na fig.7, p.ex., o prisma de separação com hipotenusa semi prateada (veja pág.57). Para a manipulação é muito útil uma pinça com plaquinhas de cortiça coladas nas pontas com goma laca. O bálsamo não é utilizado somente na colagem de lentes e prismas, mas também no terreno da microscopia, para incluir objetos microscópicos entre a lâmina e a lamínula. -

Neste caso, não podemos aquecer o conjunto, donde, devemos esperar a vaporização completa do dissolvente à temperatura normal.

\* \* \*

## E S P Ê L H O S

Embora existindo várias formas de espelhos como : plano côncavo, etc, podemos dividi-los nas seguintes classes :

- a) Espelhos superficiais e cobertos;
- b) Espelhos fechados e semitransparentes.

Quanto ao tratamento de espelhação, também dividimos em duas partes :

- a) Prateação quimicamente
- b) Prateação fisicamente (vaporização no vácuo de metais como : alumínio, ródio, cromo, platina, etc.

Trataremos inicialmente o processo químico : o vidro deve rá estar absolutamente limpo e para este fim, usamos ácido nítrico de 99,7% (ácido nítrico absoluto) ou uma mistura de clorato de potássio com ácido sulfúrico de 80-85% (não mais !). O vidro a pratear, encontra-se num cristalizador ou recipiente semelhante, coberto com outra placa de vidro. Sobre o vidro (a ser prateado), coloca-se uma camada fina de clorato de potássio e em seguida um pouco de ácido sulfúrico, espalhando com um bastão de vidro. O ácido clórico formado ( $\text{HClO}_3$ ), decompõe-se em água, oxigênio e dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), composto muito agressivo que não deixa qualquer molécula de combustível como : graxas, gorduras, etc. Como medida de precaução, não devemos deixar excesso destes resíduos, a fim de evitar uma explosão ! Por este motivo, não devemos usar o ácido sulfúrico acima da porcentagem mencionada. Depois de um minuto, a camada desta mistura é cristalizada pela formação de hidrosulfato de potássio e podemos lavar a plaquinha com água, mas sem levantá-la acima da superfície da água e sem tocar com qualquer material orgânico (palito de madeira ou pinças com pontas de cortiça). Nesta lavagem, devemos observar atentamente para que todo o ácido e o cloro ionogeno desapareça do cristalizador e que deixamos o vidro a pratear abaixo do nível

d'água. O banho de prateação é composto de uma parte que contém a prata numa solução especial. É uma parte que denominamos "reductor". O reductor é composto de 70 gramas de dextrose anidrico ( d-glucose), 110 gr de álcool etílico e 3 gr de ácido nítrico de 50-60% e finalmente água destilada até 1000 ml. Será ótimo se tiver sido preparado há mais de três meses, podendo ser guardado num frasco com tampa esmerilhada por tempo indefinido. O outro banho contém amonia de 25° (5 ml para "começar") com 5 ml de hidróxido de potássio (não soda cáustica !) de mais ou menos 10% e tanto nitrato de prata até que se forme uma solução ligeiramente marrom - sem precipitado (ponto crítico como titração). Este banho não poderá ser guardado mais de meia hora, devendo após o processo de prateação ser derramado pela pia, pois com o ressecamento poderá advir uma violenta explosão ! Obedecendo as regras, não corremos o menor perigo. Misturando quantidade iguais dos banhos, a mistura colore-se em pardo amarelada, passando a escuro e depois a preto, iniciando-se a prateação. Retiramos o resto de água do cristizador, vertendo em seguida alguns milímetros do banho um e do banho dois em nossa plaquinha de vidro. Agitando um pouco, consegue-se rápida mistura. Depois de preto, o liquido fica na cor cinza e finalmente um pouco transparente com floquinhos de prata esponjosa. Nesta fase, não se presta mais e podemos lavar o espelho com água comum e novamente com água destilada. O processo de prateação poderá ser repetido duas ou três vezes, mas neste caso, aplica-se primeiramente uma quantidade do banho com a prata e depois o reductor ou melhor : mistura-se os dois liquidos num Becher e depois no espelho. O reductor contém ácido nítrico em quantidade ridícula, mas o suficiente para destruir o espelho. Necessitando um espelho semi transparente, o caso dependerá de nossa habilidade, pois no momento em que a camada de prata alcança a espessura desejada, abrimos o bico de água sobre o cristizador para "freiar" a reação no justo momento ! Geralmente os espelhos semipratedos devem ser lapidados e polidos recentemente, pois em outro caso, podemos esperar uma porção de manchas mesmo que ele tenha sido bem limpo anteriormente. Certas mudanças na superficie pode - acelerar o processo de prateação cataliticamente. Em todo caso, -

depois da última prateação, lavamos e secamos o espelho. Por meio de um bastão de vidro, levanta-se o mesmo acima do nível d'água e na posição vertical tanto quanto possível. Encostado nesta posição, retiramos a água que se acumula ao pé com um algodão previamente molhado, secando finalmente por si mesmo. Assim preparado, usamos um espelho semi transparente ou eventualmente coberto com outra placa de vidro colada com Bálsamo do Canadá como proteção. Podemos envernizar um espelho coberto com um pincel bem fino e leve. O melhor meio é pintar com tinta à base de nitrocelulose (com pistola para não tocar à superfície prateada). No caso de um espelho superficial, devemos pratear no mínimo duas ou três vezes e depois de cada operação, passamos um algodão sobre a superfície prateada abaixo d'água muito ligeiramente. Assim, tiramos o precipitado de prata sedimentado sobre o espelho. Depois de completamente seco, polimos a superfície com carbonato de cálcio precipitado sobre a palma da mão. Temos assim, rapidamente, um alto brilho sem muitos arranhões. Os espelhos superficiais podem ser protegidos com uma camada muito fina e invisível de verniz. Para este fim, dilui-se verniz incolor à base de nitrocelulose com thinner 1 : 30, filtrando o líquido num frasco bem limpo e tampado com rólha de cortiça. Retiramos deste frasco um pouco de verniz com o auxílio de uma pipeta, sem tocar no cola do mesmo o que ocasionaria a colagem da rólha depois de tampado o vidro. Para "envernizar" o espelho, este último é fixado num suporte na posição horizontal. Num dos lados, esvaziamos a pipeta e inclinando o espelho, o verniz corre por sobre toda superfície. Inclinando mais verticalmente, retiramos com um algodão o excesso de verniz, obtendo desta maneira uma camada regular e muito fina. Geralmente, devemos experimentar este processo até que o verniz diluído seja tal que entre a camada não existe cores de interferência ou anéis de Newton. A camada deverá ser tão espessa que esta interferência é invisível na luz branca, o que quer dizer, umas 8 vezes de meia onda de luz de  $\lambda = 0,6\mu$  ou  $2,4\mu$ , mas digamos para estar seguro, umas 3 a  $5\mu$ . Em todo o caso, é claro que não podemos envernizar espelhos para instrumentos que funcionam com luz monocromática. A prateação também apresenta outras aplicações, como por exemplo :

gravar linhas numa camada muito fina de prata, usando estas linhas como marcas, retículas luminosas, grades de difração, diafragmas ou mesmo como anel de contraste de fase nas objetivas dos microscópios de interferência, etc.

\* \* \*

### ESPELHAMENTO PELA VAPORIZAÇÃO

Certos metais podem ser facilmente vaporizados no vácuo (destilação molecular). No vácuo ( $10^{-6}$  mm/Hg), o vidro fica colocado com a face para espelhar, oposto a um dispositivo de evaporação composto de uma fita de molibdeno dobrada em V entre dois eletrodos de baixa voltagem e alta corrente (1V - 20-30A) conforme a resistência da fita. Dentro desta fita, coloca-se alguns pedacinhos de alumínio ou qualquer metal. Esquentando esta fita pela corrente regulável, até o rubro, o metal funde e evapora-se lentamente e regularmente. O vidro recobre-se com uma camada fina deste metal. A distância entre o filamento e o vidro depende somente do "mean free path" ou seja, o caminho livre médio dentro do vácuo para uma molécula, átomo ou outra partícula sem colidir com a outra, mas também da distribuição angular das partículas de metal. A distância não pode ser muito pequena para grandes espelhos ou então, deve-se usar mais filamentos. Nas instalações industriais, usa-se um dispositivo que recobre o espelho no vácuo durante o aquecimento das fitas de molibdeno, pois neste momento vaporiza-se outras coisas como impurezas, etc, que podem estragar os espelhos expostos durante a primeira fase de tratamento. A vaporização não serve somente para a fabricação de espelhos, mas também é interessante para as chamadas "camadas de  $1/4\lambda$ " aplicadas nas lentes azuis e instrumentos de interferência. Dependendo se estas camadas ultra finas devem diminuir ou aumentar o reflexo, usa-se o fluoreto de magnésio ou sulfeto de antimônio ( $\sqrt{n}$  ou  $n^2$ ), se n representa o índice de material, digo, índice de refração do material do suporte destas camadas. Interessante é o fato que as camadas metálicas feitas por este processo são mais passiva do que se deve esperar do ponto de vista das proprie

dades químicas destes materiais. Entretanto, não quer dizer que não são usadas camadas protetoras de quartzo nos espelhos aluminizados, como quartzo vaporizado em camadas de cêrca de 10 $\mu$  ! As camadas metálicas são geralmente da ordem de 0,01 $\mu$  tanto pelo processo químico como no processo físico. Por exemplo, uma camada de prata apresenta ainda tanta resistênciã elétrica que não é possível de tratarmos estas camadas pelo processo eletrolítico. O método físico tem a vantagem de espelhar localmente, usando diafragmas, onde o efeito catalítico é nulo, de modo que se pode aluminizar até mesmo lucite, gelatina ou celulóide, sendo que este método é aplicado praticamente com todos os metais e vários compostos inorgânicos desde que seja possível manter-se um perfeito vácuo sôbre êles.

\* \* \* \* \*

\* \* \*

\*

TABELA PARA ESFERÔMETRO (D = 6 mm)

<u>m</u>	<u>r</u>	<u>m</u>	<u>r</u>	<u>m</u>	<u>r</u>	<u>m</u>	<u>r</u>
0,00	∞	0,31	14,67	0,62	7,56	0,93	5,30
0,01	450,005	0,32	14,22	0,63	7,45	0,94	5,25
0,02	225,010	0,33	13,80	0,64	7,35	0,95	5,21
0,03	150,015	0,34	13,40	0,65	7,24	0,96	5,16
0,04	112,520	0,35	13,03	0,66	7,14	0,97	5,12
0,05	90,025	0,36	12,68	0,67	7,05	0,98	5,08
0,06	75,030	0,37	12,34	0,68	6,95	0,99	5,04
0,07	64,32	0,38	12,03	0,69	6,86	1,00	5,00
0,08	56,29	0,39	11,73	0,70	6,77		
0,09	50,04	0,40	11,45	0,71	6,69		etc...
0,10	45,05	0,41	11,18	0,72	6,61		
0,11	40,96	0,42	10,92	0,73	6,52		
0,12	37,56	0,43	10,68	0,74	6,45		
0,13	34,68	0,44	10,44	0,75	6,37		
0,14	32,21	0,45	10,22	0,76	6,30		
0,15	30,07	0,46	10,01	0,77	6,27		
0,16	28,20	0,47	9,80	0,78	6,15		
0,17	26,55	0,48	9,61	0,79	6,09		
0,18	25,09	0,49	9,42	0,80	6,02		
0,19	23,77	0,50	9,25	0,81	5,96		
0,20	22,60	0,51	9,07	0,82	5,89		
0,21	21,53	0,52	8,91	0,83	5,83		
0,22	20,56	0,53	8,75	0,84	5,77		
0,23	19,68	0,54	8,60	0,85	5,71		
0,24	18,87	0,55	8,45	0,86	5,66		
0,25	18,12	0,56	8,31	0,87	5,60		
0,26	17,48	0,57	8,17	0,88	5,55		
0,27	16,80	0,58	8,04	0,89	5,50		
0,28	16,21	0,59	7,92	0,90	5,45		
0,29	15,66	0,60	7,80	0,91	5,40		
0,30	15,15	0,61	7,68	0,92	5,35		