UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

JULIO CEZAR FARIA DA SILVA

PROCESSO DE ESMERILHAMENTO, POLIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SHEAR PLATE

Guaratinguetá
2012

JULIO CEZAR FARIA DA SILVA

PROCESSO DE ESMERILHAMENTO, POLIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SHEAR PLATE

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Física da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Física.

Orientador: Marisa Andreata Whitaker

Co-orientador: Alvaro José Damião

Guaratinguetá
2012

Silva, Julio Cezar Faria da
S586p Processo de esmerilhamento, polimento e caracterização de um Shear Plate / Julio Cezar Faria da Silva – Guaratinguetá : [s.n], 2012.
53 f.: il.
Bibliografia: f. 53

Trabalho de Graduação em Bacharelado em Física – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.
Orientadora: Profª Drª Marisa Andreata Whitaker
Coorientador: Alvaro José Damião

1. Cisalhamento 2. Retificação e polimento I. Título

CDU 621.965

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

PROCESSO DE ESMERILHAMENTO, POLIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM SHEAR PLATE

JULIO CEZAR FARIA DA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM FÍSICA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Prof. Dr. Isabel Cristina de Castro Monteiro
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marisa Andreata Whitaker
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Milton Eiji Kayama
UNESP-FEG

Dr. Alvaro José Damião
Co-orientador /IEAv-DCTA

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

JULIO CEZAR FARIA DA SILVA

NASCIMENTO	17.10.1984 – LAMBARI / MG
FILIAÇÃO	José Carlos da Silva Maria do Carmo Faria da Silva
2008/2012	Curso de Graduação UNESP Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Dedicatória

à minha esposa Fátima, pelo apoio, compreensão e comprometimento.

Ao meu pai, José Carlos, por ter me proporcionado uma educação honrosa e digna.

À minha mãe, Maria do Carmo, por me encorajar sempre nos mais variados momentos turbulentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha existência, por me proporcionar pais e irmãos maravilhosos que sempre me apoiaram. Ainda agradeço a Deus por colocar em meu caminho uma esposa honrada, dedicada e companheira, sem ela nada seria igual.

aos meus queridos pais por me proporcionar uma educação moldada nos mais éticos e corretos conceitos. Vocês fizeram toda diferença em minha vida.

à minha orientadora, Prof. Dr. Marisa Andreata Whitaker, pelo incentivo e auxílio no estudo aqui apresentado.

ao Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), pela disponibilização dos equipamentos e laboratórios que foram essenciais à conclusão deste trabalho. Em especial ao meu co-orientador, Dr. Alvaro Jose Damião, pelas instruções, orientações e conselhos que foram importantíssimos no decorrer das atividades experimentais realizadas no IEAv.

à empresa Equatorial Sistemas, pelo fornecimento de bolsa de iniciação científica.

ao Técnico em óptica, Marcos Valentim, pelo auxilio e incentivo, pelas suas dicas e orientações que sempre foram decisivas no desenvolvimento deste trabalho.

Epígrafe

A coragem é a primeira das qualidades humanas
porque garante todas as outras.

Aristóteles

SILVA, F. C. J. **Processo de esmerilhamento, polimento e caracterização de um shear plate.** 2012. 52 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Física) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

RESUMO

Shear plate é uma placa de vidro óptico de faces bem planas e que possuem um pequeno ângulo entre elas. A utilização de um shear plate de qualidade é essencial para a execução da técnica de interferometria do tipo shear, técnica utilizada para avaliar a colimação de feixes de luz. Para garantir a alta qualidade do shear plate, todo o processo de fabricação deve ser minuciosamente inspecionado. Na fabricação, o primeiro passo consistiu na escolha do vidro. O vidro escolhido passou pelos processos de corte, colagem, chanfragem, esmerilhamento e polimento. Cada etapa foi rigorosamente inspecionada. A qualidade do resultado final é extremamente dependente de uma excelente condição inicial oriunda do processo de esmerilhamento, pois o processo de polimento apenas recupera o brilho atuando em pequena escala no desgaste da peça. Respeitando todas as etapas do processo de fabricação, a qualidade da peça evoluiu até certo ponto. O melhor resultado obtido apresentou distância entre pico e vale (PV) de 162 nm, levemente inferior a $\lambda/4$. Esse resultado é considerável, pois as dimensões da peça com relação à dimensões do polidor interferem diretamente nos resultados. Quanto mais próximas estiverem as dimensões da peça e as dimensões do polidor, maior será a dificuldade de controlar as propagações dos erros.

PALAVRAS-CHAVE: Emerilhamento, Shear, Polimento, Chanfragem, Superfície, Caracterização.

SILVA, F. C. J. **Process of grinding, polishing and characterization of a shear plate.** 2012. 52 f. Work Graduation (Graduation in Physics) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Shearplate is an optical glass plate having two flat surfaces and a small angle between them. The use of a high quality shear plate is essential to implement shear interferometric technique . The shear interferometry is a technique used to evaluate the light beam collimation. In order to guarantee the shearplate quality , the complete manufacturing process must be thoroughly monitored. In the manufacturing process, the first step consisted of the glass selection. The selected glass has been submitted to the process of cutting, gluing, chamfering, grinding and polishing. Each phase has been strictly monitored. The quality of the final result depends extremely on an appropriate starting condition, which arises from the grinding process, as the polishing process only recovers the brightness of the part, acting on a small scale on the wearing off of the part, as well as not changing the structured obtained in the grinding process. Respecting all stages of the manufacturing process, the quality of the part has evolved to a good result. The best result obtained showed PV distance of 162 nm, slightly less than $\lambda / 4$. This result is significant because the dimensions of the piece with respect to the dimensions of the polisher what interferes directly in the results. The closer are the dimensions of piece and the dimensions of the polisher, the greater the difficulty in controlling the propagation of errors.

KEYWORDS: Grinding, Shear, Polishing, Chamfering**,** Surface, Characterization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Espectro de transmissão de diferentes tipos de vidro realizado em um espectrômetro Perker Elmer UV/VIS, trabalhando entre 1100 e 190 nm .Nota-se uma melhor transmissão dos vidros ópticos em relação ao vidro comum 20

FIGURA 2 – (a) Dispositivo montado com a peça de vidro sendo aferida por um relógio comparador; (b) visão superficial da montagem..... 23

FIGURA 3 – (a) Anel metálico externo que cerca a peça de vidro 23

FIGURA 4 – Mesa de granito: Referência plana 26

FIGURA 5 – Desenho da ferramenta desenvolvida para a zeragem de pratos 26

FIGURA 6 – Ferramentas para a zeragem de pratos 28

FIGURA 7 – Máquina Logitech com sistema de vácuo para regulagem do prato 28

FIGURA 8 – Politriz. (a) vista frontal, (b) vista lateral 29

FIGURA 9 – Preparação da base do polidor: (a) Colocação do piche sobre o prato; (b) aquecimento para fundir o material (c) prato após o resfriamento 31

FIGURA 10 – Prensagem do polidor: (a) Uniformação com soprador térmico (b) Detalhe da malha de tecido; (c) Polidor depositado Sobre a malha e o granito para a prensagem 32

FIGURA 11 – Observação das franjas: (a) Aparato para medição em processo, (b) Franjas de interferência vistas através de um padrão óptico 34

FIGURA 12 – Tipos de franjas de interferência: (a) Franjas circulares podem ser corrigidas durante polimento, (b) Franjas não equidistantes de difícil correção no polimento, (c) Franjas elípticas e irregulares necessita voltar ao esmerilhamento 35

FIGURA 13 – Interferômetro de Zygo MK TV XP -4500, capaz de realizar Medições e calibrações em planos e paralelos ópticos de Até 100 mm de diâmetro 37

FIGURA 14 – Esquema da circulação do ar condicionado do laboratório 38
FIGURA 15 – (a) placa de vidro óptico BK-7, (b) Ferramenta de corte serra copo 39
FIGURA 16 – (a) Chanfragem com pó mesh # 600 40
FIGURA 17 – Procedimento de zeragem de pratos, (a) Zeragem de prato de 250mm, (b) Detalhes do mecanismo da máquina 41
FIGURA 18 – Polidor revestido com piche nº 73 45
FIGURA 19 – Caracterização via câmara de luz de Ne objetivando a análise das franjas de interferências 45
FIGURA 20 – Gráfico PV x Intervenções 47
FIGURA 21 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo 1151,6 *nm* 47
FIGURA 22 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 168,9 *nm* 48
FIGURA 23 – Gráfico PV X Intervenções 48
FIGURA 24 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 174,6 *nm* 49
FIGURA 25 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 182,8 *nm* 49
FIGURA 26 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 162,4 *nm* 50
FIGURA 27 – Gráfico PV X Intervenções 50
FIGURA 28 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 220,8 *nm* 51
FIGURA 29 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 729,7 *nm* 51
FIGURA 30 – Gráfico PV X Intervenções 51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Propriedades do vidro BK – 7 (Schott) 20
TABELA 2 – Número de Abbe e índice de refração de alguns tipos de lentes 21
TABELA 3 – Valores do mesh e tamanho do grão 25
TABELA 4 – Tipos de piche, propriedades físicas 30
TABELA 5 – Aspecto da superfície observada durante a medição em processo 36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

He-Ne	Hélio – Neônio
UV	Ultra violeta
IR	Infra vermelho
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
IEAv	Instituto de Estudos Avançados
RPM	Revoluções Por Minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	Comprimento de onda	*Nm*
$n_{(d)}$	Índice de refração	
ν	Dispersão, número de Abbe do alemão *Abbezahl*	
PV	Distância Pico-Vale	*Nm*
#	Mesh	*Furos por polegada linear*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
2 MATERIAIS E MÉTODOS **19**
2.1 Descrição do vidro **19**
2.2 Caracteristícas físicas do vidro **21**
2.2.1 Índice de refração 21
2.2.2 Número de abbe 21
2.3 Corte **22**
2.4 Chanfragem **22**
2.5 Colagem **22**
2.6 Gig **22**
2.7 Esmerilhamento **24**
2.7.1 Granulação dos pós abrasivos 24
2.8 Processos e ferramentas responsáveis pela manutenção da qualidade do prato de ferro fundido utilizado no processo de esmerilhamento **25**
2.8.1 Ferramentas para zeragem de pratos 25
2.8.2 Zeragem de pratos 27
2.9 Polimentos **27**
2.9.1 Referências planas 29
2.9.2 Polidores 30
2.9.3 Polidores de piche vegetal 30
2.9.4 Polidores de rayon de viscose 32
2.10 Interferômetro óptico **33**
2.10.1 Medição em processo 34
2.10.2 Interferômetro Zaygo 36
3 Procedimento experimental **39**
3.1 Corte **39**
3.2 Chanfro **40**

3.3-Colagem **40**
3.4 Esmerilhamento **41**
3.4.1 Procedimento de zeragem dos pratos de ferro fundido 41
3.4.2 Esmerilhamento: o processo 42
3.4.2.1 Esmerilhamento grosso 42
3.4.2.2 Esmerilhamento fino 43
3.5 Polimento e caracterização **44**
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **47**
5 CONCLUSÕES **52**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **53**

1 INTRODUÇÃO

Superfícies ópticas de qualidade são empregadas em diversos setores, com especial destaque para o setor industrial. Nos institutos de pesquisa estas superfícies também são muito utilizadas. A aplicação de componentes ópticos de qualidade no setor industrial é de grande importância para o desenvolvimento tecnológico.

Tais componentes são amplamente explorados na medicina, na realização de cirurgias delicadas e precisas. São utilizados no posicionamento de feixes para a solda de estruturas automobilísticas até a leitora de códigos de barras em supermercados. No setor aeroespacial os componentes ópticos de precisão devem obedecer a rigorosos padrões de qualidade.

Atenção especial deve ser dada ao objeto de estudo deste trabalho: o shear plate. Shear plate é uma placa de vidro óptico de faces bem planas e que possuem um pequeno ângulo entre si. A utilização de um shear plate de qualidade é essencial para a execução da técnica de interferometria do tipo shear, que é uma técnica utilizada para avaliar a colimação de feixes de luz.

Para garantir a alta qualidade do shear plate, todo o processo de fabricação deve ser minuciosamente inspecionado. Na fabricação, o primeiro passo consistiu na escolha do tipo de vidro. O vidro escolhido passou pelos processos de corte, chanfragem, colagem, esmerilhamento e polimento. Cada etapa foi rigorosamente inspecionada, atribuindo a cada uma delas um rigoroso controle de qualidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição do vidro

Substância inorgânica homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão: é assim que o manual técnico da Cebrace define a natureza do vidro (PILKINGTON, 2012).

O vidro é um material muito versátil. Pode ser utilizado desde embalagens convencionais a dispositivos ópticos de grande precisão. Dentre as vantagens de seu uso são relacionadas sua transparência, maleabilidade durante a produção, durabilidade e capacidade de ser reciclado. Mesmo os cacos podem ser reciclados, desde que selecionados.

Para a fabricação de componentes ópticos de qualidade é indispensável à utilização de vidros ópticos. O vidro óptico é utilizado na fabricação de lentes de óculos, câmeras, microscópios, telescópios, dentre outros. Para a fabricação desse tipo de vidro, a matéria prima deve ser de grande pureza. Durante o processo de fabricação a matéria prima deve ser manuseada com muito cuidado para evitar qualquer imperfeição que possa, mais adiante, causar defeitos, tais como bolhas, que podem vir a causar uma mudança no caminho da luz e consequentemente modificarem suas características que o diferenciam de outros tipos de vidro.

Nesse trabalho, o vidro óptico utilizado foi o BK-7 (*Schott*), escolhido por ser um vidro óptico padrão, sendo um dos mais empregados na produção de componentes e sistemas ópticos. São fabricados prismas, espelhos, lentes, janelas de aberturas de máquinas geradoras de vácuo, utilizando-se BK-7.

As principais propriedades do vidro óptico BK-7 são mostrados na tabela abaixo, Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades do vidro óptico BK-7 (*Schott)*

Propriedade	***Valor***
Ponto de fusão	1250 ºC
Densidade (20,0 ºC)	2,51 g/cm^3
Dureza Knoop (carga 100,0 g)	520 kg/mm^2
Módulo de Young (E)	8,1 x 10^{10}
Módulo de Ruptura	2400
Índice de Refração	1,517
Número de Abbe	64,2

A Figura 1, mostra o espectro de transmissão de três tipos diferentes de vidro, a sílica fundida, o BK-7 (ambos vidros ópticos) e o vidro comum (sílico-sódo-cálcito), dito vidro de janela produzido nas indústrias em geral.

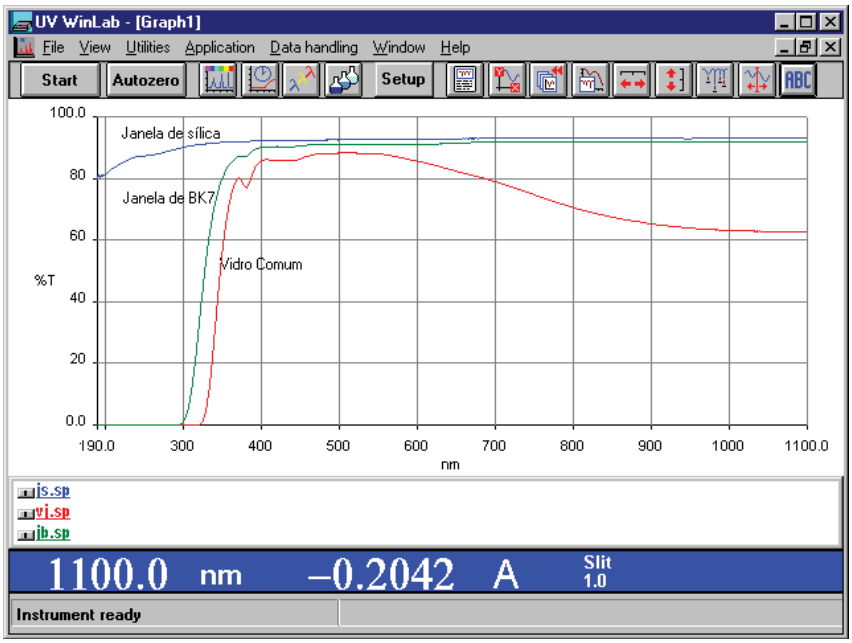


Figura 1 - Espectro de transmissão de diferentes tipos de vidro realizado em um espectrometro Perkin Elmer *UV/VIS*, trabalhando entre 1100 e 190nm. Nota-se uma melhor transmissão dos vidros ópticos em relação ao vidro comum.

2.2 Características físicas do vidro

2.2.1 Índice de refração

O índice de refração (n) é representado por um número puro que é a razão entre a velocidade da luz em um determinado meio (v) e a velocidade da luz no vácuo (c), onde $c = 3 \times 10^8$ m/s, representando característica individual de cada material. O índice de refração pode ser representado matematicamente por:

$$n = c\, v^{-1} \tag{1}$$

2.2.2 Número de Abe

O cientista alemão Ernest Abbe introduziu um parâmetro muito importante ao ramo da óptica. Este parâmetro é denominado número de Abbe, do alemão *Abbezahl* (v), sendo usado para quantificar a dispersão, que é a variação do índice de refração com o comprimento de onda. Ou colocando de outra maneira, a dispersão é a taxa de variação do desvio de um feixe com relação ao comprimento onda. O efeito mais comum visto da dispersão é a separação da luz branca por um prisma.

Na tabela abaixo, Tabela 2, são mostradas algumas lentes com seus respectivos valores de índice de refração e valor de Abbe.

Tabela 2: Algumas lentes com seus respectivos valor de Abbe e Índice de Refração.

Tipos de lentes	***Valor de Abbe***	***Índice de refração***
Policarbonato	29.5	1.586
Cristal	59	1.530
Criatal 1.6	42.8	1.600
Transitions	57	1.502

2.3 Corte

O corte do vidro é a primeira etapa prática para a obtenção de componentes ópticos. O shear plate desenvolvido neste trabalho foi uma peça cilíndrica de diâmetro 12 cm, obtida através (em forma bruta) de uma placa de vidro cortada por uma serra copo.

2.4 Chanfragem

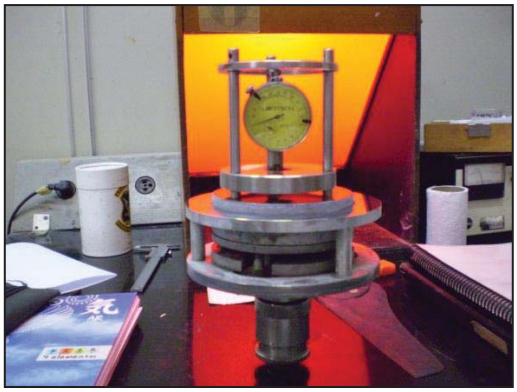
O processo de chanfragem consiste em retirar do perímetro da peça seus cantos vivos. Ela tem dois objetivos: 1) segurança do operador/técnico em óptica, evitando que este venha a se cortar ao manusear as peças; e 2) evitar que pequenas partículas oriundas de quebras nas bordas venham a riscar a peça trabalhada.

2.5 Colagem

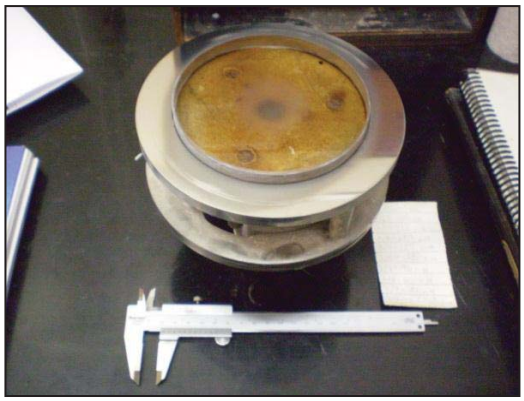
A colagem tem por objetivo unir a peça de vidro a uma superfície base. Isso é feito com auxílio de material adesivo. Vários tipos de adesivos podem ser empregados. Por exemplo: araldite, piche vegetal, cera de abelha, fita adesiva etc. Nesse trabalho, para a colagem foi utilizada a cera de abelha.

2.6 Gig

A peça de vidro foi fixada na base metálica e em seguida foi anexada a um dispositivo, o Gig. Tal dispositivo pode ser visto na Figura 2.



(a)



(b)

Figura 2 - (a) Dispositivo montado com a peça de vidro sendo aferida por um relógio comparador; (b) visão superficial da montagem.

A peça de vidro é fixada em sua base, na qual se movimenta axialmente sob ação de uma mola posicionada internamente no centro do dispositivo. Ao colocá-lo na posição de trabalho, as únicas forças que agem sobre a peça provem da mola e da atração gravitacional. Portanto, nos processos de esmerilhamento e polimento os agentes externos serão reduzidos à ação gravitacional.

A peça de vidro é cercada por um anel metálico. Esse anel tem por objetivo manter a correção dos polidores durante os processos, Figura 3.

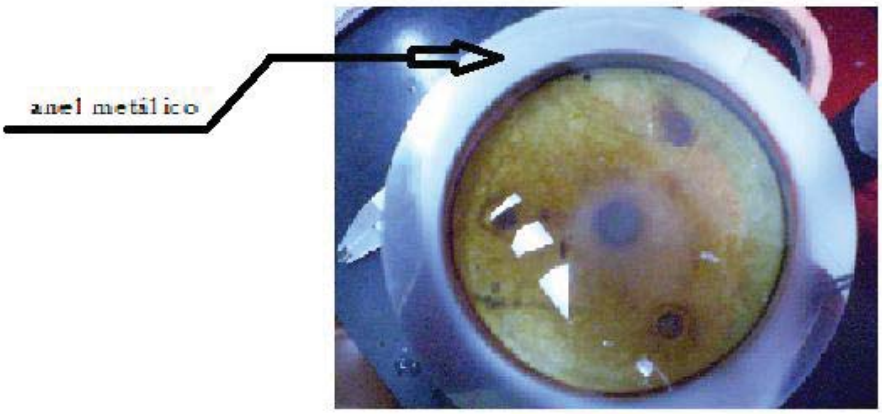


Figura 3 – Vista superior do Gig que evidencia o anel externo que cerca a peça.

No transcorrer do processo de polimento, o anel externo vai ganhando brilho junto com a peça.

2.7 Emerilhamento

O esmerilhamento é o processo que visa desgastar o vidro, uniformizando sua superfície e adequando-a as especificações desejadas. O processo consiste em atritar o vidro contra um prato de ferro fundido com abrasivo em meio líquido, desgastando sua superfície uniformemente. Tal prato deve, por sua vez, estar em plena condição de operação, ou seja, deve ser plano. O pó abrasivo utilizado foi o carbeto de silício, de diferentes granulações.

O carbeto de silício (SiC) é um produto sintético, extremamente duro utilizado na produção de rebolos e discos de corte, na blindagem de sistemas aeronáuticos e sistemas aeroespaciais. É usado também para usinar o vidro por abrasão, em razão de sua grande dureza (9,0 a 9,5 na escala de Mohs).

À medida que a superfície do vidro atingia uniformidade satisfatória, a granulação do pó era substituída por outro de granulação inferior. Dessa forma, a cada granulação de pó era garantido à peça um erro na ordem de grandeza do pó utilizado. A água, nesse processo, atuou na lubrificação, resfriamento e também na remoção de partículas, evitando riscar a superfície do vidro que estava sendo trabalhada. Embora o processo de chanfragem seja muito eficaz, durante o processo esmerilhamento, sempre existem partículas desgarradas, mas em um número aceitável e que não colocam em risco a qualidade do processo.

2.7.1 Granulação de pós abrasivos

Os pós abrasivos utilizados no processo de esmerilhamento possuem granulações adequadas ao tipo de condição exigida pela peça a ser trabalhada. Para a classificação do grão abrasivo, as unidades mais usuais são o mesh e o mícron.

Os pós abrasivos são classificados de 3 até 4800. A Tabela 3, mostra a relação entre os valores em mesh e tamanho de grão de cada granulação de pó.

Tabela 3: Valores do mesh e tamanhos de grão.

Peneira (mesh)	***Tamanho da partícula (µm)***
200	74
400	37
800	19
1200	12
2400	6
4800	2

2.8 Processos e ferramentas para manter a qualidade do prato de esmerilhamento

2.8.1 Ferramentas para zeragem de pratos

Pratos de esmerilhamento, que constantemente trabalham de forma dura, perdem sua qualidade com facilidade e necessitam de correções sobre sua superfície com bastante frequência. Daí a necessidade de um processo rápido de restauração da planeza do prato de ferro fundido.

Zeragem é nome dado ao processo que visa uniformizar e deixar plano o prato de esmerilhamento. Isto é obtido com ferramentas diamantadas, que percorrem sua superfície desbastando-a a fim de obter adequada planeza. A Figura 4, a seguir, mostra o projeto da ferramenta.

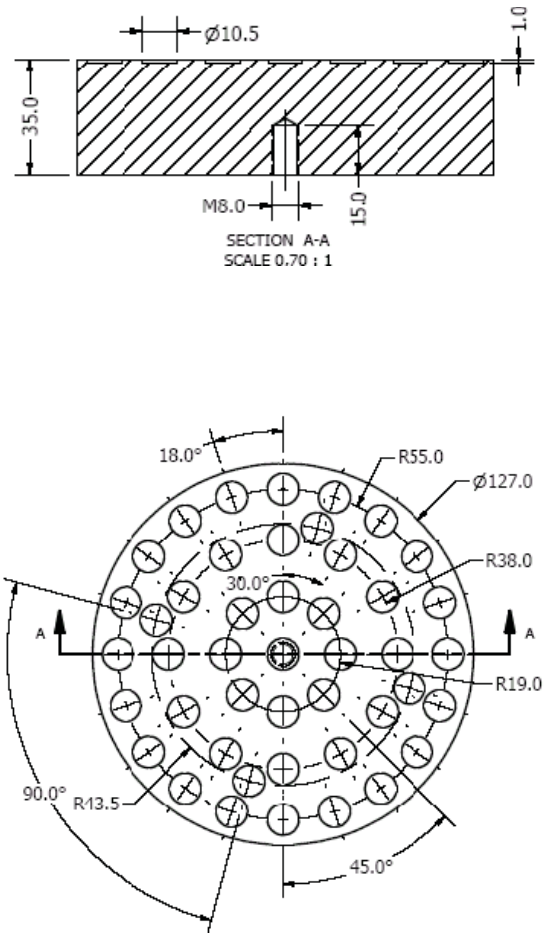


Figura 4 – Desenho da ferramenta desenvolvida para a zeragem de pratos.

Trata-se, essa ferramenta, de uma base de aço inox, material resistente ao ambiente de trabalho úmido e abrasivo a que será submetida. Ela tem vários rebaixos na superfície, onde foram coladas pastilhas diamantadas (pellets), Figura 6.

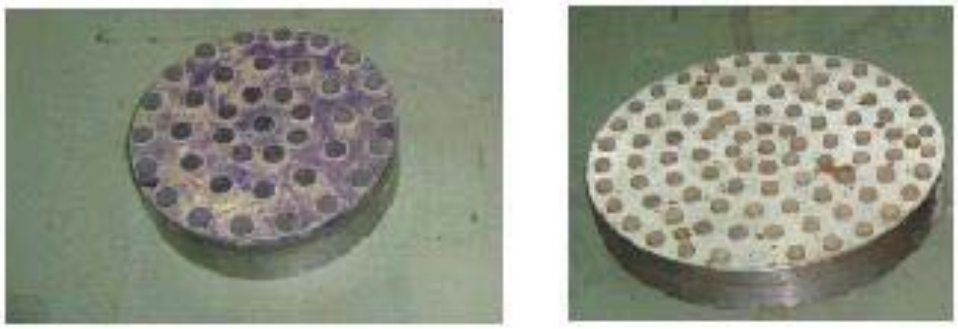


Figura 5 - Ferramentas para a zeragem de pratos.

2.8.2 Zeragem de pratos

A zeragem do prato de ferro fundido consiste em usinar sua superfície, garantindo-lhe planeza adequada. Para desbastar sua superfície utilizou-se uma ferramenta de formato de disco com pastilhas de diamante distribuídas em sua superfície.

Essa ferramenta atua sobre o prato de ferro fundido, atritando sua superfície. Durante esse processo é utilizada água e algum tipo de abrasivo para agilizar o processo. O abrasivo age como agente desbastador, e a água atua na lubrificação do processo. De forma periódica, sua superfície é aferida por um relógio comparador para avaliar a planeza do prato de ferro fundido. É feita também uma varredura na superfície do prato, de modo que este não apresente grandes valores de rugosidade, pois a qualidade do prato é diretamente transferida a peça de vidro, que será "moldada" por ele.

O ideal é que a superfície do prato esteja zerada, conforme o relógio comparador e sua incerteza de 1μm. As chances de se obter uma peça com ótima qualidade aumentam consideravelmente se o ponto de partida do processo de esmerilhamento estiver dentro destas condições de planeza.

2.9 Polimento

A etapa seguinte é o polimento. Essa etapa consiste em restabelecer o brilho da peça de vidro sem remoção de material em grande escala. Vale à pena destacar a importância de se ter um esmerilhamento bem controlado, para não haver necessidade de grande remoção de mateiral. O formato da peça ao entrar no processo de polimento foi de importância decisiva durante os processos futuros. A etapa seguinte não se destina a correções grosseiras da superfície da peça de vidro e sim correções finas.

Inicialmente o processo de polimento foi realizado de maneira automática, utilizando uma politriz Logitech com sistema de vácuo para regulagem do prato. Empregou-se poliuretano como superfície de polimento, anexado à base giratória da politriz.

Politrizes são as máquinas empregadas para polir o vidro. Podem ser de vários tamanhos, mas a engenharia básica empregada em sua construção difere pouco, variando em algum implemento tecnológico e ter ou não sistemas automáticos. Na figura 6, pode-se observar a politriz da Logitech.

Figura 6 - Máquina Logitech com sistema de vácuo para regulagem do prato.

A politriz funciona automaticamente. Outra maquina de polimento também foi utilizada no processo, conforme a figura 7. Trata-se de uma politriz Loh.

(a) (b)

Figura 7 - Politriz. (a) vista frontal, (b) vista lateral.

As politrizes usadas neste projeto são semelhantes as máquinas de esmerilhamento, com um polidor girando e a peça a ser polida posicionada sobre o polidor por um sistema de pinos, eixos e braços, movimentados por jogo de polias ligadas ao motor e polidor ou, até mesmo, posicionados manualmente.

Existem vários tipos de polidores, construídos com diversos materiais e dotados de geometrias adequadas à peça que se deseja obter. Poliuretano, veludo, algodão, tafetá, seda e piche são alguns exemplos de materiais destinados à construção de polidores.

A velocidade de polimento é outro fator importante para a obtenção de superfícies planas, assim como o tempo de polimento, após a abertura do brilho. A peça não deve permanecer mais que o necessário na máquina, pois, isto pode acarretar erros superficiais, só sanados com a volta ao esmerilhamento.

2.9.1 Referências planas

Na fabricação do shear plate ou de qualquer outra superfície óptica com planeza de alta qualidade, é indispensável a utilização de superfícies planas de referência. Essas superfícies devem, por sua vez, estar em perfeitas condições de planeza. Caso contrário, todos os erros serão transferidos à peça que se deseja fabricar.

Nesse trabalho foi utilizada uma pedra de granito, ou mesa de desempeno, como referência plana para a fabricação e restauração dos pratos de polimento.

A Figura 8 mostra a referência plana empregada na produção dos pratos de polimento planos, a mesa de granito.

Figura 8 – Mesa de Granito: Referência plana.

2.9.2 Polidores

Os polidores utilizados para a fabricação do shear plate devem ser planos. Utilizou-se uma superfície plana recoberta com poliuretano, um prato revestido por piche e um polidor revestido com rayon de viscose.

Os polidores planos, utilizados para produzir peças com as mesmas características, são construídos conforme o material a se polir. Constituem uma combinação de uma superfície polidora com uma base plana, no caso de tecidos colados diretamente sobre a superfície.

Polidores de materiais moldáveis, não requererem uma superfície base com planeza tão grande.

2.9.3 Polidores de piche vegetal

O piche empregado na construção de polidores, não é um piche comum à base de petróleo. Empregamos no trabalho um piche vegetal de grande pureza e dureza bem definida. Para cada tipo de vidro existe um piche adequado ao polimento. A classificação do piche a ser utilizado é mostrada na tabela a seguir, Tabela 4.

Tabela 4: Tipos de piche, propriedades físicas

Tipo de piche vegetal	***Ponto de Amaciamento***	***Ignição***	***Ponto de Queima***	***Ponto de Fusão***
55 – Muito Macio	52° - 55°C	246°C	278°C	63° - 64°C
64 – Macio	68° - 72°C	229°C	262°C	65° - 68°C
73 – Médio	77° - 80°C	219°C	254°C	71° - 74°C
82 – Duro	79° - 82°C	210°C	246°C	75° - 77°C
91 – Muito Duro	84° - 87°C	213°C	252°C	78°C

Para vidros como BK7, usamos piche 73, de média dureza e resistência. O piche utilizado é importado e se apresenta na forma sólida precisando ser fragmentado para a utilização.

A construção do polidor compreende varias etapas que vão desde a seleção do piche, com base no material a ser polido, até o controle de qualidade final. Os parágrafos seguintes descreverão a construção de polidores utilizados em nosso trabalho.

Tomamos um prato base com a borda envolta por fita adesiva que se sobressai 10 mm da base. O piche fragmentado é despejado sobre o prato e a fita adesiva retém o piche no limite da borda. O conjunto é então levado para ser aquecido. A temperatura de fusão do piche é atingida entre 63 ^{o}C e 78 ^{o}C. A espessura da camada de piche é equivalente à altura que a fita adesiva se eleva da base. A Figura 9 mostra a preparação de um prato de polimento.

(a) (b) (c)

Figura 9 - Preparação base do polidor: (a) Colocação do piche sobre o prato, (b) Aquecimento para fundir o material, (c) Prato após resfriamento.

Como o piche e o prato possuem coeficientes de dilatação diferentes, é recomendável que a espessura da camada de piche não seja inferior a 10 mm. Esta primeira etapa visa apenas fundir o piche obtendo uma massa uniforme. O conjunto é deixado para resfriar sobre uma superfície nivelada. Após o resfriamento e uniformização da superfície são realizadas medições nas bordas e no centro do prato, verificando o paralelismo do conjunto. Se os valores estiverem dentro dos parâmetros especificados, o polidor passa por uma nova fase chamada prensagem que é realizada com o auxilio de uma malha grossa de tecido, semelhante a uma peneira, cuja

finalidade é imprimir sulcos na superfície do polidor. Este procedimento pode ser visto na figura 10.

A prensagem é realizada aquecendo-se a superfície do piche de forma uniforme com um soprador térmico. A malha de tecido é molhada em uma solução de glicerina e água e colocada sobre uma superfície plana conhecida, normalmente um desempeno de granito. O polidor, com superfície aquecida, é colocado com o lado do piche para baixo, sobre a malha no granito. Sobre ele são colocadas peças de ferro pesadas, que fazem com que o piche afunde sobre a malha e seja impresso o desenho da mesma no polidor, modelando os sulcos na superfície do polidor.

(a) (b) (c)

Figura 10 - Prensagem do polidor: (a) Uniformização com soprador térmico, (b) Detalhe da malha de tecido, (c) Polidor depositado sobre a malha e o granito para a prensagem.

Após o conjunto esfriar, retiram-se os pesos e o polidor do granito. A malha de tecido estará grudada no mesmo e é retirada puxando-a suavemente, para que não danifique os sulcos impressos. A solução na qual a malha foi embebida facilita o desprendimento da mesma. O polidor, sem a malha, volta com o lado impresso sobre o granito para que se uniformize na superfície plana. Este procedimento constitui parte integrante de um conjunto de medidas que nos possibilitam conseguir obter superfícies planas de boa qualidade.

2.9.4 Polidores de rayon de viscose

O rayon de viscose, um produto de origem vegetal, é obtido por reação química do linter de celulose + soda cáustica. Trata-se de uma fibra de celulose regenerada e

manufaturada produzida a partir de polímeros que ocorrem naturalmente, não é verdadeiramente uma fibra sintética, nem uma fibra natural, é um semi-sintético. Conhecida pelos nomes rayon viscose (devido ao fato da reação gerar um produto altamente viscoso) e seda artificial na indústria têxtil. (SANTOS, M. V. R., 2009)

Os polidores que utilizam este material, foram montados em base de vidro óptico de grande planeza (verificados com padrão) e revestidos com uma camada laminada de rayon de viscose auto-adesiva. Tais polidores foram desenvolvidos em função da área a corrigir no processo de polimento localizado.

2.10 Interferômetro óptico

Um dos métodos que se emprega para medir a planeza da superfície é a interferometria. A Interferometria é a ciência e técnica da sobreposição de duas ou mais ondas, que resulta num padrão de interferência que pode ser observado numa tela.

Um interferômetro óptico é um instrumento de medição que utiliza o fenômeno da interferência baseado nas propriedades ondulatórias da luz. O interferômetro funciona pela divisão da frente de onda em duas ou mais partes, uma frente de onda principal que é a referência e uma frente de onda de medição, que viajam por diferentes caminhos e que então se recombinam para formar uma franja de interferência padrão. As propriedades geométricas da franja de interferência padrão são determinadas pela diferença de caminho óptico percorrido pelas frentes de onda recombinadas.

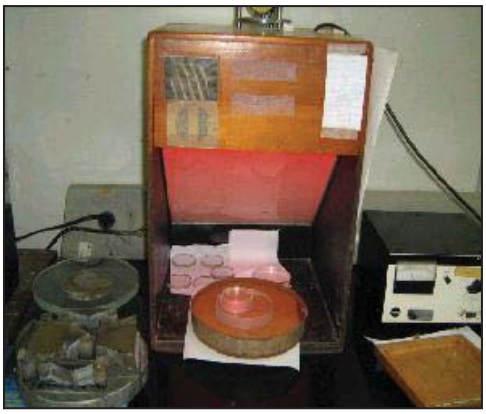
Interferômetros medem a diferença de caminho óptico em unidades de comprimento de onda, λ, da luz utilizada.

2.10.1 Medição em processo

Após a abertura do brilho, uma primeira análise da planeza da superfície do vidro é realizada com a ajuda de um aparato experimental. O aparato é composto por uma caixa de madeira. Em seu interior há uma lâmpada espectral de neônio que emite radiação na faixa do visível.

O processo consiste em posicionar o vidro a ser medido sob a luz que sai da caixa e sobre a superfície do vidro é colocado com todo o cuidado, um padrão óptico de grande planeza. A qualidade da superfície é revelada pela figura de interferência chamada interferograma, resultado da interação entre a luz refletida pelo vidro a ser medido e a luz refletida pelo padrão óptico, havendo um filme de ar entre as duas superfícies.

Abaixo, a Figura 11 (a), mostra o aparato montado em nossa oficina de óptica para observação das franjas de interferência. (SANTOS, M.V. 2009)



(a)

(b)

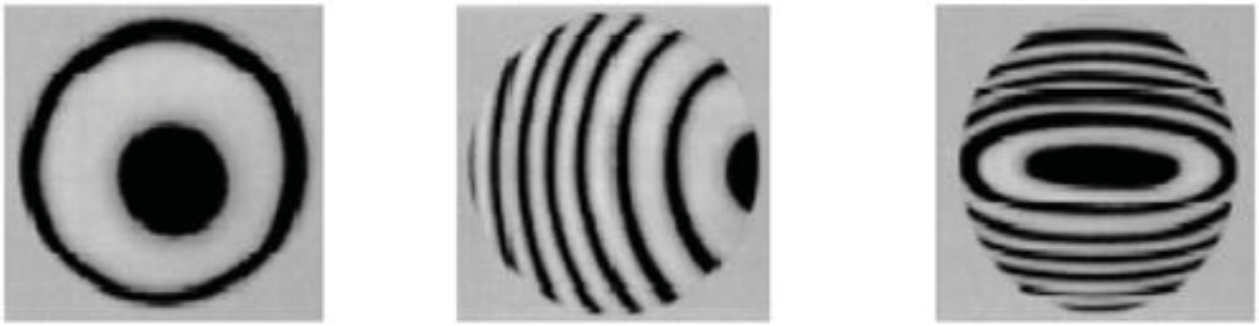
Figura 11 - Observação das franjas: (a) Aparato para medição em processo, (b) Franjas de interferência vistas através de um padrão óptico.

Na figura 12 abaixo, podem ser observadas as franjas de interferência, que mostram, qualitativamente, as condições em que a superfície da peça se encontra. A qualidade da planeza da peça é determinada de acordo com a simetria entre essas franjas.

Franjas retas e equidistantes configuram uma superfície com excelente planeza.

Franjas circulares podem indicar superfícies com raio de curvatura, podendo ser côncavas ou convexas.

Franjas elípticas ou circulares assimétricas configuram peças com erros grandes, sendo recomendado o retorno ao esmerilhamento fino para efetuar as correções necessárias. A figura 12 representa o formato das franjas mencionadas.

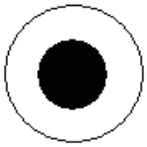


(a) (b) (c)

Figura 12 - Tipos de franjas de interferência: (a) Franjas circulares podem ser corrigidas durante polimento, (b) Franjas não eqüidistantes de difícil correção no polimento, (c) Franjas elípticas e irregulares necessita voltar ao esmerilhamento.

Segue abaixo a Tabela 5 que detalha o aspecto esperado da superfície óptica trabalhada durante a evolução do processo de polimento.

Tabela 5: Aspecto da superfície observada durante a medição em processo

Aspecto da Superfície	Número de Franjas	Cálculo	Valor em Metros
	2.5	**2.5 λ/2 = 1.25λ**	**804,25 x 10^{-9}**
	2.0	**2.0 λ/2 = λ**	**642,30 x 10^{-9}**
	1.5	**1.5 λ/2 = 0.625λ**	**401,44 x 10^{-9}**
	**1.0**	**1.0 λ/2 = λ/2**	**321,15 x 10^{-9}**
	0.5	**0.5 λ/2 = λ/4**	**160,58 x 10^{-9}**

2.10.2 Interferômetro Zygo

A medição do relevo de uma superfície através de métodos interferométricos é utilizada em toda área de óptica. A qualidade de uma superfície, quanto à planeza, é sempre referida como uma fração do comprimento de onda do lazer de He-Ne (ex.: λ/3 ou λ/10), para a região do visível do espectro (DAMIÃO, 2002).

O emprego de interferômetros, como o mostrado na Figura 13, que realizam a medição sem contato direto com a peça, ajuda a minimizar tais efeitos.

Figura 13 - Interferômetro de fase Zygo MK TV XP - 4500, capaz de realizar medições e calibrações em planos e paralelos ópticos de até 100 mm de diâmetro.

Neste tipo de equipamento, as medições são baseadas na análise da intensidade do sinal obtido na imagem. Um programa de computador estima os contornos de uma franja a partir de limites de tons de cinza para o que é uma franja clara e o que é uma franja escura (SANTOS, M. V. R, 2009).

O método de medição empregado é baseado na chamada interferometria de modulação de fase, onde ao invés de uma imagem se tem uma sequência de imagens. Um dispositivo movido por piezoelétricos, ou outro mecanismo de alta resolução espacial, desloca a superfície de referência até que a imagem do ponto de partida seja novamente obtida. Ou seja, o deslocamento de uma superfície em relação à outra faz com que as franjas se desloquem até quando é percorrida uma distância equivalente a meio comprimento de onda e aí se obtém novamente a situação inicial. O deslocamento é realizado em um conjunto de passos, sendo uma imagem adquirida a cada passo (SANTOS, M. V. R., 2009).

O equipamento utilizado neste trabalho esta montado sobre uma mesa de granito de duas toneladas sobre um piso isolado das paredes e do alicerce do prédio, constituído de camadas de concreto e material absorvedor. A sala conta com um equipamento de ar condicionado dedicado ao laboratório e para evitar correntes diretas de ar para o interferômetro, o ar é insuflado para o vão existente entre o forro e o teto do laboratório, formando um colchão de ar conforme o esquema da Figura 14.

Tais cuidados visam minimizar interferência externa na medição já que um leve toque com a unha ou pequena corrente de ar, aparece como uma alteração apreciável na posição das franjas dada a sensibilidade do instrumento.

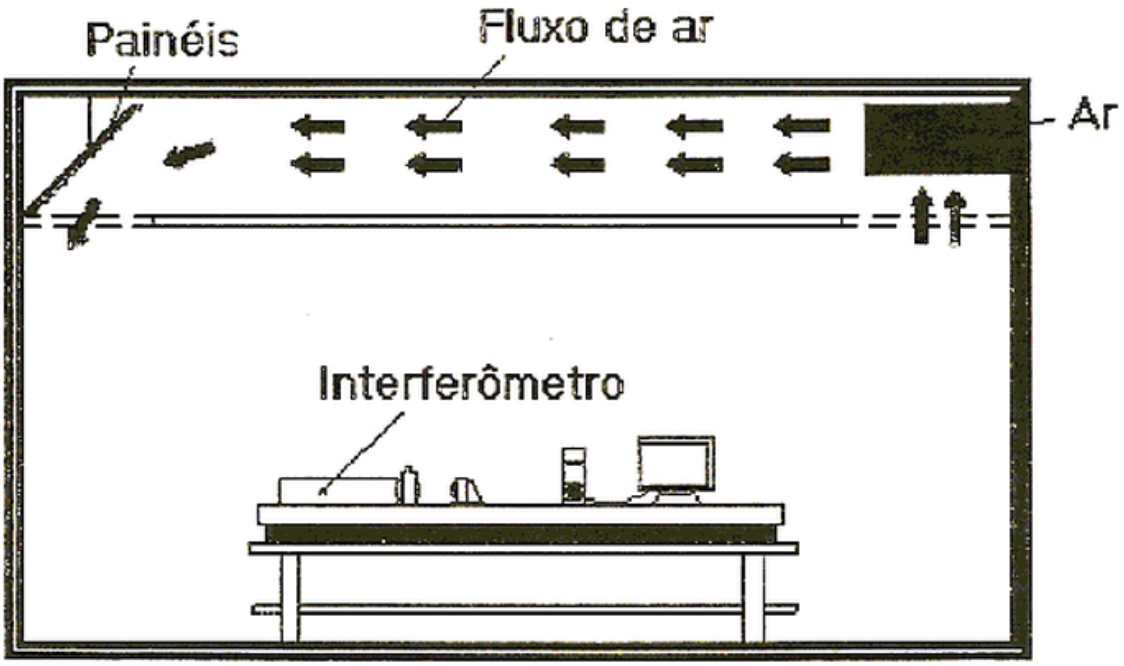


Figura 14 – Esquema da circulação do ar condicionado do laboratório.

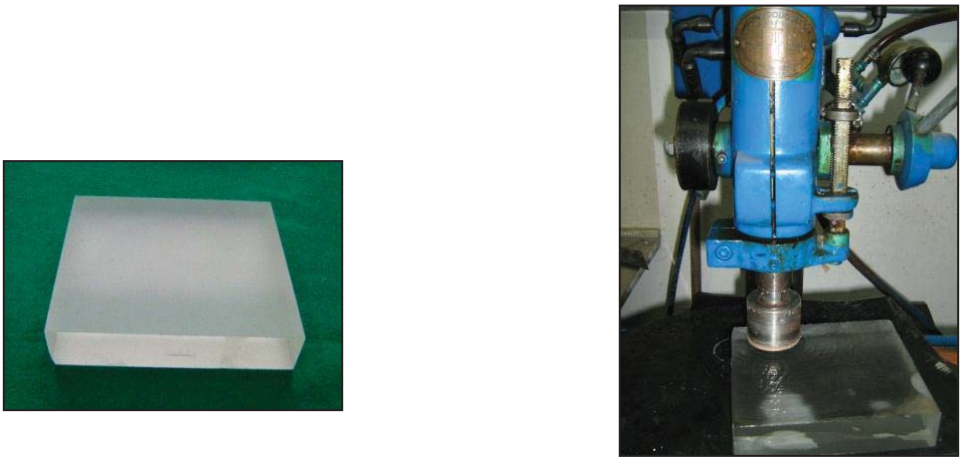
O que se mede na interferometria é, na verdade, a diferença de relevo entre a superfície de referência e a superfície submetida à medição. De maneira geral, na metrologia dimensional, a qualidade dos padrões e referências deve ser uma ordem de grandeza superior do que a do objeto de medição, pois a incerteza do padrão será acrescida em modulo as incertezas da medição para compor a incerteza expandida. (SANTOS, M. V. R, 2009)

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Esse capítulo tem como objetivo detalhar todos os processos envolvidos na fabricação do shear plate.

3.1 Corte

A Figura 15, mostra o material bruto, uma placa de vidro óptico BK7, da Schott, de dimensões 171 x 153 x 26 mm, e a serra copo Person Bouquet.



(a) (b)

Figura 15 - (a) placa de vidro óptico BK-7, (b) Ferramenta de corte - serra copo.

Após a obtenção da peça cilíndrica, devidamente dimensionada, deve-se submetê-la a um processo de chanfragem. Tal procedimento garante a integridade da superfície a ser trabalhada.

3.2 Chanfragem

O procedimento de chanfragem pode ser observado na figura abaixo, figura 16.

Figura 16 - (a) Chanfragem com pó mesh # 600

Qualquer falha no procedimento de chanfragem, a superfície da peça pode ficar exposta a riscos oriundos do atrito da superfície do shear plate com fragmentos desgarrados durante o processo de esmerilhamento.

A manutenção do chanfro deve ser feita até o término do processo de produção. É realizada, esmerilhando as bordas da peça contra uma lixa ou superfície que contem um pó abrasivo e água. A granulometria da lixa e dos pós abrasivos empregados no chanfro, devem acompanhar a evolução do processo de trabalho. O ideal é que quando o polimento termine o chanfro seja mínimo.

3.3 Colagem

O processo consiste em aquecer o vidro em conjunto com o prato da base metálica (aço inox). O aquecimento do conjunto (peça de vidro e base metálica) é necessário para que não haja choque térmico, quando as peças forem justapostas para a colagem.

Foi colocada uma porção de cera entre as duas peças. O ponto de fusão da cera, 60°C, é atingido em alguns minutos. As superfícies aquecidas fundem o material

reduzindo-o a uma fina camada que as unirá. Para o alívio das tensões, o resfriamento deve ser ao natural.

3.4 Esmerilhamento

3.4.1 Procedimento de zeragem dos pratos de ferro fundido

Os procedimentos para zeragem dos pratos de esmerilhamento compreendem a análise da superfície do prato com relação à uniformidade, paralelismo e planeza. O paralelismo é determinado com um paquímetro e altímetro. A uniformidade pode ser avaliada com o auxílio de uma régua de luz.

A figura 17, logo abaixo, mostra o arranjo experimental responsável pela zeragem do prato.

(a)

(b)

Figura 17 - Procedimento de zeragem de pratos: (a) Zeragem de prato de 250mm, (b) Detalhes do mecanismo da máquina.

A máquina de esmerilhamento possui um braço acoplado a um eixo regulável, que se movimenta em conjunto com o prato, através da transmissão de um jogo de polias.

Na extremidade oposta à ligação com eixo regulável, o braço possui um canal longitudinal onde é alojada uma barra móvel, que percorre livremente sobre o eixo, cuja ponta tem um pino perpendicular que é acoplado à ferramenta de esmerilhamento.

A liberdade de amplitude do movimento da ferramenta esmerilhadora é sustentada pela variação da posição do braço em relação ao eixo regulável. A variação da posição da barra móvel permite o posicionamento da ferramenta sobre a região desejada do prato. A combinação das posições do eixo regulável e da barra móvel permite que a ferramenta varra toda a superfície do prato ou apenas uma região determinada. Dessa forma em poucos minutos o prato de ferro fundido está pronto (SANTOS, M. V. R., 2009).

3.4.2 Esmerilhamento: o processo

Conforme já foi mencionado anteriormente, o processo de esmerilhamento é realizado em etapas, partindo de pós abrasivos com granulações maiores e diminuindo, conforme a qualidade da uniformidade e da planeza desejadas são obtidas. Podemos dividir o processo de esmerilhamento em duas etapas, esmerilhamento grosso e esmerilhamento fino.

3.4.2.1 Esmerilhamento grosso

Durante o processo de esmerilhamento grosso foram utilizados pós com tamanhos de grão maiores, a partir do mesh 400.

Antes de cada troca de pó, uma inspeção visual deve ser realizada, com o objetivo de identificar o momento ótimo para substituição dos mesmos. O manuseio de cada pó na troca deve ser ministrado com muito cuidado, evitando sempre a contaminação entre os pós. Partículas de pó mais grosso nunca devem se misturar com as de pó mais fino. Ressaltando a importância da limpeza das peças, ferramentas e até das mãos do operador, quando ocorrer a troca por um pó mais fino.

3.4.2.2 Esmerilhamento fino

Durante o processo de esmerilhamento fino foram utilizados pós com número do mesh maior e, consequentemente, de granulações mais finas do que as usadas no esmerilhamento grosso. Os cuidados com contaminação, chanfros e defeitos superficiais devem ser ainda mais rigorosos.

Partimos agora para uma etapa ainda mais delicada. A peça deve ser examinada utilizando um microscópio que poderá indicar imperfeições, riscos e trincas que não poderiam ser identificadas a olho nu até a utilização do último pó grosso, o pó 800.

O chanfro é muito importante, pois pode ter sido totalmente consumido na etapa anterior, resta então verificá-lo. Sua manutenção é extremamente necessária e o mesmo deve ser confeccionado com pós mais finos, semelhantes aos utilizados no esmerilhamento da superfície. Tal cuidado é importante para evitar o desprendimento de partículas da borda, que podem vir a riscar a superfície que está sendo trabalhada. Assim retroceder a um estágio anterior do trabalho.

O processo tem início com pó de granulação 1200, na sequência o pó 1500 e assim sucessivamente até o pó de granulação 2000. A troca de cada pó deve ser precedida de analises da superfície em um microscópio avaliando a qualidade e a uniformidade, que determinam o momento da troca do abrasivo.

Durante esse processo os cuidados não se resumem apenas nas orientações listadas acima, deve-se também monitorar as dimensões da peça. O paralelismo e uniformidade da superfície esmerilhada constituem um fator importante e deve ser

monitorado durante o esmerilhamento. Para tal, utiliza-se uma régua de luz para verificar a uniformidade da superfície. Os defeitos e imperfeições aparecem sobre formas côncavas e convexas sobre a superfície aferida pela régua de luz. Eis uma etapa de grande importância no sucesso da fabricação do shear plate ou de qualquer superfície plana. Se peça não estiver em boas condições iniciais perante o processo de polimento, dificilmente os resultados serão satisfatórios.

3.5 Polimento e caracterização

Estando a peça minimamente polida, a distância do pico ao vale (PV) pode ser conferida. Portanto, a peça é levada ao interferômetro para se medir sua planeza inicial. Não é necessário que a peça atinja brilho total, mas que esteja em condições para ser caracterizada. A partir daí temos um ponto de partida bem determinado obtendo-se um valor de 1150 nm de distância de pico ao vale (PV).

A cada intervenção, a peça foi levada ao interferômetro para se verificar as condições de planeza de sua superfície. Ainda utilizando a politriz automatizada a peça foi desbastada, reduzindo sua superfície em 500 nm de PV. Desta forma a peça passou a apresentar uma distância PV de 650 nm. A partir daí o processo de polimento passou a ser manual e o prato recoberto com poliuretano foi substituído pelo prato recoberto com piche. A Figura 18 detalha o polidor construído com piche.

Figura 18 – Polidor revestido com piche nº 73.

Dessa etapa em diante, a cada uma das intervenções, a superfície do vidro passa a ser acompanhada de um minucioso processo de caracterização. A primeira caracterização da peça foi feita em uma câmara.

No interior da câmara, foi colocado sobre a peça um padrão óptico plano, com intuito de analisar, previamente, as franjas de interferência. Essa primeira caracterização nos fornece uma boa estimativa da sua qualidade. Para de fato confirmar sua qualidade, deve-se utilizar o interferômetro convencional, o interferômetro Zygo. A Figura 19 mostra o processo de caracterização com padrões planos.

Figura 19 – Caracterização via câmara de luz de Ne objetivando a análise das franjas de interferências.

Durante o polimento, o controle de evolução da planeza da superfície torna-se difícil com aplicação de técnicas convencionais de medição. A utilização de sistemas mecânicos, como relógios comparadores não é adequada aos desvios e valores em escala nanométrica que se deseja determinar durante o polimento. A luz e os fenômenos ondulatórios associados a ela devem ser introduzidos para a análise dos erros de planeza da superfície do vidro. Isto ocorre, pois os desvios verificados são da ordem do comprimento de onda da luz utilizada na inspeção da qualidade do polimento executado.

Quando a peça de vidro atingiu PV inferior a 300 nm o processo de polimento se dividiu em duas etapas. Tal necessidade surgiu pelo fato de que o processo de polimento convencional não estar surtindo os efeitos desejáveis à qualidade da peça. O polimento passou então a ser realizado em duas etapas, sendo uma delas o polimento convencional, feito manualmente como descrito anteriormente, e um processo de polimento mais localizado, utilizando um polidor de menor dimensão revestido com uma película de rayon de viscose.

Quando as intervenções passam a interferir muito pouco na qualidade da peça, o polimento deve ser localizado. Utilizando a mesma metodologia, o polimento passa a ser direcionado a regiões bem específicas de forma pontual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo é relatada a evolução da qualidade da superfície do shear plate ao longo do processo de polimento. Toda caracterização foi realizada no interferômetro Zygo.

Segue abaixo um gráfico que mostra de forma geral a evolução do processo de polimento ao longo de cada intervenção, Figura 20.

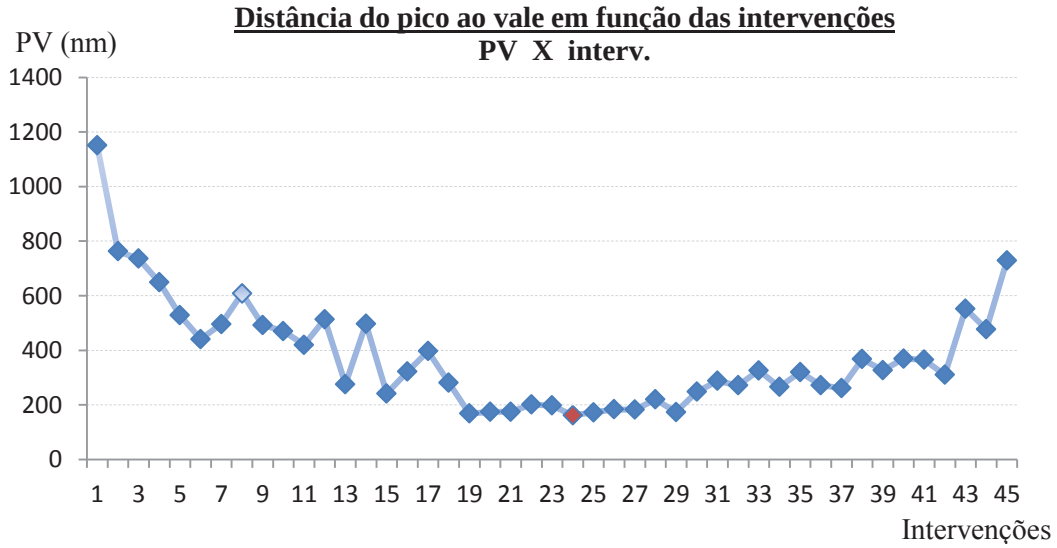


Figura 20 – Gráfico PV x Intervenções

Cada intervenção tinha em média uma duração de 5 minutos. A cada uma delas a peça era minuciosamente caracterizada. Logo abaixo as etapas serão mais detalhadas.

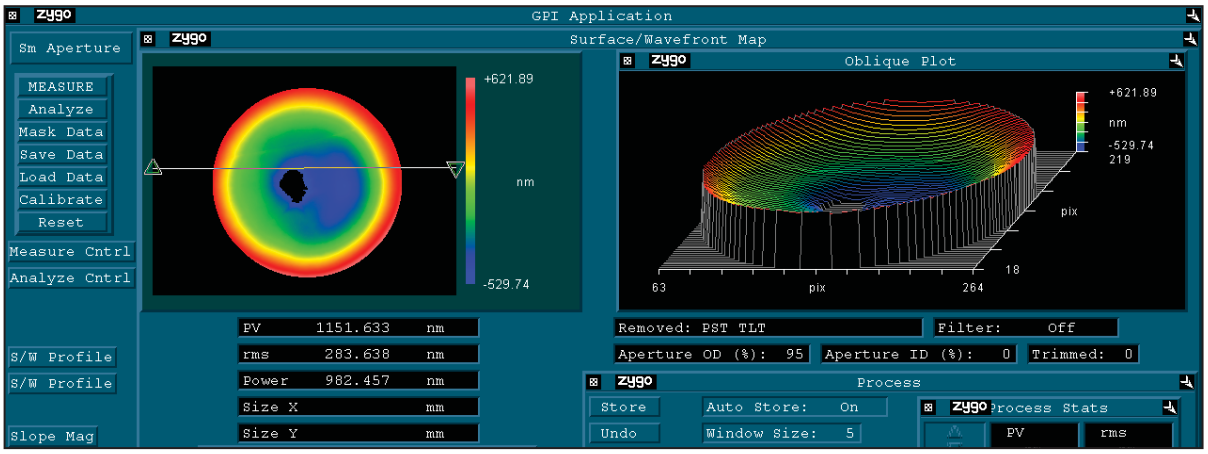


Figura 21 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 1151,6 *nm*

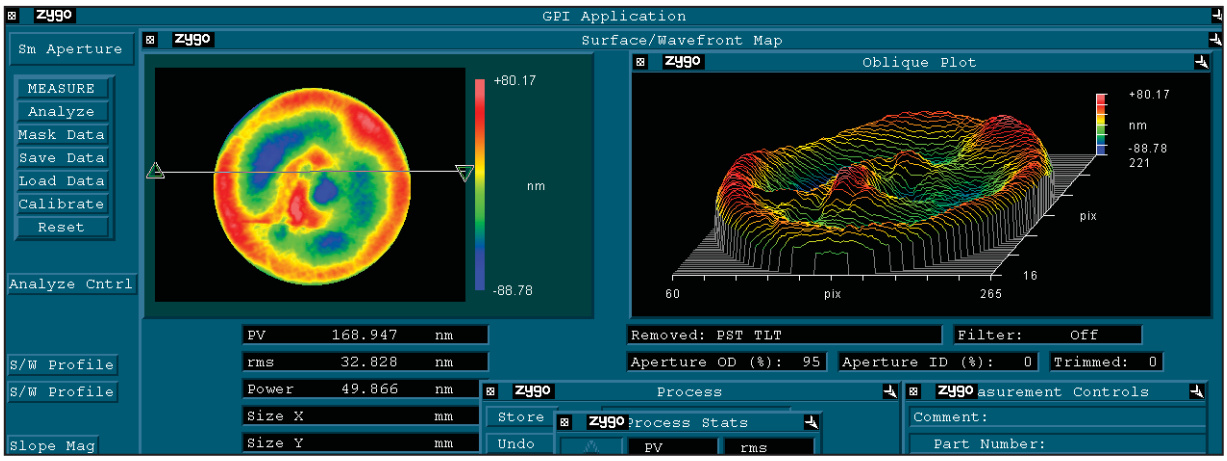


Figura 22 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zaygo, PV 168,9 *nm*

A Figura 21 revela a caracterização da peça ao se concluir o polimento rápido, com objetivo de um brilho mínimo, para se determinar uma condição inicial, marcando assim um ponto de partida. A segunda figura, Figura 22, revela a caracterização da peça evoluindo de PV 1151 nm até 168 nm. A evolução mais detalhada pode ser observada no gráfico da Figura 23.

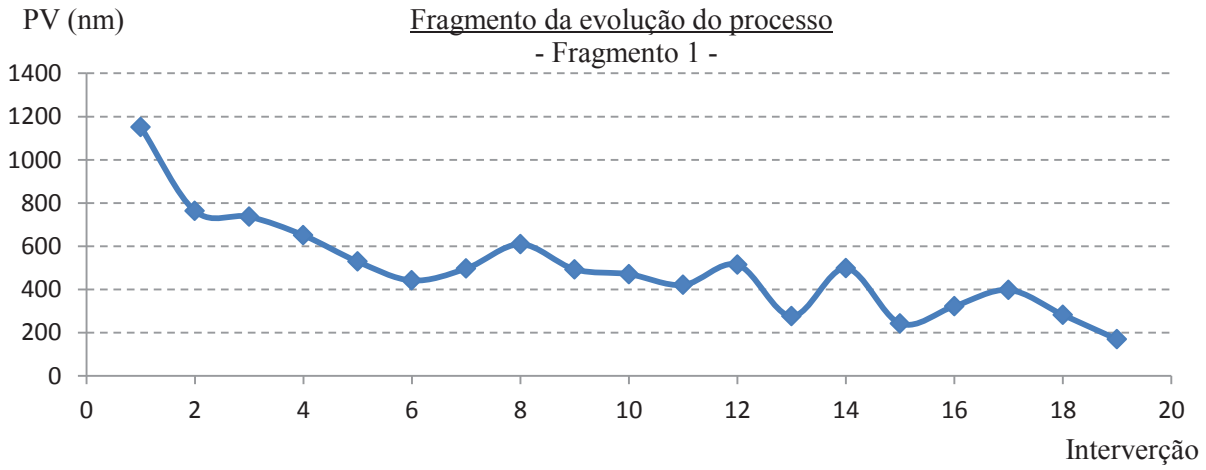


Figura 23 – Gráfico PV x Intervenções

Na etapa anterior, o polimento foi realizado convencionalmente, utilizando um prato plano revestido com piche. A partir de então, foi intercalado ao processo de

polimento convencional, o polimento localizado. Este consistia em utilizar um padrão óptico de menor dimensão revestido com uma película de rayon de viscose. Após ser caracterizada, a peça era marcada com uma caneta para que o polimento localizado se concentrasse numa área menor e dirigida para a melhoria da qualidade da peça.

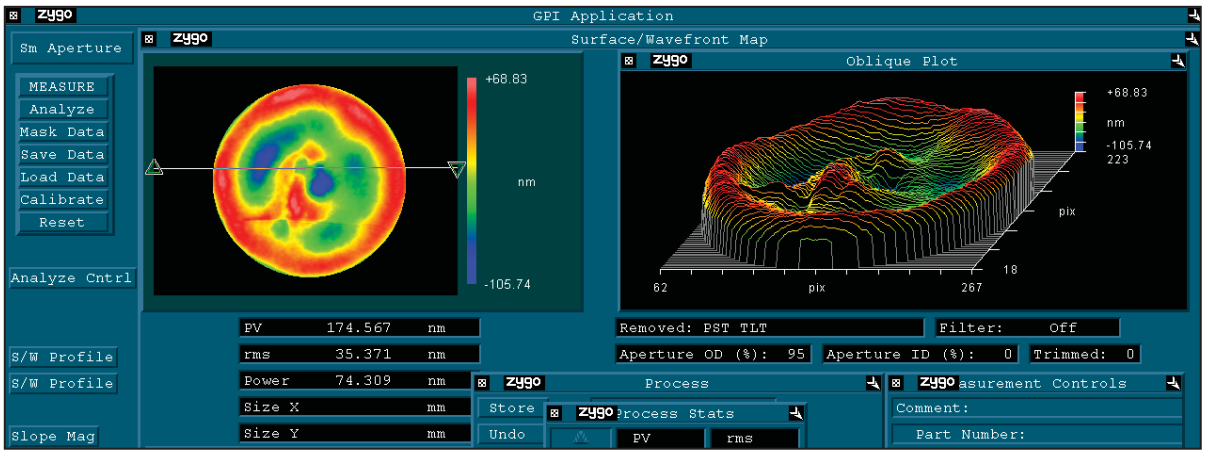


Figura 24 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 174,6 *nm*

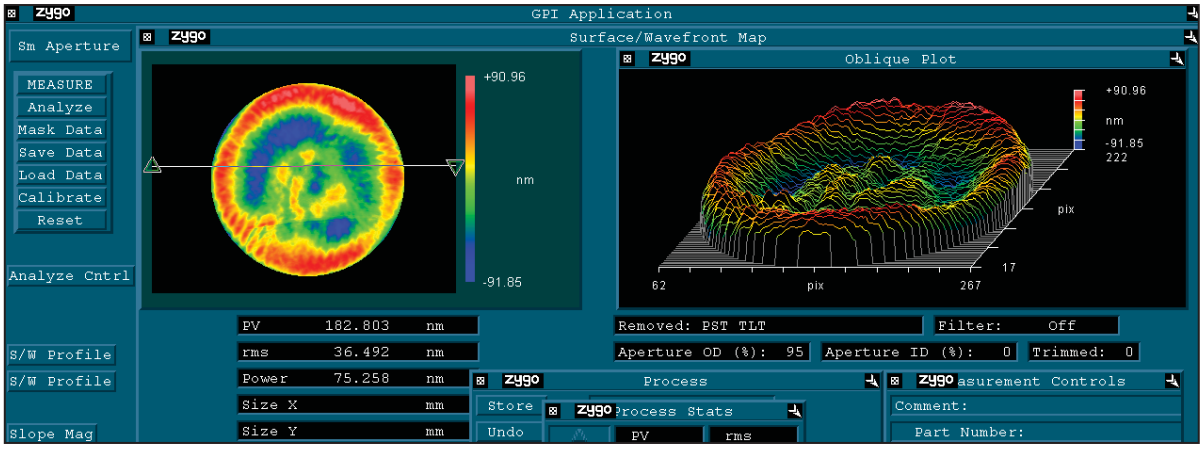


Figura 25 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zaygo, PV 182,8 *nm*

Nas figuras 24 e 25 podemos observar a caracterização de dois momentos distintos. Percebe-se que a distância PV não evoluiu como o esperado. Durante esse intervalo de trabalho encontramos nosso melhor resultado. Pode ser observado na Figura 26.

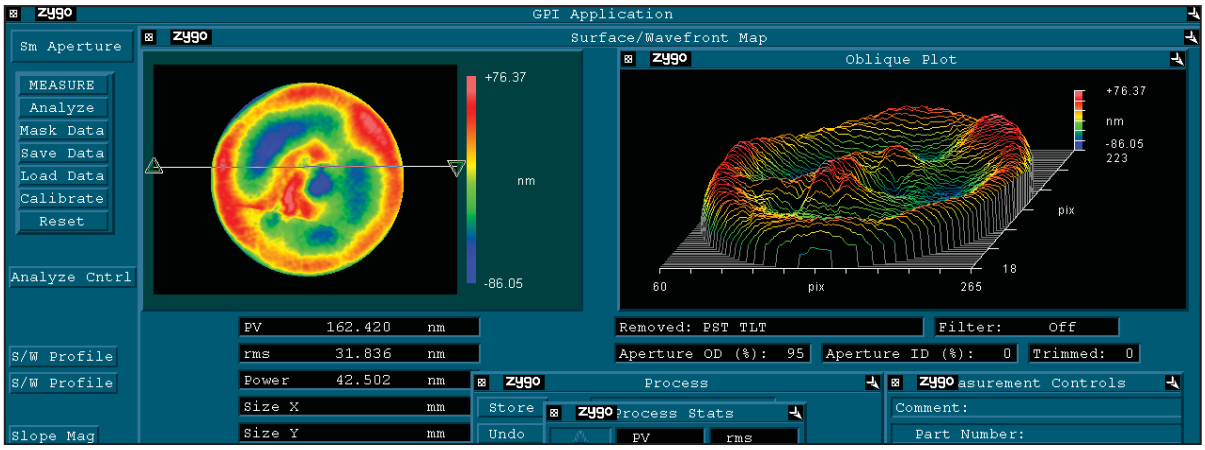


Figura 26 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 162,4 *nm*

No gráfico a seguir pode-se observar melhor a evolução do processo nessa etapa. Na figura 27 o ponto marcado por um X representa a intervenção em que obtivemos o melhor resultado.

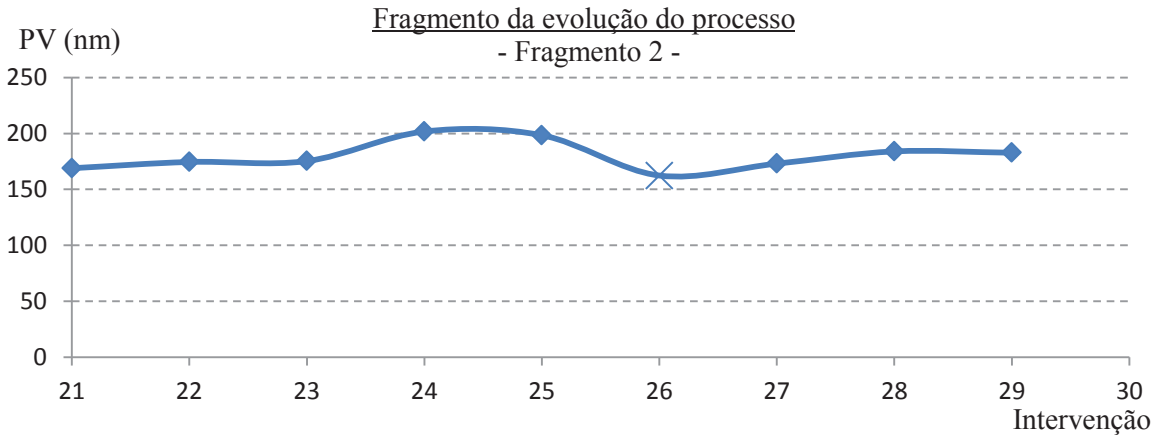


Figura 27 – Gráfico PV x Intervenções

Após diversas tentativas os resultados não foram motivadores. Houve uma persistência na tentativa de melhorar a qualidade da peça insistindo no método. Após observado que as alterações não surgiam, foi então aplicado um procedimento mais agressivo.

No mesmo prato de piche, a peça foi submetida a um polimento cujo movimento era executado numa trajetória unidirecional, atacando radialmente a peça e atritando-a

com maior intensidade de força sobre o prato de piche. Os resultados não evoluíram. Pode-se observar nas Figuras 28 e 29.

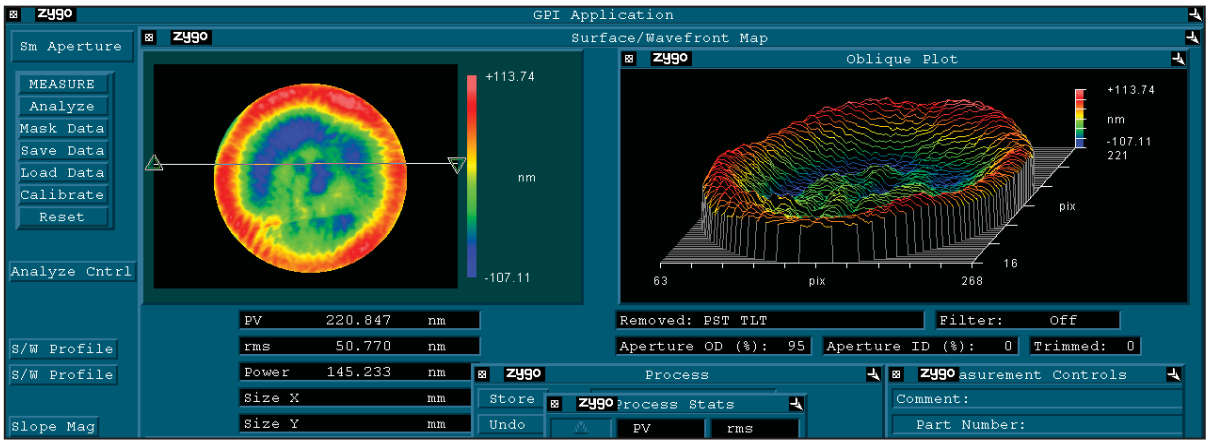


Figura 28 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 220,8 *nm*

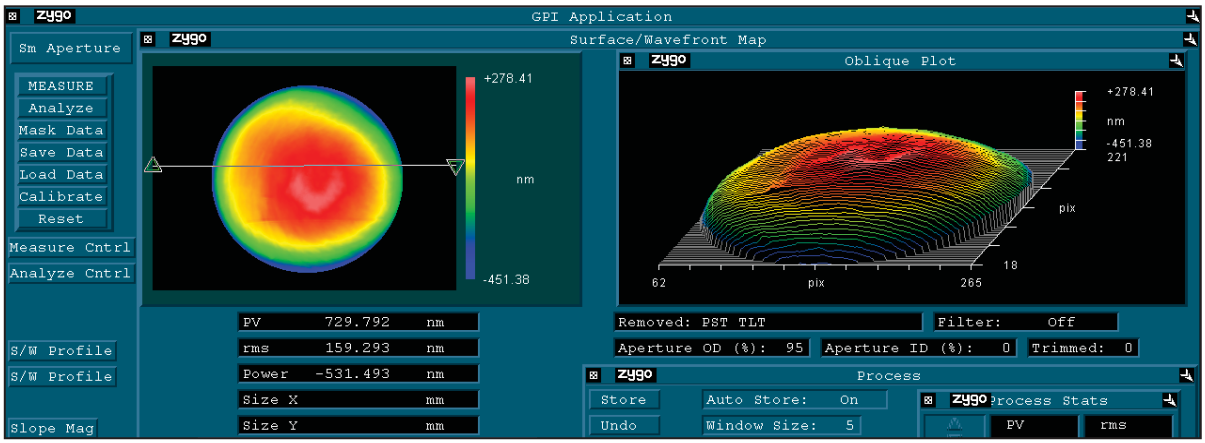


Figura 29 – Imagem da plataforma de caracterização do interferômetro Zygo, PV 729,7 *nm*

Nas figuras acima podemos observar que a evolução esperada não ocorreu. No gráfico da Figura 30 pode-se observar a involução do polimento.

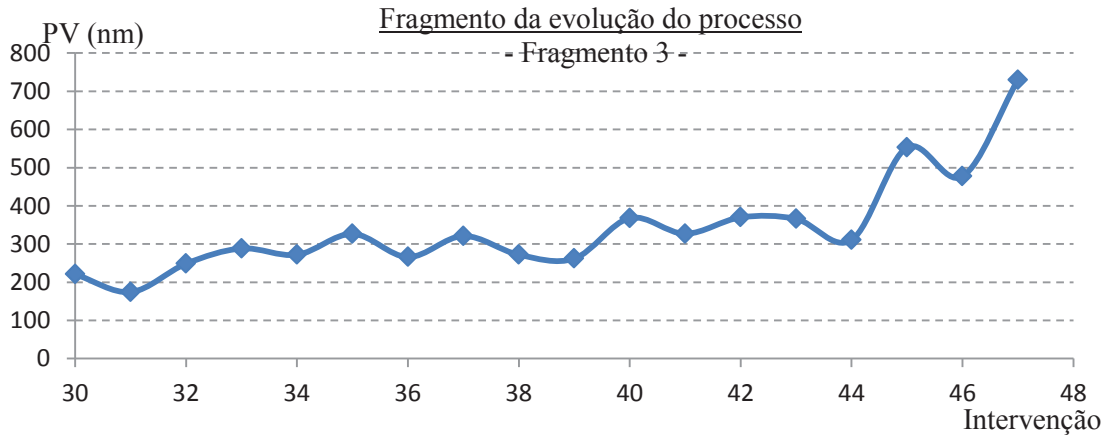


Figura 30 – Gráfico PV x Intervenções

5 CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho era fabricar uma peça com planeza ideal, $\lambda/10$. Esse resultado representa uma distância de pico ao vale de 63 nm, por inteferonometria He-Ne. O melhor resultado obtido foi 162,4 nm.

Durante o processo de polimento utilizamos um prato de 200 mm de diâmetro. As dimensões da peça a ser polida e as dimensões do prato de polimento eram pouco distintas. Isso por sua vez interferiu diretamente na qualidade final da peça, pois a propagação dos erros foi maximizada.

Como proposta de trabalho futuro, deve-se utilizar um polidor de dimensões muito maiores (400 mm de diâmetro), para proporcionar minimização da propagação de erros. Sabe-se também que devido ao fato da peça, shear plate, ter um diâmetro consideravelmente grande, construir um prato polidor com dimensões maiores, não será uma tarefa muito fácil.

REFERÊNCIAS

SANTOS, M. V. R. **Processos de produção, medição e desenvolvimento de dispositivos para obtenção de superfícies planas em vidros ópticos.** 2009. 138 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Física) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

RIGOR LABORATÓRIO ÓTICO. **Lentes – Materiais:** Número de Abbe. Disponível em: < http://www.laboratoriorigor.com.br/lentes_materiais.html>. Acesso em: 04 nov. 2012

DAMIÃO, A. J. **Processo de deposição e propriedades de filmes de dióxido de titânio obtidos por Laser Ablation.** 2002. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física Gleb Wataghin ,Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 1º ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. v.4, p 118.

WIKIPEDIA.**Rayon.** Disponível em:< http://en.wikipedia.org/wiki/Rayon>. Acesso em: 4 maio 2012.

PILKINGTON. Chemistry of glass. Disponível em: <http://www.pilkington.com/south-america/Brazil/Portuguese/About+Pilkington/History+of+Float+in+Brazil/presente+e+futuro.htm>. Acesso em: 04 nov. 2012.

WIKIPEDIA.**Óptica**: Refração. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Refrac%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 04 nov. 2012.