

# ECHARPE

## Relatório de Projeto Mecânico



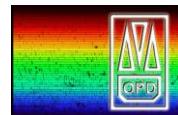
Dra. Vanessa Bawden Macanhan

Laboratório Nacional de Astrofísica

02 dezembro 2022

Em caso de reprodução total ou parcial, externa ou interna, referenciar a autora: MACANHAN, V.B.P.

*ECHARPE - Relatório de projeto mecânico, LNA, 2022.*



## Sumário

Sumário.....	2
1 Introdução.....	4
1.1 Equipe do projeto .....	5
1.2 Casos científicos para o espectrógrafo .....	8
1.3 Requisitos de projeto.....	11
1.3.1 Requisitos de performance .....	11
1.3.2 Requisitos funcionais .....	13
1.4 Árvore do produto .....	14
1.5 Interface com o telescópio .....	15
1.5.1 Fore-optics.....	15
1.5.2 Cabo de fibras ópticas .....	15
1.5.3 Bancada .....	16
1.6 Projeto óptico .....	17
2 Projeto mecânico .....	26
2.1 Tolerâncias e ajustes.....	26
2.2 Suporte do espelho colimador.....	28
2.3 Suporte da rede <i>echelle</i> .....	35
2.4 Suporte do espelho plano.....	42
2.5 Suporte do espelho <i>relay</i> .....	50
2.6 Suporte do espelho dicroico .....	58
2.7 Suportes das redes VPH.....	62
2.8 Câmeras .....	67
2.9 Detectores.....	71
2.10 Cobertura da bancada .....	74
2.11 Montagem, integração, alinhamento e testes .....	75
3 Especificação dos itens de prateleira.....	77
4 Custos e financiamentos .....	81
5 Cronograma de execução.....	83
6 Publicações.....	85



**ECHARPE**

ECHele de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



7 Referências bibliográficas .....	87
------------------------------------	----

## 1 Introdução

Um dos principais desejos da comunidade astronômica mundial é ter acesso a espectrógrafos de alta resolução no óptico. Existe uma alta demanda de projetos científicos e problemas em aberto cujo estudo depende da disponibilização de tais equipamentos. Apesar da abertura pequena, um instrumento desse tipo no telescópio de 1.60m (Perkin-Elmer, PE) do Observatório do Pico dos Dias (OPD, Brazópolis, MG) tem condições de ser altamente competitivo uma vez que *surveys*, que necessitam de muitas noites, podem ser levados a cabo, assim como observações de suporte a telescópios maiores, otimizando o aproveitamento desses últimos. Em particular, um novo espectrógrafo *echelle* para o OPD terá uma importante sinergia com o espectrógrafo STELES, atualmente em instalação no telescópio SOAR.

Um espectrógrafo *echelle* para o Observatório do Pico dos Dias é uma solicitação antiga, manifestada em diferentes ocasiões por vários membros da comunidade astronômica brasileira e principalmente na avaliação da infraestrutura observacional promovida pelo LNA durante 2007<sup>1</sup>. A espectroscopia de alta resolução não é prejudicada pelas condições meteorológicas não ideais do sítio do observatório e por isso pode ser altamente competitiva.

A espectroscopia óptica de alta resolução fornece detalhes importantes sobre a atmosfera estelar e sua vizinhança circum-estelar. Em certas pesquisas, uma larga cobertura e alta resolução espectrais são essenciais. Um espectrógrafo que ofereça poder de resolução de  $R = 50.000$  (um fator duas vezes menor do que o necessário para resolver a largura térmica de uma linha espectral estelar típica) com uma cobertura em comprimento de onda correspondendo a toda janela espectral facilmente observada com um CCD (390 a 890 nm), representa uma combinação particularmente eficiente e poderosa de parâmetros para o estudo de estrelas e outros objetos que podem ser observados com um telescópio de 1,60 m.

A lista dos principais requisitos do espectrógrafo foi debatida durante 2009 com um grupo de consultores brasileiros, especialistas na área (por exemplo, Dominici *et al.* 2009). Com as características descritas acima, o ECHARPE deverá ter um papel importante para assegurar o melhor aproveitamento da nova geração de espectrógrafos de alta resolução no óptico em telescópios maiores, como o próprio STELES, possibilitando a observação das estrelas mais brilhantes de uma dada amostra no OPD e a identificação de alvos particularmente interessantes para os grandes telescópios.

---

<sup>1</sup> <http://www.lna.br/lna/relatorios/Meta-55-rel-final.pdf>

## 1.1 Equipe do projeto

### Gerenciamento:

Principal Investigator	Dr. Bruno Vaz Castilho	MCTI/LNA
Gerente do projeto – Fase 1	Dra. Vanessa B. Macanhan	MCTI/LNA
Gerente do projeto – Fase 2	Dr. Bruno Vaz Castilho	MCTI/LNA
Instrument Scientist	Dr. Eder Martioli	MCTI/LNA
Coordenadora proposta Finep	Dra. Vanessa B. Macanhan	MCTI/LNA
Coordenador proposta CNPq	Dr. Jorge Meléndez	IAG/USP
Coordenador proposta FAPEMIG	Dr. Luiz Paulo Vaz	UFMG

### Equipe científica:

Dr. Germano Quest	MCTI/LNA
Dr. Jorge Meléndez	IAG/USP
Dr. José Dias do Nascimento	UFRN
Dr. Gabriel Franco	UFMG
Dr. Gustavo Porto de Mello	OV/UFRJ
Dr. Wagner Corradi	UFMG
Dra. Tânia Dominici	MCTI

### Projeto óptico:

Dr. Bernard Delabre	ESO
Dr. Damien Jones	Prime Optics, Austrália
Clemens Gneidig	MCTI/LNA
Me. Jesulino Santos	MCTI/LNA

### Projeto mecânico:

Dra. Vanessa B. Macanhan	MCTI/LNA
Renato Hernandes	MCTI/LNA

### **Fabricação mecânica:**

Aldair Vicente Ribeiro	MCTI/LNA
Horaci Henrique doa Santos	MCTI/LNA
José Tadeu da Silva	MCTI/LNA
Metalcard Corporation	São José dos Campos, Brasil

### **Metrologia óptica**

Me. Flávio Ribeiro	MCTI/LNA
--------------------	----------

### **Metrologia mecânica**

Me. José Francisco Oliveira	MCTI/LNA
Leonardo R. C. Paiva	MCTI/LNA

### **Controle e aquisição:**

Dr. Eder Martioli	MCTI/LNA
Denis V. Bernardes	MCTI/LNA
Rafael Amancio	MCTI/LNA
Dr. Luciano Fraga	MCTI/LNA
Dr. Orlando Verducci	MCTI/LNA

### **Sistema de calibração**

Dr. Bruno Vaz Castilho	MCTI/LNA
Me. Marcio V. Arruda	MCTI/LNA
Me. Jesulino Santos	MCTI/LNA
Dr. Eder Martioli	MCTI/LNA
Felipe Hirota	MCTI/LNA
Orlindo Soares	MCTI/LNA

### **Software de redução:**

Dr. Eder Martioli	MCTI/LNA
-------------------	----------



**ECHARPE**

EHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



### **Montagem, integração, alinhamento e testes:**

Dra. Vanessa B. Macanhan MCTI/LNA

Me. Flávio Ribeiro MCTI/LNA

Rodrigo Fonseca MCTI/LNA

Me. Saulo Gargaglioni MCTI/LNA

Adriano Coimbra MCTI/LNA

Cledson Santos MCTI/LNA

Nivaldo Gonçalves MCTI/LNA

### **Comissionamento**

TBD

### **Fabricação óptica**

Jenoptik Optical Systems Estados Unidos

Sodern França

Winlight System França

## 1.2 Casos científicos para o espectrógrafo<sup>2</sup>

Alguns dos casos científicos a serem explorados com o ECHARPE são:

### Composição química e atividade cromosférica de estrelas de tipo solar

Um instrumento como o ECHARPE está muito bem configurado para a obtenção de espectros com  $R \sim 50.000$  e relação S/R adequada para a obtenção de parâmetros atmosféricos e composição química a partir de espectroscopia. Uma relação S/R igual ou superior a 200 deve ser possível, com tempos de exposição inferiores a uma hora, para objetos até  $V = 8$ , em condições de céu boas. A ampla cobertura permite a medida de centenas de linhas espectrais, abordando um grande número de elementos químicos de diferentes origens nucleossintéticas. Tais dados se constituem em testes fundamentais dos modelos de evolução química da Galáxia em todos os seus contextos.

Adicionalmente, a cobertura proposta envolve os três indicadores cromosféricos clássicos de atividade magnética em estrelas de tipo F, G, K e M, de anãs a gigantes. São eles: as linhas H e K do Ca II no UV, H $\alpha$  no vermelho, e o triplete do Ca II no infravermelho. Tais dados permitem um diagnóstico amplo de atividade, e sua obtenção simultânea permite o estudo de diversas classes de fenômenos transitentes, tais como *flares*, que afetam os diferentes indicadores de modo distinto.

### Análogas solares e planetas terrestres

Recentemente foi descoberto que o Sol não é uma estrela típica na sua composição química, o que talvez seja devido à formação de planetas terrestres em nosso sistema solar (Meléndez, Asplund, Gustafsson & Yong 2009; Ramírez, Meléndez & Asplund 2009). Tentativamente, a fração de estrelas que possui planetas terrestres (assumindo que esta fração seja a mesma que a de estrelas que apresentam a composição química peculiar do Sol) é de 15% (Meléndez et al. 2009, Ramírez et al. 2009), mas isto é baseado em uma análise de apenas algumas dúzias de estrelas. Uma estimativa mais acurada poderia ser obtida analisando o espectro de um grande número de análogas solares, o que poderia ser feito com a combinação de esforços do ECHARPE no OPD e do STELES no SOAR. O percentual de estrelas com sistemas planetários similares ao nosso é muito importante para projetos como o SETI, pois este valor é atualmente incerto e, portanto, o número de civilizações que possam estar tentando estabelecer contato é também desconhecido.

---

<sup>2</sup> Fonte: DOMINICI (2012)

## Evolução química da galáxia usando estrelas gigantes

O estudo da evolução química do disco fino e espesso da nossa Galáxia é baseado principalmente na análise de estrelas anãs de tipo solar (e.g. Bensby et al. 2003; Bensby et al. 2004; Bensby et al. 2005) pois as técnicas para análise de anãs estão bem estabelecidas e o Sol serve como objeto de comparação. No entanto, as anãs G permitem apenas explorar a vizinhança solar, pois elas são relativamente fracas. Por outro lado, as estrelas gigantes K, sendo intrinsecamente luminosas, permitem explorar regiões mais distantes. Recentemente tem se desenvolvido técnicas confiáveis para o estudo de abundâncias químicas em estrelas gigantes frias (Meléndez et al. 2008; Alves-Brito et al. 2010). Portanto, a combinação de esforços de instrumentos como o ECHARPE e o STELES serão fundamentais para compreender melhor a evolução química das diferentes populações de nossa galáxia.

## Determinação precisa das dimensões absolutas de componentes de sistemas binários eclipsantes

A determinação precisa das massas, frações e possivelmente das composições químicas das estrelas, com erros da ordem ou inferiores a 1% possibilita o teste e refinamento de modelos de formação e evolução estelares. A análise de componentes de sistemas binários eclipsantes certamente é aperfeiçoada com instrumentos como o ECHARPE, devido às suas características de estabilidade e precisão.

## Asterosismologia de estrelas quentes

Um grande número de estrelas quentes de rotação rápida (estrelas delta Scuti, Ae/Be de Herbig, Be, O, roAp) pulsam em uma variedade de modos não radiais que fornecem informações valiosas sobre a estrutura do envoltório estelar. Modos de graus superiores podem ser detectados através de pequenas variações nos perfis das linhas espectrais e podem ser úteis na identificação dos modos de pulsação dessas estrelas.

## Asterosismologia em estrelas do tipo solar

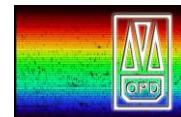
Nosso conhecimento do interior estelar pode ganhar muito com o estudo de pulsações não radiais fracas em estrelas do tipo solar. Modos de graus baixos podem ser observados através das pequenas variações que eles causam na velocidade radial. Combinando-se as informações de muitas linhas espectrais simultaneamente, variações de velocidade radial tão baixas quanto poucos metros/segundo podem ser atingidas para objetos brilhantes, fornecendo níveis de ruído de poucos cm/s no espaço de Fourier em poucas noites.

### **Tomografia de discos de acréscimo e ventos:**

A observação da variação dos perfis das linhas de emissão torna possível o mapeamento de discos estruturados e/ou fluxos de material circumestelar para muitos tipos de estrelas, incluindo variáveis cataclísmicas, T Tauri clássicas e estrelas Ae/Be de Herbig.

### **Referências**

- Alves-Brito, A. et al. 2010, A&A, 513, A35  
Bensby, T. et al. 2003, A&A, 410, 52  
Bensby, T. et al. 2004, A&A, 415, 155  
Bensby, T. et al. 2005, A&A, 433, 185  
Meléndez, J., Asplund, M., Gustafsson, B. & Yong, D., 2009, ApJ Letters, 704, L66  
Meléndez, J. et al. 2008, A&A Letters, 484, L21  
Ramírez, I., Meléndez, J. & Asplund, M., 2009, A&A Letters, 508, 17



## 1.3 Requisitos de projeto

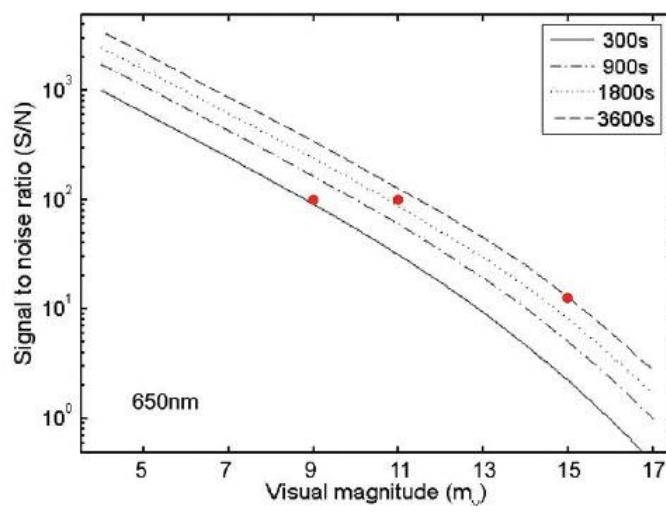
### 1.3.1 Requisitos de performance

RP-01 O espectrógrafo deve oferecer uma resolução espectral de  $R \sim 50.000$ , no intervalo entre 390 – 890 nm em uma única exposição.

RP-02 Trata-se de um espectrógrafo echelle R4 de bancada com dois canais, um azul 390 – 610 nm e um vermelho 580 – 890 nm (Jones, 2014).

RP-03 Deve ser alimentado por 2 fibras ópticas, sendo uma para o objeto observado e outra para o céu e calibração com abertura de 1,5 segundo de arco (120  $\mu\text{m}$ ).

RP-04 A performance teórica calculada é mostrada abaixo:



M <sub>v</sub>	S/N	T <sub>min</sub>
9	100	5
11	100	30
15	12	60

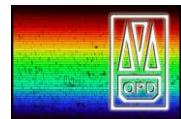
Figura 1.1. Performance esperada para o ECHARPE. Fonte: DOMINICI *et al.* (2012).

RP-05 A qualidade de imagem teórica é mostrada pelos gráficos abaixo, onde Série 1 indica 50% da energia, Série 2 indica 80% e Série 3 95%.

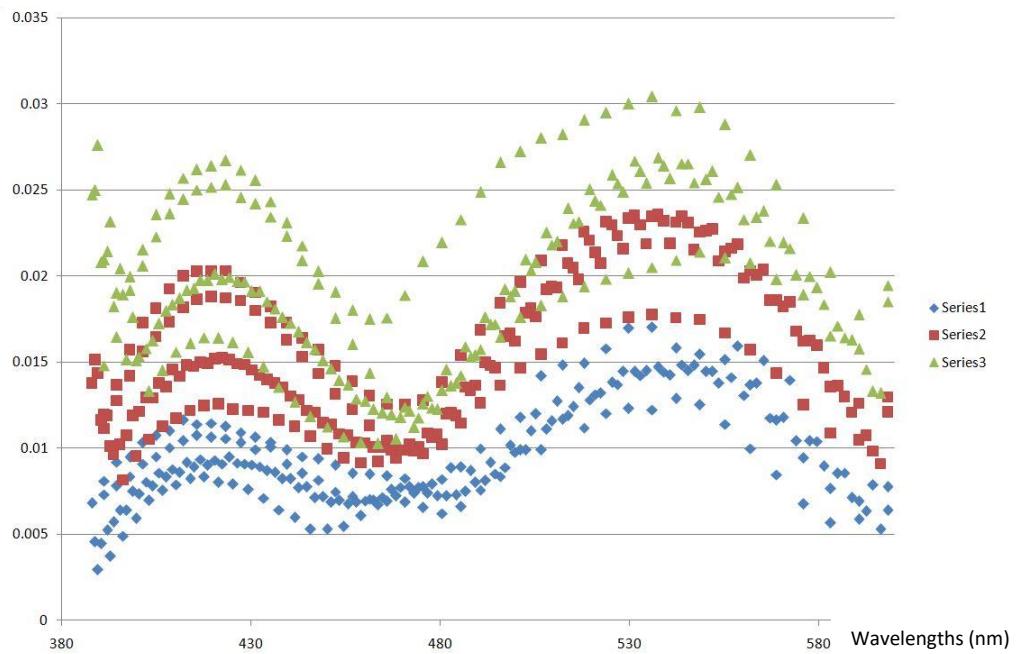


**ECHARPE**

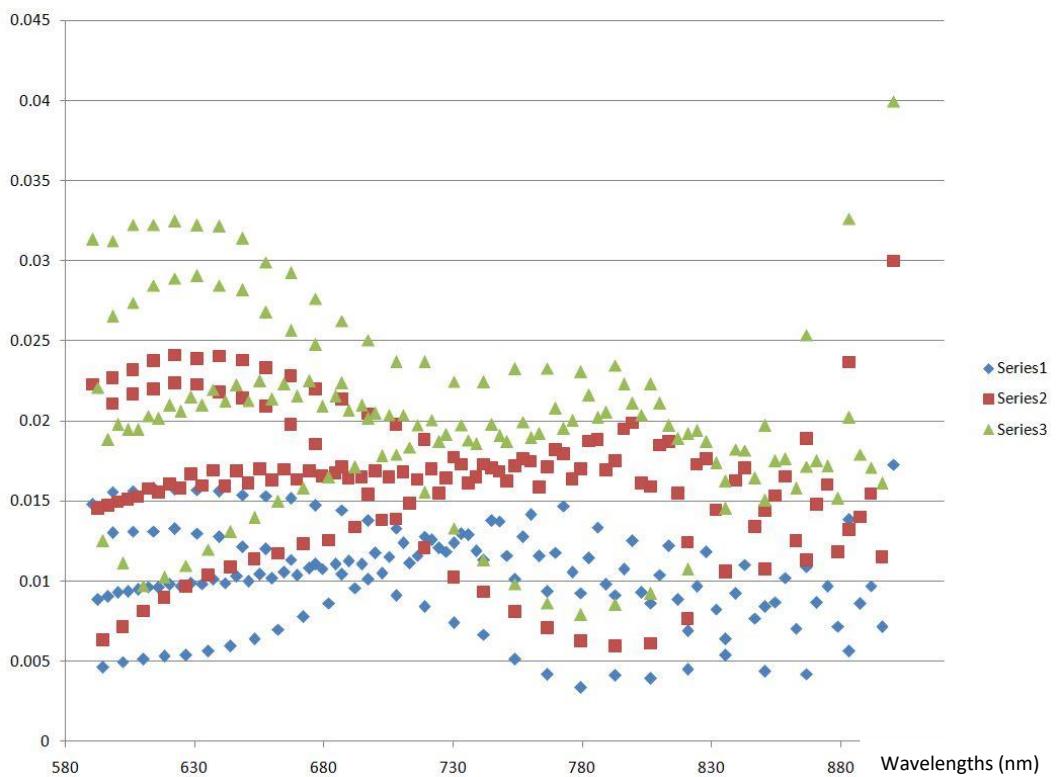
ECHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



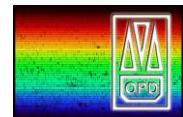
Spot diameter (mm)



Spot diameter (mm)



*Figura 1.2. Qualidade de imagem teórica*



### 1.3.2 Requisitos funcionais

RF-01 O espectrógrafo deve ser utilizado no telescópio Perkin-Elmer de 1,60 m do OPD. Trata-se de um instrumento de bancada alimentado por fibras ópticas.

RF-02 O espectrógrafo possuirá um módulo de entrada das fibras que pode ser adaptado tanto a sua fore-optics quanto ao polarímetro SPARC4, a ser operado no mesmo telescópio, ambos montados no foco Cassegrain.

RF-03 A bancada do espectrógrafo deve ser locada em uma das ramificações do pilar do telescópio Perkin-Elmer, na sala do espectrógrafo Coudé, em ambiente atmosférico estável.

RF-04 O caminho do cabo de fibras ópticas no prédio do telescópio é o mesmo que foi seguido pelo cabo do espectrógrafo Eucalyptus.

RF-05 Os softwares de controle (ICS – Internal Control Software), de operação (GUI – Graphical User Interface) e de aquisição de dados serão integrados ao TCSPD e devem poder ser operados remotamente. Deve haver pipeline para redução de dados automática (Software de redução de dados).



## 1.4 Árvore do produto

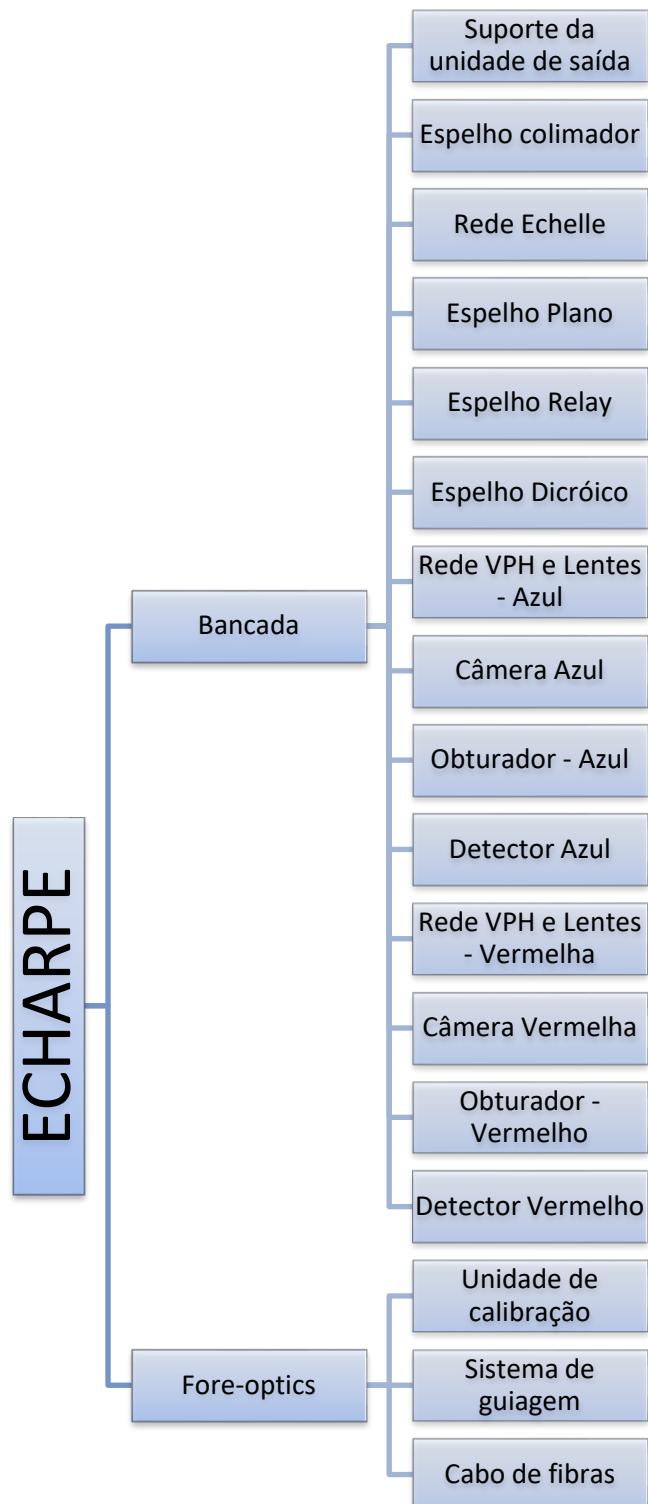


Figura 5.1. Árvore do produto

## 1.5 Interface com o telescópio

### 1.5.1 Fore-optics

A *fore-optics* conta com um módulo denominado AFIES, onde são montados os componentes de guiagem da fenda, a unidade de entrada do cabo de fibras e óptica de transferência. O AFIES pode ser montado tanto no polarímetro SPARC4 como na caixa da fore-optics específica para o ECHARPE, que é conectada ao foco Cassegrain do telescópio.

Ainda, a *fore-optics* conta com uma unidade de calibração - vide projeto Marcio V. Arruda.

### 1.5.2 Cabo de fibras ópticas

O cabo de fibras ópticas segue o mesmo caminho por onde passava o cabo de fibras do espectrógrafo Eucalyptus. Entretanto, seu comprimento deve ser de 13 metros<sup>3</sup>, um metro a mais que o cabo do espectrógrafo Eucalyptus.

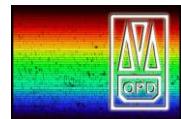
Sua unidade de entrada (UEFO) é montada no módulo AFIES, a ser montado ora na caixa da fore-optics do ECHARPE, ora no polarímetro SPARC4, ambos conectados diretamente ao telescópio, na flange do foco Cassegrain. A unidade de saída (USFO) fica sobre a bancada do espectrógrafo na sala do Coudé. Sua unidade de alívio de tensões (UATFO) e agitador (AGIFO) ficam também na sala do Coudé, em uma mesa ao lado da bancada. Para entrar na sala do Coudé, o cabo de fibras do ECHARPE passa pelo mesmo furo na parede circular no qual passava o cabo de fibras do espectrógrafo Eucalyptus.

O furo da parede entre a sala do telescópio e a sala do espectrógrafo Coudé mede 90 mm, e a UEFO deve respeitar este limite dimensional para que possa atravessá-lo.

Conforme especificado, o cabo de fibras ópticas utilizado tem as seguintes características:

Fabricante: Polymicro Technologies  
Part#: 1068022655  
Desc: FBP070098125  
Batch: AQQP01A - Date of Mfg: Oct 28, 2013  
Quantidade: 1000 metros  
Preço: US\$ 5,645.00

<sup>3</sup> Decidido em reunião no OPD em 6 abril 2018 – vide documento Bruno Castilho.



Custo total com despesas: R\$ 13.714,04

Core:  $70.0 \pm 2.0 \mu\text{m}$

Clad:  $98.0 \pm 3.0 \mu\text{m}$

Coating:  $125.0 \pm 5.0 \mu\text{m}$

### 1.5.3 Bancada

A bancada do ECHARPE está posicionada sobre uma das ramificações do pilar do Perkin&Elmer, no mesmo local onde era posicionada a bancada do espectrógrafo Eucalyptus<sup>4</sup>, na sala do espectrógrafo Coudé. Nesta posição o pilar tem 1,40 metros, largura suficiente para acomodar a bancada do ECHARPE. Optou-se por não fabricar bases para incremento de altura e deixar a superfície da bancada próxima ao fundo falso da sala.

A cobertura de 500 mm de altura é permitida, pois não interfere no caminho do feixe de luz do espectrógrafo Coudé.

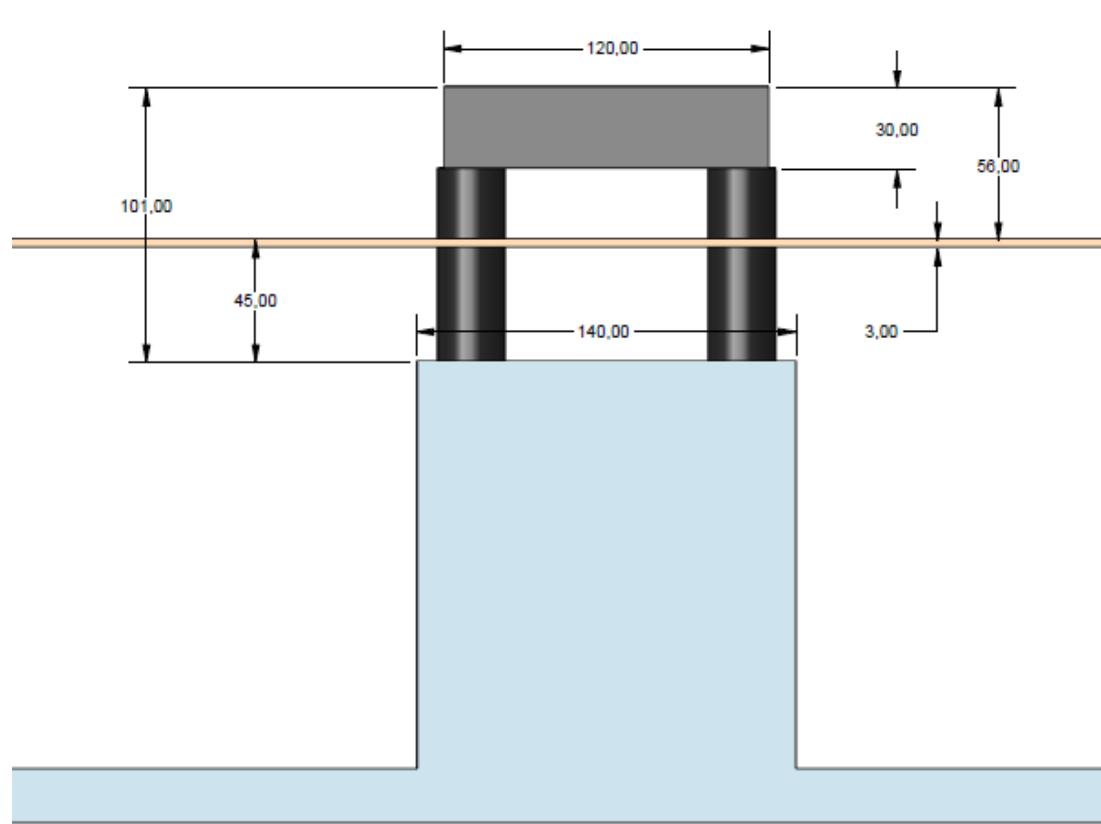


Figura 6.1. Posicionamento da bancada no pilar e alturas (medidas em centímetros).

<sup>4</sup> Confirmado em reuniões no OPD em 17 julho 2013 – vide ata, e 6 abril 2018.



## 1.6 Projeto óptico

O espectrógrafo possui um projeto óptico *cross-dispersed “white-pupil”* baseado em uma rede *Echelle* R4. Um espelho dicróico, ou *beamsplitter*, posicionado entre o espelho *relay* (ou segundo colimador) e a *white-pupil* separa a luz em dois canais: um azul 390 – 610nm e um vermelho 580 – 890nm. Os elementos dispersores são duas redes VPH posicionadas nas *white-pupils* de cada canal.

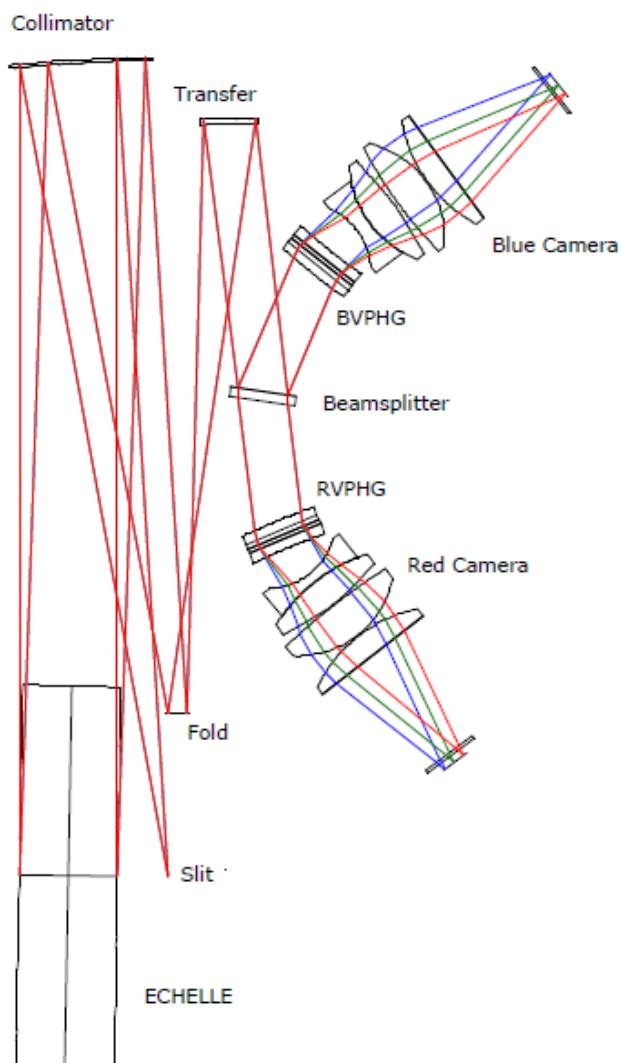


Figura 1.3. Componentes ópticos na bancada (JONES, 2014).

A especificação inicial contava com dois CCDs com (2048 x 2048) pixels de  $0,015 \mu\text{m}^2$ . Entretanto, os echellegramas foram revisados para dois CCDs com (2048 x 2048) pixels de  $0,0135 \mu\text{m}^2$  para se adaptar aos CCDs disponíveis no LNA para o projeto.

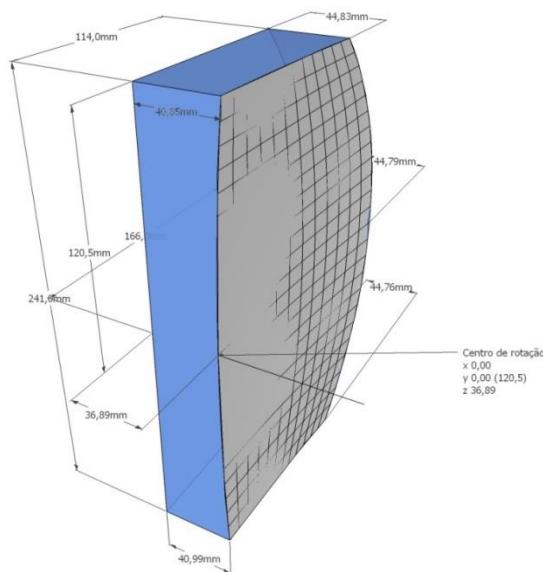


O arquivo de projeto óptico é o que está nos arquivos denominados “ECHARPE\_blue\_DJ\_20141002\_CentralRays.STP” e “ECHARPE\_red\_DJ\_20141002\_CentralRays.STP”, e “ECHARPE\_blue\_DJ\_20141002\_RingRays.STP” e “ECHARPE\_red\_DJ\_20141002\_RingRays.STP” atualizados por D. Jones entre maio e outubro de 2014, e importado para STP por D. Jones pela última vez em 5 de março de 2015. Estes arquivos foram importados para o SolidWorks por V. Macanhan em 5 de março de 2015 e unificados na montagem “ECHARPE OTICA DJ 2015.SLDASM”. Todos os arquivos de peças e montagem desta ótica estão na pasta “ECH OTICA FROM DAMIEN - 2015”.

Em 2021, os arquivos de projeto óptico foram atualizados utilizando-se valores obtidos para os componentes ópticos já fabricados. Os arquivos de projeto óptico atualizados em 2021 e utilizados para o projeto mecânico atualizado foram os arquivos denominados “ECHARPE\_BLUE\_JBS\_20210602.STP” e “ECHARPE\_RED\_JBS\_20210602.STP” atualizados por J. Santos em junho de 2021.

### Espelho colimador

O espelho colimador principal recebe o feixe de luz proveniente da fenda com razão focal f/8.5. Tem formato parabólico fora de eixo e distância focal 850 mm (JONES, 2014). O espelho colimador foi fabricado pela empresa francesa Sodern em 2017 e chegou ao LNA em março de 2018. Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho colimador.



Centro de rotação do espelho colimador:

X=0,00 mm  
Y=120,50 mm  
Z=36,89 mm

*Figura 1.4. Centro de rotação do espelho colimador*  
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)



## Rede echelle

O feixe proveniente do colimador é dispersado pela rede *echelle* e, então, novamente refletido no mesmo espelho colimador. A *echelle* tem um ângulo de 1º com relação ao seu eixo Y (eixo sobre a superfície da rede perpendicular aos sulcos) de forma que os feixes de entrada e saída sejam separados (JONES, 2014).

Foi adquirida pelo LNA em outubro de 2010.

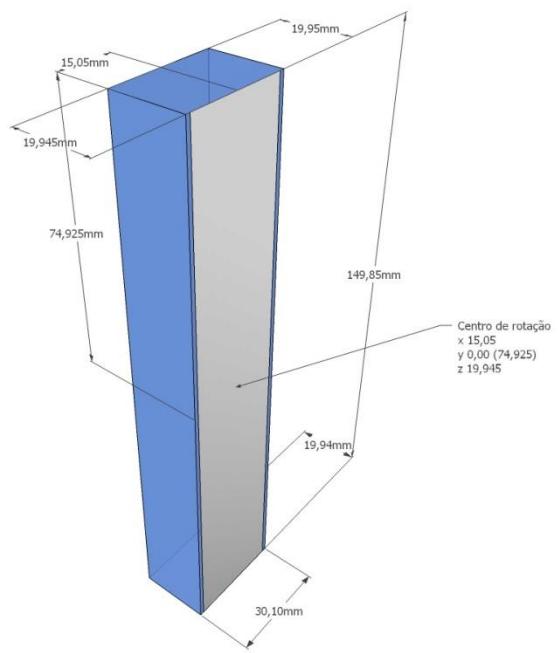
## Espelho plano

Tem a função apenas de redirecionar o feixe proveniente da segunda reflexão no colimador para o espelho relay.

O espelho plano foi fabricado pela empresa francesa Sodern em 2017 e chegou ao LNA em março de 2018.

Com a adaptação do projeto óptico do instrumento ao detector de 13.5  $\mu\text{m}$  por D. Jones em 2014/2015, o centro do espelho plano subiu 10 mm em relação ao plano óptico.

Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho plano.



Centro de rotação do espelho plano:

$$\begin{aligned}x &= 15,05 \text{ mm} \\y &= 74,925 \text{ mm} \\z &= 19,945 \text{ mm}\end{aligned}$$

Figura 1.5. Centro de rotação do espelho plano  
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)



## Espelho relay (ou segundo colimador)

Espelho esférico com 425 mm de distância focal com a função de colimizar novamente o feixe de luz (JONES, 2014).

O espelho *relay* foi fabricado pela empresa francesa Sodern em 2017 e chegou ao LNA em março de 2018.

O raio de curvatura especificado para o espelho *relay* é  $850 \pm 5$  mm. O raio de curvatura medido no Laboratório de Metrologia Óptica do LNA foi  $847,55 \pm 0,06$  mm, com qualidade de superfície  $\lambda/10$ . Logo, dentro do especificado. A qualidade da superfície também foi aprovada (J. Santos, 2021 – via comunicação eletrônica em 20 de maio de 2021).

Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho *relay*.

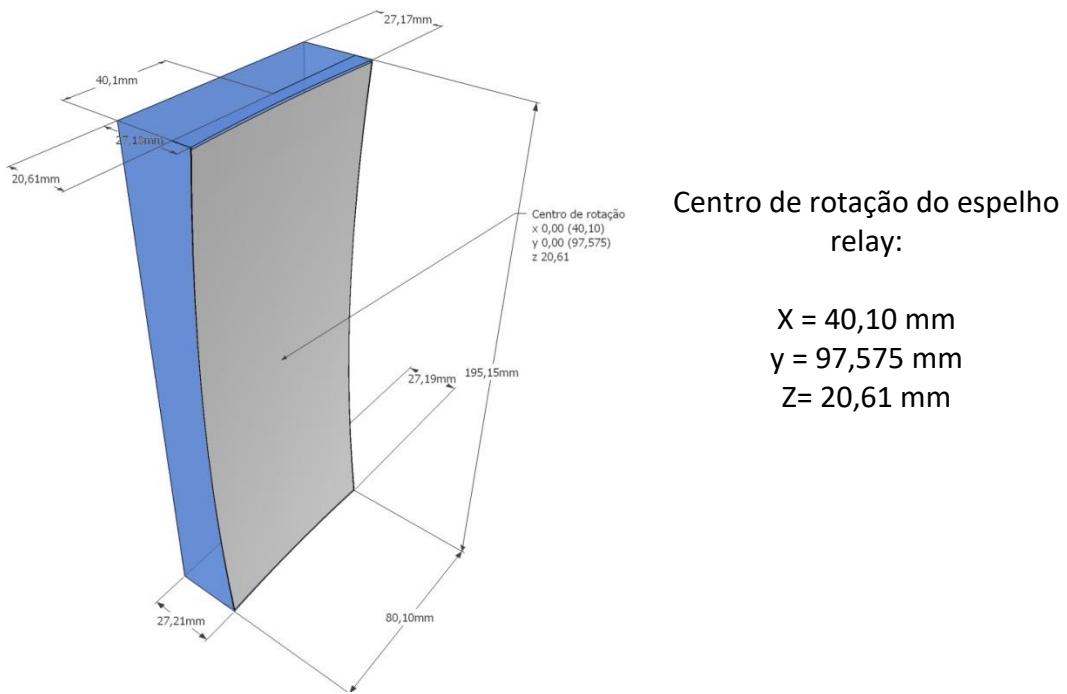
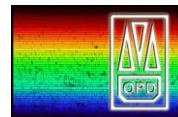


Figura 1.6. Centro de rotação do espelho relay  
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)

## Espelho dicroico (ou beamsplitter)

Reflete o canal azul (390 – 610nm) e transmite o canal vermelho (580 – 890nm) (JONES, 2014).

Foi fabricado pela empresa Jenoptik em maio de 2014. Os documentos de aprovação fornecidos pela Jenoptik estão disponíveis na wiki. Foi verificado e aprovado pelo Laboratório de Metrologia Óptica do LNA em 19 de agosto de 2015.



O gráfico abaixo apresenta a comparação entre as medidas da eficiência de transmissão fornecidas pelo fabricante e as obtidas pelo Laboratório de Metrologia Ótica do LNA. Ambas as curvas apresentam comportamento semelhante, portanto o componente ótico foi aprovado. Ainda, os valores obtidos pelo LNA abaixo dos fornecidos pelo fabricante ao final da curva se devem à eficiência quântica nesta faixa no detector utilizado pelo LNA.

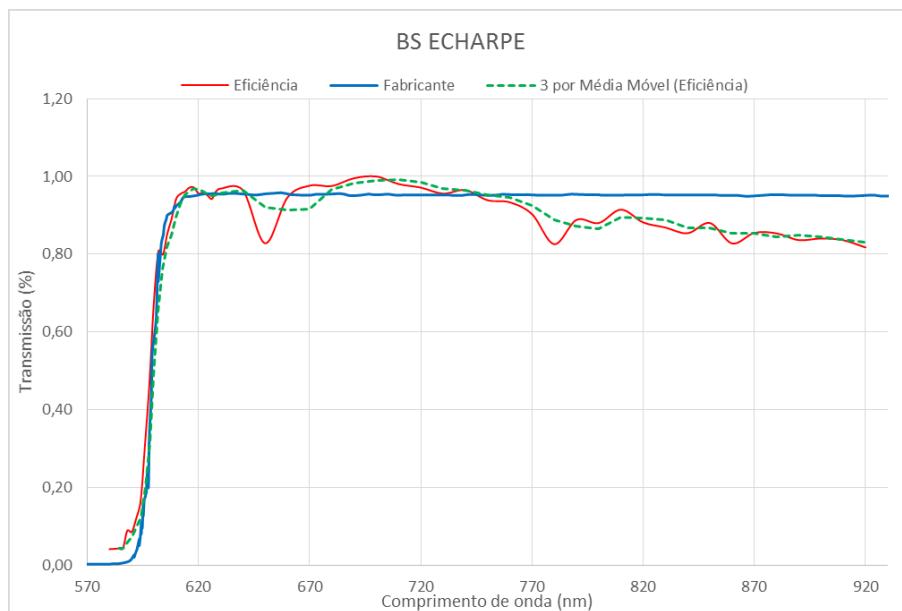


Figura 1.7. Curvas de transmissão do espelho dicroico fornecida pelo fabricante e medidas pelo LNA (RIBEIRO, 2015).

### Redes VPH (ou cross-dispersers)

Uma para cada canal, posicionadas nas pupilas brancas. Tem a função de dispersar os comprimentos de onda. (JONES, 2014). Cada uma delas possui espessura de 10 mm e duas lentes coladas, uma antes e outra depois.

As redes foram fabricadas pela Wasatch Photonics e recebidas pelo LNA em novembro de 2010. As lentes e a colagem foram fabricadas e realizada pela Jenoptik em maio de 2014. Os documentos de aprovação fornecidos pela Jenoptik estão disponíveis na wiki. A verificação dos conjuntos e aprovação dos mesmos pelo Laboratório de Metrologia Ótica do LNA foi realizada em novembro de 2014.

A princípio, as redes e lentes haviam sido dimensionadas por JONES (2014) para terem 80 mm de diâmetro, porém as redes foram fabricadas pela Wasatch Photonics com 85 mm. Assim, a Jenoptik, que fabricou as lentes, solicitou que as mesmas também fossem fabricadas com 85 mm de diâmetro para melhor precisão na centralização dos componentes.

### Características das redes pela Wasatch Photonics:

#### Rede VPH azul:

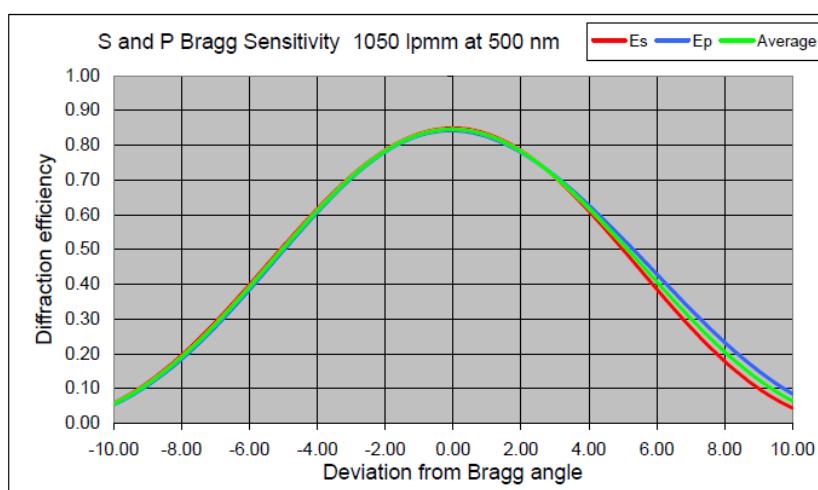
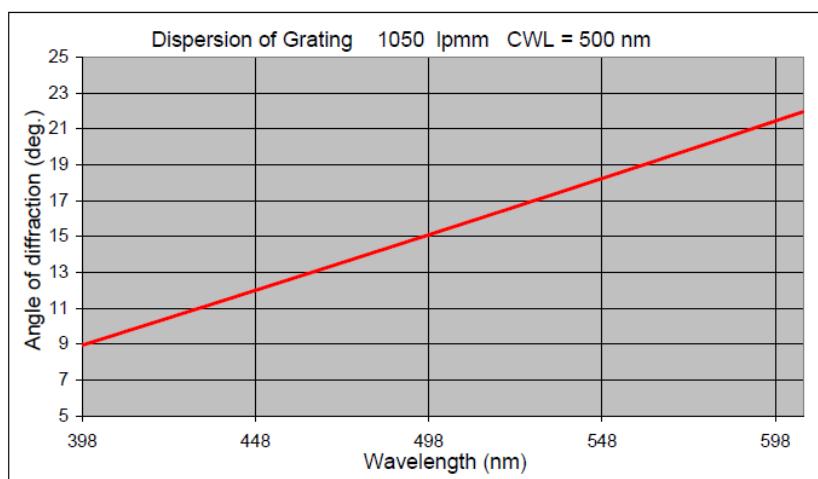
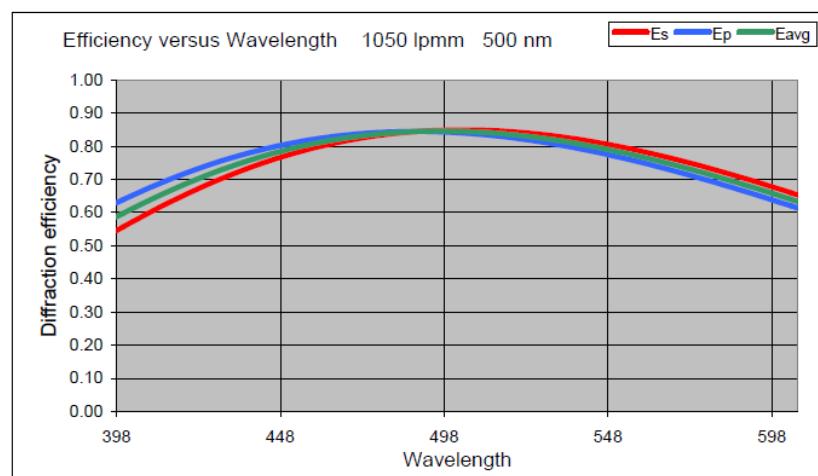
Grating B  
Application Astronomy  
Spatial Frequency 1050 l/mm  
Wavelength Range 398 nm - 606 nm  
Center or Peak Wavelength (nm) 500nm  
Circular substrate  
Ruled Clear Aperture 75mm diameter  
Substrate max size 85mm  
Grating Seal 3 mm O-ring seal  
Grating Line Orientation please provide marking in the edge (circular substrate)  
Substrate Materials UV grade Fused Silica  
Substrate/Assembly Thickness 5 + 5 mm  
No AR coating

#### Rede VPH vermelha:

Grating A  
Application Astronomy  
Spatial Frequency 700 l/mm  
Wavelength Range 583 nm - 900 nm  
Center or Peak Wavelength 740nm  
Circular substrate  
Ruled Clear Aperture 75mm diameter  
Substrate maximum size 85mm diameter  
Grating Seal 3 mm O-ring seal  
Grating Line Orientation - please provide marking in the edge (circular substrate)  
Substrate Materials BK7  
Substrate/Assembly Thickness 5 + 5 mm  
No AR coating



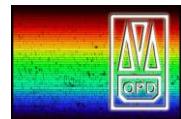
Comments: These performance curves are representative of the grating performance. Actual performance may vary.





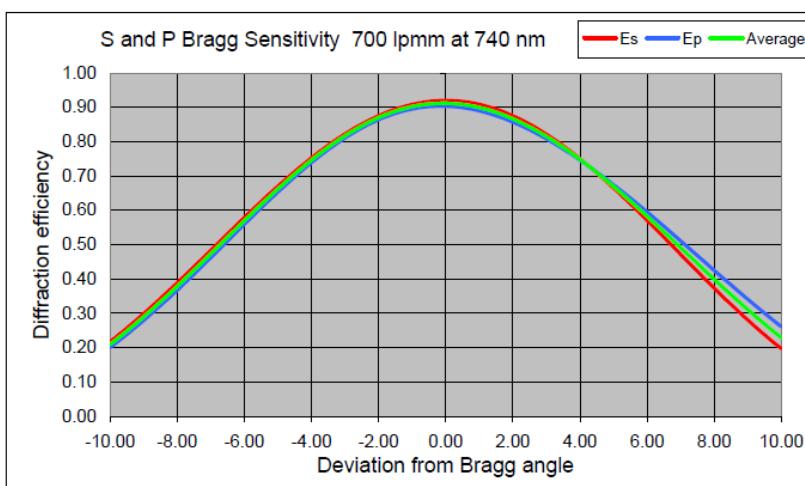
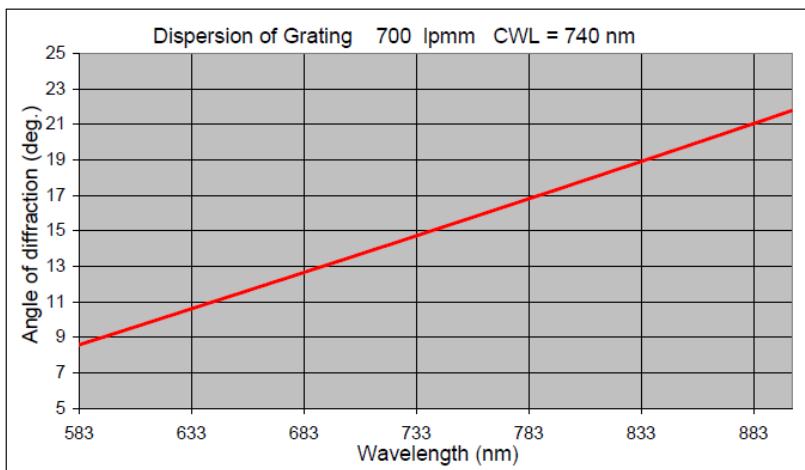
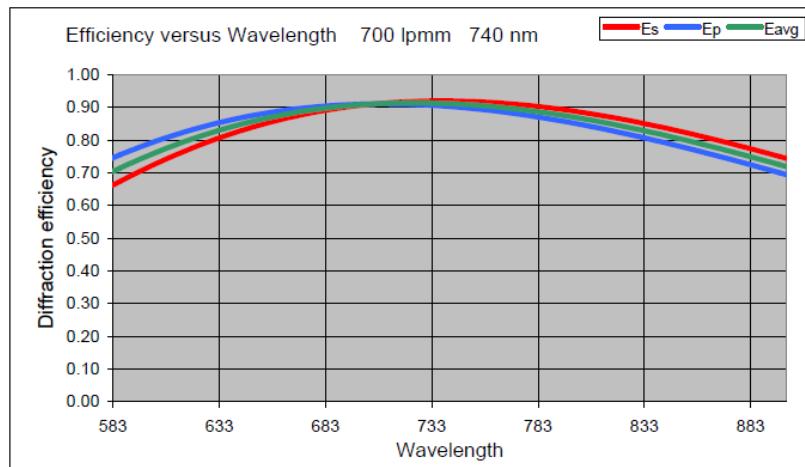
**ECHARPE**

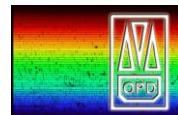
ECHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



**Wasatch Photonics**  
Ultimate Diffraction Gratings

Comments: These performance curves are representative of the grating performance. Actual performance may vary.





## Câmeras

Cada câmera possui um dubbleto negativo seguido por dois singletos positivos. A superfície de saída de cada dubbleto são esféricas e a última lente de cada câmera possui uma superfície cilíndrica. (JONES, 2014)

O projeto inicial das câmeras teve que ser modificado entre maio e outubro de 2014, conforme descrito no item 9.1.9. Detectores.

A câmera vermelha foi fabricada pela empresa francesa Sodern em 2016 e foi recebida no LNA em abril de 2017. O contato técnico foi Stephanie Sallard [stephanie.sallard@sodern.fr](mailto:stephanie.sallard@sodern.fr) e o contato comercial foi Marc Fullenbaum [marc.fullenbaum@sodern.fr](mailto:marc.fullenbaum@sodern.fr). O documento “*Red Camera Report*” foi fornecido pela Sodern, data 03 de março de 2017, sob nome de arquivo RCI 00019305 A RCI Red Camera.pdf.

A câmera azul foi fabricada pela empresa francesa Winlight System entre maio de 2018 e dezembro de 2019. O contato técnico e comercial é Vincent Lapere [vincent.lapere@winlight-system.com](mailto:vincent.lapere@winlight-system.com). O documento “*Inspection Report*” da câmera azul foi fornecido pela Winlight System, data 23 de dezembro de 2019, sob nome de arquivo WS-PVC3348-A. pdf.

## Detectores

Os detectores adquiridos são da marca ANDOR Technologies, modelo iKon-L 936.

No projeto inicial, os CCDs selecionados deveriam possuir 2048 x 2048 pixels com arestas quadradas de 15  $\mu\text{m}$ . Entretanto, em março de 2014 foi detectado que os CCDs adquiridos pelo LNA eram de 2048 x 2048 pixels, mas com arestas quadradas de 13  $\mu\text{m}$ . Segundo o projetista óptico D. Jones, a melhor solução seria adaptar as câmeras aos novos detectores, reduzindo o comprimento focal no fator 13.5/15; o que foi feito por ele entre maio e outubro de 2014.

Os obturadores utilizados são os obturadores integrados às próprias câmeras dos detectores.

Existem disponíveis obturadores externos do fabricante Melles Griot, modelo 04UTS205, caso sua utilização se torne necessária.



## 2 Projeto mecânico

O projeto mecânico do espectrógrafo ECHARPE está disponível no arquivo ECHARPE.sldasm, desenvolvido por Dra. Vanessa Bawden Macanhan.

### 2.1 Tolerâncias e ajustes

Os requisitos imprescindíveis para o desenvolvimento do projeto mecânico de um espectrógrafo são as dimensões dos componentes ópticos e suas tolerâncias de posição. Com base nas dimensões dos componentes ópticos, conhecidos seus materiais, são obtidos suas massas e então projetadas as células dos componentes e seus suportes. Com bases nas tolerâncias de posição, são determinados os ajustes necessários para o alinhamento dos componentes no instrumento. A determinação dos ajustes deve ser feita pelos engenheiros mecânicos em conjunto com os engenheiros ópticos que executarão o alinhamento dos componentes, uma vez que os primeiros são quem desenvolvem os suportes e os segundos são os “usuários” dos mesmos.

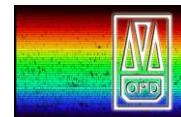
Com base nas tolerâncias dos componentes da bancada calculadas por Jones (2012/2014), mostradas nas tabelas abaixo, a equipe definiu os ajustes optomecânicos necessários para os componentes da bancada<sup>5</sup>, mostrados na Tabela 8.4.

*Tabela 2.1. ECHARPE Spectrograph Component Mechanical Tolerances.*

Fonte: Jones, 2014.

Component	Decentration, mm	Axial, mm	Tilt arcmin
Slit	0.25	0.04	5 (alignment)
Collimator	0.25	0.25	1
Echelle	-	1.0	(alignment)
Fold	-	1.0 (focus)	3
Transfer	0.2	1.0 (focus)	1
Beamsplitter (blue channel)	-	0.25	3

<sup>5</sup> Registrado em ATA 2013 07 29 – AJUSTES OPTOMECÂNICOS E DESPESAS e REUNIÃO 2021 04 28 – DEFINIÇÃO DOS AJUSTES DOS ESPELHOS DO ECHARPE: Colimador, relay/transfer e plano/fold.

*Tabela 2.2. ECHARPE Red Camera Component Mechanical Tolerances.**Fonte: Jones, 2014.*

Component	Decentration, mm	Axial, mm	Tilt arcmin
RVPHG	0.5	1.0	10
RCM1	0.01	2, (entire camera)	<1
RCM2	0.01	0.025	<1
RCM3	0.05	0.1	2
RWindow	-	-	10
Detector	-	0.005 (flatness req.)	1

*Tabela 2.3. ECHARPE Blue Camera Component Mechanical Tolerances.**Fonte: Jones, 2014.*

Component	Decentration, mm	Axial, mm	Tilt arcmin
BVPHG	0.2	0.5	3
BCM1	0.01	2, entire camera	1
BCM2	0.01	0.025	<1
BCM3	0.05	0.05	2
BWindow	-	-	10
Detector	-	0.005 (flatness req.)	1

*Tabela 2.4. Ajustes para os componentes da banca.**Fonte: Atas de reunião 2013 07 29 e 2021 04 28.*

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
1	Conjunto Slit	XYZ	XY (sem rotação Z) - DJ	Sim	5
2	Colimador	Placa Y	Y	-	1+1
3	Echelle	axial	XYZ - DJ	Acrescentar Z linear	4+1
4	Fold mirror	-	Y	-	1
5	Relay / Transfer	XZ+Placa Y	Y	Sim - DJ	3+1
6	Dicróico	Z	XY (sem rotação Z)	Sim	3
7	Redes VPH	-	XYZ	-	3
8	Câmeras	XY	-	-	2
9	Detektors	XYZ	XYZ	Sim	6



## 2.2 Suporte do espelho colimador

Dimensões reais:  **$241^{\pm 0,05} \times 166^{\pm 0,05} \times 44,79^{\pm 0,01} \text{ mm}^3$**

Dimensões teóricas mínimas:  $240 \times 165 \times \text{TBD} \text{ mm}^3$

*Optical clear aperture:*  $240 \times 135 \text{ mm}^2$

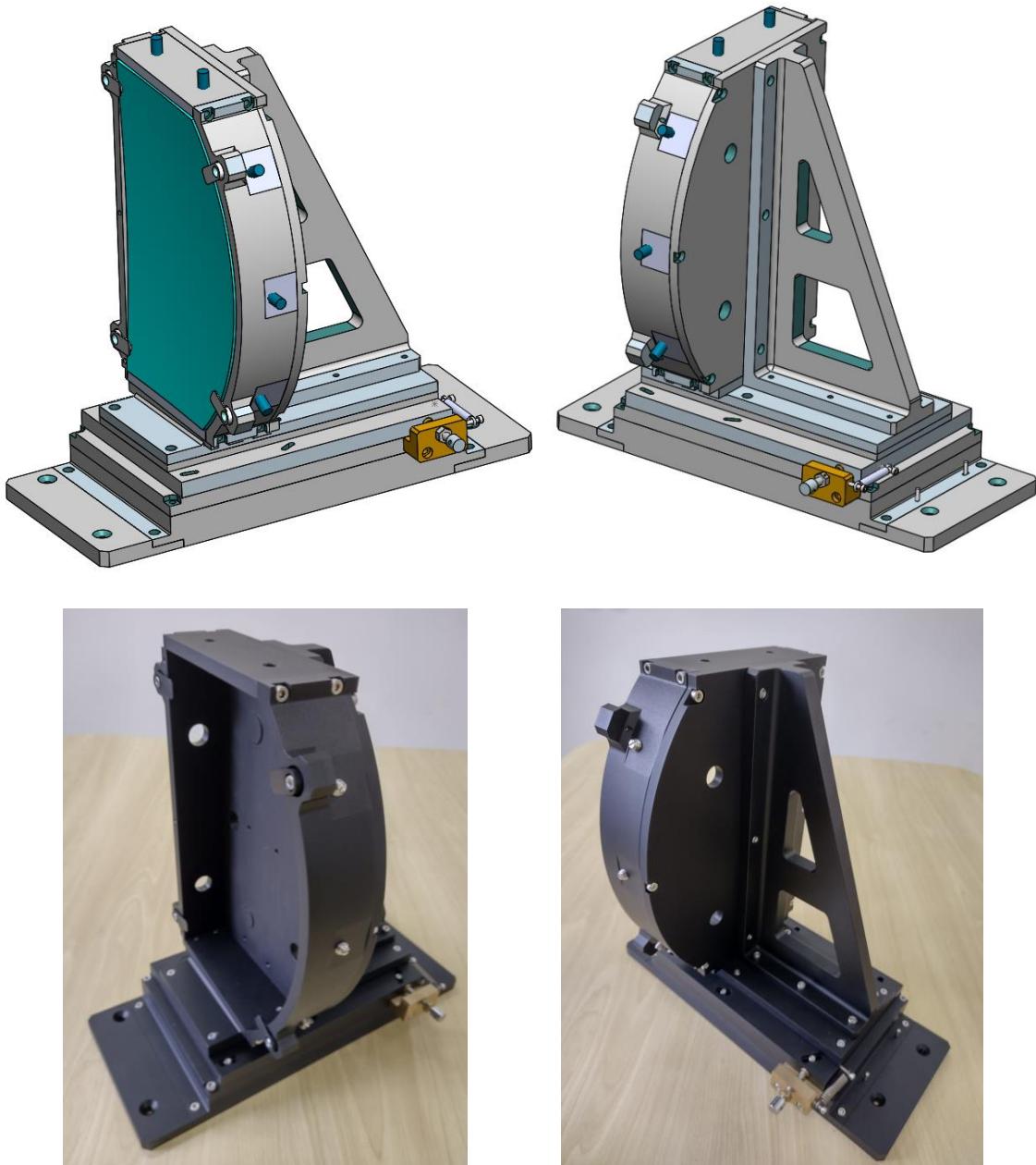
Massa da óptica teórico: 4.090,6 gramas

Massa do suporte teórico: 4.872,81 gramas

Massa do suporte real: **7.810 gramas**

Massa total teórico: 8.963,41 gramas

Massa total real: TBM



*Figura: Suporte do espelho colimador*



Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012):

Component	Decentration (mm)	Axial (mm)	Tilt (arcmin)
Colimador	0.25	0.25	1

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Abril 2021:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
2	Colimador	Placa Y	Y	-	2

O espelho colimador é alojado em uma célula que comporta seu formato em D. A célula é fabricada em cinco placas distintas parafusadas entre si. O espelho toca as placas inferior, posterior e lateral reta. Entre o componente ótico e as placas superior e lateral curva há *pads* de *Delrin*® de 1,5 mm de espessura. Estes *pads* podem ser colados ou fixados no espelho, colagem leve. Há espaço para alívio térmico entre o componente ótico e a placa superior e a placa lateral curva, através das quais são inseridos atuadores com mola interna e ponta circular que tocam os *pads* de *Delrin*® para evitar compressão concentrada no componente ótico e consequente deformação pontual do mesmo.

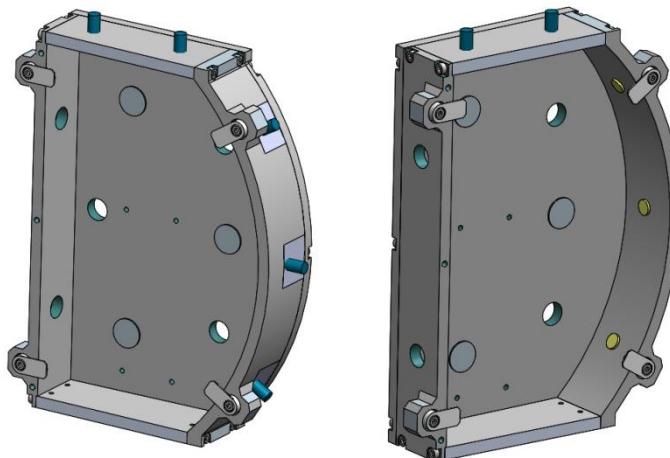


Figura. Célula do espelho colimador

**Muita atenção ao montar a base inferior! A peça só possui uma única posição de montagem** e os furos da lateral menor não são simétricos. O furo mais próximo no canto fica para frente do conjunto.



Há furos para metrologia, na parte de trás da célula e na lateral curva, com  $\varnothing 15$  mm. Há, ainda, três sulcos para metrologia – para o toque da esfera do braço de medição – na parte frontal da célula, na lateral reta.

Na parte frontal do espelho por tocam *clamps* de alumínio com efeito mola presos à célula. A superfície do *clamp* que toca a frente do espelho é esférica, uma vez que a superfície frontal do espelho é esférica.

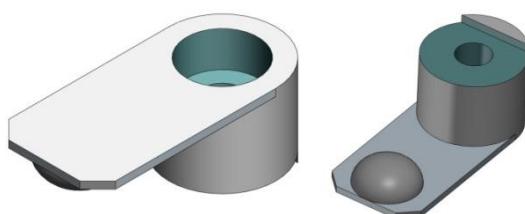
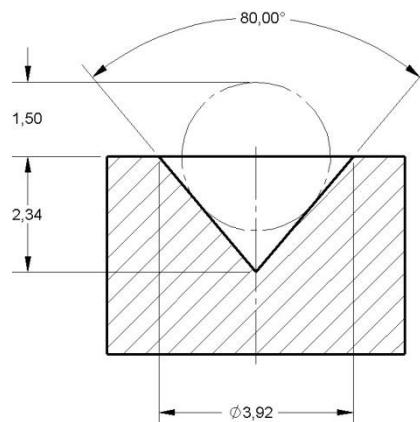


Figura. Clamp com efeito mola e superfície de toque esférica

O objetivo dos atuadores laterais com mola interna e dos *clamps* frontais com efeito mola é aliviar possíveis variações dimensionais consequentes de variações térmicas (dilatações e contrações de diferentes proporções ocasionadas pelos diferentes materiais do espelho e da célula). Mesmo sendo esperado que tais variações sejam mínimas, uma vez que o espectrógrafo ficará em ambiente termicamente estável, estes dispositivos são utilizados por segurança.

Os atuadores laterais com mola interna e dos *clamps* frontais com efeito mola não devem ser utilizados para movimentação do espelho dentro da célula. **Ajustes de posição são sempre feitos fora da célula. O objetivo da célula é proteger o componente ótico.** O componente ótico deve ficar fixo em relação à célula, ou seja, não se deve movimentar o espelho dentro da célula para fins de posicionamento ou alinhamento. Para posicionamento ou alinhamento utiliza-se todo o resto do suporte que está fora e abaixo da célula.

A célula é fixa ao suporte sendo parafusada à placa de apoio e, também, parafusada a um suporte triangular que também é parafusado à mesma placa de apoio. O objetivo do suporte triangular é fornecer rigidez ao sistema e evitar vibrações indesejadas.

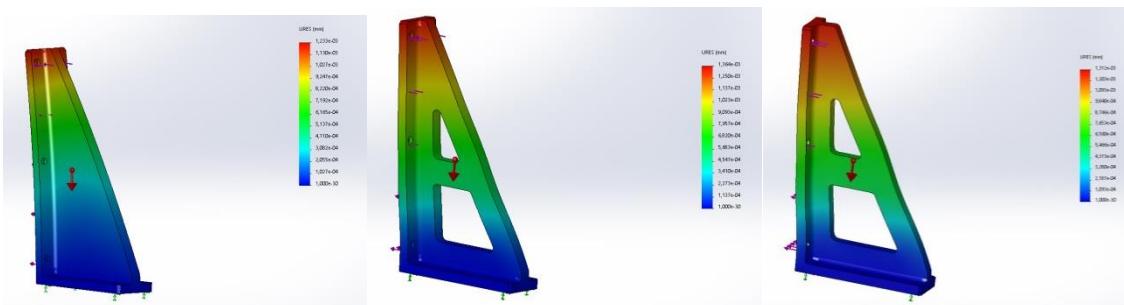


Figura. Análises estruturais FEM no suporte triangular do espelho colimador

## Ajustes para o espelho colimador

Para o ajuste linear em Y, ou ajuste de altura, optou-se por utilizar a placa de ajuste Y. Trata-se de uma placa horizontal inserida no suporte, abaixo do componente óptico, cuja espessura deve ser rigorosamente controlada para se obter o posicionamento preciso em Y. Para se diminuir a altura do subconjunto, e consequentemente do centro do componente óptico, esta placa pode ser usinada ou substituída por uma menos espessa. Para se obter uma altura maior, esta placa pode ser substituída por uma mais espessa ou pode-se acrescentar uma placa extra ou espaçador na altura necessária. A figura abaixo apresenta a placa para ajuste linear Y destacada em azul. Para o suporte do espelho colimador sua espessura teórica é 5,5 mm.

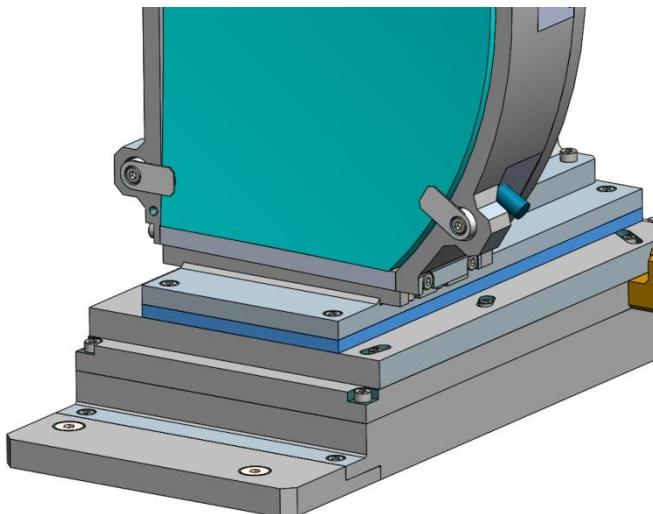


Figura: Placa para ajuste linear Y destacada em azul: espessura teórica 5,5 mm.

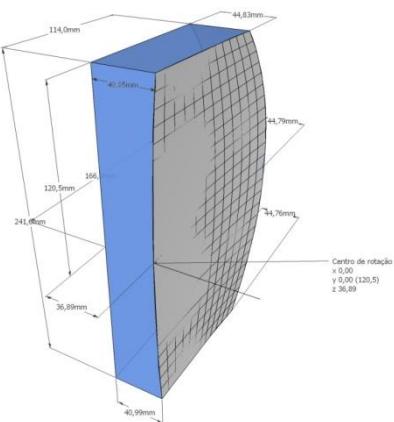
Caso seja necessário, para os ajustes angulares em X e Z, que implicam em movimentos na direção da gravidade, assim como o ajuste linear em Y, optou-se por utilizar espaçadores.



A princípio, o uso de placa de ajuste e espaçadores pode tornar o alinhamento mais difícil do que a utilização de atuadores. Entretanto, optou-se por não utilizar atuadores verticais, ou seja, na direção da gravidade, porque tais atuadores verticais geram instabilidades e consequentemente, vibrações, indesejadas no sistema. O uso de placa de ajuste vertical e espaçadores torna o sistema consideravelmente mais rígido e estável, o que reflete na melhoria da estabilidade do feixe de luz e, portanto, da qualidade da imagem final detectada pelo CCD.

Foi definido pela equipe do projeto que o suporte do espelho colimador deve possuir ajuste angular Y. Ainda foi solicitado que o centro de rotação do mesmo seja alinhado com o centro de rotação do espelho.

Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho colimador.



Centro de rotação do espelho colimador:

X=0,00 mm  
Y=120,50 mm  
Z=36,89 mm

Figura. Centro de rotação do espelho colimador

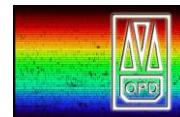
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)

Para o ajuste angular Y do espelho colimador utilizou-se duas placas uma sobre a outra, que deslocam entre si. A placa superior possui um furo de 16 mm de diâmetro que deve ser inserido no cilindro pertencente à placa inferior. O centro do cilindro e do furo é colinear ao centro de rotação do espelho colimador, de modo que quando uma placa se desloca em relação à outra, é executado o ajuste angular desejado.

Para a usinagem do cilindro e do furo deve-se utilizar ajuste rotativo extra-preciso H6/f6, sendo que para Ø16 mm as cotas são:

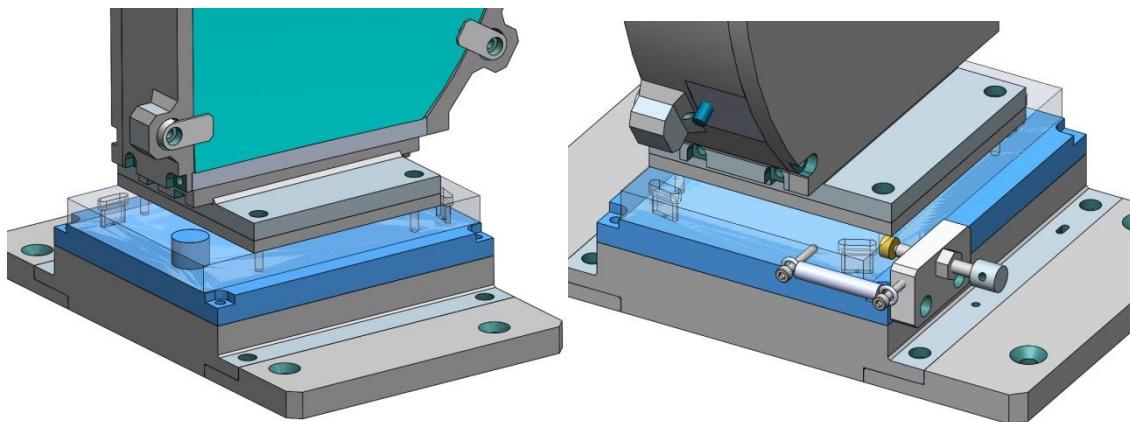
$$Furo = \varnothing 16^{+0,011}_0 \quad Eixo = \varnothing 16^{-0,016}_{-0,027}$$

Entretanto, após a fabricação e anodização, ficou uma pequena folga entre furo e cilindro. Esse problema foi contornado com a colagem de um pedaço de fita Kapton® na lateral do cilindro. Um pedaço de cerca de 10 mm de Kapton® tape é suficiente para eliminar completamente a folga. Pedaços maiores que isso deixam cilindro muito



espesso e impedem a montagem do sistema. A Kapton®, além de eliminar a folga, deixa o movimento mais suave.

A figura abaixo apresenta a placa para ajuste angular Y inferior em azul e a superior em transparência, possibilitando a visualização do cilindro que define o centro de rotação.



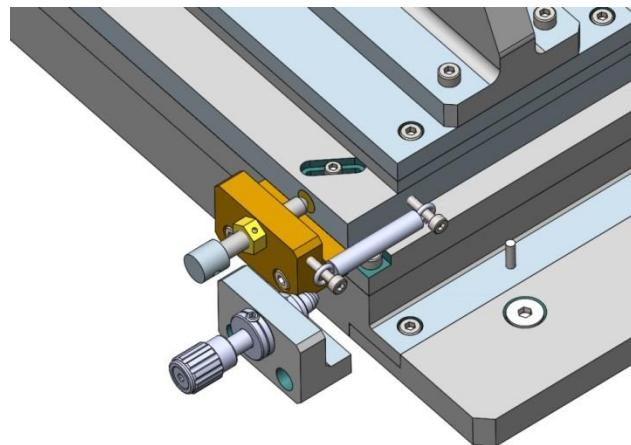
*Figura. Ajuste angular Y para o espelho colimador*

Para a execução do ajuste utiliza-se um atuador em aço inoxidável AISI 316 ou similar M6 com passo 1,0 mm, que toca uma pastilha de bronze alumínio ou latão inserida na placa superior. O atuador trabalha em paralelo à uma mola de tração com as especificações abaixo: [www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
1,10	6,40	28,2	41,5	5,25	ARJ0441100616

O atuador é travado com uma porca comum, com um furo para inserção de mini alavanca. Para travar as placas do ajuste angular Y, utiliza-se parafusos M3 em oblongos circulares.

Caso se deseje um ajuste mais fino, a castanha deste atuador é intercambiável para uma castanha que aloja um atuador Newport AJS127-0.5.



*Figura. Castanhas intercambiáveis para atuador M6x1 e atuador Newport AJS127-0.5 para execução do ajuste angular Y.*

Atenção ao montar estas castanhas. Ao apertar os parafusos, puxá-las para baixo, para não bloquearem o movimento da placa superior. Usar parafusos M4x20.

Abaixo das placas de ajuste angular há um bloco espaçador de 26 mm de altura. Caso seja necessário ou desejado no futuro, este bloco pode ser substituído por placas para ajuste linear X e/ou Z.

Este bloco é fixado em dois apoios que por sua vez são fixados à bancada. Caso o suporte precise ser removido da bancada, o bloco deve ser desparafusado dos apoios, que permanecem parafusados à bancada. Entre o bloco e um dos apoios há pinos guia para repetibilidade de posicionamento.



*Figura. Suportes espelhos relay, plano e colimador*



## 2.3 Suporte da rede *echelle*

Dimensões reais:	<b>420 x 110 x 74mm<sup>3</sup></b>
Dimensões teóricas:	410 x 110 x 74mm <sup>3</sup>
<i>Optical clear aperture:</i>	408 x 102mm <sup>2</sup>
Ângulo com relação ao plano óptico:	15°
Massa da óptica teórica:	9.606,83 gramas
Massa do suporte teórico:	19.148,30 gramas
Massa do suporte real:	<b>18.970,00 gramas</b>
Massa total teórica:	28.755,13 gramas
Massa total real:	TBM

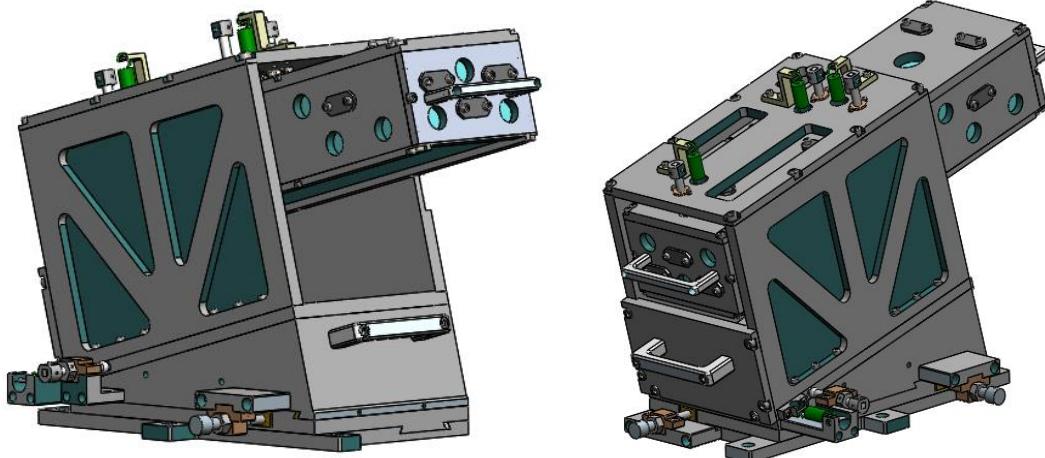


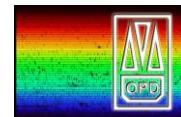
Figura: Suporte mecânico da rede Echelle.

Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012):

Component	Decentration (mm)	Axial (mm)	Tilt (arcmin)
Echelle	-	1.0	(alignment)

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Ago 2013:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
3	Echelle	axial	XYZ - DJ	Acrescentar Z linear	4+1



Ajustes opto-mecânicos inseridos: 6 ajustes = 3 angulares XYZ + 2 lineares XZ + 1 linear axial.

- Ajustes angulares nas três dimensões: XYZ, com relação ao plano da face principal da rede, não com relação ao plano óptico.
- Ajuste linear em X (lateral paralelo à bancada) – este ajuste foi acrescentado por mim para compensar o fato da largura da rede ser muito justa em relação ao *clear aperture*: 110 mm de largura da rede para 102 mm de *clear aperture*, sobrando 4 mm de cada lado, sendo 2 mm utilizados para apoiar a moldura, sobrando apenas 2 mm de folga.
- Ajuste linear em Z (na direção do feixe de luz) – além do foco, este ajuste compensa a relação comprimento da rede x *clear aperture*.
- Ajuste linear axial (perpendicular à face principal da rede).

Ajuste	Atuador	Resolução (mm/volta)	Curso (mm)	Dn* (mm)
Axial	A1,A2 e A3 - 3 x M8	1,00	4	2x16,5 + 21
Angular X	A3 - M8	1,00	4	16,5
Angular Z	A1 - M8	1,00	4	21
Angular Y	A4 - M8	1,00	4	16
Linear X	A5 - Diferencial M10xM8	0,25	2,5	20
Linear Z	A6 - Diferencial M10xM8	0,25	2,5	20

Tabela: Ajustes existentes no suporte mecânico da rede Echelle.

\*Sendo, Dn a distância nominal da base da cabeça do atuador, ou base do knob, até a primeira superfície da castanha (para esta medida, ignorar a porca, quando houver).

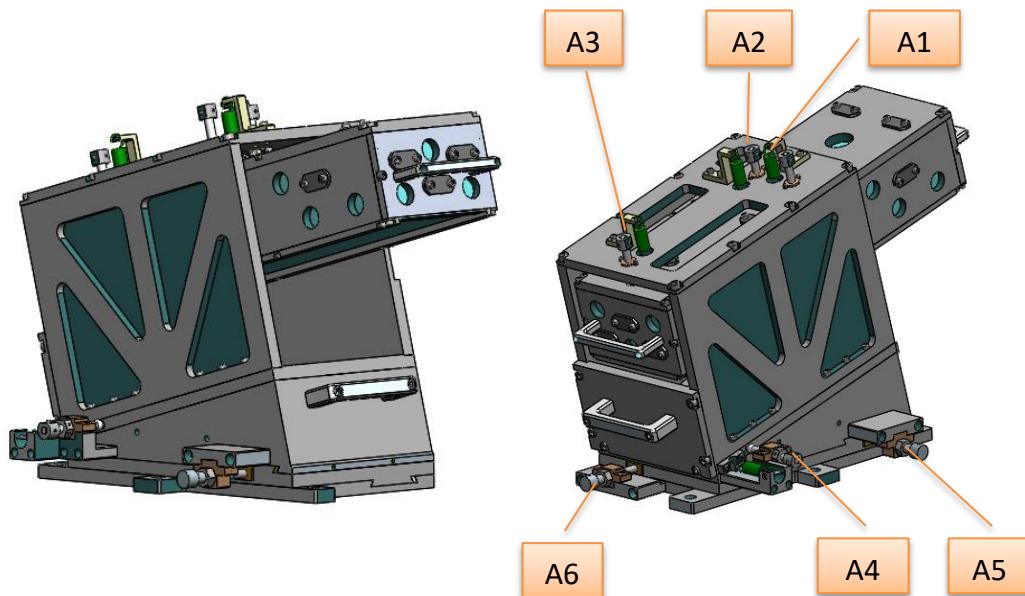


Figura: Atuadores para ajustes da rede Echelle.

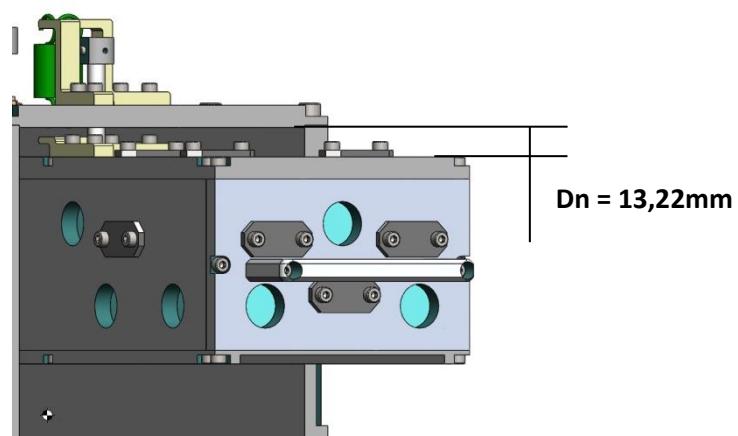
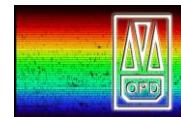


Figura: Distância nominal entre a parte superior da célula e a superfície inferior da placa superior do suporte.

- Mola

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)
1,80	12,7	36

#### Montagem da rede na célula:

A rede *Echelle* fica alojada em uma célula retangular, formada por seis placas de alumínio.

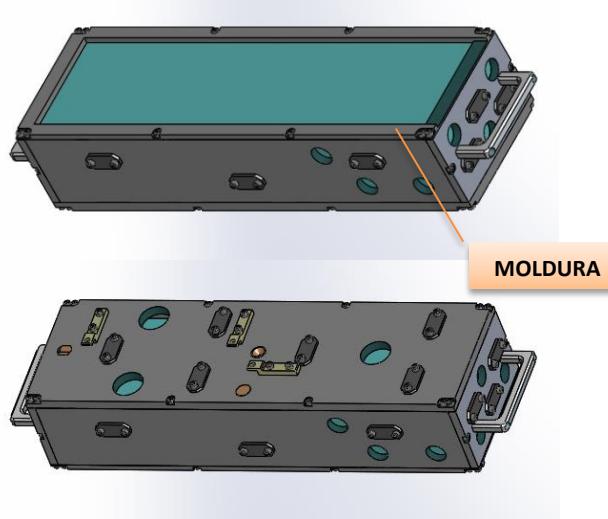


Figura: Rede echelle montada na célula.

A única placa que toca a rede é a placa denominada MOLDURA. Para que a rede não toque diretamente no alumínio, deve-se primeiramente cobrir o alumínio com *Kapton tape*® por 6 mm nas bordas de menor comprimento e 4 mm nas bordas de maior comprimento.



Recomenda-se montar a célula juntamente com a rede, ou seja, montar a célula ao redor do componente óptico, ao invés de colocar o componente óptico depois da célula montada. Para que isso seja possível, deve-se colocar a moldura sobre dois ou três blocos rígidos da mesma altura, de modo a permitir que a moldura seja parafusada “por baixo” nas demais placas.

Há um espaço de 3 mm, como mostrado na figura abaixo, entre a rede e as quatro laterais e entre a rede e a placa principal da célula, de modo que a rede não toca estas cinco placas. Nestas cinco placas, são montadas as peças denominadas BASE D15 DE DELRIN, as quais tocam e suportam a rede. Os comprimentos dos cilindros destas bases são 0,1 mm maiores que a dimensão nominal do espaço. Assim, durante a montagem, as BASE D15 devem ser parafusadas com aperto suficiente para sustentar a célula. As BASE D15 tem diâmetro 15 mm e os furos nas placas por onde elas passam tem diâmetro 15,1 mm.

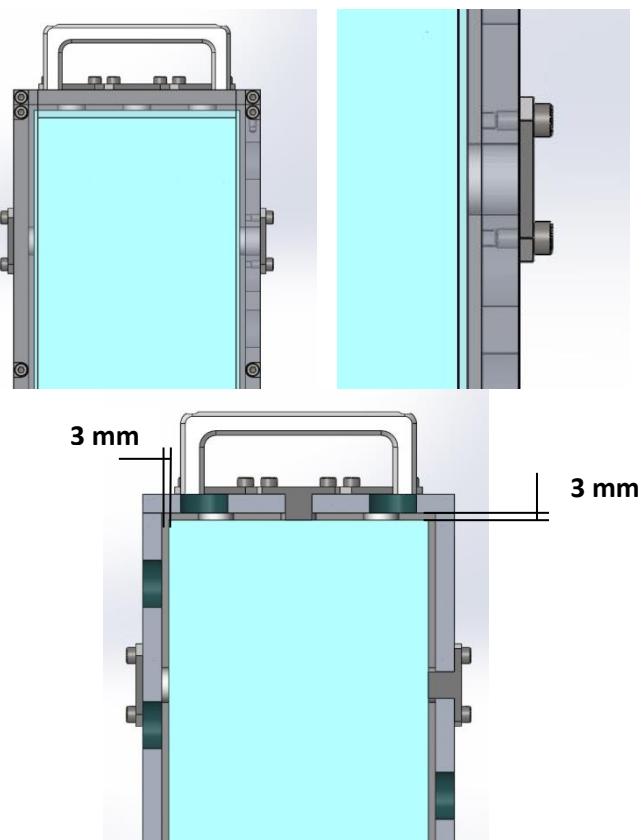


Figura: Detalhes da rede Echelle montada na célula.

Para o ajuste perfeito da rede na célula, recomenda-se o uso, quando e se necessário, de *Kapton tape*® na base dos cilindros e arruelas de *nylon*®. Nas cinco placas da célula, que não a principal, há três furos em cada placa para metrologia com braço de medição se necessário. Na placa superior os furos são de 30 mm e nas demais placas são de 20 mm.



### Conjunto suspenso – Ajustes angulares XZ e axial:

A célula da rede é montada em um conjunto suspenso, assim chamado porque a célula fica “pendurada” na placa suspensa, pelas molas do ajuste cinemático. No ajuste cinemático do conjunto suspenso, são feitos os ajustes angulares em X e Z (com relação ao plano da face principal da rede, e não em relação ao plano da bancada) e ainda o ajuste linear axial.

Para o ajuste cinemático são utilizados três parafusos M8x1,0x42 com rosca fina de 1mm por volta (não é a padrão!). As bases cinemáticas cone, sulco e plana de AISI316 (inox) têm diâmetro 15 mm e altura 6 mm. Os rebaixos para elas na placa principal da célula tem diâmetro 14,08 mm, para ajuste fixo prensado. O pivô sobre o acento cone está no parafuso sobre o centro da face principal da rede. O sulco está no parafuso superior e o plano está no parafuso ao lado do central, o mais próximo ao mesmo.

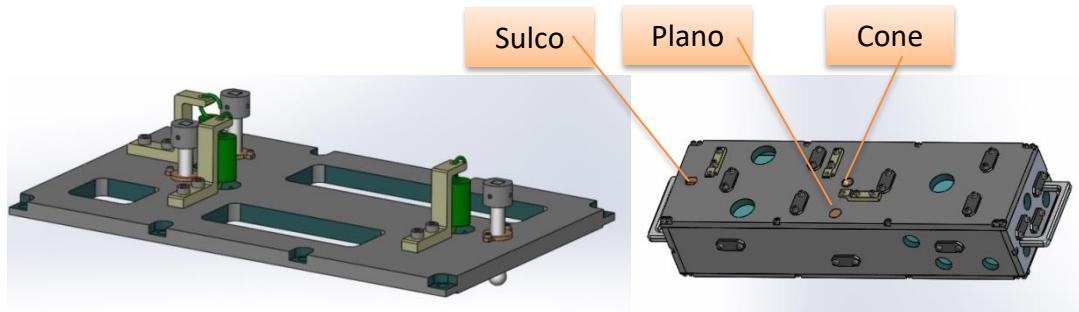


Figura: Atuadores e bases para ajuste cinemático da rede Echelle.

### Laterais:

Conectam do conjunto suspenso à base. A lateral menor garante a estabilidade da montagem. O pequeno chanfro na ECH SUP LATERAL 1 é para maior distância do material até o feixe proveniente da fibra em direção ao colimador.

### Base – Ajustes angular Y e lineares X e Z:

Possui 4 placas principais:

- Placa superior
- Placa ângulo
- Placa central
- Placa inferior

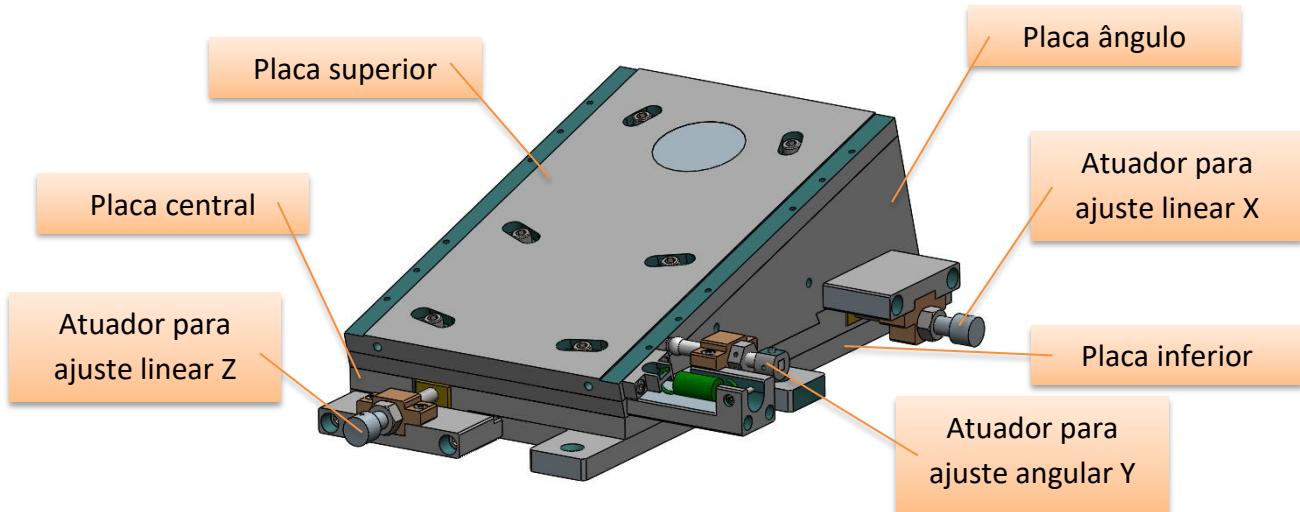


Figura: Ajustes angular Y e lineares X e Z da rede echelle.

As placas superior, central e inferior tem 12 mm de espessura.

A placa ângulo tem um ângulo de 15°, que é o ângulo entre a rede e o plano óptico, que permite que o ajuste angular Y seja em relação à face principal da rede, não ao plano óptico.

O ajuste angular Y (em relação à face principal de rede) é dado pelo deslocamento da placa superior em relação à placa ângulo. A placa superior tem um furo de 50mm dentro do qual fica um eixo de 49,90 mm, com ajuste deslizante. O parafuso atuador deste ajuste é M8x1,0 (rosca fina) e está a 171 mm do pivô. A base cinemática em AISI316 tem diâmetro 8 mm e altura 6 mm. Seu rebaixo na placa superior tem diâmetro 7,98 mm, para ajuste fixo prensado. Há 6 parafusos de travamento. Para o travamento em si, apenas dois seriam suficiente; porém o uso de seis parafusos é para o caso de ser necessário levantar ou suspender o conjunto. As roscas laterais na placa ângulo são opcionais para parafusar PUXADOR 90 PARA M6, se o operador desejar.

O ajuste linear X é dado pelo deslocamento da placa ângulo em relação à placa central. O atuador é um parafuso diferencial M8x1,25–M10X1,50, de modo que cada volta resulte em um deslocamento de 0,25 mm. O travamento é feito pela porca rosqueada no atuador.

O ajuste linear Z é dado pelo deslocamento da placa central em relação à placa inferior. O atuador também é um parafuso diferencial M8x1,25–M10X1,50, de modo



**ECHARPE**

ECHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



que cada volta resulte em um deslocamento de 0,25 mm. O travamento é feito pela porca rosqueada no atuador.

A placa inferior é fixada na bancada com parafusos M6 cabeça chata.

O projeto do suporte mecânico da rede *echelle* foi desenvolvido entre janeiro e março de 2014 e os desenhos de fabricação ficaram prontos em maio de 2014. O suporte foi fabricado pela empresa Metalcard de São José dos Campos através de licitação com recursos do LNA e foi entregue em março de 2015.



## 2.4 Suporte do espelho plano

Dimensões reais:  **$149,85^{\pm 0,05} \times 30,10^{\pm 0,05} \times 19,95^{\pm 0,01} \text{ mm}^3$**

Dimensões teóricas: **150 x 30 x TBD mm<sup>3</sup>**

*Optical clear aperture:* **140 x 20 mm<sup>2</sup>**

Massa da óptica teórico: **252,86 gramas**

Massa do suporte teórico: **1736,86 gramas**

Massa do suporte real: **TBM gramas**

Massa total teórico: **1989,71 gramas**

Massa total real: **TBM**

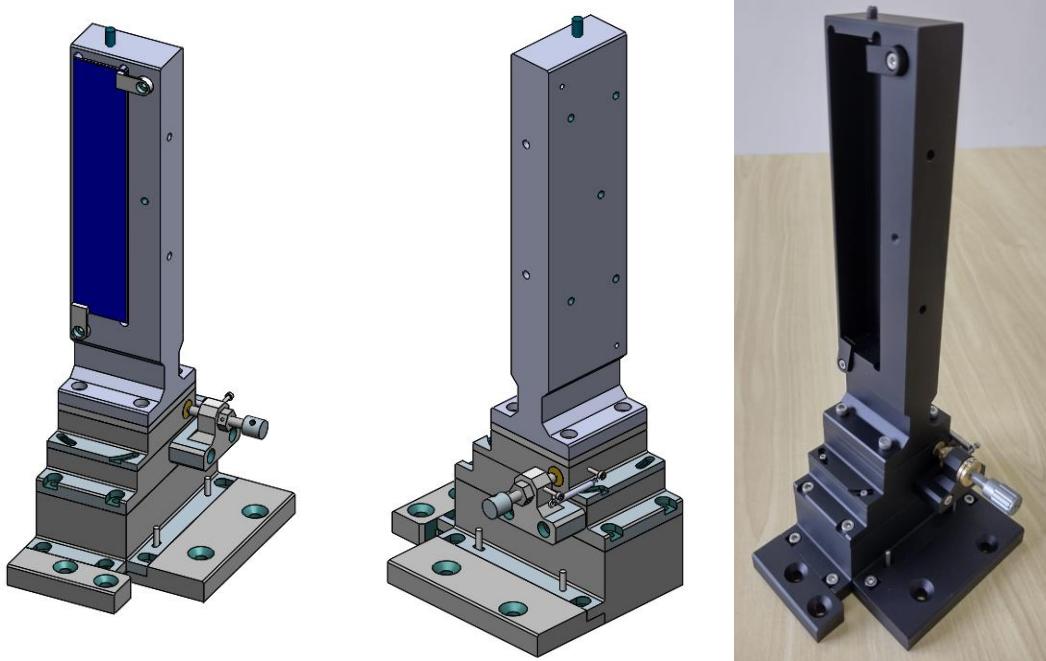


Figura: Suporte mecânico do espelho plano

Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012):

Component	Decentration (mm)	Axial (mm)	Tilt (arcmin)
Plano	-	1.0 (focus)*	3

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Abril 2021:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
4	Fold mirror	-*	Y	-	1



Com relação aos ajustes para alinhamento, ficou definido pela equipe do projeto, em reunião em abril de 2021 que seria inserido um ajuste angular Y, com o centro de rotação do ajuste alinhado ao centro de rotação do espelho. A descrição detalhada deste ajuste se encontra no decorrer deste capítulo.

Também foi definido que, caso sejam necessários, para o ajuste linear Y e os ajustes angulares em X e Y, que implicam em movimentos na direção da gravidade, pode-se utilizar espaçadores.

Em 2014, houve uma adaptação do instrumento para os detectores, de 15  $\mu\text{m}$  para 13,5  $\mu\text{m}$ , pelo ótico D. Jones. Nesta ocasião, D. Jones orientou que o espelho plano deveria ser posicionado 10 mm acima do plano óptico. Entretanto, em reunião em 15 de setembro de 2021, após análise do projeto e posteriores trocas de comunicação eletrônica, ficou definido pela equipe que o centro do espelho plano deveria ser **posicionado a 4 mm acima do plano óptico** do espectrógrafo.

Para isso, foi então **projetada uma placa de ajuste linear Y de 4,23 mm**, a qual deve ser montada no suporte mecânico, abaixo da célula. Os 0,23 mm ajustam a posição central do espelho que foi fabricado com 149,85 mm, e não com 150 mm como definido em projeto. Caso o espelho precise ser posicionado acima dos 4,23 mm, pode-se reusinar uma nova placa de ajuste linear Y com a dimensão necessária, ou acrescentar uma placa complementar com a espessura a adicionar. Caso o espelho precise ser posicionado abaixo, a placa deve ser usinada até a espessura necessária.

É importante ressaltar que, no caso de acrescentar altura, é melhor usinar uma nova placa do que acrescentar uma placa adicional a existente, já que mais placas de ajuste podem (ou não) gerar um pequeno escorregamento indesejado entre placas, tirando o espelho da posição correta durante ou após alinhamento.

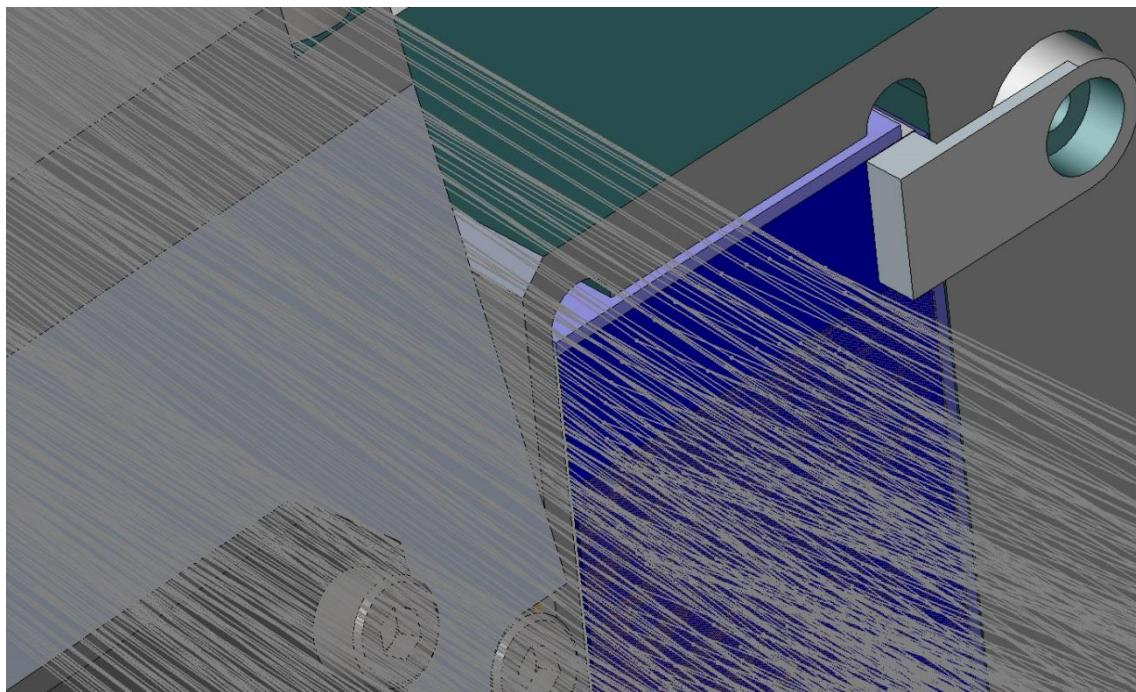


Figura: Feixe vermelho no espelho plano posicionado 10 mm acima do plano ótico

Foi definido em reunião com a equipe que o ajuste linear em Z (ajuste de foco\*) para o espelho plano não seria necessário. Entretanto, como esse ajuste foi indicado como necessário/desejável tanto por B. Delabre, como por D. Jones, foi deixado, na parte inferior do suporte, um bloco com espaço suficiente para que tal ajuste seja inserido no futuro caso necessário ou desejado. Vale ressaltar que a tolerância axial de 1,0 mm indicada por D. Jones é relativamente “folgada” e é possível, portanto, que tal ajuste realmente não seja necessário.

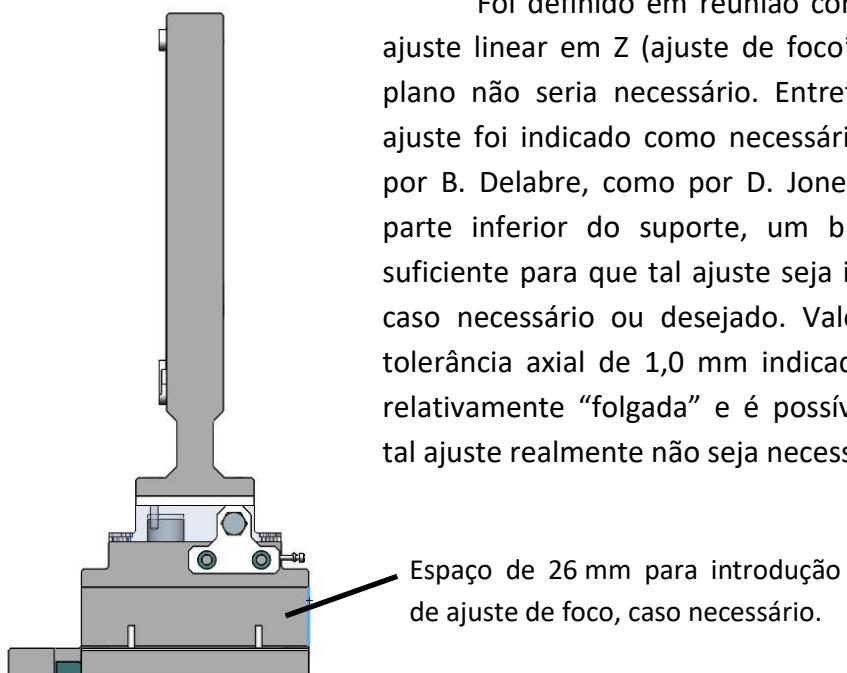


Figura. Vista lateral do suporte optomecânico do espelho plano



O espelho é alojado em uma célula de alumínio 7075-T6 e preso por dois **clamps com efeito mola**. Optou-se por utilizar dois *clamps*, e não três como padrão, devido ao pouco espaço livre para tal na face do espelho. Nas faces superior e lateral direita do bloco do espelho são colocadas duas réguas de *Delrin*® para evitar que os **posicionadores M5 x 13 mm com mola interna e ponta esférica** toquem no vidro.

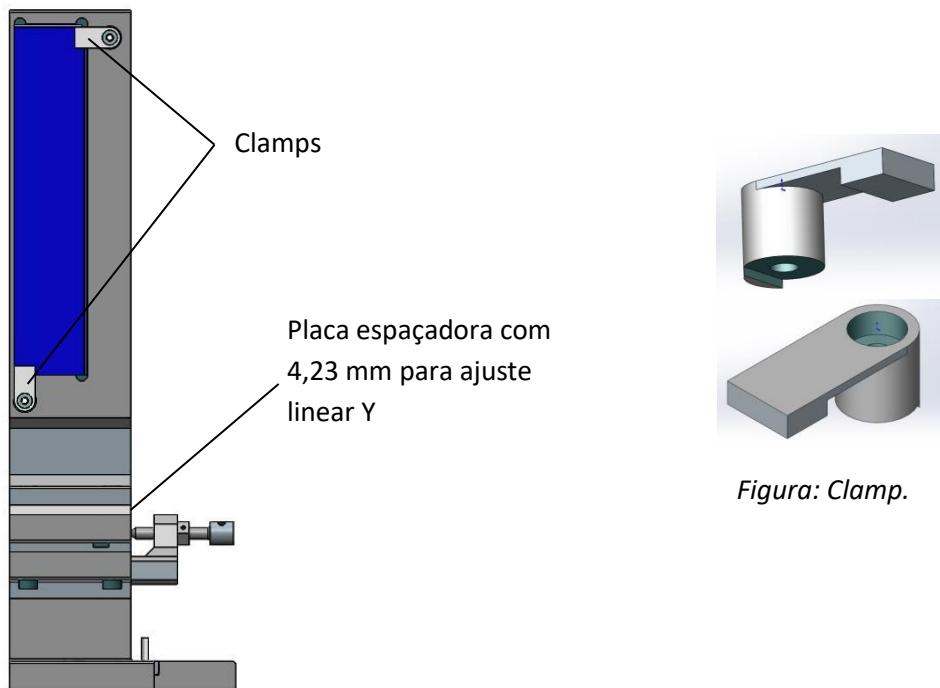
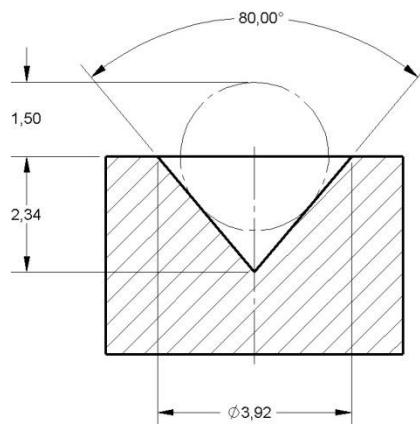


Figura: Clamp.

Figura: Vista frontal do suporte do espelho plano

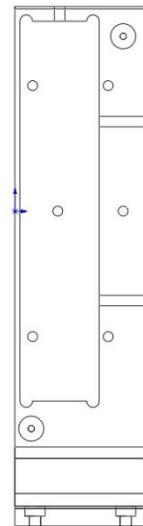
Para auxiliar no alinhamento do espelho, foram usinados na célula furos para metrologia. Os furos possuem as dimensões indicadas na figura, adequados à esfera do equipamento do LNA.





Os furos de metrologia são seis.

Um na parte frontal da célula, na altura do centro do espelho, no plano óptico.

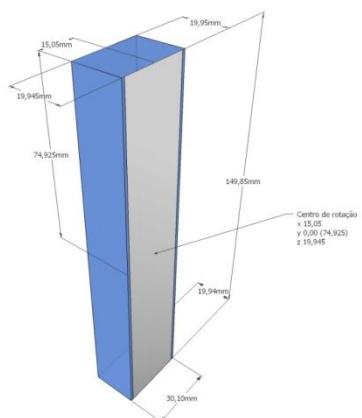


Os outros cinco furos ficam na superfície posterior da célula. Um furo central, no centro do espelho. Os furos superiores e inferiores estão a 50 mm do centro. Os laterais estão a 10 e 20 mm do furo central.

### Ajuste angular Y

Para o ajuste angular Y, foi definido que o eixo do centro de rotação do ajuste deve coincidir com o centro de rotação do espelho.

Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho plano.



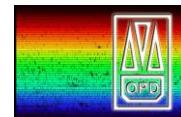
Centro de rotação do espelho  
plano:

$$\begin{aligned}x &= 15,05 \text{ mm} \\y &= 74,925 \text{ mm} \\z &= 19,945 \text{ mm}\end{aligned}$$

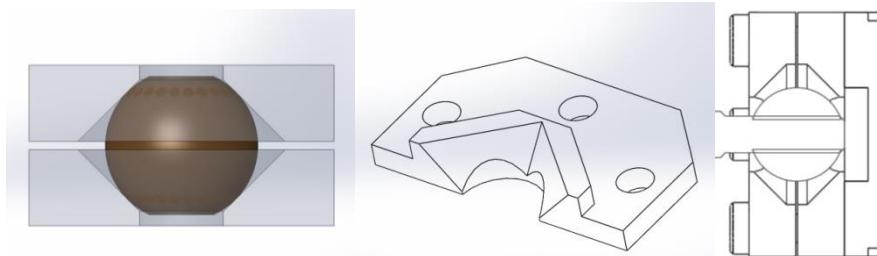
*Figura. Centro de rotação do espelho plano*  
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)

### Sobre a escolha do tipo de ajuste angular Y:

A princípio, a ideia era projetar um sistema de ajuste que não utilizasse molas. As molas são de difícil aquisição em nosso país quando se trata de comprar poucas unidades (nesse caso, uma). Nunca se sabe se será possível encontrar a mola especificada e, principalmente, se o material da mola adquirida é realmente o especificado. O fornecedor especifica como material “aço inoxidável”, mas não especifica nem garante qual dos inúmeros tipos de aço inoxidável utiliza. Logo, não se tem garantia que a força da mola será a adequada, ou seja, a calculada em projeto.



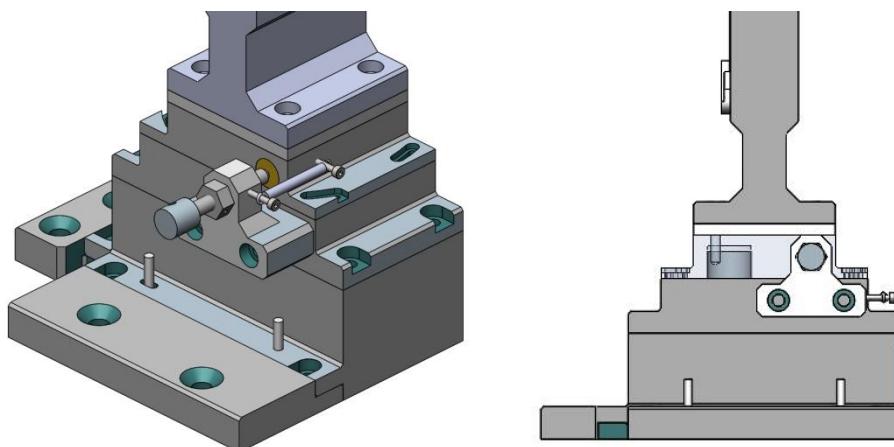
Assim, foi pensado em utilizar, para o atuador do ajuste angular Y, uma castanha em formato de esfera que ficasse dentro de alojamentos cônicos ou piramidais, tal como nas figuras abaixo.



*Figuras: Alojamento cônico(a) e alojamento piramidal(b) para esferas de ajuste angular; esfera inserida no alojamento com respectivo atuador em seu eixo(c).*

Entretanto, a confecção de ajuste com esfera em alojamento cônico ou piramidal exige precisão “perfeita” (entre aspas, obviamente) de usinagem para um ajuste deslizante sem folgas, mais difícil de se conseguir do que em peças retilíneas. Qualquer folga no ajuste, tanto no encaixe esfera alojamento, como na rosca do atuador, inviabiliza a precisão do sistema. Uma forma de se contornar possíveis folgas nesse tipo de sistema é utilizar molas de compressão no atuador, o que volta ao impasse do uso de molas. Portanto, o uso de molas acaba se tornando uma forma bastante segura de se garantir a solução para o problema das folgas que podem ser possivelmente encontradas tanto nos alojamentos como nas roscas dos atuadores.

Optou-se então por utilizar o sistema tradicional de ajuste com castanha linear e mola de tração. O atuador rotaciona uma placa sobre outra, ambas conectadas por um cilindro de ajuste rotativo deslizante, de  $\varnothing 12$  mm, cujo eixo de rotação é colinear ao eixo de rotação na superfície frontal do espelho.



*Figura: Ajuste angular Y, mostrando o atuador, a mola de tração e o cilindro.*



Para a usinagem do cilindro e do furo deve-se utilizar ajuste rotativo extra-preciso H6/f6, sendo que para  $\varnothing 12$  mm as cotas são:

$$\text{Furo} = \varnothing 12^{+0,011}_{0,000} \text{ mm} \quad \text{Eixo} = \varnothing 12^{-0,016}_{-0,027} \text{ mm}$$

Especificação da mola de tração: [www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
0,80	3,20	25,1	31,8	3,80	ARJ0440800425

Para travar o ajuste angular Y, utiliza-se parafusos M2 em oblongos circulares.



*Figura. Atuador e mola*

Todos os demais parafusos entre peças do sistema são M4.

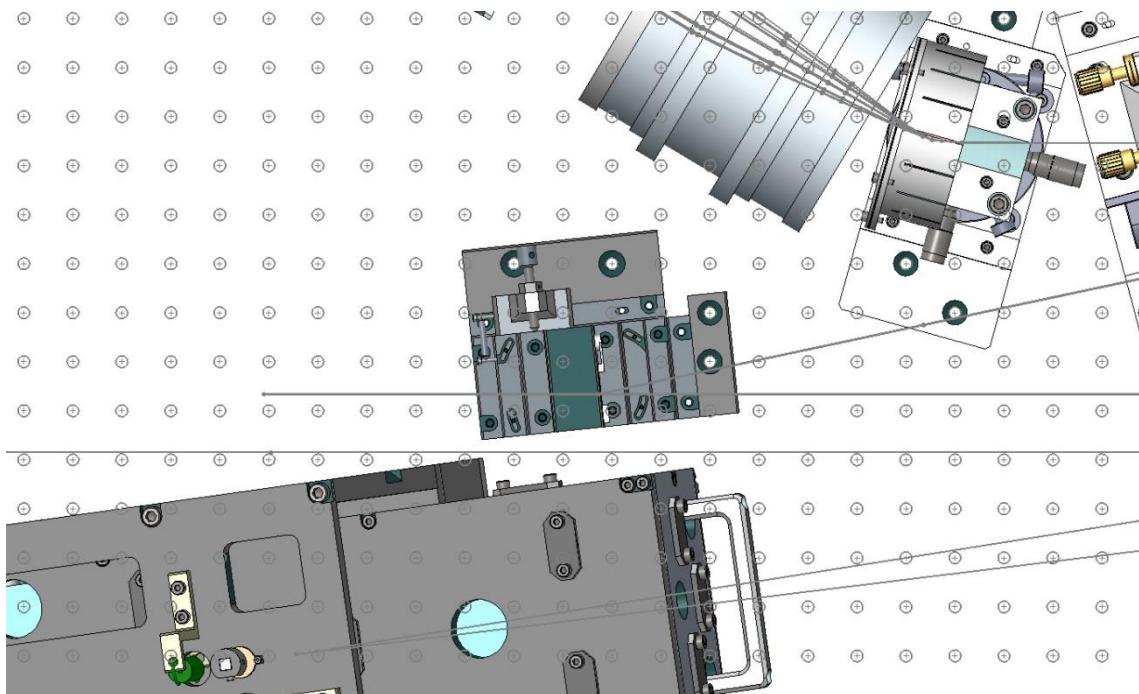
Para montagem na bancada, a base é parafusada em dois apoios. Esses apoios são, então, parafusados à bancada por parafusos M6, padrão da bancada. Neste caso, utilizam-se parafusos de cabeça escareada para melhor precisão de posicionamento. Caso o suporte precise ser removido da bancada, desparafusa-se a base dos dois apoios, que permanecem fixos à bancada. Entre a base e os apoios há pinos guia que garantem a repetibilidade de montagem.

O suporte do espelho plano está relativamente próximo ao feixe de luz proveniente da fenda e ao suporte da rede *echelle*, como pode ser observado nas figuras abaixo. A distância nominal entre o suporte do espelho plano e o suporte da rede *echelle* é 0,9 mm, não crítica.

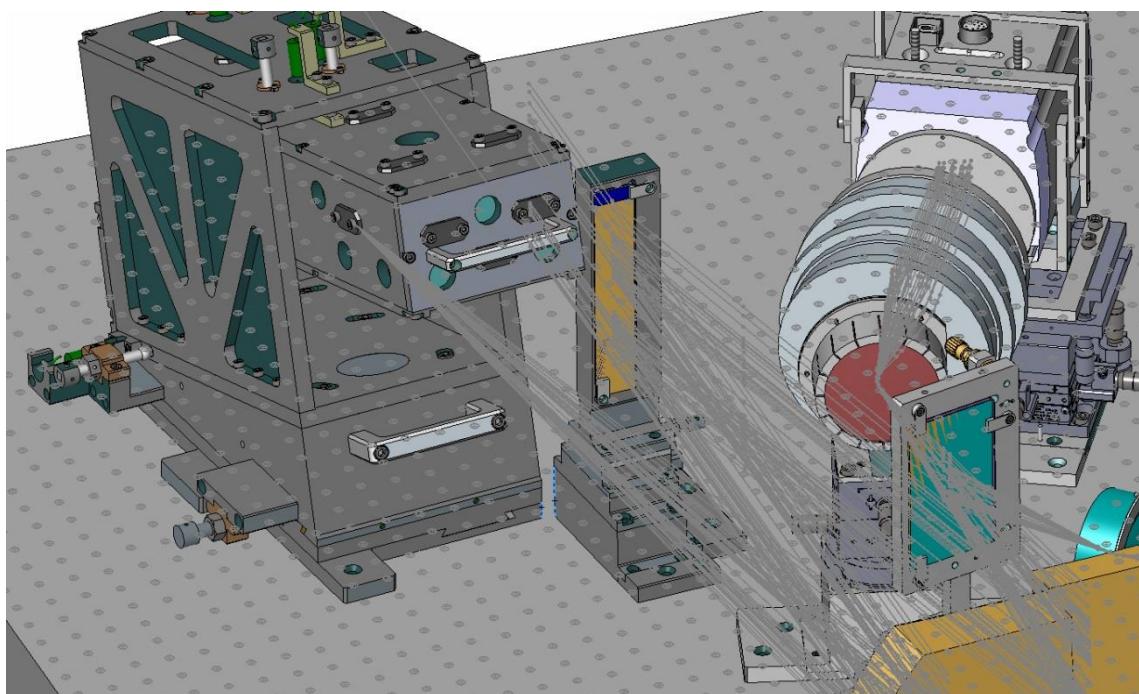


**ECHARPE**

ECHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



*Figura: Suporte do espelho plano próximo ao suporte da rede echelle*



*Figura: Suportes do espelho e rede echelle*



## 2.5 Suporte do espelho relay

Dimensões reais do espelho:  $190,18^{\pm 0,05} \times 80,20^{\pm 0,05} \times 27,21^{\pm 0,01} \text{ mm}^3$

Dimensões teóricas do espelho:  $190 \times 80 \times \text{TBD} \text{ mm}^3$

*Optical clear aperture:*  $174 \times 56 \text{ mm}^2$

Massa da óptica teórico: 1.001,3 gramas

Massa do suporte teórico: 6.211,5 gramas

Massa do suporte real: **5.965 gramas**

Massa total teórico: 7.212,8 gramas

Massa total real: TBM

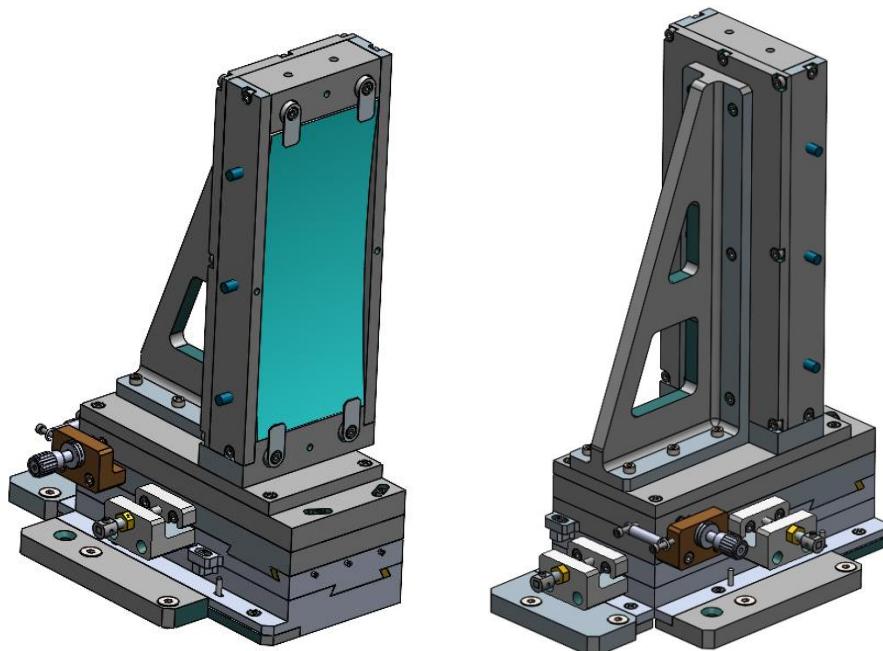


Figura: Suporte do espelho Relay



Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012):

Component	Decentration (mm)	Axial (mm)	Tilt (arcmin)
Relay	0.2	1.0 (focus)	1

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Abril 2021:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
5	Relay / Transfer	XZ+Placa Y	Y	Sim - DJ	3+1

O espelho relay é alojado em uma célula fabricada em cinco placas distintas parafusadas entre si. O espelho toca as placas inferior, posterior e lateral direita. Entre o componente ótico e as placas superior e lateral esquerda há duas réguas de *Delrin*® de 1,0 mm de espessura. Estas réguas podem ser coladas ao espelho, colagem leve, ou mantidas soltas apenas tocando os componentes. Há espaço para alívio térmico entre o componente ótico e a placa superior e a placa lateral esquerda, através das quais são inseridos atuadores com mola interna e ponta circular que tocam as réguas de *Delrin*® para evitar compressão concentrada no componente ótico e consequente deformação pontual do mesmo.

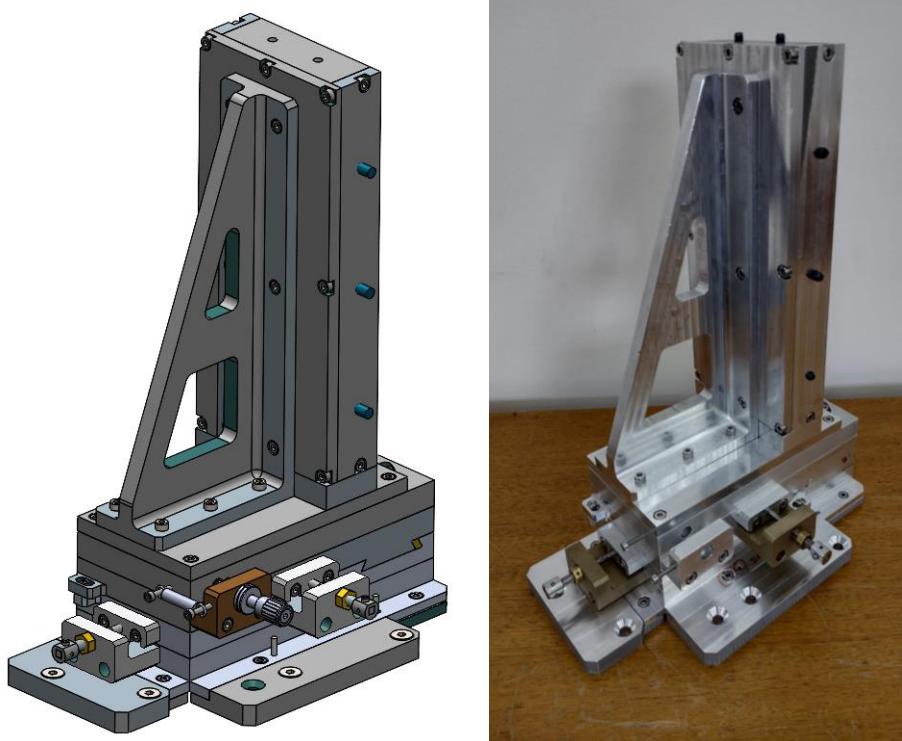


Figura. Suporte do espelho Relay – projeto e fabricado



Há quatro furos para metrologia, na parte frontal da célula, com  $\varnothing 15$  mm.

Na parte frontal do espelho tocam quatro *clamps* de alumínio com efeito mola presos à célula. A superfície do *clamp* que toca a frente do espelho é esférica, uma vez que a superfície frontal do espelho é curva.

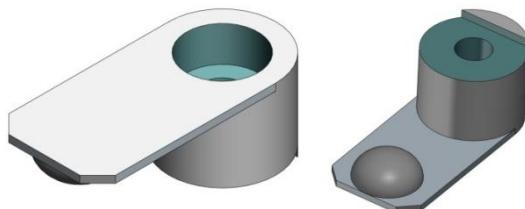
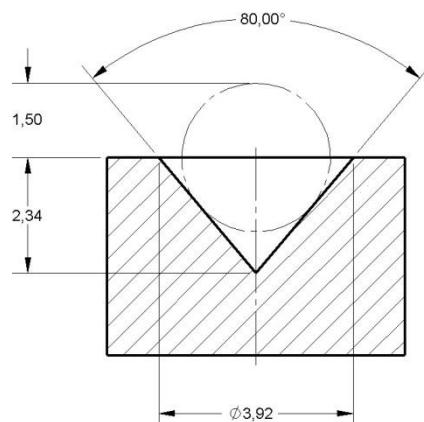


Figura. Clamp com efeito mola e superfície de toque esférica

O objetivo dos atuadores laterais com mola interna e dos *clamps* frontais com efeito mola é aliviar possíveis variações dimensionais consequentes de variações térmicas (dilatações e contrações de diferentes proporções ocasionadas pelos diferentes materiais do espelho e da célula). Mesmo sendo esperado que tais variações sejam mínimas, uma vez que o espectrógrafo ficará em ambiente termicamente estável, estes dispositivos são utilizados por segurança.

**Os atuadores laterais com mola interna e os *clamps* frontais com efeito mola não devem ser utilizados para movimentação do espelho dentro da célula.** Ajustes de posição são sempre feitos fora da célula, pois o objetivo da célula é proteger o componente ótico. O componente ótico deve ficar fixo em relação à célula, ou seja, não se deve movimentar o espelho dentro da célula para fins de posicionamento ou alinhamento. Para posicionamento ou alinhamento utiliza-se todo o resto do suporte que está fora e abaixo da célula.

**Ajustes de posição são sempre feitos fora da célula.**

A célula é parafusada à placa de apoio e a um suporte triangular que também é parafusado à mesma placa de apoio. O objetivo do suporte triangular é fornecer rigidez ao sistema e evitar vibrações indesejadas.

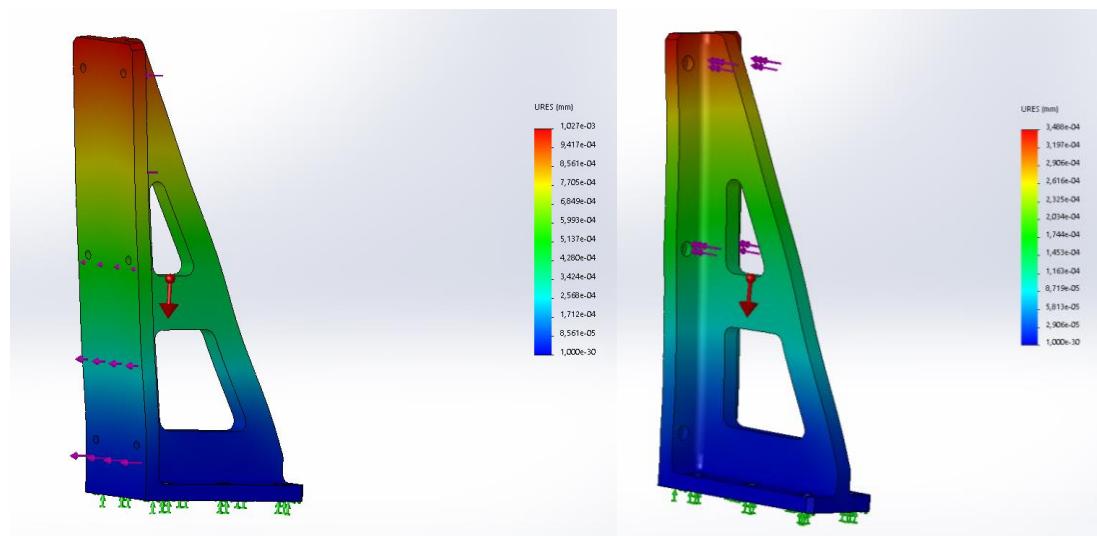
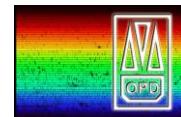


Figura. Análises estruturais FEM no suporte triangular do espelho relay

## Ajustes para o espelho relay

Para o ajuste linear em Y, ou ajuste de altura, optou-se por utilizar a placa de ajuste Y. Trata-se de uma placa horizontal inserida no suporte, abaixo do componente óptico, cuja espessura deve ser rigorosamente controlada para se obter o posicionamento preciso em Y. Para se diminuir a altura do subconjunto, e consequentemente do centro do componente óptico, esta placa pode ser usinada ou substituída por uma menos espessa. Para se obter uma altura maior, esta placa pode ser substituída por uma mais espessa ou pode-se acrescentar uma placa extra ou espaçador na altura necessária. A figura abaixo apresenta a placa para ajuste linear Y destacada em azul. Para o suporte do espelho *relay* sua espessura teórica é 8,43 mm.

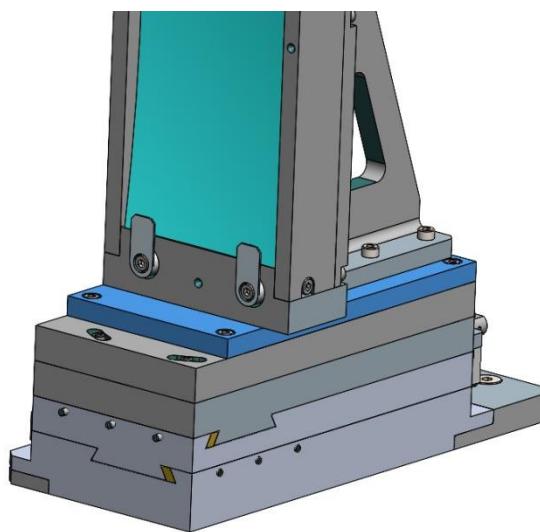


Figura: Placa para ajuste linear Y destacada em azul: espessura teórica 8,43 mm.



Caso seja necessário, para os ajustes angulares em X e Z, que implicam em movimentos na direção da gravidade, assim como o ajuste linear em Y, optou-se por utilizar espaçadores.

A princípio, o uso de placa de ajuste e espaçadores pode tornar o alinhamento mais difícil do que a utilização de atuadores. Entretanto, optou-se por não utilizar atuadores verticais, ou seja, na direção da gravidade, porque tais atuadores verticais geram instabilidades e consequentemente, vibrações, indesejadas no sistema. O uso de placa de ajuste vertical e espaçadores torna o sistema consideravelmente mais rígido e estável, o que reflete na melhoria da estabilidade do feixe de luz e, portanto, da qualidade da imagem final detectada pelo CCD.

Foi definido pela equipe do projeto que o suporte do espelho colimador deve possuir ajuste angular Y. Ainda foi solicitado que o centro de rotação do mesmo seja alinhado com o centro de rotação do espelho.

Abaixo, é informada a posição do centro de rotação do espelho relay.

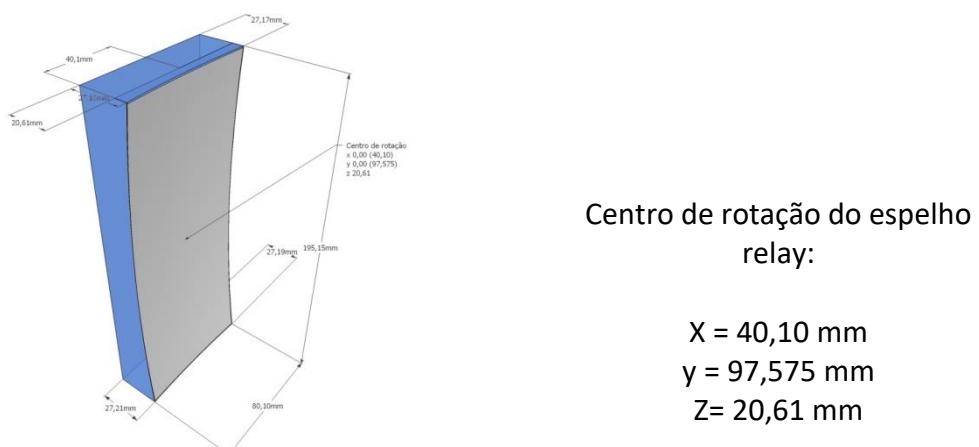


Figura. Centro de rotação do espelho relay  
Fonte: F.Ribeiro, J.Santos e B.Castilho (29/04/2021)

Para o ajuste angular Y do espelho *relay* utilizou-se duas placas uma sobre a outra, que deslocam entre si. A placa superior possui um furo de 16 mm de diâmetro que deve ser inserido no cilindro pertencente à placa inferior. O centro do cilindro e do furo é colinear ao centro de rotação do espelho *relay*, de modo que quando uma placa se desloca em relação à outra, é executado o ajuste angular desejado.

Para a usinagem do cilindro e do furo deve-se utilizar ajuste rotativo extra-preciso H6/f6, sendo que para Ø16 mm as cotas são:

$$Furo = \varnothing 16^{\text{+0,011}}_{\text{-0,016}} \quad Eixo = \varnothing 16^{\text{-0,027}}$$



O ajuste rotativo obtido pela usinagem na OFMEC do LNA ficou perfeito, não havendo necessidade de *tape* para folga, neste conjunto.

A figura a seguir apresenta a placa para ajuste angular Y inferior em azul e a superior em transparência, possibilitando a visualização do cilindro que define o centro de rotação.

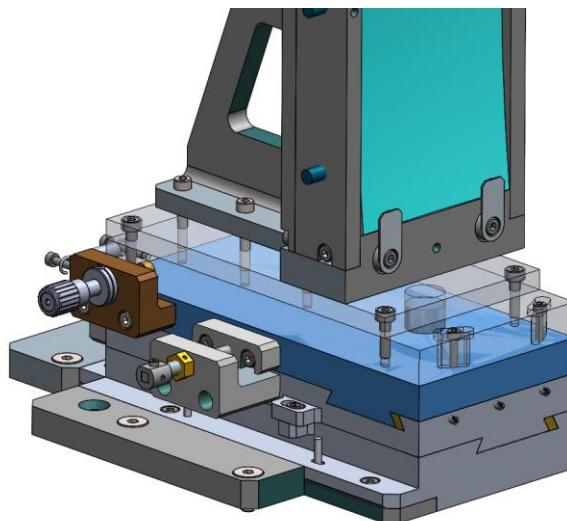
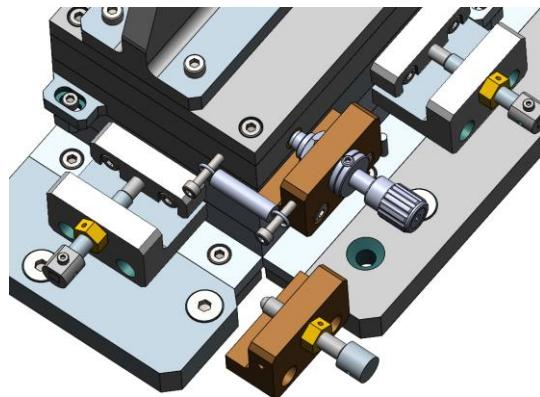
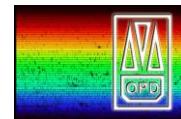


Figura. Ajuste angular Y para o espelho relay

Para a execução do ajuste utiliza-se um atuador em aço inoxidável AISI 316 ou similar M6 com passo 1,0 mm, que toca uma pastilha de bronze alumínio ou latão inserida na placa superior. O atuador é travado com uma porca comum, com um furo para inserção de mini alavanca. Para travar as placas do ajuste angular Y, utiliza-se parafusos M3 em oblongos circulares. Caso se deseje um ajuste mais fino, a castanha deste atuador é intercambiável para uma castanha que aloja um atuador Newport AJS127-0.5.

O atuador trabalha em paralelo a uma mola de tração com as especificações abaixo: [www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
1,10	6,40	28,2	41,5	5,25	ARJ0441100616

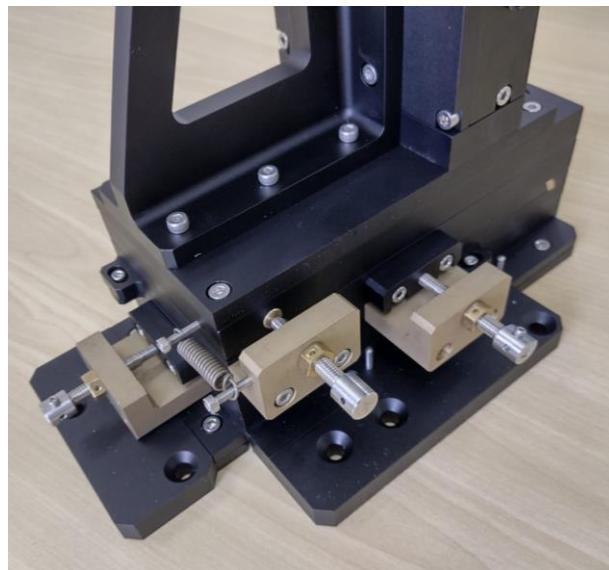


*Figura. Castanhas intercambiáveis para atuador M6x1 e atuador Newport AJS127-0.5 para execução do ajuste angular Y.*

No suporte do espelho *relay* há também os ajustes lineares em X e Z, feitos com deslize entre placas com encaixe em rabo de andorinha e atuadores diferenciais com rosca M6x1,0 e M5x0,8 que resultam em 0,2 mm por volta. Os atuadores são travados com porcas comuns, com um furo para inserção de mini alavancas (pode ser uma chave L comum de 1,5 mm). Para travamento extra dos ajustes lineares, há orelhas com parafuso nas placas.

Para evitar jogo, os ajustes lineares X e Z são mais rígidos e precisam ser feitos utilizando mini alavancas inserida no knob do atuador.

Para evitar jogo lateral entre placas, há réguas de bronze que devem ser colocadas nas laterais dos encaixes rabo de andorinha e apertadas com atuadores de ponta esférica e mola interna.



*Figura. Castanhas, atuadores e mola*

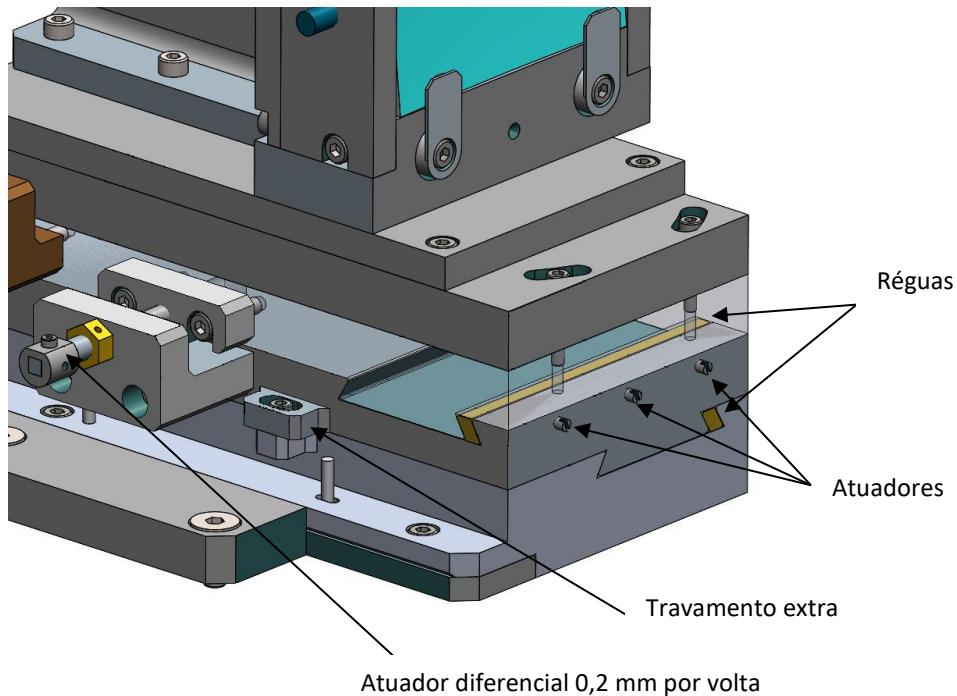
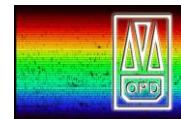


Figura. Ajustes lineares com encaixe rabo de andorinha

A placa inferior é fixada a dois apoios que por sua vez são fixados à bancada. Caso o suporte precise ser removido da bancada, a placa deve ser desparafusada dos apoios, que permanecem parafusados à bancada. Entre o bloco e um dos apoios há pinos guia para repetibilidade de posicionamento.

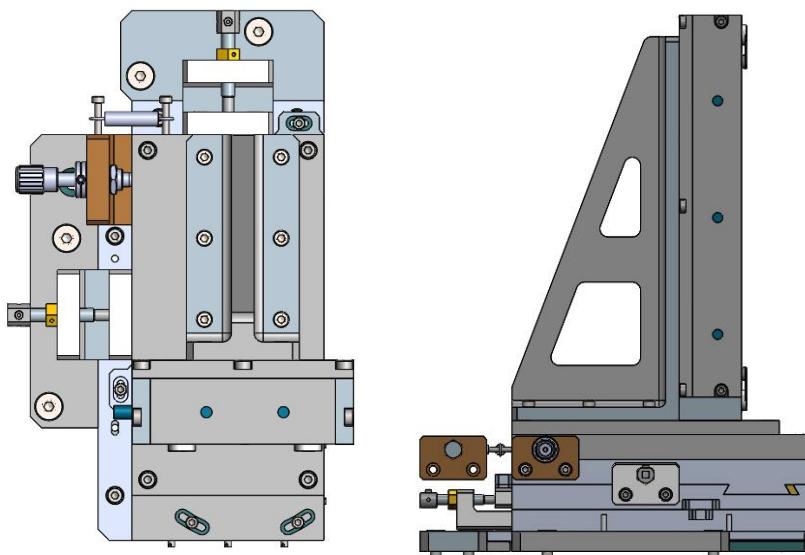
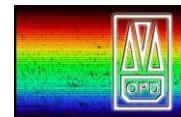


Figura. Suporte espelho relay – vistas superior e lateral



## 2.6 Suporte do espelho dicroico

Dimensões reais:	<b>112 x 68 x 10,3 milímetros<sup>6</sup></b>
Dimensões teóricas:	$112^{+0.00}_{-0.05} \times 68^{+0.00}_{-0.05} \times 10^{\pm 0.5}$ milímetros
<i>Optical clear aperture:</i>	100 x 60 milímetros
Massa da óptica teórico:	214,01 gramas
Massa do suporte teórico:	1540 gramas
Massa do suporte real:	<b>2070 gramas</b>
Massa total teórico:	1760 gramas
Massa total real:	TBM

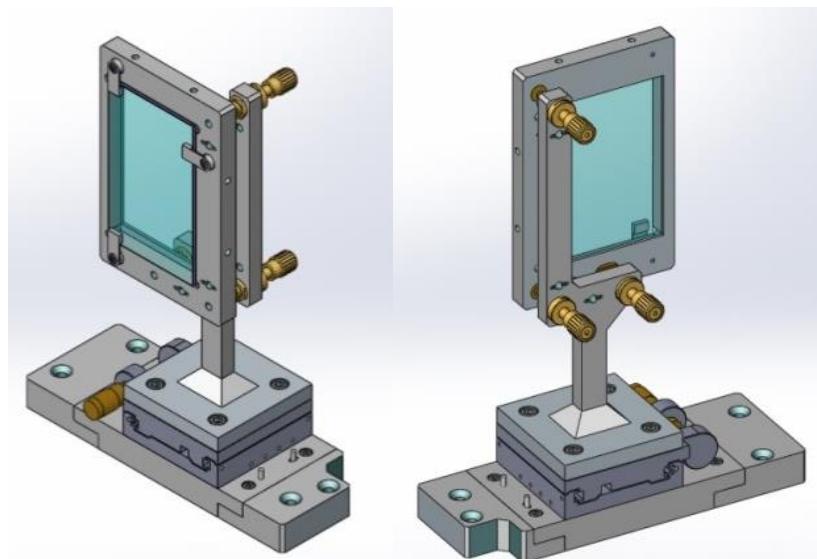


Figura: Suporte mecânico do espelho dicroico ou beamsplitter.

Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012 e 2014):

COMPONENT	DECENTRATION (mm)	AXIAL (mm)	TIILT (arcmin)
Beamsplitter	-	0.25	3

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Ago 2013:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
6	Dicróico	Z	XY (sem rotação Z)	Sim	3

<sup>6</sup> Medido por Flávio, Vanessa e Clemens no Laboratório de Óptica em 16/julho/2014.



Ajustes opto-mecânicos inseridos: 3 ajustes = 1 linear Z + 2 angulares XY:

- Ajuste linear Z (foco = na direção do feixe de luz) – necessário devido à tolerância axial de 0.25 mm ser inferior à tolerância de construção da espessura do espelho de 0.5 mm. Executado pela base Newport M-423 e atuador SM13. A trava deste ajuste se encontra na própria base M-423, no parafuso M3 localizado ao lado oposto do micrômetro.
- Ajustes angulares XY – ajuste de *tip-tilt* com três atuadores e três molas: o atuador da ponta inferior está sobre o eixo central vertical do espelho, já o atuador superior não pode ficar sobre o eixo central horizontal, pois ele interceptaria com o feixe de luz. Para estes ajustes, existem duas opções a serem trabalhadas:
  - travar o atuador do canto (sobre o cone) e girar somente os atuadores das pontas.
  - travar o atuador posicionado sobre o eixo do ajuste e girar os outros dois exatamente o mesmo ângulo; neste caso, é possível rotacionar o dicroico sobre seu eixo vertical. As travas destes ajustes se encontram nas castanhas dos atuadores AJS127-0.5.

AJUSTE	ATUADOR	RESOLUÇÃO	CURSO	Dn
Linear Z	A1: Micrômetro SM13 sobre stage M-423	0,5 mm	13 mm	Base 0
Angular X	A2: Atuador AJS127-0.5 superior	0,2 mm	4 mm	13,02 mm
Angular Y	A2 e A3: Atuadores AJS127-0.5 laterais	0,2 mm	4 mm	13,02 mm

Sendo, Dn a distância nominal entre a célula [2] e o suporte fixo [6], vide nomenclatura na descrição de montagem abaixo.

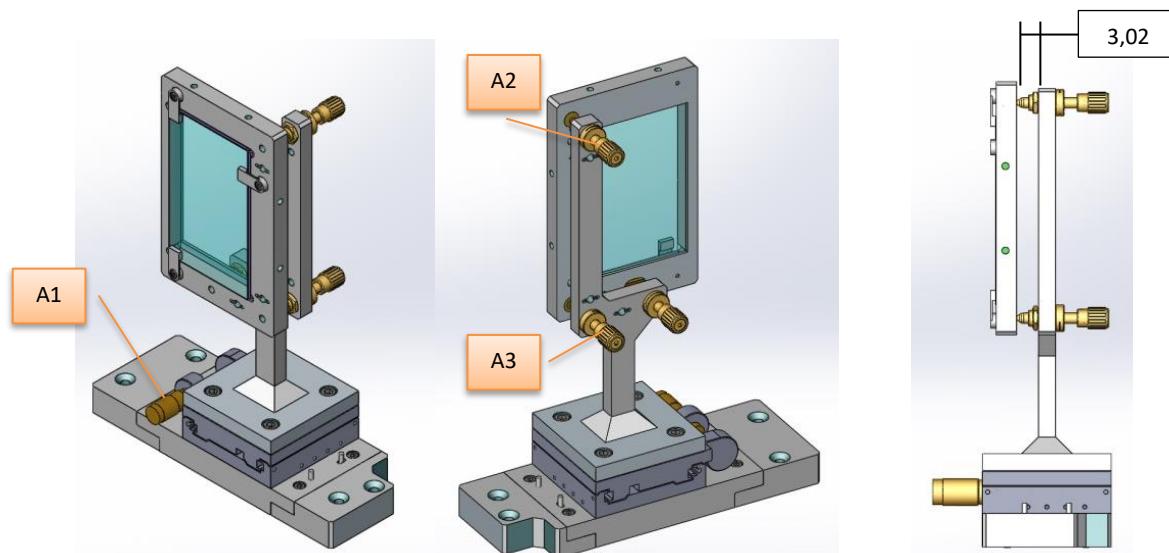


Figura: Atuadores e ajustes espelho dicroico.



O assento em sulco deve ser montado na posição do atuador superior [A2] para melhor estabilidade do sistema de ajuste angular. Vale lembrar que o assento cônico deve sempre ficar entre o assento plano e o assento em sulco, ou seja, na quina ou canto do L, jamais em outra posição.

#### Montagem do dicroico na célula:

A célula [2] do espelho dicroico [1] é uma placa retangular de alumínio e sua montagem é extremamente simples. Há duas réguas de *delrin*®[3], nas laterais superior e esquerda do dicroico, reguladas com posicionadores de mola [4]. O espaço nominal entre cada régua e a lateral interna correspondente da célula é 0,50 mm. Na superfície de saída do dicroico, onde o espelho é barrado pelo alumínio, pode-se colocar *kapton*® *tape* para proteger o vidro. A superfície frontal, o espelho é seguro por três *clamps* [5] de AISI 7075T6 com efeito mola. No *clamp*, mostrado na figura abaixo, se deve colar *kapton* *tape*® onde o mesmo toca o espelho. A força de mola do *clamp* sobre o espelho é dada pelo aperto do parafuso que fixa o *clamp* na célula, portanto, deve-se tomar cuidado ao apertá-lo.

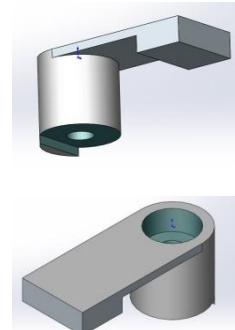
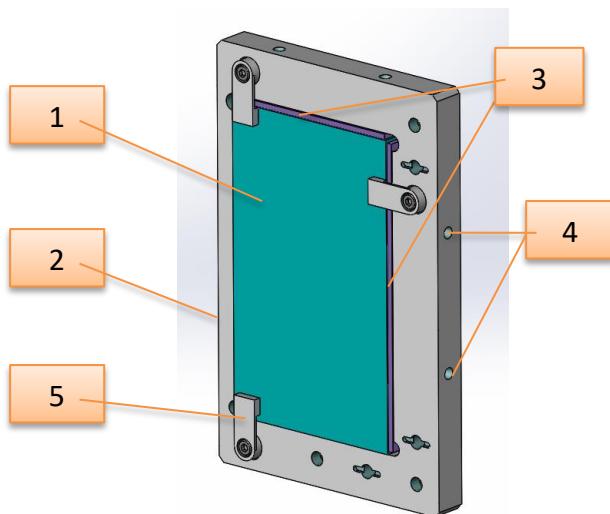
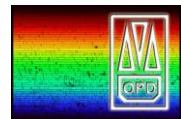


Figura: Clamp.

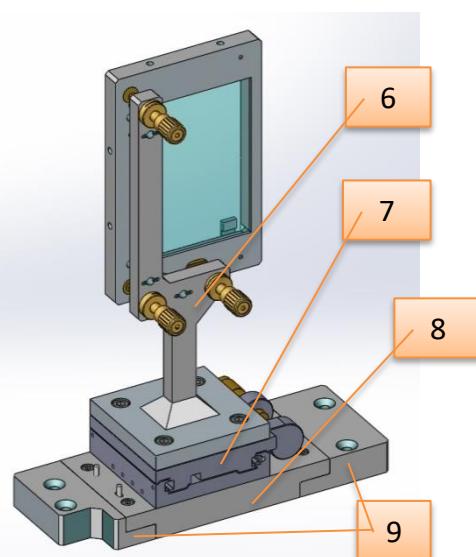
Figura: Montagem do dicroico na célula.



A célula é a parte móvel do ajuste e é conectada ao suporte fixo em L [6] por três molas de tração. O suporte fixo em L, onde são montados os atuadores, é parafusado ao *stage* M-423 [7], o qual executa o ajuste de foco, que por sua vez é parafusado à base central [8]. A base central é parafusada às bases de montagem [9], que permitem que o suporte seja desmontado e remontado à bancada com repetibilidade devido aos pinos centralizadores. As bases de montagem são parafusadas à bancada com parafusos escareados M6.

A altura para que o componente ótico fique centrado no plano ótico, a 200 mm do plano da bancada, é dada pelo suporte fixo em L. A tolerância de *decentration* determinada por Jones (2014) é livre. A altura do centro do dicroico em relação à bancada medida pelo Laboratório de Metrologia Mecânica do LNA é 200,150 mm, conforme relatório disponível no Anexo B.

O projeto do suporte mecânicos do espelho dicroico foi desenvolvido em julho e agosto de 2014 e os mesmos foram fabricados pela oficina mecânica do LNA entre junho de 2015 e março de 2016.





## 2.7 Suportes das redes VPH

### REDE VPH AZUL

Dimensões teóricas:	$\varnothing 85,00 \times 30,27$ (borda) $\pm 0,2$ milímetros
Dimensões reais:	$\varnothing 85,00 \times 30,7$ (borda) milímetros <sup>7</sup>
<i>Optical clear aperture:</i>	$\varnothing 67,00$
Massa da óptica teórico:	333,8 gramas
Massa do suporte teórico:	2235 gramas
Massa do suporte real:	<b>2500 gramas</b>
Massa total teórico:	2568,8 gramas
Massa total real:	TBM

### REDE VPH VERMELHA

Dimensões teóricas:	$\varnothing 85,00 \times 30,25$ (borda) $\pm 0,2$ milímetros
Dimensões reais:	$\varnothing 85,00 \times 30,2$ (borda) milímetros <sup>8</sup>
<i>Optical clear aperture:</i>	$\varnothing 67,00$
Massa da óptica teórico:	364,63 gramas
Massa do suporte teórico:	2201,05 gramas
Massa do suporte real:	<b>2550 gramas</b>
Massa total teórico:	2565,68 gramas
Massa total real:	TBM

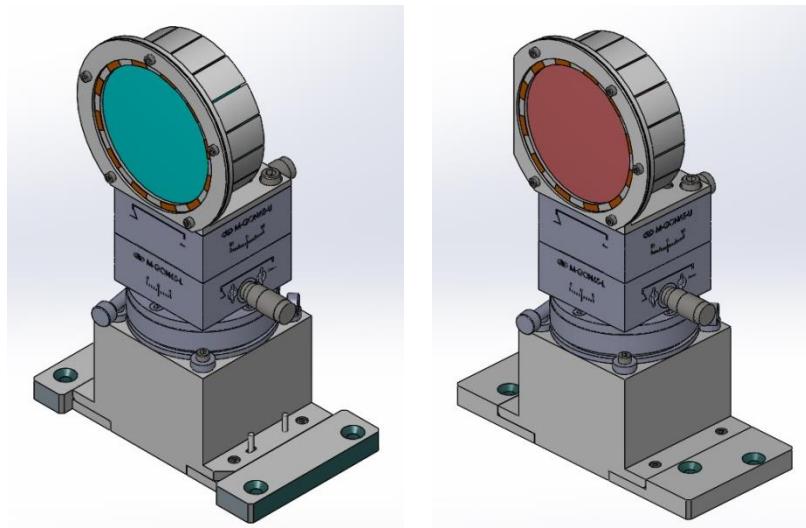


Figura: Suportes das redes VPH azul e vermelha.

<sup>7</sup> Medido por Flávio no Laboratório de Óptica em 16/julho/2014.

<sup>8</sup> Medido por Flávio no Laboratório de Óptica em 16/julho/2014.



Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012, 2014):

COMPONENT	DECENTRATION (mm)	AXIAL (mm)	TILT (arcmin)
BVPHG	0,2	0,5	3
RVPHG	0,5	1,0	10

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Ago 2013:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
7	Redes VPH	-	XYZ	No futuro, se necessário	3

Ajustes opto-mecânicos inseridos: 3 ajustes angulares XYZ

- Ajuste angular X pelo goniômetro Newport M-GON65-L
- Ajuste angular Y pelo *stage* rotativo Newport M-UTR80S
- Ajuste angular Z pelo goniômetro Newport M-GON65-U

AJUSTE	COMPONENTE	CARGA MÁX.	CURSO	Dn (mm)
Angular X	Newport M-GON65-L	45N	± 5°	Base 0
Angular Y	Newport M-UTR80S	2 arcsec	± 2°	Base 0
Angular Z	Newport M-GON65-U	45N	± 5°	Base 0

O bloco espaçador pode ser substituído por *stages* lineares se necessário. As bases são parafusadas à bancada com parafusos escareados M6.

### Montagem da rede na célula

O componente ótico [1], que é composto pela rede VPH colada a duas lentes, uma em cada face, é alojado em uma célula tipo *finger* [2] calculada para exercer leve pressão sobre o componente. Uma das faces do componente ótico fica em contato com a célula e a outra é pressionada por uma mola plana anelar de bronze fosforoso [4] sobre um anel de *delrin*®[3], presos por um anel de alumínio [5] parafusado à célula [2]. **O anel de *delrin*®[3] deve ficar entre o vidro e a mola de bronze fosforoso**, para que o bronze fosforoso da mola não toque no vidro. A montagem da mola em anel de bronze na célula do tipo *finger* permite ao componente ótico a dilatação térmica nos sentidos radial e axial – mesmo que esse requisito não se faça necessário.

**O corte lateral na célula da rede VPH vermelha** é para evitar que a mesma intercepte o feixe óptico.

As espessuras teóricas de ambas as redes coladas às lentes é 30,2mm. Conforme medido no Laboratório de Metrologia Ótica do LNA, o conjunto ótico vermelho foi fabricado com 30,2mm, conforme especificação. Entretanto o conjunto ótico azul foi fabricado com 30,7mm. Assim, para a rede VPH vermelha é usado um



anel de *delrin*® com 2,5mm de espessura e para a rede VPH azul, um anel de *delrin*® com 2,0mm.

Rede VPH	Azul	Vermelha
Espessura real	30,7mm	30,2mm
Espessura do anel de <i>delrin</i> ®	2,0mm	2,5mm
Cor do anel de <i>delrin</i> ®	Branco	Preto

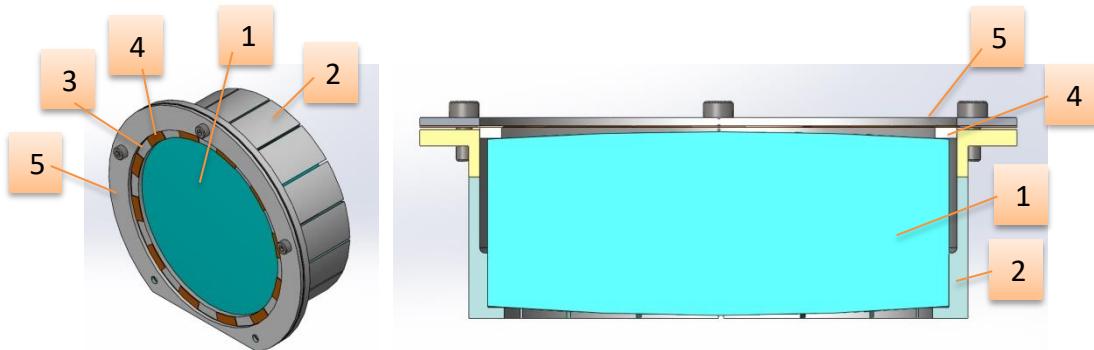
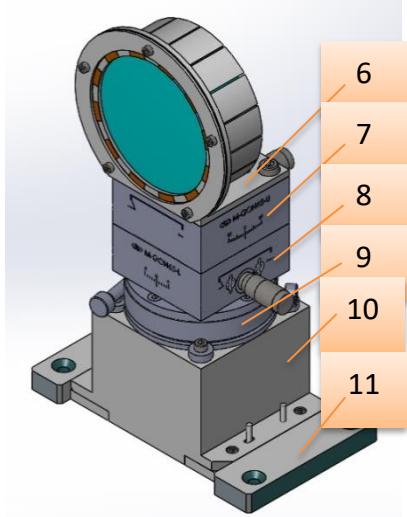


Figura: Montagem da rede VPH na célula.

### Montagem dos goniômetros



A célula é então montada sobre um suporte de alumínio [6] o qual é parafusado sobre uma série de dois goniômetros: o goniômetro superior M-GON65-U [7] que efetua a rotação em Z e o goniômetro inferior M-GON65-L [8] que efetua a rotação em X, e o *stage* rotativo M-UTR80S [9] que efetua a rotação em Y. Conforme projeto, o goniômetro superior M-GON65-U é montado a 50mm do eixo de rotação no centro da rede VPH, enquanto o goniômetro inferior M-GON65-L é montado a 80mm do eixo de rotação, conforme figura abaixo fornecida pelo fabricante.

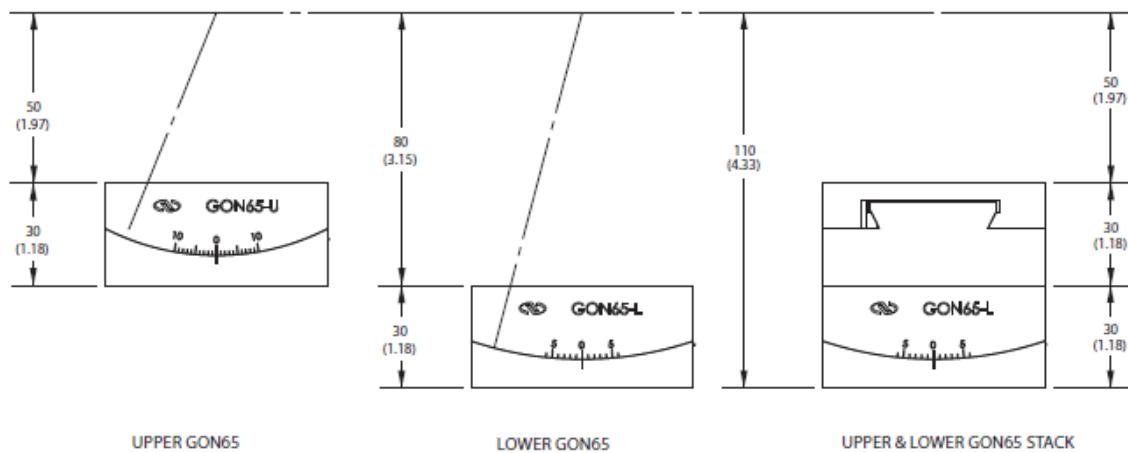


Figura: Distância dos goniômetros ao centro das redes.

A montagem dos atuadores SM13 nos goniômetros M-GON65 deve ser executada conforme orientação abaixo, fornecida pelo fabricante:

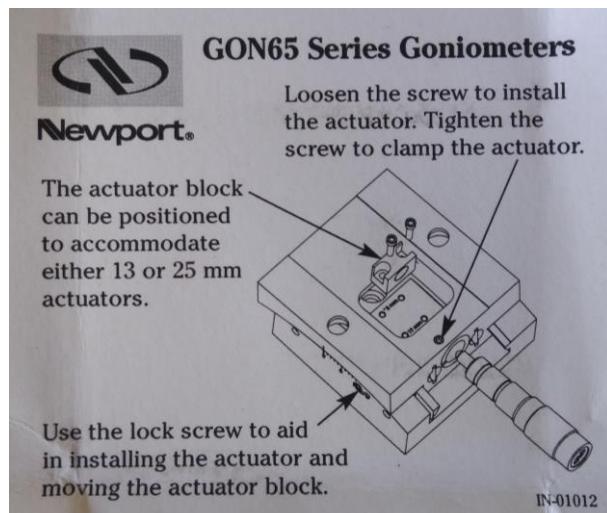


Figura: Montagem dos atuadores nos goniômetros.

Com relação ao *stage* rotativo M-UTR80S que faz a rotação em Y [9], ou seja, a rotação em torno do eixo perpendicular ao plano da bancada, o parafuso radial é uma trava para o ajuste grosso. Esse *stage* pode ser rotacionado 360° quando esta trava não está atuando. Para o ajuste fino, o parafuso radial deve ser travado, e o ajuste fino deve ser executado pelos parafusos tangenciais, os quais um é o atuador e o outro a trava.

O *stage* rotativo [9] é montado sobre um bloco espaçador [10] de modo que o centro da rede VPH esteja necessariamente no plano óptico a 200mm paralelo ao plano



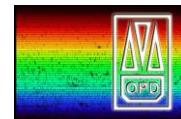
da bancada, respeitando o *decentration* determinado no estudo de tolerâncias de Jones (2012, 2014). Conforme relatório fornecido pelo Laboratório de Metrologia Mecânica do LNA, disponível no Anexo B, os suportes estão dentro da tolerância exigida, como mostrado na tabela abaixo.

COMPONENTE	DISTÂNCIA $\pm$ TOLERÂNCIA	DISTÂNCIA MEDIDA
BVPHG – Rede VPH Azul	$200 \pm 0,2$ mm	200,06 mm
RVPHG – Rede VPH Vermelha	$200 \pm 0,5$ mm	200,06 mm

*Tabela: Distância entre o centro das redes e o plano da bancada.*

As bases de montagem [11] permitem que o suporte seja desmontado e remontado à bancada com repetibilidade devido aos pinos centralizadores.

O projeto dos suportes mecânicos das redes VPH foi desenvolvido em janeiro de 2015 e os mesmos foram fabricados pela oficina mecânica do LNA entre junho de 2015 e março de 2016.



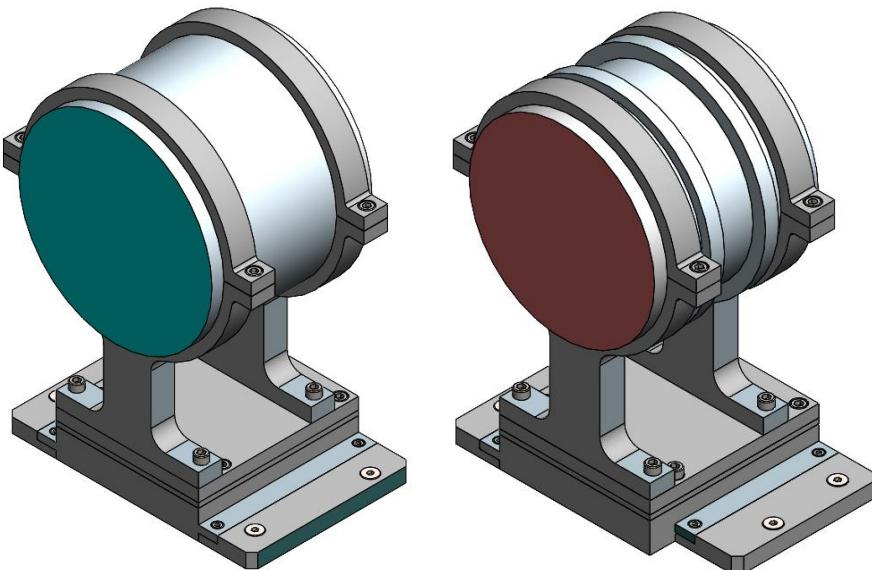
## 2.8 Câmeras

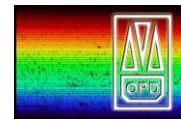
### CÂMERA AZUL

Dimensões teóricas:	$\varnothing 135,00 \times 162,9$ mm
Dimensões reais:	<b><math>\varnothing 135,00 \times 162,9</math> mm</b>
<i>Optical clear aperture:</i>	$\varnothing$
<b>Massa do barril real:</b>	<b>6.740</b> gramas
Massa do suporte teórico:	3.295,5 gramas
<b>Massa do suporte real:</b>	<b>3.255</b> gramas
Massa total teórico:	10.035,5 gramas
<b>Massa total real:</b>	<b>9.995</b> gramas

### CÂMERA VERMELHA

Dimensões teóricas:	$\varnothing 162,00 \times 130,87$ mm
Dimensões reais:	<b><math>\varnothing 162,00 \times 130,87</math> mm</b>
<i>Optical clear aperture:</i>	$\varnothing$
<b>Massa do barril real:</b>	<b>5.970</b> gramas
Massa do suporte teórico:	3.251,4 gramas
<b>Massa do suporte real:</b>	<b>3.210</b> gramas
Massa total teórico:	9.221,4 gramas
<b>Massa total real:</b>	<b>9.180</b> gramas





Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012, 2014):

COMPONENT	DECENTRATION (mm)	AXIAL (mm)	TILT (arcmin)
BCM1	0,01	2 (câmera inteira)	1
BCM2	0,01	0,025	< 1
BCM3	0,05	0,05	2

COMPONENT	DECENTRATION (mm)	AXIAL (mm)	TILT (arcmin)
RCM1	0,01	2 (câmera inteira)	< 1
RCM2	0,01	0,025	< 1
RCM3	0,05	0,1	2

Ajustes solicitados por equipe do LNA em Fev 2022:

COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
Câmeras	Placa Y	-	-	1

Para o correto posicionamento das lentes das câmeras na bancada foi feita a medição das lentes em relação aos cilindros de alumínio (barris), no Laboratório de Metrologia Óptica do LNA. Abaixo, os valores obtidos em 17 de fevereiro de 2022.

	Câmera Azul	Câmera Vermelha
Entrada: Flange → Ponto central da 1 <sup>a</sup> lente	16,74 mm	16,85 mm
Entrada: Flange → Suporte de metal	5,0 mm	-
Saída: Flange → Suporte de metal	5,0 mm	5,0 mm
Saída: Flange → Ponto central da última lente	11,25 mm	9,70 mm
Massa do barril com tampas	6.740 g	5.970 g

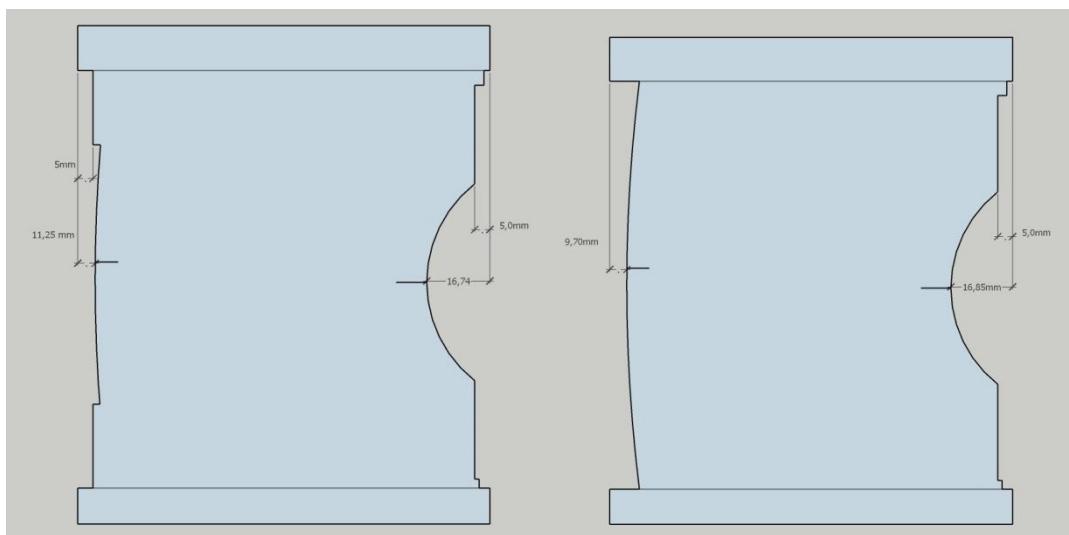
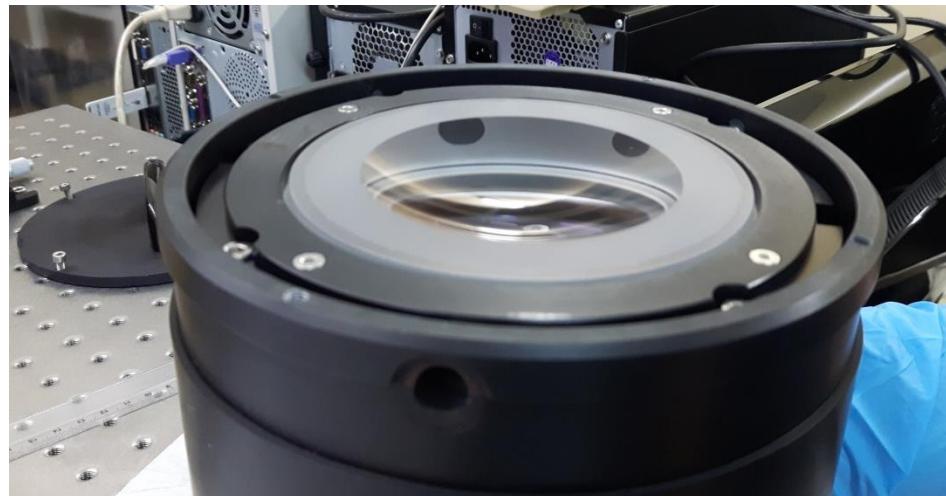
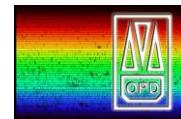


Figura: Distâncias das lentes em relação aos barris

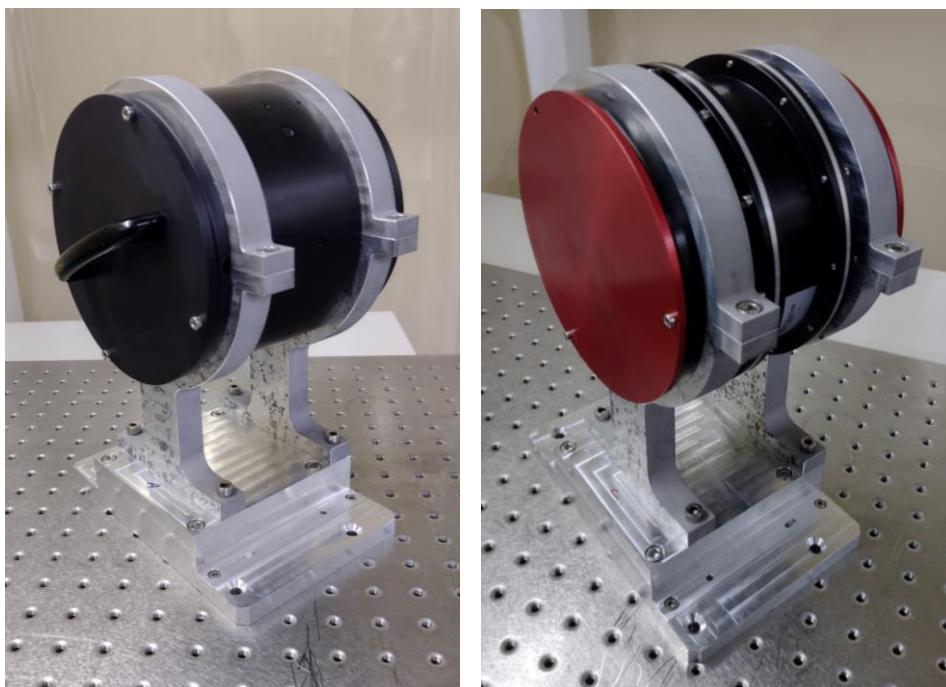


**ECHARPE**

ECHele de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



*Figura: Saída da câmera*



*Figura. Câmeras azul e vermelha em seus suportes (antes da anodização)*

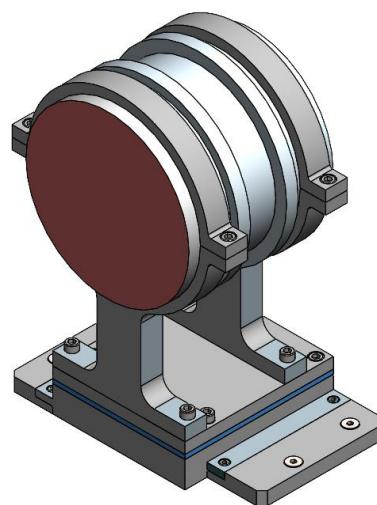
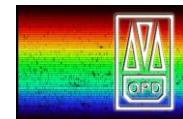
Os suportes das câmeras são fixos e não possuem ajustes com atuadores.

Sobre o bloco inferior há a placa para ajuste linear Y com 4,0 mm. Ajustes angulares X e Z também são possíveis utilizando espaçadores.



**ECHARPE**

ECHele de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



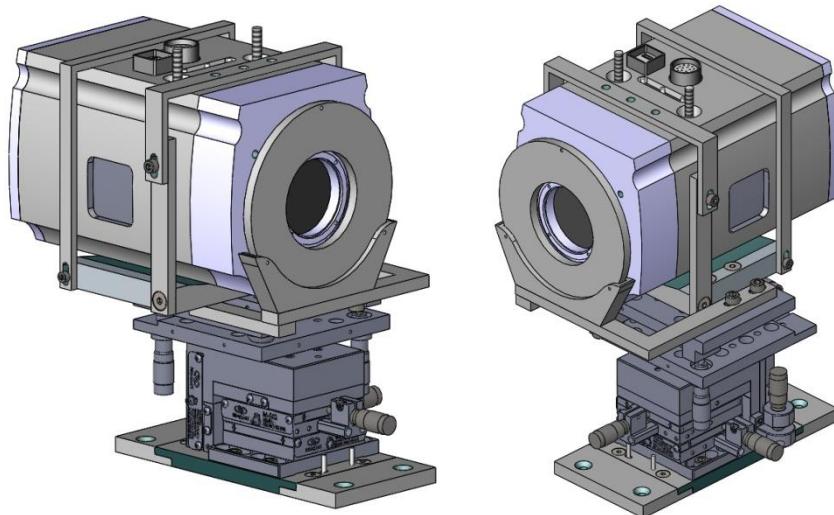
*Figura. Placa de ajuste linear Y com 4,0 mm (em azul)*

O bloco inferior é fixado a dois apoios que por sua vez são fixados à bancada. Caso haja necessidade de remoção do suporte da bancada, os apoios permanecem fixos à bancada. Pinos guia entre o bloco inferior e um dos apoios garantem a repetibilidade de montagem.



## 2.9 Detectores

Os detectores utilizados são da marca ANDOR Technologies, modelo iKon-L 936. No mesmo conjunto são acoplados os obturadores marca Melles Griot, modelo 04UTS205.



Tolerâncias mecânicas, segundo Jones (2012 e 2014):

Componente	Decentration (mm)	Axial (mm)	Tilt (arcmin)
Detector	-	0,005 (flatness required)	1

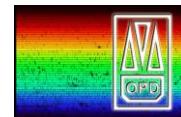
Ajustes solicitados por equipe do LNA em Ago 2013:

ITEM	COMPONENTE	LINEARES	ANGULARES	FOCO FORA DO TIP TILT	# GRAUS
9	Detektoren	XYZ	XYZ	Sim	6

Ajustes opto-mecânicos inseridos: 3 ajustes lineares e 3 ajustes angulares XYZ

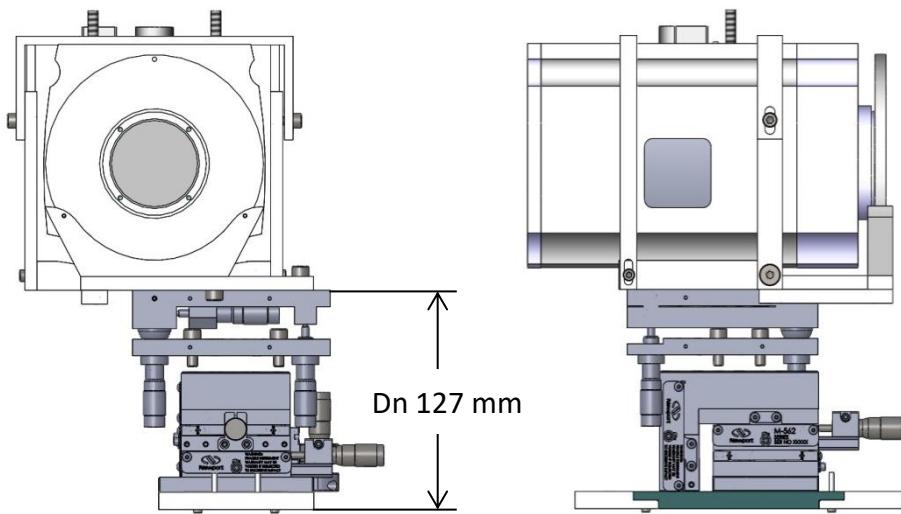
- 3 ajustes lineares pelo bloco Newport M-562-XYZ-LH
- 3 ajustes angulares pelo componente Newport M-37
- A precisão dos 6 graus de liberdade é dada pelos micrômetros SM-13

Ajuste	Componente	Sensitivity	Curso (mm)	Dn (mm)
Linear XYZ	Newport M-562-XYZ-LH	1 micron	12,7	Base 0
Angular XYZ	Newport M-37	1 micron	± 4°	Base 0

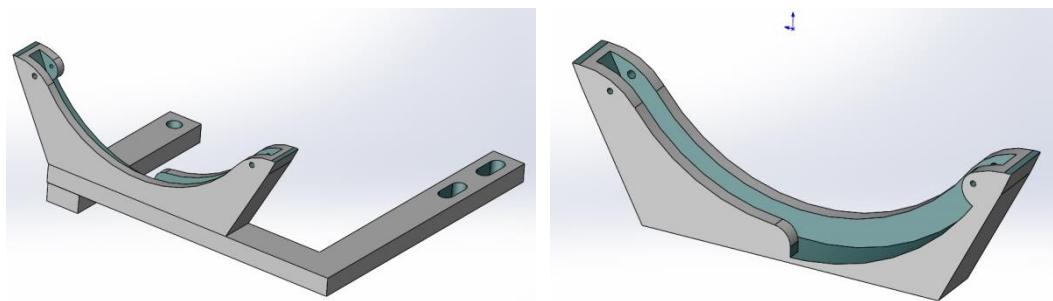


Os suportes mecânicos de ambos detectores são semelhantes, diferindo apenas na posição furação M6 das bases de fixação. Estas bases de fixação são parafusadas à base do suporte e entre elas há pinos guia que garantem a repetibilidade de posicionamento, caso os suportes precisem ser removidos da bancada após o alinhamento.

O detector é preso ao bloco de ajuste através de um sistema de braçadeiras projetadas especificamente para o referido componente, parafusadas através de oblängos que garantem ajuste consistente.



O obturador fica preso ao sistema por um suporte, alojado a uma base. Esta base tem um formato peculiar para proporcionar estabilidade para o disco e ao mesmo tempo espaço para os componentes eletrônicos.





**ECHARPE**

ECHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



A distância entre o obturador e o cilindro frontal do detector deve ser a mínima possível. Em projeto a distância nominal está em 0,4 milímetros, mas pode ser ajustada para menos.



## 2.10 Cobertura da bancada

A cobertura da bancada é retangular em formato de caixa, nas dimensões 1,80 x 1,20 x 0,50 metros. 1,80 x 1,20 m<sup>2</sup> são as mesmas dimensões de comprimento e largura que a bancada Newport do espectrógrafo; 0,50 m é a altura da cobertura.

É completamente vedada contra entrada de pó e luz. É feita de placas de *Divinycel*<sup>9</sup>, cobertas com fibra de vidro, com frame e estrutura de alumínio. Tudo pintado/anodizado de preto fosco. As placas são fixadas à estrutura utilizando-se travas rápidas de plástico e metal.

Cada lateral de 1,80 m é formada por duas placas de 0,90 x 0,50 m<sup>2</sup>, a descontar as dimensões do frame. Cada lateral de 1,20 m é formada por uma placa de 1,20 x 0,50 m<sup>2</sup>, a descontar as dimensões do frame. Em uma das placas das laterais de 1,20 m deverá ser feito um furo circular de 100 mm de diâmetro ou quadrado 100 x 100 mm<sup>2</sup>, com laterais em alumínio, e 8 furos M6 ou M4 – para futura passagem do cabo de fibras ópticas. A parte superior é formada por duas placas 1,20 x 0,90 m<sup>2</sup>, a descontar as dimensões do frame.

Para a montagem da cobertura na bancada, é utilizada a furação M6 da bancada Newport disponível no LNA e *pacmans*. Além disso, entre a base da cobertura e a bancada, é colada uma fita de espuma ou borracha com adesivo dupla-face para vedação da luz.



Figura 9.3.1: Cobertura sobre a bancada.

<sup>9</sup> Espuma de PVC *Divinycell*<sup>®</sup> coberta com fibra de vidro - [http://www.barracudacomposites.com.br/prod\\_espuma\\_pvc.htm](http://www.barracudacomposites.com.br/prod_espuma_pvc.htm)



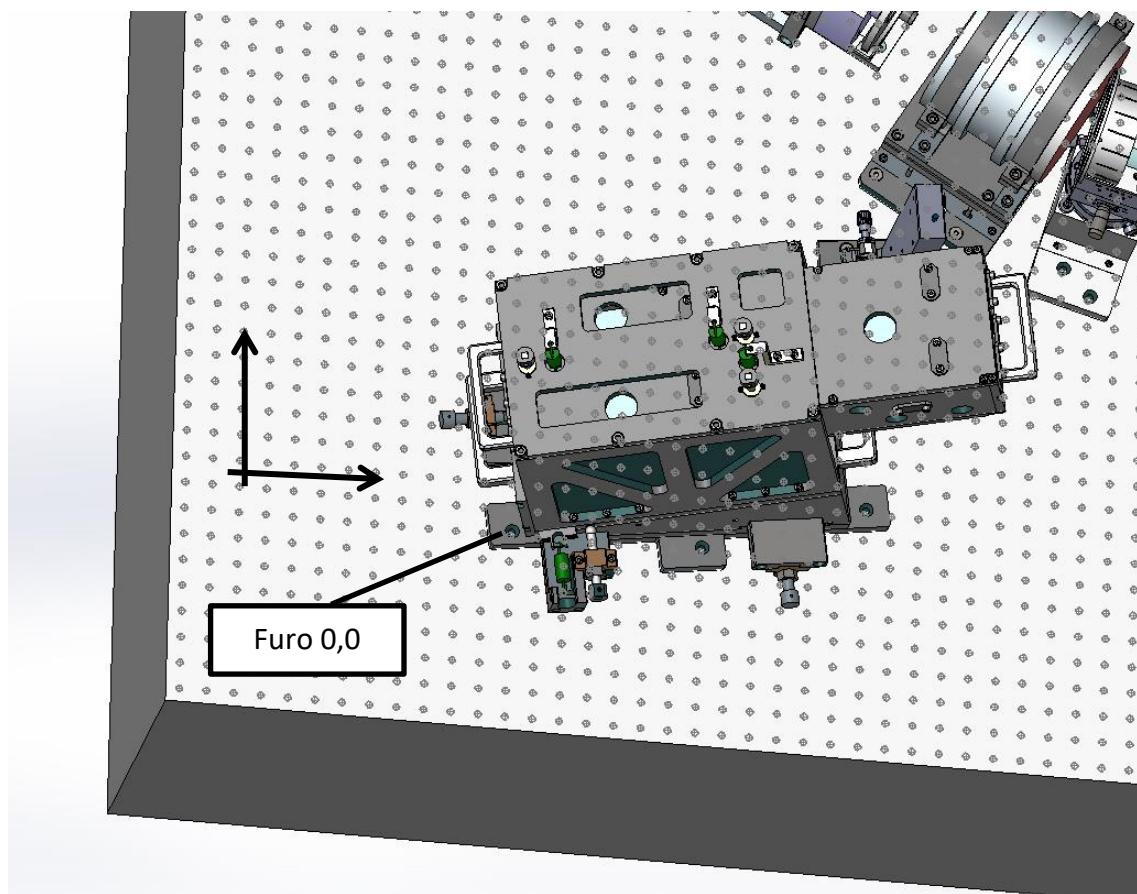
## 2.11 Montagem, integração, alinhamento e testes

Conforme informado verbalmente por Delabre, o foco do instrumento deve ser feito movimentando-se o espelho plano e a *slit*; e as câmeras podem ser fixas<sup>10</sup>.

### Posicionamento mecânico dos componentes na bancada

Considerado como (0,0) o furo traseiro da rede echelle.

A partir do canto inferior esquerdo da bancada, (0,0) é o 13º furo à direita e 8º furo acima.

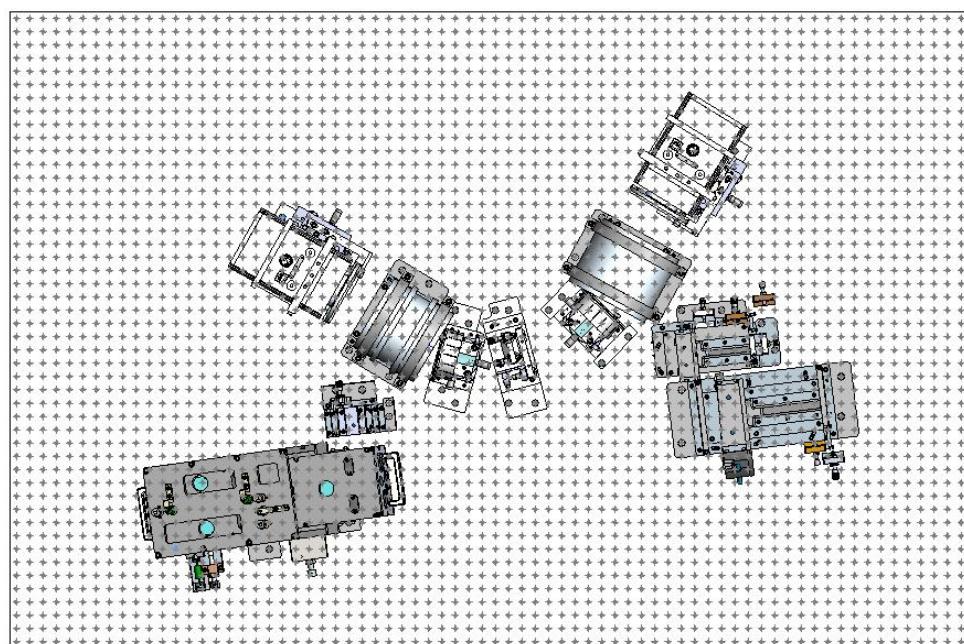


A seguir, a tabela com o posicionamento dos quatro furos de cada componente do espectrógrafo, em número de furos a serem contados a partir de (0,0) e em milímetros.

<sup>10</sup> Informação fornecida pelo autor do projeto óptico, Bernard Delabre, em reunião com Vanessa Macanhan, em 15/03/2011.



Componente	Número de furos				Distância do furo em mm			
Saída das fibras								
Colimador	38;8	38;12	50;10	50;13	950;200	950;300	1250;250	1250;325
Rede echelle	0;0	7;0	13;2	-	0;0	175;0	325;50	-
Espelho plano	12;12	14;12	16;11	16;10	300;300	350;300	400;275	400;250
Espelho <i>relay</i>	38;18	41;18	44;17	45;15	950;450	1025;450	1100;425	1125;375
Espelho dicroico	25;11	27;11	24;18	25;18	625;275	675;275	600;450	625;450
Rede VPH azul	32;14	34;16	28;18	29;19	800;350	850;400	700;450	725;475
Rede VPH vermelha	21;11	20;12	22;17	21;18	525;275	500;300	550;425	525;450
Câmera azul	30;22	32;25	36;18	38;21	750;550	800;625	900;450	950;525
Câmera vermelha	16;13	13;15	19;20	17;21	400;325	325;375	475;500	425;525
Detector azul	39;24	37;26	42;30	40;31	975;600	925;650	1050;750	1000;775
Detector vermelha	13;20	14;22	7;23	8;25	325;500	350;550	175;575	200;625



### 3 Especificação dos itens de prateleira

#### Fore-optics

- Câmera de guiagem

Fabricante: ANDOR Technologies

Modelo: Luca EMCCD

#### Cabo de fibras

- Fibras ópticas

Fabricante: Polymicro Technologies

Part#: 1068022655

Desc: FBP070098125

Batch: AQQP01A - Date of Mfg: Oct 28, 2013

Quantidade: 1000 metros

Preço: US\$ 5,645.00

Custo total com despesas: R\$ 13.714,04

Core:  $70.0 \pm 2.0 \mu\text{m}$

Clad:  $98.0 \pm 3.0 \mu\text{m}$

Coating:  $125.0 \pm 5.0 \mu\text{m}$

#### Espectrógrafo

- Bancada:

Fabricante: Newport

Modelo: M-RS4000-46-12 (1800 x 1200 x 305)

Preço: US\$ 6,204.00

Lablegs modelo: SL-600-423.5

Preço: US\$ 2,200.00

#### Rede Echelle

- Mola

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)
1,80	12,7	36



**ECHARPE**

EHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer



## Colimador

- Atuador para ajuste fino

Fabricante: Newport

Modelo: AJS127-0.5

Preço: US\$ 43.93 cada

- Mola

[www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
1,10	6,40	28,2	41,5	5,25	ARJ0441100616

## Espelho plano

- Atuador para ajuste fino

Fabricante: Newport

Modelo: AJS127-0.5

Preço: US\$ 43.93 cada

- Mola

[www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
0,80	3,20	25,1	31,8	3,80	ARJ0440800425

## Espelho relay

- Atuador para ajuste fino

Fabricante: Newport

Modelo: AJS127-0.5

Preço: US\$ 43.93 cada

- Mola

[www.arjire.com.br](http://www.arjire.com.br) em aço inoxidável:

d (mm)	D (mm)	L0 (mm)	L1 (mm)	P1 (kgf)	Cód.Fab.
1,10	6,40	28,2	41,5	5,25	ARJ0441100616

## Espelho Dicróico

- Guia linear

Fabricante: Newport

Modelo: M-423

Preço: US\$ 274.93

- Micrômetro atuador da guia linear

Fabricante: Newport

Modelo: SM-13

Preço: US\$ 72.53

- Atuadores da célula – 3 unidades

Fabricante: Newport

Modelo: AJS127-0.5

Preço: US\$ 43.93 cada

## Redes VPH

- Stage rotativo – 2 unidades, um para cada rede

Fabricante: Newport

Modelo: M-UTR80S

Preço: US\$ 835.93 cada

- Goniômetro superior – 2 unidades, um para cada rede

Fabricante: Newport

Modelo: M-GON65-U

Preço: US\$ 604.93 cada

- Goniômetro inferior – 2 unidades, um para cada rede

Fabricante: Newport

Modelo: M-GON65-L

Preço: US\$ 604.93 cada

- Micrômetro atuador para goniômetros – 4 unidades

Fabricante: Newport

Modelo: SM-13

Preço: US\$ 72.53 cada

## Detectores

- Detectores – 2 unidades:

Fabricante: ANDOR Technologies

Modelo: iKon-L 936

2048x2048 - 13.5µm pixel size

- Obturadores – 2 unidades:

Fabricante: Melles Griot

Modelo: 04UTS205

Preço: US\$ 780,00 cada (foram adquiridos 3 – 2 para uso e 1 spare)

Custo	total	com	despesas:	R\$	7.561,66
-------	-------	-----	-----------	-----	----------

Site: <https://www.cvimellesgriot.com/Products/UltraThin-Electronic-Shutters.aspx>

- Bloco de ajuste linear em 3 dimensões – 2 unidades, um para cada detector:

Fabricante: Newport

Modelo: M-562 – XYZ – LH

Preço: US\$ 2078.99 cada

- Bloco de ajuste angular em 3 dimensões – 2 unidades, um para cada detector:

Fabricante: Newport

Modelo: M-37

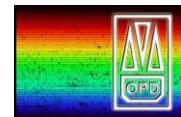
Preço: US\$ 699.94 cada

- Micrômetro atuador para bloco linear – 6 unidades

Fabricante: Newport

Modelo: SM-13

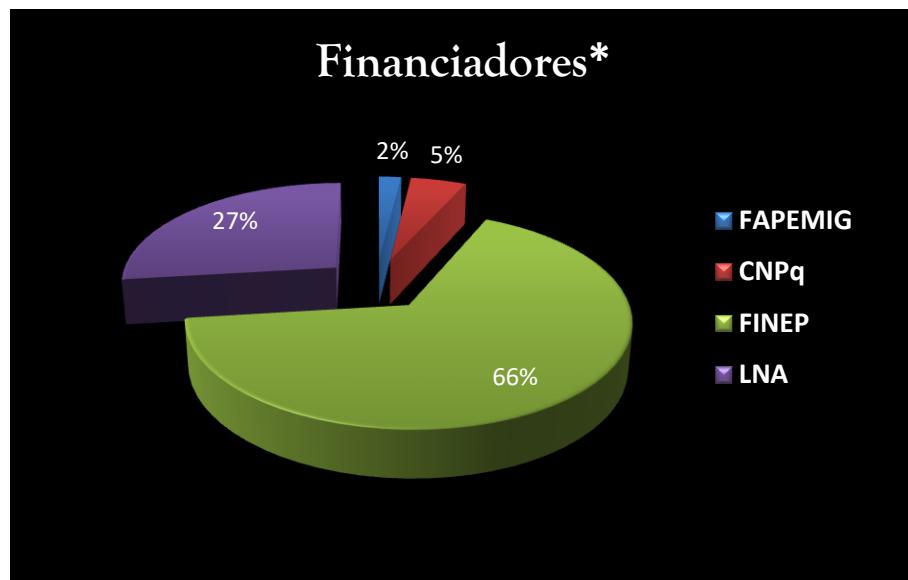
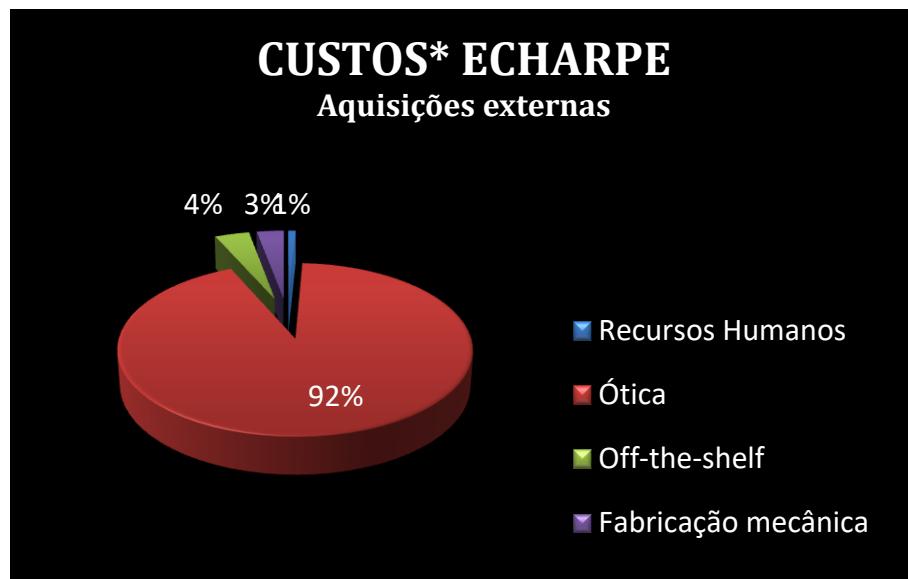
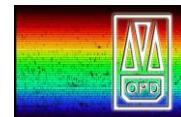
Preço: US\$ 72.53 cada



## 4 Custos e financiamentos

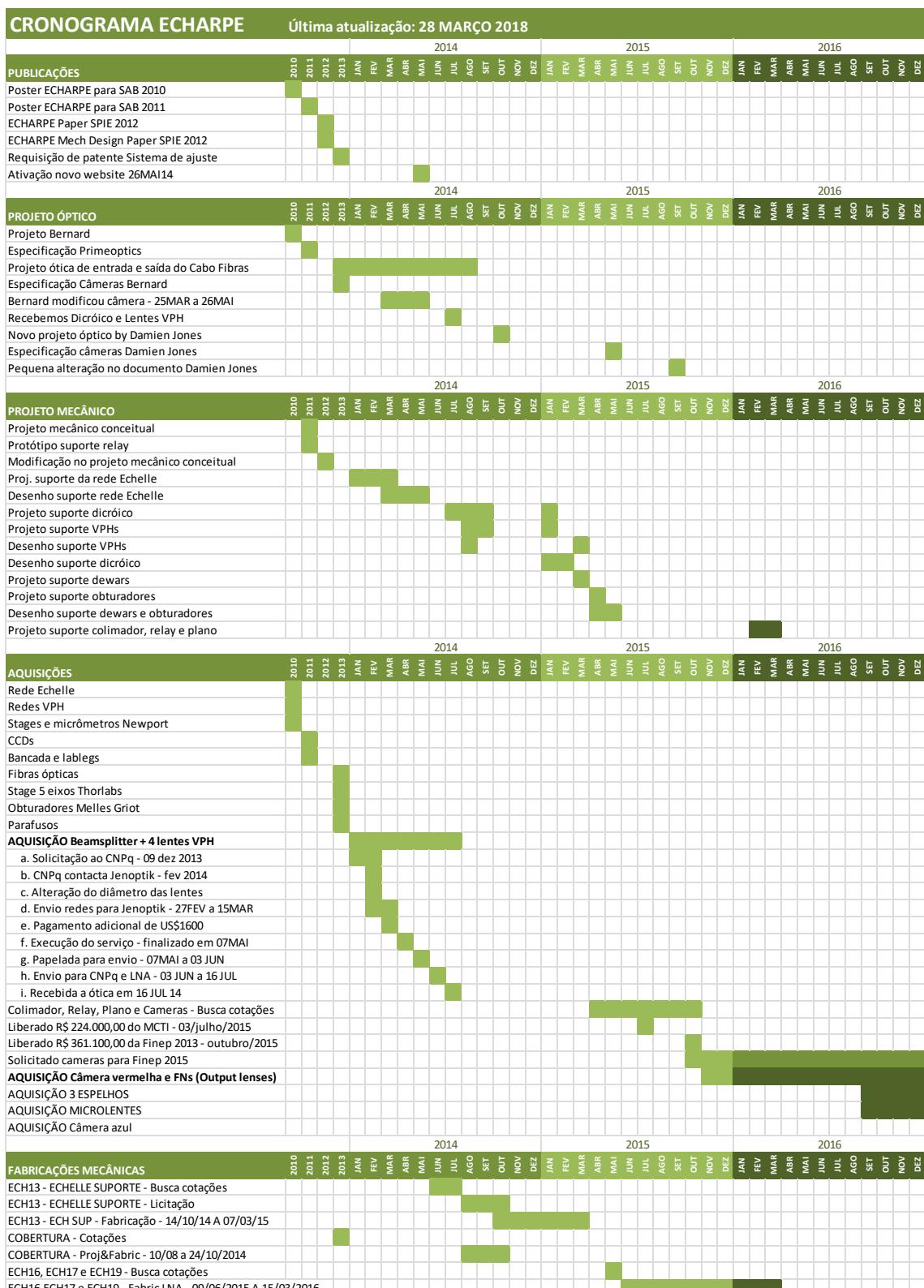
### CUSTOS ECHARPE

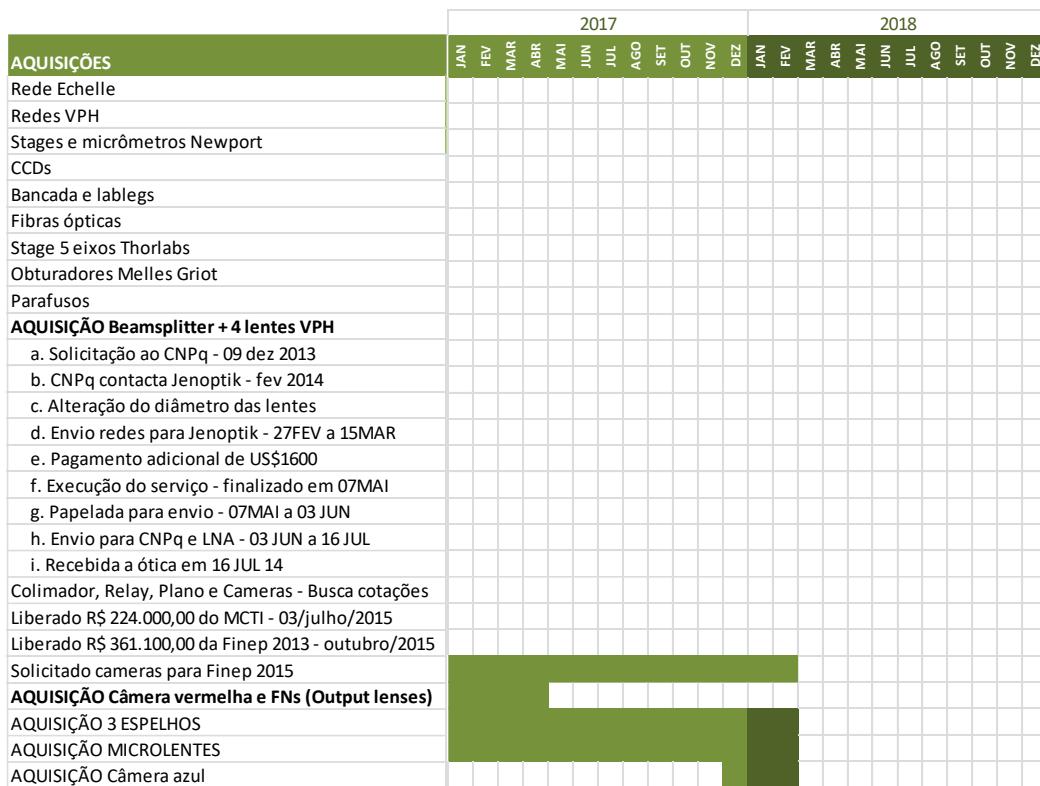
<b>RECURSOS HUMANOS</b>	<b>R\$</b>	<b>16.443,90</b>	<b>\$ 535.458,64</b>	<b>R\$ 2.070.072,74</b>		
<b>ÓTICA</b>	<b>R\$</b>	<b>1.916.688,17</b>				
<b>ITENS DE PRATELEIRA</b>	<b>R\$</b>	<b>76.580,77</b>				
<b>MECÂNICA</b>	<b>R\$</b>	<b>60.359,90</b>				
<b>ITEM</b>	<b>DATA</b>	<b>QDE</b>	<b>DESCRÍÇÃO</b>	<b>FONTE</b>		
				<b>DÓLAR/EURO</b>		
				<b>REAL</b>		
06/2011	-	1	PRIME OPTICS - Especificação e tolerâncias	LNA	\$ 5.500,00	R\$ 14.032,50
02/2014	-	1	Custos administrativos FUNDEP	FAPEMIG	-	R\$ 2.411,40
<b>ITEM</b>	<b>DATA</b>	<b>QDE</b>	<b>DESCRÍÇÃO</b>	<b>FONTE</b>	<b>DÓLAR/EURO</b>	<b>REAL</b>
10/2010	1	1	Rede Echelle	LNA	-	R\$ 94.388,17
11/2010	1	1	Rede Wasatch Photonics - Grating A	CNPq	\$ 2.000,00	R\$ 4.000,00
11/2010	1	1	Rede Wasatch Photonics - Grating B	CNPq	\$ 2.600,00	R\$ 5.200,00
08/2013	1000 m	1	Fibras ópticas - POLYMICRO TECH - FBP070098125	FAPEMIG	\$ 5.371,15	R\$ 13.714,04
04/2001	1	1	CCD	FINEP	\$ 62.000,00	R\$ 124.000,00
04/2011	1	1	CCD	LNA	\$ 68.000,00	R\$ 136.000,00
01/2014	5	1	Beamsplitter + 4 lentes das redes VPH	CNPq	\$ 31.600,00	R\$ 83.785,96
11/2015	1	1	Câmera vermelha	FINEP+LNA	€ 108.500,00	R\$ 542.500,00
11/2015	3	1	Fiber output lenses: FN1, FN2.1 e FN2.2	FINEP+LNA	€ 10.600,00	R\$ 53.000,00
09/2016	9	1	Três espelhos + 6 microlentes	FINEP	€ 39.000,00	R\$ 156.000,00
09/2016	2	1	Fibras ópticas - POLYMICRO TECH - FBP070098125	FINEP	\$ 6.600,00	R\$ 23.100,00
2017	1	1	Câmera azul	FINEP	€ 162.000,00	R\$ 681.000,00
<b>ITEM</b>	<b>DATA</b>	<b>QDE</b>	<b>DESCRÍÇÃO</b>	<b>FONTE</b>	<b>DÓLAR/EURO</b>	<b>REAL</b>
04/2011	1	1	Bancada ótica + 4 lablegs - Newport	FINEP	\$ 9.134,40	R\$ 18.268,80
09/2013	3	1	Obturador - MELLES GRIOT - 04UTS205 - 4*US\$780 + 20%	FAPEMIG	\$ 3.087,09	R\$ 7.561,66
09/2013	1	1	Bloco 5-eixos - THORLABS - NBM513/M - US\$ 5,615.00	FAPEMIG	\$ 6.526,91	R\$ 15.120,78
10/2010	72	1	Stages e micrômetros - Newport, sendo:	LNA	-	R\$ 27.134,98
2011	1	1	Guia linear Newport M-423 para Dicróico	LNA	\$ 274,93	
2011	4	1	Goniômetros Newport M-GON65 para VPH	LNA	\$ 2.419,72	
2011	2	1	Stages rotativos Newport M-UTR80S para VPH	LNA	\$ 1.671,86	
2011	2	1	Bloco linear 3D Newport M-562-XYZ-LH	LNA	\$ 4.157,98	
2011	2	1	Bloco angular 3D Newport M-37	LNA	\$ 1.399,88	
2011	11	1	Micrômetros Newport SM-13 para Dicr, VPH e CCD	LNA	\$ 797,83	
2011	3	1	Parafusos atuadores Newport AJS127-0.5 para Dicroico	LNA	\$ 131,79	
2014	24	1	Posicionadores M12, M10 e M8	CNPq		R\$ 1.196,70
2016	18	1	4 Stages + 4 micrômetros + 10 atuadores Newport	FINEP	\$ 2.085,10	R\$ 7.297,85
<b>ITEM</b>	<b>DATA</b>	<b>QDE</b>	<b>DESCRÍÇÃO</b>	<b>FONTE</b>	<b>DÓLAR</b>	<b>REAL</b>
06/2011	1	1	Protótipo Relay	LNA	-	R\$ 10.550,00
10/2013	5960	1	Parafusos geral	FAPEMIG	-	R\$ 2.359,90
10/2014	1	1	Cobertura da bancada	CNPq	-	R\$ 12.800,00
08/2014	1	1	Suporte Rede Echelle	LNA	-	R\$ 21.850,00
10/2014	1	1	COBERTURA DO ESPECTRÓGRAFO	CNPq		R\$ 12.800,00





## 5 Cronograma de execução





## 6 Publicações

DOMINICI, Tania P.; CASTILHO, Bruno; GNEIDING, Clemens D.; DELABRE, Bernard A.; MACANHAN, Vanessa B. P.; ARRUDA, Marcio V.; OLIVEIRA, Antonio C.; MELENDEZ, Jorge; VAZ, Luiz P. R.; CORRADI, Wagner J. B.; FRANCO, Gabriel A. P.; NASCIMENTO, Jose D.; QUAST, Germano R.; PORTO DE MELLO, Gustavo F.

### **ECHARPE: a fiber-fed echelle spectrograph for the Pico dos Dias Observatory.**

Proc. SPIE 8446, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 844636 (September 24, 2012); doi:10.1117/12.925674;  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.925674>

#### *Abstract*

*At least during the last ten years, the Brazilian astronomical community has been asking for an echelle spectrograph for the 1.6 m telescope installed at Pico dos Dias Observatory (Brazópolis, MG, Brazil, OPD/MCTI/LNA). Among the scientific cases are topics related to the chemical evolution of the Galaxy, asteroseismology, chemical composition and chromospheric activities of solar type stars and the relations between solar analogues and terrestrial planets. During 2009 the project finally got started. The called ECHARPE spectrograph (Espectrógrafo ECHelle de Alta Resolução para o telescópio Perkin-Elmer) is being projected to offer a spectral resolution of  $R \sim 50000$ , in the range 390-900nm and with a single exposition. It will be a bench spectrograph with two channels: blue and red, fed by two optical fibers (object, sky or calibration) with aperture of 1.5 or 2.0 arcseconds. The instrument will be placed in one of the telescope pillar ramifications, in the originals installations of a Coudé spectrograph and in a specially created environment controlled room. In this work we will present the scientific motivations, the conceptual optical design, the expected performance of the spectrograph, and the status of its development. ECHARPE is expected to be delivered to the astronomical community in 2014, fully prepared and optimized for remote operations.*

MACANHAN, Vanessa B. P. ; DE ARRUDA, Marcio V. ; MARTINS, Thiago V. ; DOMINICI, Tania P. ; CASTILHO, Bruno V. ; GNEIDING, Clemens D. ; CAMPOS, Rodrigo P.

**ECHARPE mechanical design.** Proc. SPIE 8446, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 84462K (September 24, 2012); doi:10.1117/12.924700; <http://dx.doi.org/10.1117/12.924700>

#### *Abstract*

*ECHARPE spectrograph - Espectrógrafo ECHelle de Alta Resolução para o telescópio Perkin-Elmer - is being designed at LNA - Laboratório Nacional de Astrofísica, Brazil - to*

be mounted on 1.60 meter telescope at Pico dos Dias Observatory, Brazil. It will offer a spectral resolution of  $R \sim 50000$ , in the interval 390-900 nm and in a single exposition. It will be a fiber fed, bench spectrograph with two channels: blue and red, fed by two optical fibers (object, sky or calibration) with aperture of 1.5 or 2.0 arcseconds. This paper reports on technical characteristics of the spectrograph mechanical design and presents a new developed mounting system for echelle grating and collimator and relay mirrors, which allows linear and rotational adjustments in all degrees of freedom without using springs.

CASTILHO, Bruno V.; DOMINICI, Tânia P.; GNEIDING, Clemens D.; MACANHAN, Vanessa B.P.; CAMPOS, Rodrigo P. **ECHARPE – Espectrógrafo Echelle de Alta Resolução para o Telescópio Perkin&Elmer.** XXXV Reunião anual da Sociedade Astronômica Brasileira, 2010, 136.

#### Resumo

Com o intuito de manter o Observatório do Pico dos Dias (OPD) competitivo, o Laboratório Nacional de Astrofísica (MCT/LNA) propôs à comunidade astronômica brasileira a construção de um novo espectrógrafo de alta resolução. O novo espectrógrafo será do tipo *echelle*, com ampla cobertura espectral. Vários projetos em andamento no OPD e novas linhas de pesquisa serão beneficiados como os estudos de abundâncias químicas, ventos estelares, astro-sismologia estelar, rotação estelar, o estudo de regiões de formação de estrelas, e possivelmente até a procura de planetas extra-solares, entre outros. O novo instrumento tem grande potencial para colaborar para um aproveitamento otimizado do próprio STELES, trabalhando em conjunto na identificação de alvos para o SOAR.

Apresentamos o desenho conceitual opto-mecânico do instrumento, suas possibilidades científicas, proposta de cronograma de construção e custos. A proposta básica consiste de uma adaptação dos projetos do STELES e do FEROS, ou seja, um espectrógrafo de dois canais, para a medida do espectro separadamente na sua parte vermelha e azul, cada canal sendo alimentado por três fibras (objeto, céu, calibração), e eventualmente, a manutenção em ambiente controlado. O instrumento operará entre 390 e 900nm, com  $R = 50000$ . As fibras terão abertura de 2,0 segundos de arco.

## 7 Referências bibliográficas

DOMINICI, Tania P. *et al.* **ECHARPE: a fiber-fed echelle spectrograph for the Pico dos Dias Observatory.** Proc. SPIE 8446, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 844636 (September 24, 2012); doi:10.1117/12.925674; <http://dx.doi.org/10.1117/12.925674>

JONES, Damien. **ECHARPE spectrograph optical specification and tolerance analysis.** Version 20140123. Australia, 02 jan 2014.

JONES, Damien. **ECHARPE spectrograph camera acceptance tests – with new cameras for 13.5 micron CCD.** Version 20150430. Australia, 30 apr 2015.

MACANHAN, Vanessa B.P. *et al.* **ECHARPE mechanical design.** Proc. SPIE 8446, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 84462K (September 24, 2012); doi:10.1117/12.924700; <http://dx.doi.org/10.1117/12.924700>

RIBEIRO, Flavio F. **Medidas mecânicas da óptica do ECHARPE.** Nota técnica. LNA, 2018.

**\* FIM DO DOCUMENTO \***