



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



MEDIDAS DE BRDF EM AMOSTRAS DE ALUMÍNIO ANODIZADO PRETO

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Luiz Guilherme Oliveira Santos (UNIFESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: luiz.guilherme.sjc@gmail.com

Luiz Angelo Berni (LAS/CTE/INPE, Orientador)

E-mail: berni@las.inpe.br

Julho de 2015

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar medidas de refletância de alumínio anodizado preto fazendo uso da função “Bidirectional Reflectance Distribution Function” (BRDF), que descreve o modo com que a luz interage com o material. Para isso, foram produzidas doze peças, seis de diâmetro de 50mm e seis de diâmetro de 24mm, com seis diferentes tipos de acabamento. As amostras passaram por processos de lixamento em politriz, polimento e no processo de usinagem em torno mecânico. Em seguida, elas passaram pelo processo de anodização orgânica, dando às amostras a coloração preta. Foi medida a rugosidade de cada um dos acabamentos por meio de perfilômetro óptico para que fosse analisada a refletância com relação à rugosidade do material. O sistema de aquisição de dados montado no laboratório do LAS/CTE, permite obter dados para as amostras de diâmetro de 50 mm, e posteriormente, as amostras de 24 mm serão medidas em uma esfera integradora.

ABSTRACT

The objective of this study was to measure the reflectance of black anodized aluminum making use of the "Bidirectional Reflectance Distribution Function" (BRDF), which describes the way in which light interacts with the material. For this, twelve pieces were produced, six with diameter of 50mm and six with diameter of 24mm, each pair with different finishing. Samples were prepared with sandpaper, polishing and machining lathe. Then, they were organic anodized, acquiring a black color. Roughness was measured for each sample by using an optical profilometer for studying the relation of the reflectance with respect to surface roughness of the material. The data acquisition system assembled in the laboratory of the LAS / CTE allows to obtain data for the 50 mm diameter samples, and thereafter, the samples of 24 mm will be measured in an integrating sphere.

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Rugosidade (em nm) das amostras de 24 mm antes da anodização.....	14
Tabela 2 – Rugosidade (em nm) das amostras de 24 mm anodizadas.....	15
Tabela 3 – Rugosidade (em nm) das amostras de 50 mm antes da anodização.....	15
Tabela 4 – Rugosidade (em nm) das amostras de 50 mm anodizadas.....	16

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 – Rugosidade média Ra.....	7
Figura 2.1 – Ilustração do sistema para medidas de BRDF das amostras de 50 mm.....	8
Figura 2.2 – a) Suporte onde a peça é fixada e presa ao braço auxiliar; b) Braço auxiliar da poltriz, com o suporte rosqueado ao parafuso de fixação.....	11
Figura 2.3 – Amostras após a preparação na poltriz.....	11
Figura 2.4 – Imagem dos dados do perfilômetro para a amostra de alumínio de acabamento de 320, antes da anodização.....	12
Figura 2.5 – Amostras após a anodização.....	13
Figura 3.1 – Gráficos referentes aos dados das tabelas 1 (a) e 2 (b), respectivamente...16	
Figura 3.2 – Gráficos referentes aos dados das tabelas 3 (a) e 4 (b), respectivamente...18	
Figura 3.3 – Medida da refletância da amostra padrão com ângulos diferentes da fonte de luz.....	19
Figura 3.4 - Gráfico com comprimento de onda de 601,5 nm.....	20
Figura 3.5 – Gráficos da razão da refletância das amostras anodizadas sobre o padrão, com ângulo de incidência de 30°.....	21
Figura 3.6 - Gráficos da razão da refletância das amostras anodizadas sobre o padrão, com ângulo de incidência de 60°.....	22

SUMÁRIO

	Pág.
1. Introdução.....	7
2. Materiais e Métodos.....	8
2.1 Sistema de medida de BRDF.....	7
2.2 Materiais e procedimento de preparação das amostras.....	9
2.3 Procedimento de limpeza das amostras.....	12
2.4 Medição da rugosidade pelo Perfilômetro Óptico.....	12
2.5 Anodização das amostras de alumínio.....	13
2.6 Obtenção de dados no Sistema de BRDF com amostras de 50 mm.....	13
3. Análise dos Resultados.....	14
3.1 Rugosidade das amostras.....	14
3.2 Perfis de refletância.....	19
4. Conclusão.....	23
5. Referências.....	24

1. INTRODUÇÃO

A luz pode interagir com a matéria de três formas distintas, sendo elas a refletância, transmitância e absorvância. Isso dependerá das características físicas da luz, além da composição e características da matéria. A interação da luz com o material pode ser medida através de uma função denominada “Bidirectional Reflectance Distribution Function” (BRDF), em sr^{-1} [1], que é a utilizada no sistema montado pelo laboratório do LAS/CTE. A BRDF a ser medida, em uma superfície homogênea, é dependente do comprimento de onda utilizado, do ângulo de incidência e reflexão da luz em relação ao eixo zênite e do ângulo de incidência e reflexão da luz em relação à superfície do plano azimutal [1].

Um material com a superfície opaca e rugosa interage com a luz de forma diferente de um material com superfície lisa. Com isso, o objetivo desse trabalho será observar a forma com que diferentes rugosidades se comportam perante incidência luz em ângulos diferentes. Os materiais ao qual serão analisados esses dados passarão por um processo de anodização preta orgânica. A anodização é um processo pelo qual é depositado um filme de óxido sobre o material, sendo ele feito por meio de banho eletrolítico. A taxa de formação desse óxido é proporcional a densidade de corrente (A/cm^2).

Para identificação da rugosidade das amostras, foi utilizado um perfilômetro óptico. Os dados utilizados foram os de rugosidade aritmética ou média. Ela é calculada em função da linha média x do perfil de rugosidade, mostrado na figura abaixo:

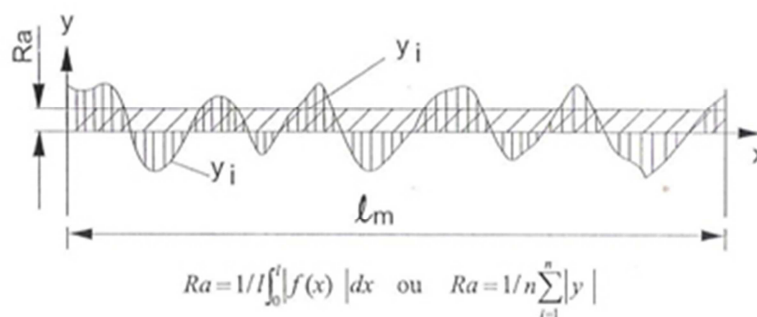


Figura 1.1 – Rugosidade média Ra

Esta grandeza pode ser representada como sendo a altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas entre o perfil de rugosidade e a linha média x pelo comprimento l_m [2].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Sistema de medida de BRDF

O sistema é composto por motores de passo que são controlados a partir de um computador desktop. Estes motores são responsáveis pelo movimento semicircular no eixo zênite do eixo da fonte de luz e do eixo do sensor, tendo como centro uma mesa ajustável. As amostras colocadas sobre a mesa ficam localizadas no centro do semicírculo feito pelo movimento dos eixos.

A fonte de luz é composta por uma lâmpada comercial dicrômica de 50 Watts. O foco da luz produzida pela lâmpada se localiza no centro da mesa ajustável. O eixo com o sensor, que também tem seu foco no centro da mesa, possui uma lente que direciona a radiação refletida para a fibra ótica. O detector ao qual a fibra ótica esta conectada é o responsável pela análise do comprimento de onda de interesse.

Os dados são enviados para um sistema de aquisição de sinal, o Sistema de Radiometria Merlin Modelo 70100, e passado para um sistema de aquisição de dados NI-Daq 6210, que converterá em sinal digital [3]. Em seguida, os dados são enviados a um computador e depois, salvos no formato “.txt”. Na figura 2.1 pode ser observado como o sistema é disposto.

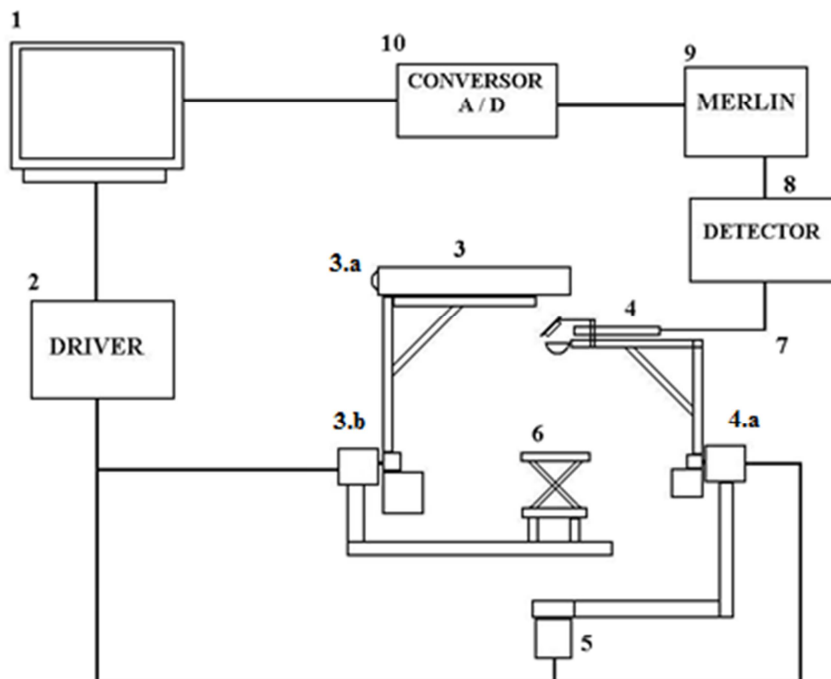


Figura 2.1 – Ilustração do sistema para medidas de BRDF das amostras de 50 mm.

Onde:

1. Computador para controle do sistema;
2. Driver para controle dos motores de passo;
3. Eixo com a fonte de iluminação, composto por a) lâmpada dicróica de 50W e; b) motor de passo que move o eixo no ângulo zênite;
4. Eixo com o sensor; a) motor de passo que move o eixo no ângulo zênite;
5. Eixo com o movimento azimutal do sensor;
6. Mesa ajustável onde são colocadas as amostras;
7. Fibra ótica;
8. Detector, chopper e filtro;
9. Sistema de aquisição de sinal;
10. Sistema para conversão em sinal digital.

Um dos próximos passos do projeto será realizar medidas de refletância integrada das amostras de 24 mm, preparadas previamente com as de 50 mm, usando uma esfera integradora.

2.2 - Materiais e procedimento de preparação das amostras

- 5 amostras de alumínio de diâmetro de 50mm e espessura de 15 mm;
- 5 amostras de alumínio de diâmetro de 24mm e espessura de 6 mm;
- Lixas de granulometria 180, 320, 600, 1200, 2000;
- Politriz;
- Discos de polimento para pasta de diamante;
- Pastas de diamante para polimento de granulometria 3 μm , 1 μm e 0,3 μm ;
- Lubrificante para polimento à pasta de diamante.

Primeiramente foram preparadas as 5 amostras de alumínio de 50 mm, da forma que cada uma possuísse um acabamento diferente. Em todos os processos realizados, a rotação usada na politriz foi de 250 rpm.

O primeiro acabamento feito foi o deixado pela lixa de granulometria 180. Manualmente, com pressão média, a amostra foi lixada pelo disco da lixa de 180. Para minimizar os riscos preferenciais deixados pelo sentido de rotação da politriz, a amostra foi sendo rodada manualmente até que fosse observada uma aleatoriedade nos riscos deixados pela lixa.

O segundo acabamento foi o de granulometria 320. Primeiramente, foi usada a lixa de 180, deixando desta vez os riscos do sentido de rotação na amostra. Foi trocada a lixa e a amostra foi lavada. Na lixa de 320, a amostra foi rodada e lixada numa posição de 90° dos riscos deixados pela lixa anterior. Quando foi observado que os riscos da lixa de 180 foram apagados pela de 320, foi repetido o processo de obter a aleatoriedade dos riscos rodando a amostra.

O terceiro acabamento foi o da lixa de granulometria 600. O processo foi similar ao anterior. Nas trocas de lixa, a amostra foi lavada, e foi feita a rotação de 90° para retirar os riscos das lixas anteriores. Esse processo passou pelas lixas de 180 e 320 antes da de 600. Foi feito também o processo para obter a aleatoriedade nos riscos da amostra.

No quarto acabamento, que é o da lixa de 1200, foi repetido o mesmo processo, passando pelas lixas de 180, 320 e 600 antes da lixa de 1200.

O quinto acabamento é o polimento. As lixas utilizadas foram as de 180, 320, 600, 1200 e 2000. No polimento, os riscos preferências da lixa de granulometria 2000, que foi a última utilizada no processo, foram deixados. Logo depois, foi feito uso do pano de polimento com pasta de diamante de 3 µm, com uso também de lubrificante. Não foi feita muita pressão na amostra sobre o pano, pois o alumínio é um material maleável e com muita pressão ocorrem queimaduras no material. Logo depois foi usado o pano de polimento com pasta de alumínio de 1 µm e por último o com pasta de 0,3 µm. Após o último pano foi possível observar que a amostra obteve uma característica espelhada.

Para a preparação das amostras de diâmetro de 24 mm, foi feito uso do braço auxiliar da politriz, mostrado na figura 2.2-b). Ele dá às amostras a característica de aleatoriedade nos riscos, pois ele também roda em torno do próprio eixo. Foi feito um suporte, figura 2.2-a), para que a amostra fosse fixada no braço auxiliar. As lixas usadas para cada acabamento foram usadas na mesma ordem que a das amostras de 50 mm, sendo que elas também foram feitas com acabamentos em 180, 320, 600, 1200 e polida com pasta de diamante de 0,3 µm. O processo de polimento, ao invés do uso do braço da politriz, foi feito manualmente como no processo das amostras de diâmetro maior.

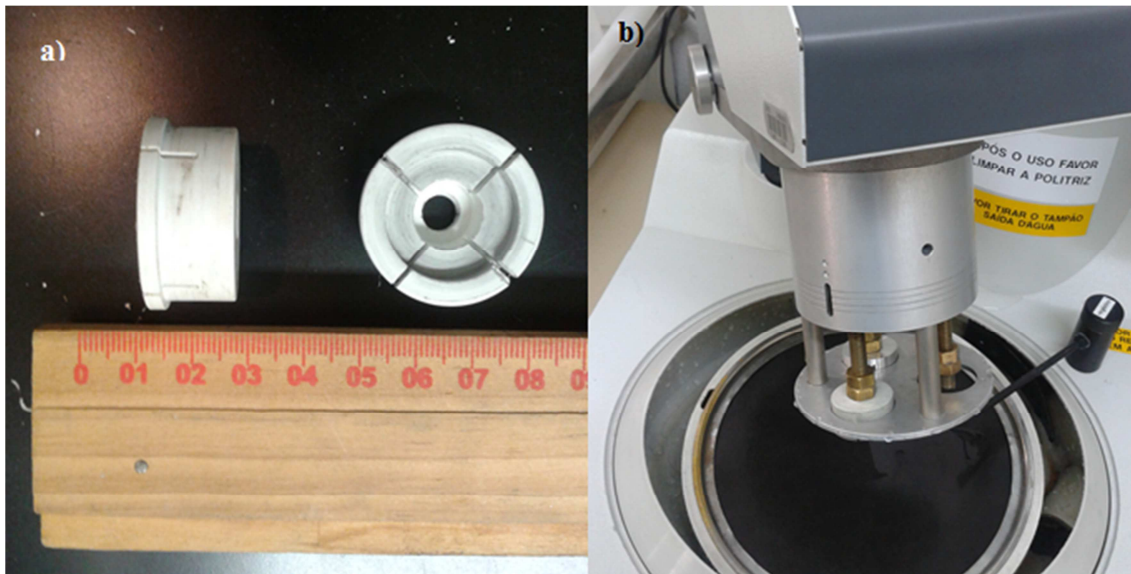


Figura 2.2 – a) Suporte onde a peça é fixada e presa ao braço auxiliar; b) Braço auxiliar da politriz, com o suporte rosqueado ao parafuso de fixação.

As amostras prontas podem ser observadas na figura 2.3. As amostras de alumínio de 24 mm se encontram acima e as de 50 mm abaixo. Da esquerda para a direita estão dispostas como acabamentos de (1) 180; (2) 320; (3) 600; (4) 1200; e (5) polido com pasta de diamante de 0.3 μm .

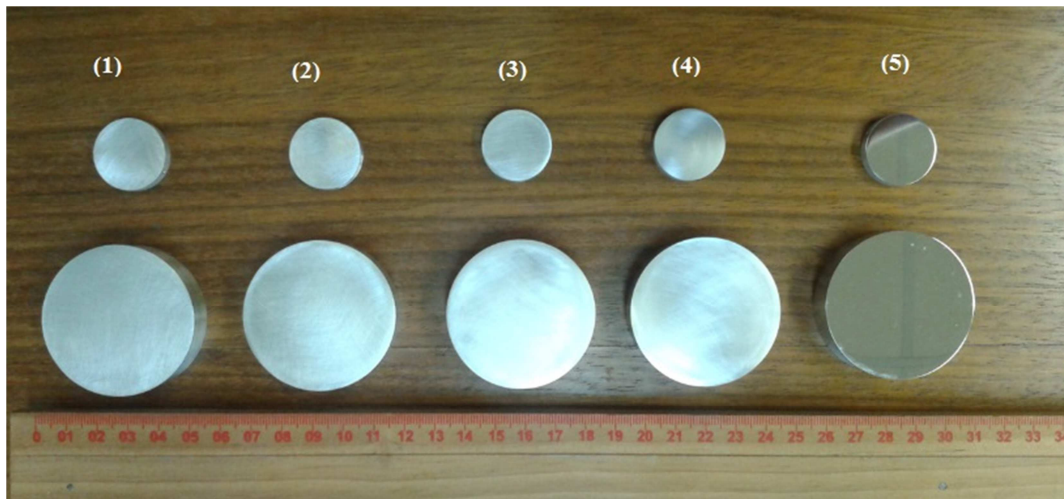


Figura 2.3 – Amostras após a preparação na politriz.

Posteriormente foi adicionado um sexto acabamento, para ambos os tamanhos de amostra, sendo ele preparado na oficina mecânica em um torno de usinagem. Este acabamento é o torneado.

2.3 - Procedimento de limpeza das amostras

O procedimento de limpeza foi realizado em uma lavadora por ultrassom. As amostras foram colocadas em um recipiente e submersas em álcool isopropílico. O recipiente foi colocado na lavadora e ela foi programada para realizar a limpeza durante 15 minutos. O processo de limpeza das amostras foi realizado em dois momentos. O primeiro foi logo após os procedimentos realizados na politriz para preparação das amostras; e o segundo após o processo de anodização.

2.4 – Medição da rugosidade pelo Perfilômetro Óptico

As rugosidades das amostras foram medidas no perfilômetro óptico da Veeco, modelo Wyko NT1100. O procedimento de limpeza foi realizado antes que elas fossem encaminhadas ao perfilômetro, para que possíveis resíduos provenientes do preparo das amostras na politriz ou na anodização não influenciassem nos resultados. Essas medidas foram realizadas antes e após a anodização. Utilizando a luz VSI [4] do perfilômetro, foi medida a rugosidade em seis pontos aleatórios de cada amostra. Logo após, foi calculada a média das seis rugosidades aritméticas obtidas. Abaixo, é apresentada uma imagem referente à aquisição de dados no perfilômetro.

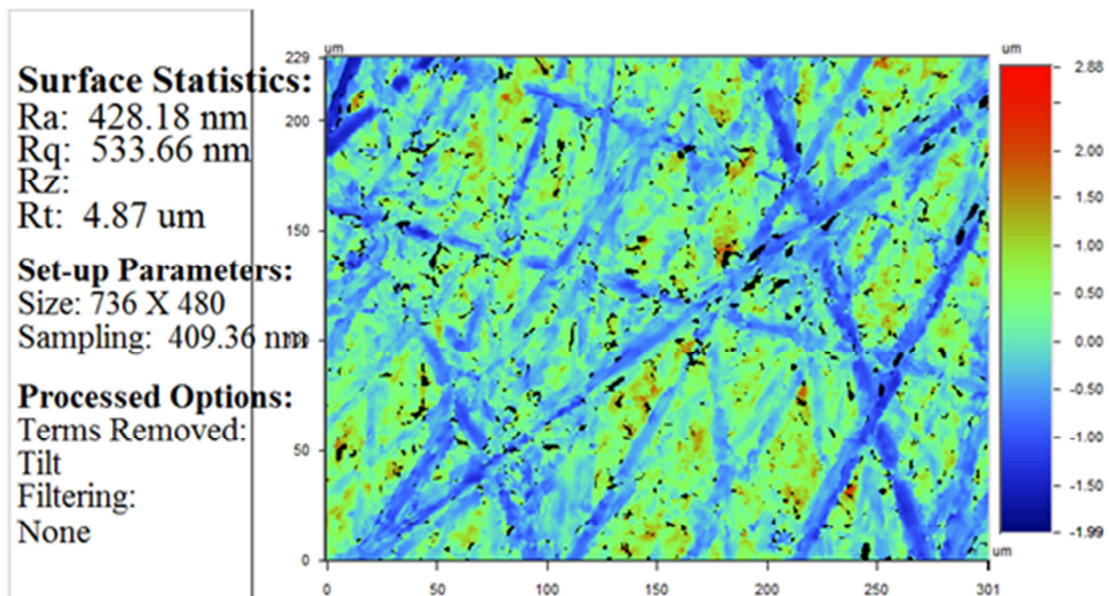


Figura 2.4 – Imagem dos dados do perfilômetro para a amostra de alumínio de acabamento de 320, antes da anodização.

2.5 – Anodização das amostras de alumínio

Foi realizado o processo de anodização orgânica nas amostras. Para ser realizado esse procedimento, sem que fosse danificado o acabamento ou que houvesse alguma região em que as medidas seriam realizadas sem estar anodizada, foi necessária a confecção de um suporte para as amostras, permitindo com que elas fossem presas. Na figura 2.5, podem ser observadas as amostras após o processo de anodização.

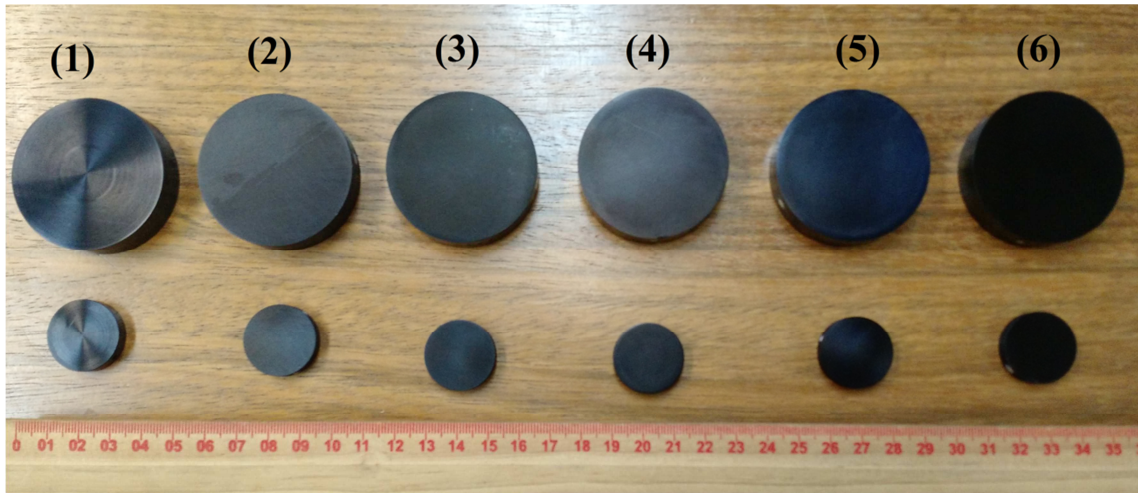


Figura 2.5 – Amostras após a anodização.

As amostras de 24 mm estão abaixo e as de 50 mm acima. Da esquerda para a direita estão dispostas como acabamentos do (1) torno mecânico; (2) 180; (3) 320; (4) 600; (5) 1200; e (6) polido com pasta de diamante de 0.3 μm .

2.6 – Obtenção de dados no Sistema de BRDF com amostras de 50 mm

Foram realizadas medidas de refletância das amostras de 50 mm anodizadas no dispositivo montados pelo LAS/CTE [3]. Estas medidas foram feitas tendo como parâmetro o ângulo zênite de incidência da fonte de luz na amostra, o comprimento de onda ao qual foi realizada a medida e o ângulo zênite de leitura do sensor.

Para isso, foram realizadas medidas em uma amostra padrão, com ângulos de incidência da fonte de luz a 15°, 30°, 45° e 60°, no comprimento de onda de 600 nm. O ângulo zênite de aquisição de dados do sensor foi disposto no intervalo de -65° a 65°, fazendo uma leitura a cada 2°. Foi colocado um intervalo de 1000 ms para a parada do sensor antes que realizasse a leitura, para que fosse minimizada uma possível interferência pela vibração do mesmo ao ser medida a refletância da amostra. No sistema de aquisição de sinal Merlin (item 9 da figura 2.1) é necessário o ajuste do sinal

de saída, para que a escala utilizada para as medidas da amostra padrão seja a mesma para a do alumínio anodizado. Se houver saturação no sinal, é necessário que seja feito ajustes na escala do sinal de saída.

Em seguida, foram realizadas as medidas nas amostras de alumínio, nos mesmos ângulos de incidência da fonte de luz, repetindo o mesmo intervalo para o sensor e para cada comprimentos de onda. Com os dados obtidos, foram plotados gráficos com a razão do sinal das amostras de alumínio pelo sinal dos respectivos dados do padrão. Esta razão foi calculada para cada par amostra e padrão, que possuem mesmo ângulo de incidência da fonte de luz e mesmo comprimento de onda.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 – Rugosidade das amostras

Por meio do perfilômetro foram obtidos os dados referentes a rugosidade de seis pontos aleatórios de cada amostra. Para as amostras de 24 mm foram obtidos os dados mostrados nas tabelas 1 e 2. A tabela 1 representa os dados das amostras antes da anodização e a tabela 2 depois.

Tabela 1 – Rugosidade (em nm) das amostras de 24 mm antes da anodização.

Amostras de 24 mm	1	2	3	4	5	6	Média	Desvio
Torneada	293.22	270.59	339.52	307.2	284.47	354.6	308,24	32,67
180	740.54	666.56	694.92	626.77	631.95	721.34	680,35	46,73
320	438.8	503.81	433.57	450.22	425.72	435.2	447,89	28,54
600	370.91	313.13	341.39	356.27	327.57	343.7	342,16	20,42
1200	233.75	209.94	215.21	207.49	232.3	236.25	222,49	13,02
Polida	27.68	21.97	24.54	15.26	16.33	17.78	20,59	4,94

Tabela 2 – Rugosidade (em nm) das amostras de 24 mm anodizadas.

Amostras de 24 mm	1	2	3	4	5	6	Média	Desvio
Torneado	449.92	233.99	246.02	305.36	338.41	297.33	311,84	71,20
180	706.58	602.11	576.05	519.07	1020	615.85	673,28	164,78
320	489.61	433.27	462.03	406.51	443.64	518.03	458,85	36,71
600	339.7	314.55	312.35	324.01	323.18	317.11	321,82	9,05
1200	218	228.15	210.47	216.63	224.33	198.25	215,97	9,72
Polido	97.22	93.86	97.93	83.95	90.20	83.46	91,10	5,80

Repetindo o mesmo procedimento para obtenção de dados para as amostras de 50 mm, foram obtidas as tabelas 3 e 4, com rugosidade, respectivamente, antes e após a anodização.

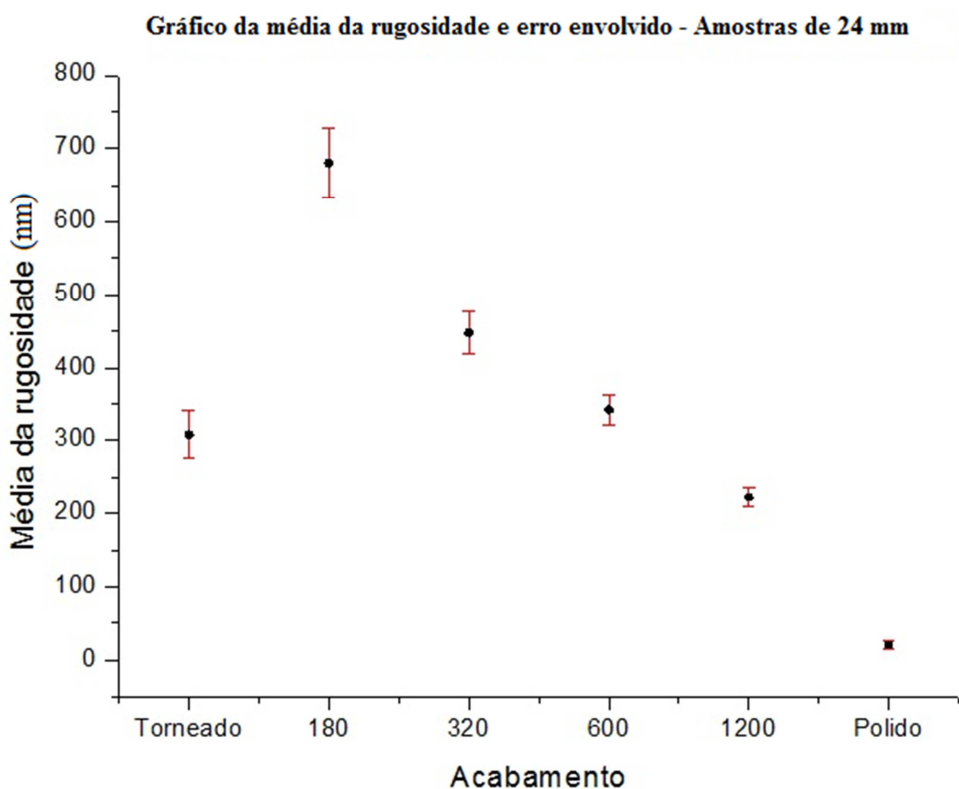
Tabela 3 – Rugosidade (em nm) das amostras de 50 mm antes da anodização.

Amostras de 50 mm	1	2	3	4	5	6	Média	Desvio
Torneada	284.14	299.74	311.2	338.98	367.41	356.17	326,27	33,02
180	708.11	659.83	646.31	560.39	719.89	611.53	651,01	59,79
320	484.75	382.4	510.2	512.96	428.18	456.4	462,48	50,88
600	325.34	344.01	349.32	328.22	325.89	377.63	341,73	20,26
1200	253.06	247.7	253.05	252.5	261.08	256.65	254,01	4,49
Polida	26.19	32.92	15.05	19.79	10.26	18.29	20,42	8,08

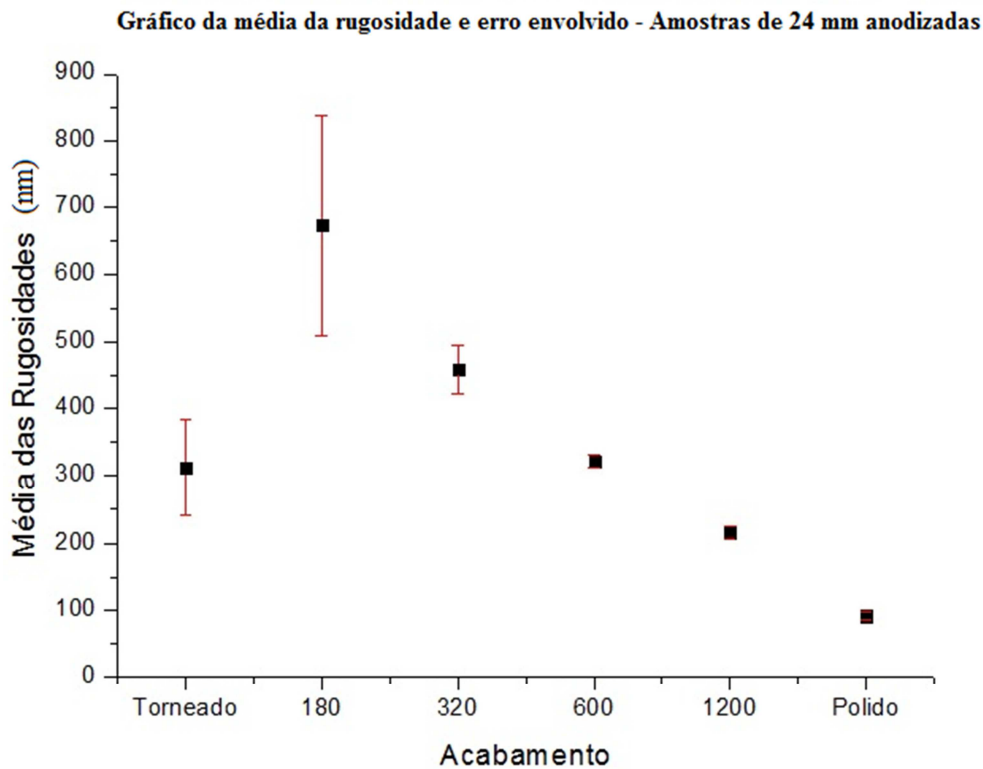
Tabela 4 – Rugosidade (em nm) das amostras de 50 mm anodizadas.

Amostras de 50 mm	1	2	3	4	5	6	Média	Desvio
Torneado	541,69	613,09	639,93	609,65	702,22	652,51	626,52	48,73
180	542,58	479,01	490,11	589,86	741,55	554,25	566,23	86,99
320	454,67	472,75	409,51	411,83	567,4	448,79	460,83	52,78
600	326,92	272,21	304,66	314,81	310,87	307,87	306,22	16,76
1200	228,28	215,15	253,09	244,17	260,76	231,28	238,79	15,50
Polido	80,53	87,87	85,84	76,75	80,86	79,14	81,83	3,84

Com os dados obtidos nas tabelas, foi possível plotar os gráficos da relação de rugosidade por tipo de acabamento. Essas relações para as amostras de 24 mm podem ser observados na figura 3.1(a), referente aos dados das amostras alumínio antes da anodização, e na figura 3.1(b) para as amostras já anodizadas.



(a)

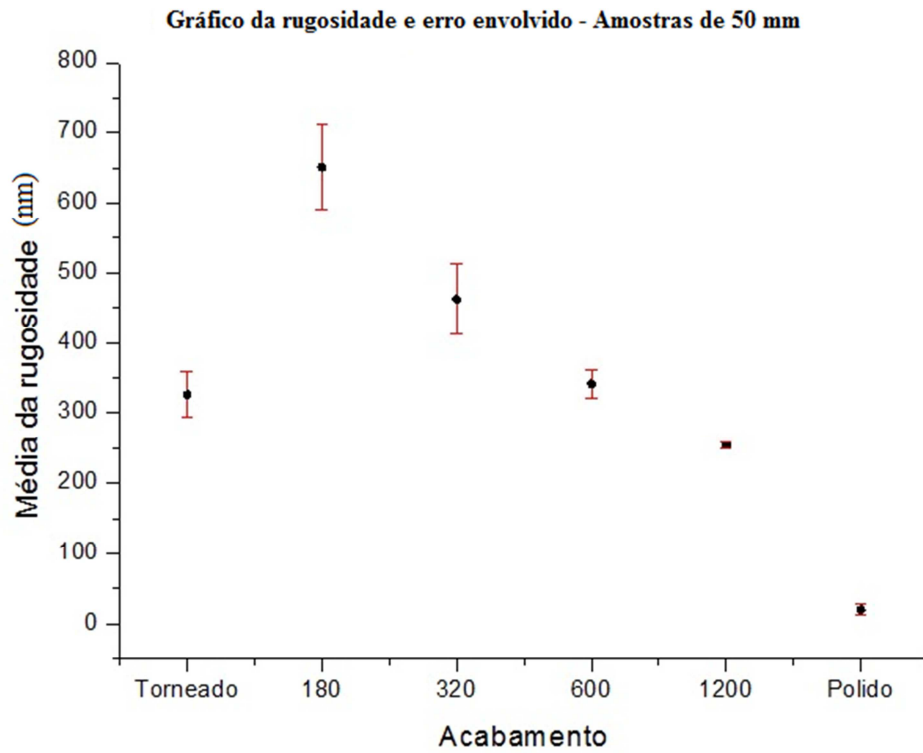


(b)

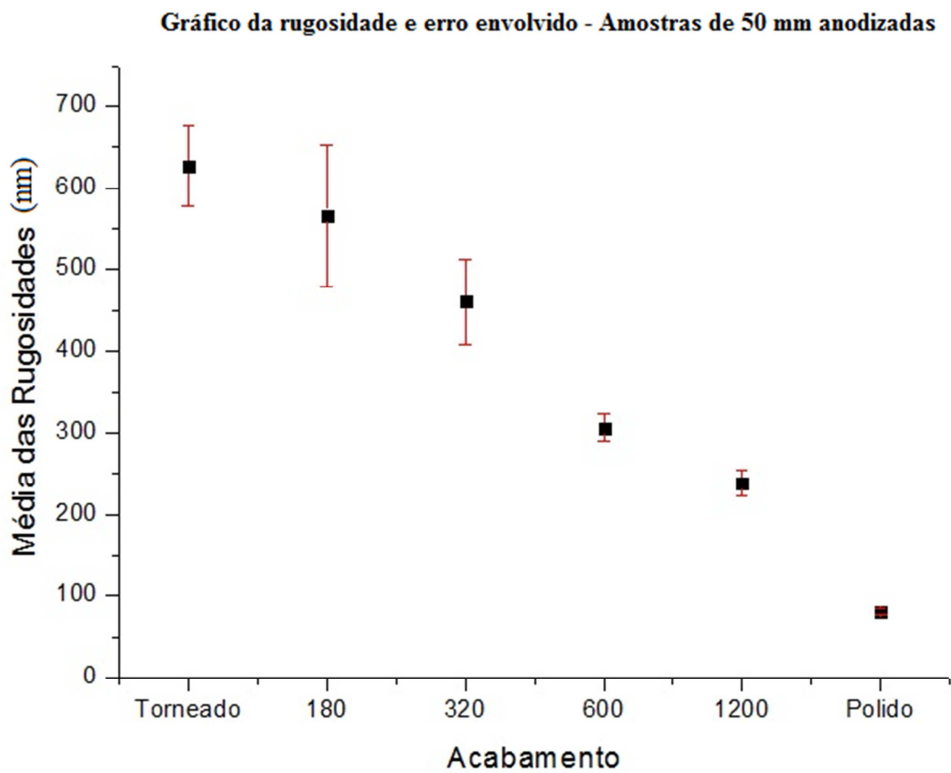
Figura 3.1 – Gráficos referentes aos dados das tabelas 1 (a) e 2 (b), respectivamente.

É possível observar que não houve uma mudança significativa na rugosidade das amostras mais rugosas antes e depois da anodização. A que passou pelo processo de polimento, obtendo uma rugosidade média de 20 nm, foi a mais afetada, passando a ter uma rugosidade de 90 nm. Apesar disso, ainda foi possível observar uma característica espelhada no material.

Em seguida, foram plotados os gráficos referentes aos dados das tabelas 3 e 4. Eles podem ser observados na figura 3.2 abaixo.



(a)



(b)

Figura 3.2 – Gráficos referentes aos dados das tabelas 3 (a) e 4 (b), respectivamente.

É possível observar que houve uma discrepância na rugosidade da amostra polida como nas medidas anteriores. As medidas das amostras torneadas deverão ser refeitas para confirmar os resultados. Como a área superficial dessas amostras é maior, os pontos aleatórios em que as medidas foram obtidas podem ter coincidido em regiões com imperfeição, tendo em vista que para se tentar obter uma superfície uniforme e aleatoriedade nos riscos deixados pelas lixas, tentou-se fazer por um processo manual.

3.2 – Perfis de refletância

Primeiramente, foram realizadas medidas da amostra padrão, observando seu comportamento. Os dados obtidos foram plotados e podem ser observados na figura 3.3 abaixo:

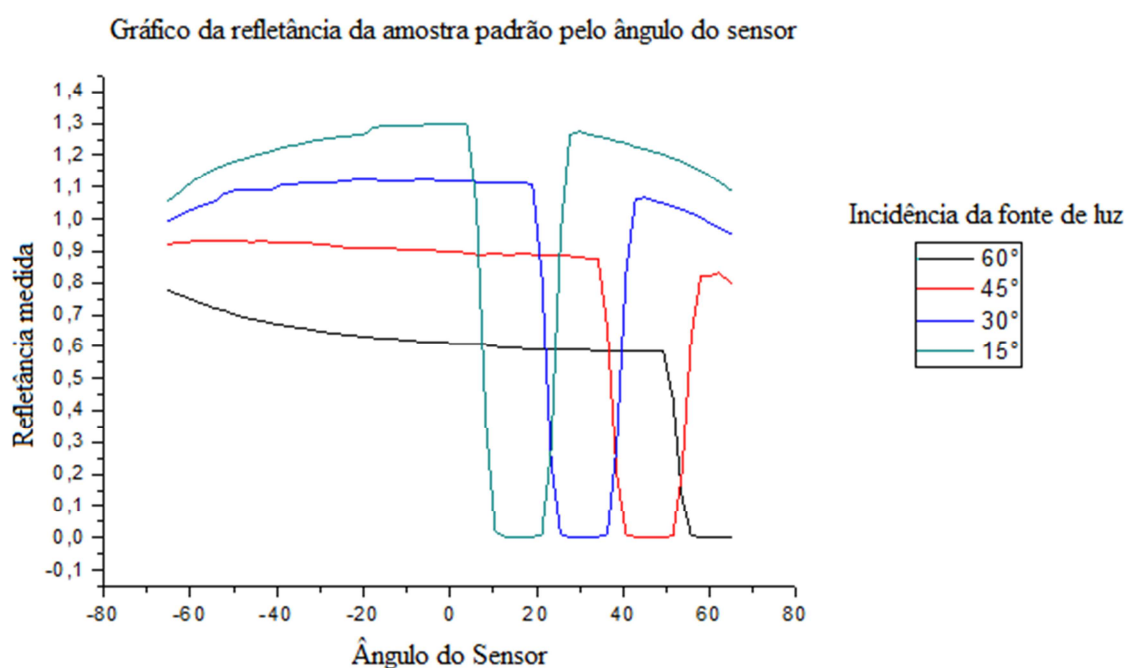


Figura 3.3 – Medida da refletância da amostra padrão com ângulos diferentes da fonte de luz para 601,5 nm.

A região de vale que pode ser observada no gráfico corresponde ao momento em que o sensor obstrui a fonte de luz. Pode-se observar que o padrão possui uma refletância quase uniforme.

Para que fosse observada a medida da “reflexão” conforme o ângulo da fonte de luz, foi plotado um gráfico para um dos acabamentos nos quatro ângulos de incidência propostos nesse projeto. Foi escolhido então o acabamento de 320, e foi obtido o gráfico da figura 3.4.

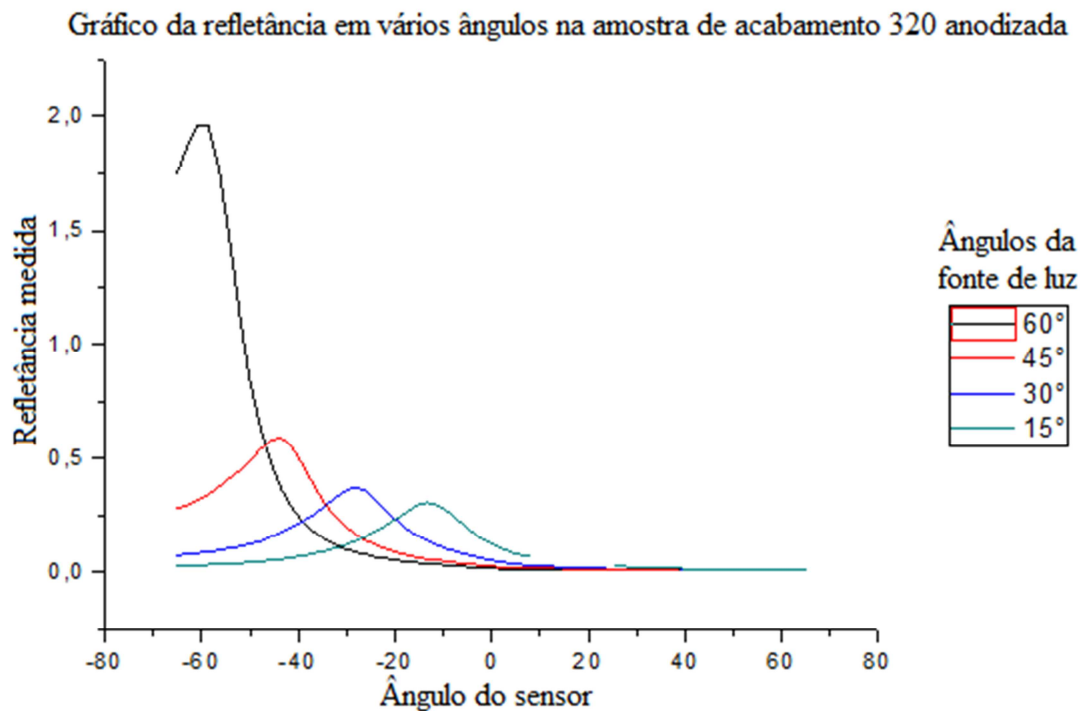
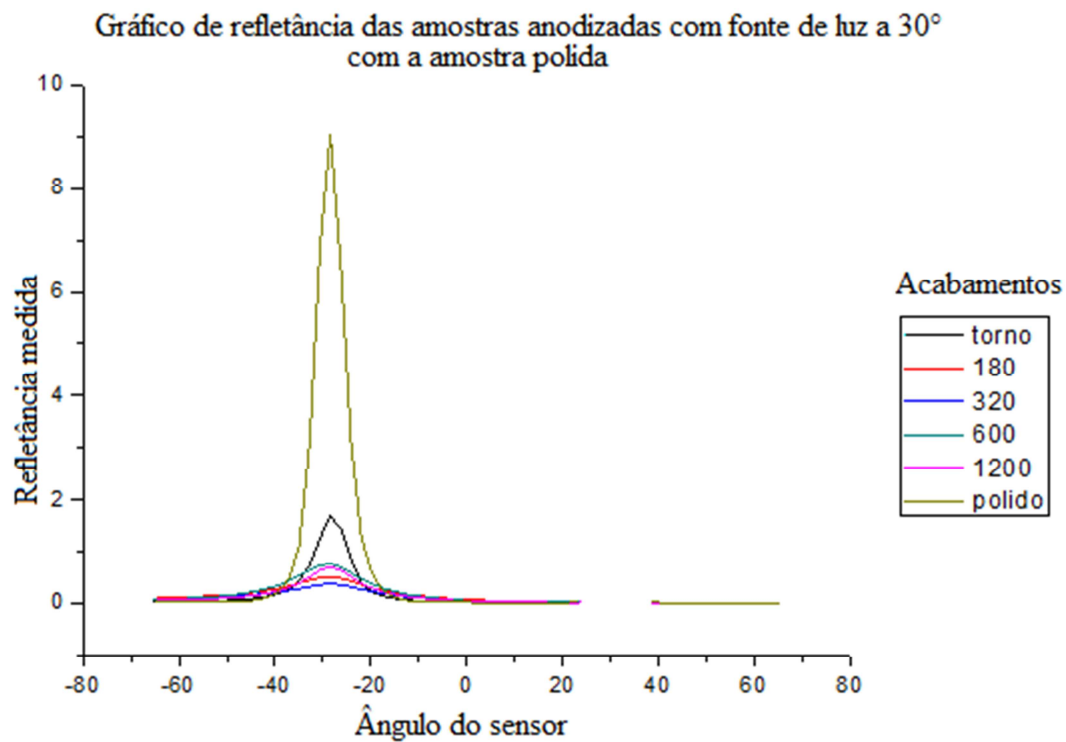


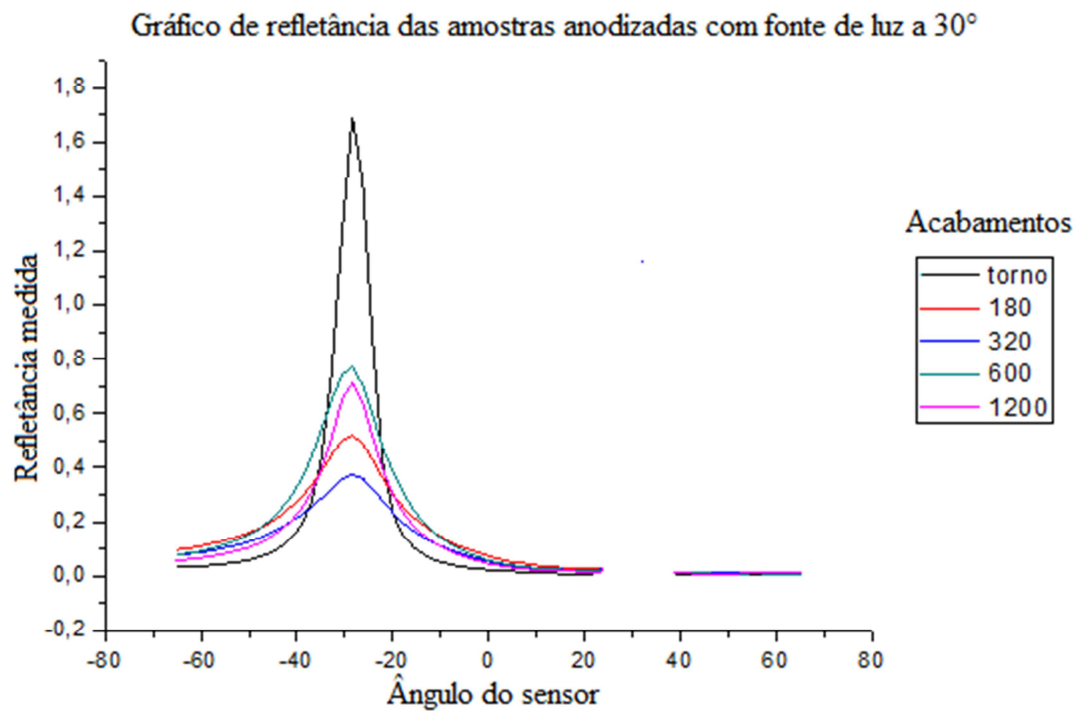
Figura 3.4 - Gráfico com comprimento de onda de 601,5 nm.

A região de sombra resultante da razão da amostra anodizada pelo padrão foi retirada do gráfico da figura 3.4. Pode-se observar que conforme o ângulo de incidência da fonte de luz se aproxima do plano azimutal, ou do plano da amostra, a reflexão no material aumenta. Isso pode ser afirmado, pois conforme há um aumento no ângulo da fonte de luz, observa-se uma crescente na refletância medida pelo sensor, dando uma característica exponencial ao gráfico.

Em seguida, foram comparadas algumas medidas de refletância das amostras de alumínio anodizado para o comprimento de onda de 601,5 nm (região de máximo da fonte de luz). As medidas referentes a todos os tipos de acabamento com ângulo de incidência da fonte de luz a 30° (figura 3.5(a)) e o gráfico sem o acabamento polido (figura 3.5(b)), com mesmo ângulo de incidência, tem-se:



(a)



(b)

Figura 3.5 – Gráficos da razão da refletância das amostras anodizadas com o padrão , com ângulo de incidência de 30° - (a) todas as amostras e (b) sem amostra polida.

Pode-se observar pela figura 3.5(a) que o caráter espelhado da amostra polida permite que haja uma reflexão maior da luz incidida sobre o material. Na figura 3.5(b), observou-se que a amostra torneada foi a que possuiu maior reflexão da luz depois da polida. Tomando como comprimento de onda 601,5 nm, foi plotado o gráfico, figura 3.6, com todos os acabamentos com a fonte de luz a 60°.

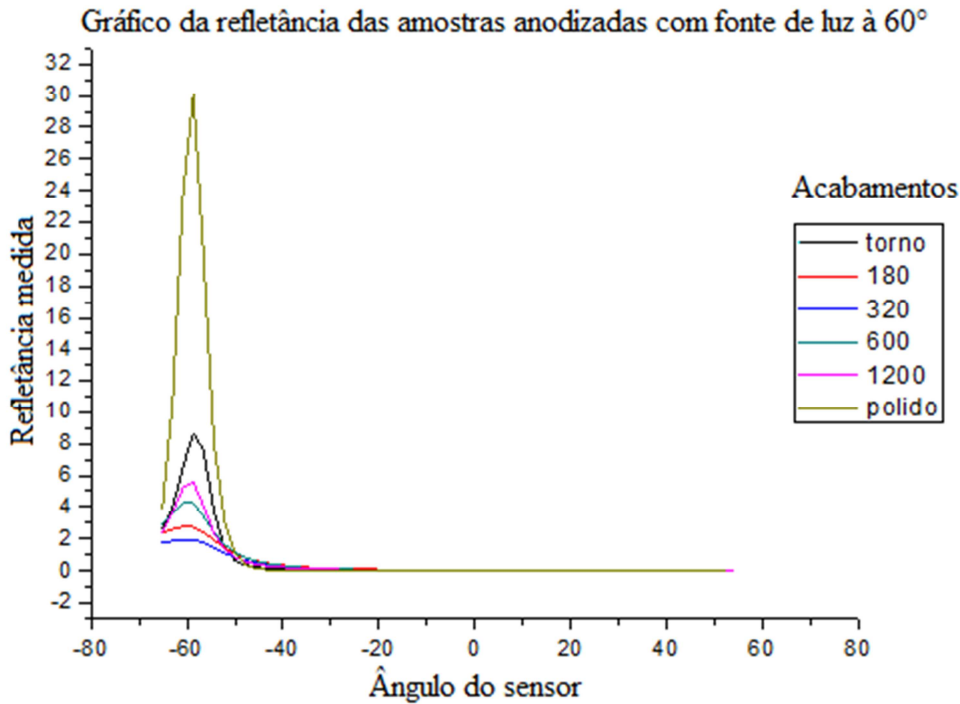


Figura 3.6 - Gráficos da razão da refletância das amostras anodizadas sobre o padrão, com ângulo de incidência de 60°.

Foi observado que houve aumento na luz refletida, devido ao ângulo da fonte de luz. Além disso, novamente observou-se que o segundo acabamento com maior refletância medida foi o torneado. Observando as amostras anodizadas na figura 2.5, também podemos concluir que a torneada e a polida possuem um caráter mais brilhante que as demais.

4. CONCLUSÃO

Foram medidos alguns perfis de refletância e verificado a influência da rugosidade nos mesmos. Para obtenção de dados mais aferidos, foi sugerido um novo processo de anodização nas amostras [5], para que estas tenham um caráter mais uniforme. Pode ser repetido o processo no perfilômetro, para as medidas de rugosidade nas amostras de 50 mm, para que sejam obtidos melhores resultados para a rugosidade média (Tabela 4). Posteriormente serão feitas medidas de refletância nas amostras de 50 mm em outros comprimentos de onda e nas amostras de 24 mm na esfera integradora. Com os resultados, será montada uma biblioteca de dados compatível com o programa de simulação ótica ZEMAX.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Luiz A. Berni, Mario S. Ribeiro. Desenvolvimento de um Sistema para medidas de Refletância. Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SICINPE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013.
- [2] Acessado em: <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/parametr rugosidade.asp>.
Data: 09/07/15.
- [3] Luiz A. Berni, Mario S. Ribeiro, Tiago F. Paes, Antonio F. Beloto. System for measuring the spatial reflectance distribution of material surfaces, *23rd Congress, International Commission for Optics (ICO-23), 26 – 29 de Agosto de 2014, Santiago de Compostela / Spain*.
- [4] Acessado em: https://cmi.epfl.ch/metrology/Wyko_NT1100.php. Data: 09/07/15.
- [5] Miriam Nishimori, Viviane C. R. da Silva. Relatório de Anodização Preta. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015.