

Projeto de F530 – Instrumentação – Relatório Final
1º semestre 2010

Professor: José Joaquín Lunazzi (lunazzi@ifi.unicamp.br)

Orientador: Luiz Carlos Barbosa (barbosa@ifi.unicamp.br)

Co-orientador: Enver Fernandez Chillce (chillce@ifi.unicamp.br)

Aluno: Henrique Teruo Shibutani (shibuu_sfx@yahoo.com.br)

RA: 044024



Nome do projeto:

Medidas de fotoluminescência de nanopartículas semicondutoras de PbS e CdSe/ZnS inseridas na estrutura interna de uma fibra fotônica

Introdução:

O analisador de espectros é um instrumento utilizado para a análise de sinais alternados no domínio da frequência. Possui certa semelhança com um osciloscópio, uma vez que o resultado da medida é apresentado em uma tela, tendo a amplitude na vertical e a frequência na horizontal. Um analisador de espectros é essencialmente um receptor de rádio passivo, com uma interface gráfica (display) para a análise e medida do sinal no domínio da frequência. Os analisadores de espectros indicam geralmente a informação contida no sinal de forma direta, tais como a tensão, a potência, o período e a frequência.

Resumo:

No trabalho desenvolvido, utilizamos dois analisadores de espectros: (Optical Spectrum Analyser) e o USB2000 (da Ocean Optics). Para a utilização desses instrumentos, foi feita a montagem de um experimento para análise e detecção de espectros através de uma fibra fotônica com nanopartículas inseridas em sua estrutura interna. Com lasers, cor azul e vermelho, ajustamos para que os raios entrem na direção da fibra, e então são posicionados o OSA na outra ponta da fibra e o USB2000 localizado perpendicularmente em relação à direção da fibra. A excitação das nanopartículas pelo laser pode ser detectada através dos aparelhos, sendo que o OSA tem seu display próprio e o USB2000 necessita de um software da mesma marca para observação dos parâmetros através de um computador.

Teoria:

A análise espectral de um sinal fornece informação adicional difícil de ser obtida numa análise temporal (osciloscópio). Por exemplo, ao analisarmos um sinal senoidal levemente distorcido em função do tempo, dificilmente percebemos essa imperfeição. Na análise no domínio da frequência, pequenas distorções e imperfeições (que implicam em componentes de frequência diferentes) são facilmente identificadas, pois cada componente de frequência é visualizada separadamente. As escalas vertical (amplitude) e horizontal (frequência) de um analisador de espectros são em geral logarítmicas, o que facilita a leitura de sinais de baixa amplitude. Assim, a amplitude pode ser diretamente lida em dB (unidade mais usual em sistemas de comunicação) e na escala horizontal um amplo espectro de frequências pode ser visualizado simultaneamente.

As principais medidas efetuadas com um analisador de espectro são :

- **Modulação** : em sistemas de comunicação via rádio, é fundamental a análise dos níveis de potência relativos à cada frequência, do grau e da qualidade de modulação, da largura de banda ocupada no espectro, etc.
- **Distorção** : sistemas supostamente lineares (amplificadores, transmissores e receptores de rádio, filtros, etc) apresentam sempre um certo grau de não linearidade gerando consequentemente distorções no sinal (harmônica, intermodulação, emissões espúrias).
- **Ruído** : todo circuito ou elemento ativo gera ruído tipicamente em uma faixa larga de frequências. Medidas como figura de ruído e relação sinal/ruído são importantes na caracterização de sistemas eletrônicos ou dispositivos.

Tipos de analisadores de espectro:

- Banco de filtros
- Analisador por varredura
- FFT (transformada rápida de fourier)

Analisador de espectros com banco de filtros :

Consiste num conjunto de filtros seletivos em frequência cuja entrada é o sinal a ser analisado, sendo que cada filtro possui uma frequência central e uma largura de banda de modo a cobrir uma determinada faixa do espectro de frequências. A saída de cada filtro é retificada e filtrada, sendo o nível DC resultante aplicado à um indicador visual (display de LED's , LCD, CRT). A medida é feita em paralelo.

Analisador de espectros por varredura :

Uma forma de minimizar o número de filtros usados na topologia anterior, seria a utilização de um único filtro sintonizável em frequência através de um sinal de controle (rampa de tensão, controle digital) de modo a variar a frequência central ao longo da faixa espectral a ser analisada, fazendo-se uma varredura temporal. Dessa forma, o mesmo sinal de controle seria utilizado para indicar a frequência, podendo ser usado como eixo horizontal. Tal filtro sintonizável é realizável mas de difícil implementação, principalmente em se tratando de altas frequências (sinais de comunicação via rádio).

Analisador de espectros por FFT (Fast Fourier Transformer):

Um analisador de espectros baseado na FFT consiste essencialmente num osciloscópio digital cujo processador matemático possui as rotinas de FFT. O sinal de entrada é amostrado e convertido em um valor numérico por um conversor A/D, sendo em seguida armazenado na memória. A FFT é realizada nos valores já armazenados na memória, não sendo portanto uma operação em tempo real. O resultado é o espectro de frequências análogo ao de um analisador de espectros por varredura.

Domínio da frequência vs. tempo

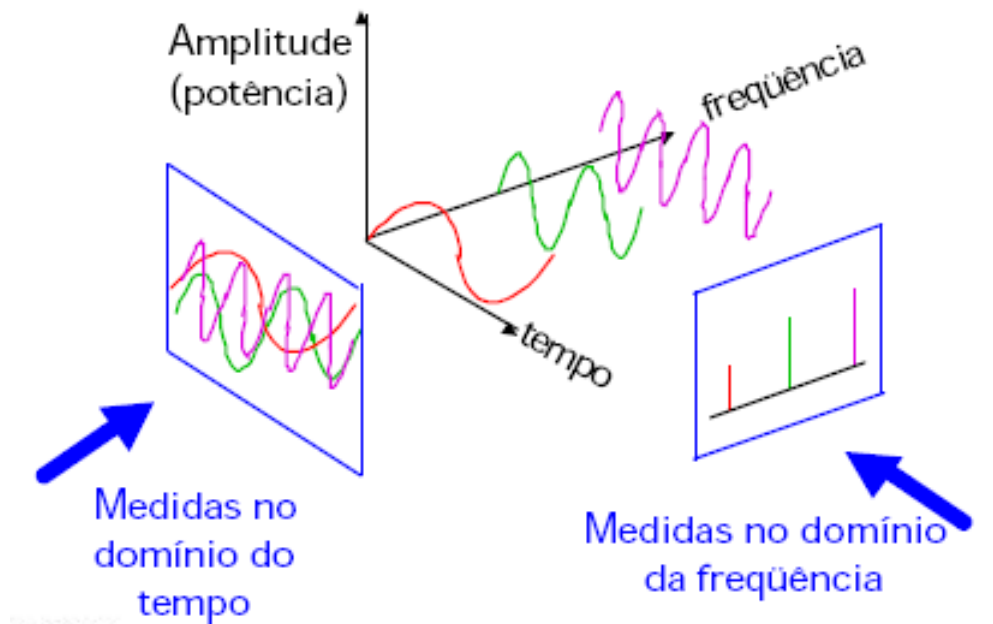


Figura 1 – Domínio da frequência versus tempo

Tradicionalmente, a observação de um sinal elétrico envolvia o uso de um osciloscópio, com a visualização do sinal no domínio do tempo. Embora esta seja uma informação bastante importante, não é o quadro completo. Para compreender completamente a performance de seu sistema/dispositivo, você também terá de analisá-lo no domínio da frequência. A figura mostra que, no domínio da frequência, todas as componentes de frequência são somadas umas às outras e colocadas na tela. No domínio da frequência, os sinais formados por mais de uma frequência são decompostos em componentes de frequências diferentes. As medições no domínio da frequência têm diversas vantagens: Você pode ver todas as diversas componentes de frequência, que não podem ser identificadas individualmente em um osciloscópio. Alguns sistemas são por natureza orientados ao domínio da frequência: por exemplo, FDMA ou FDM em comunicações. Para verificar a performance destes sistemas, é necessário analisá-los no domínio da frequência. A partir desta visão do sinal, é possível fazer facilmente medições de frequência, potência, conteúdo de harmônicas, modulação, espúrios e ruído, usando somente um analisador de espectro.

Teoria de operação

Diagrama de blocos do analisador de espectro

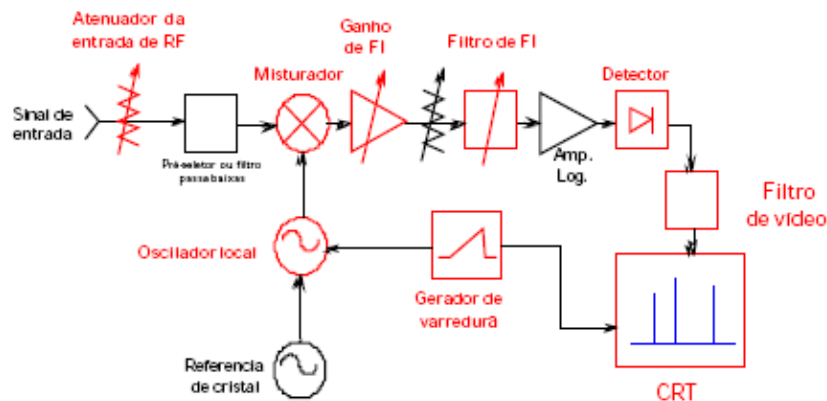


Figura 2 – Diagrama de blocos

Este é um diagrama de blocos básico de um analisador de espectro sintonizado em varredura. Antes que falemos sobre como tudo isto funciona junto para mostrar uma tela de frequência versus amplitude na tela, primeiro discutiremos rapidamente cada um dos componentes principais individualmente. É importante compreender a função de cada parte de forma que, quando olharmos o diagrama de blocos como um todo, este faça sentido. Entre os principais componentes de um analisador de espectro estão: atenuador de entrada de RF, misturador, ganho de FI, filtro de FI, detector, filtro de vídeo, tela CRT, gerador de varredura e oscilador local.

Teoria de operação

Misturador

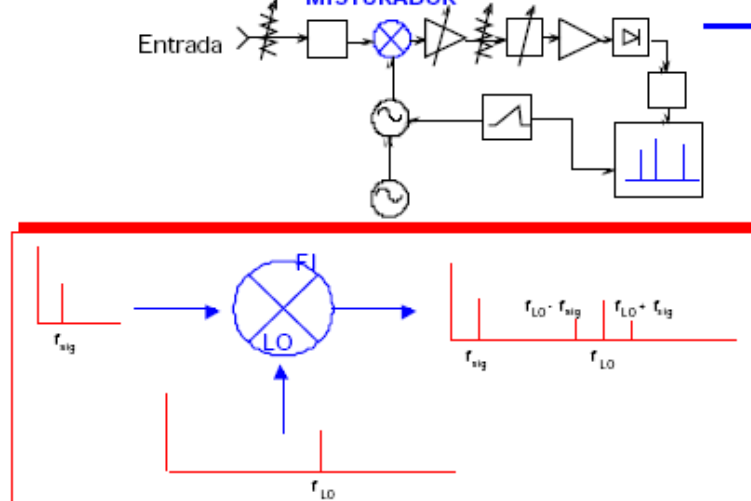


Figura 3 - Misturador

Um misturador é um dispositivo de três portas, que converte um sinal de uma frequência a outra frequência (sendo às vezes denominado de dispositivo de translação de frequência). Colocamos um sinal de entrada em uma das portas de entrada e o sinal do oscilador local na outra porta de entrada. Por definição, o misturador é um dispositivo não linear, o que significa que haverá frequências na saída que não estavam presentes na entrada. As frequências de saída produzidas por um misturador serão os sinais de entrada originais mais as frequências resultantes da soma e da diferença dos dois sinais acima. É a frequência da diferença destas frequências acima que é de interesse do analisador de espectro, como veremos em breve. Nós chamamos este sinal de sinal de FI, ou o sinal da frequência intermediária.

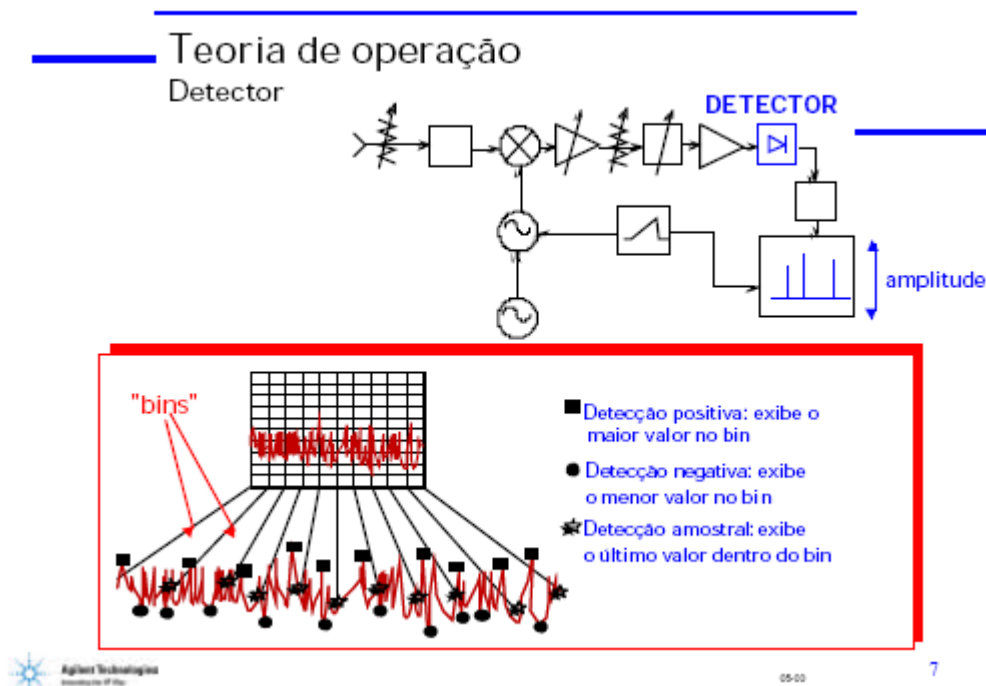


Figura 4 - Detector

O detector é o componente que converte o sinal de FI em um sinal de banda base ou de vídeo, de forma que este possa ser visto na tela do instrumento. Isto é feito com um detector de envelope, que em seguida controla a deflexão do eixo y, ou o eixo da amplitude, da tela CRT. A maior parte dos analisadores de espectro modernos possui telas digitais, que primeiro digitalizam o sinal de vídeo por um ADC. Isto permite o uso de diversos modos de detector diferentes, o que pode afetar bastante o modo como o sinal é exibido. O eixo x do analisador de espectro pode ser visto como sendo formado por diversos "bins" (ou elementos de curva), a partir dos quais os dados são amostrados digitalmente. Uma pergunta lógica seria: Qual o ponto do bin que usamos como ponto de dados? No modo de detecção positiva, tomamos o valor de pico do sinal na duração de um elemento de curva, enquanto que, no modo detecção negativa, o valor usado será o valor mínimo. O modo de detecção positiva é tipicamente usado na análise de ondas senoidais; entretanto, não é bom para mostrar o ruído, pois não mostra a aleatoriedade real do ruído. No modo de detecção amostral, é produzido um valor aleatório para cada bin. Este é o melhor modo para se ver sinais de ruído ou similares ao

ruído. Este não é um bom modo para sinais em burst ou de banda estreita, pois o analisador pode perder os sinais de interesse. Quando a tela estiver mostrando sinais e ruído, o melhor modo será o modo normal, ou o modo “rosenfell”. Este é um modo “inteligente”, que mudará bastante o seu modo de operação com base no sinal de entrada. Por exemplo, se a curva subiu (rose) e desceu (fell) dentro de um bin de amostragem, será considerado que isto é ruído, e a detecção positiva e negativa serão usadas alternadamente. Se a curva continuar a subir, será considerado que este é um sinal e a detecção de pico positivo será usada.

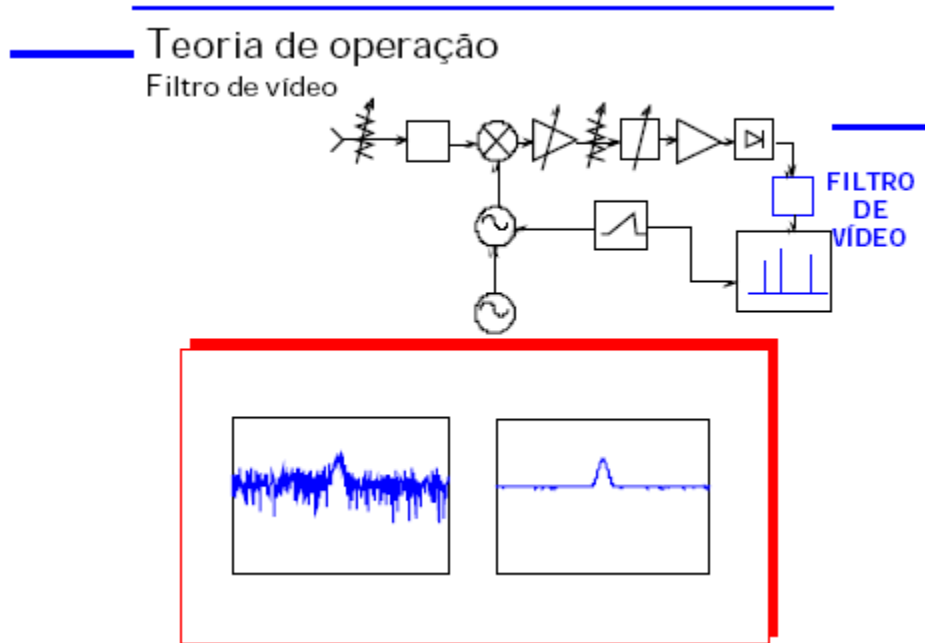


Figura 5 – Filtro de vídeo

O filtro de vídeo é um filtro passa-baixas localizado após o detector e antes do CRT. Este filtro é usado para determinar o valor médio ou aplicar a suavização dos pontos da curva mostrada na tela, como mostrado no slide. O analisador de espectro mostra o sinal mais o ruído; desta forma, se um sinal estiver próximo do ruído, será muito difícil vê-lo. Se mudarmos o valor de VBW, podemos reduzir estas variações pico a pico do ruído e facilitar a visualização do sinal.

Teoria de operação

Como funciona o conjunto

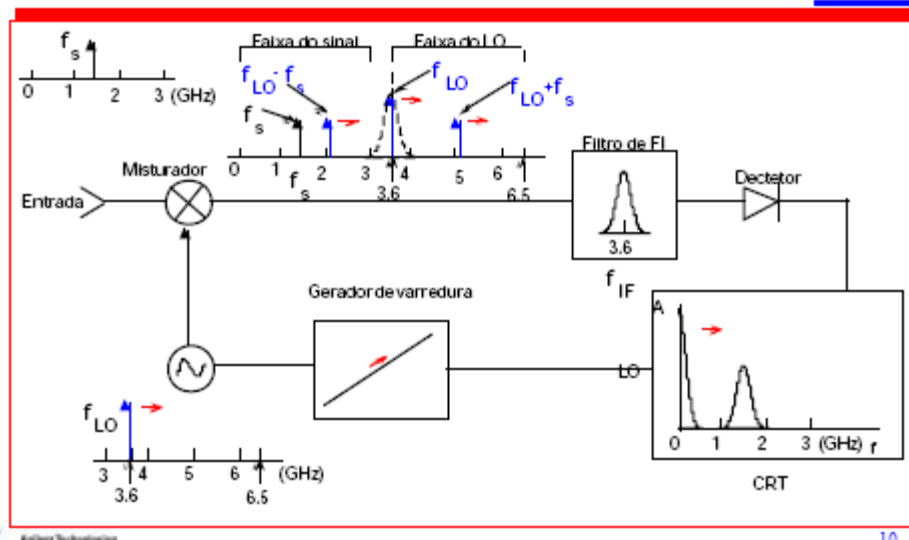


Figura 6 – Funcionamento do conjunto

Agora, vamos colocar tudo junto. Observe que, embora o atenuador de entrada de RF, ganho de FI e filtro de vídeo sejam importantes, eles não são críticos para a descrição do funcionamento do analisador. O sinal a ser analisado é colocado na entrada do analisador. Este sinal é combinado com o LO através do misturador para ser convertido em FI. Estes sinais são enviados ao filtro de FI, cuja saída é detectada, indicando a presença de um sinal na frequência sintonizada no analisador. A tensão de saída do detector controla o eixo vertical (amplitude) da tela CRT. O gerador de varredura realiza a sincronização entre o eixo horizontal (frequência) e a sintonia do LO. A tela resultante mostra a amplitude versus frequência das componentes espectrais de cada sinal na entrada.

Trabalho realizado:

No início do trabalho, foi realizada algumas montagens com fibras dopadas de quantum dots (nanopartículas) de Cd/Se; e para a excitação dessas partículas, utilizou-se um laser de 473nm de comprimento de onda (cor azul) para os dois experimentos realizados.

Primeiramente, utilizamos em uma das fibras a captação dos espectros através do Optical Spectrum Analyser (OSA), posicionado na mesma direção que o alinhamento da fibra. Então, dentro de um período de aproximadamente 6h foi obtido às intensidades dos espectros de luz emitidos pelas nanopartículas, e depois com a detecção perpendicular a fibra. Para a segunda parte, captamos os espectros que eram obtidos pelo aparelho USB2000 colocado em posição perpendicular ao alinhamento da fibra e analisados as suas intensidades dentro de um período de aproximadamente 1h.

Em paralelo, foi feita a pesquisa sobre o funcionamento da parte física dos aparelhos, ou seja, a parte teórica.

Num outro momento, desenvolveu-se a análise espectral através de uma fibra fotônica com nanopartículas de PbS, sendo que o aparelho utilizado neste caso foi o OSA. E o laser era de 95mW de potência e analisamos os espectros para uma frequência fixa de 785nm. Após a obtenção do máximo de intensidade na frequência do laser e em seguida podemos procurar por outros picos de intensidade em outras frequências. A banda de frequência que trabalhou-se foi de 700nm até 1200nm e com intensidade de referência em -70dBm. Simultaneamente, utilizou-se o USB2000 para uma análise espectral “instantânea”, que teve seu espectro parametrizado para a retirada dos ruídos e possibilitando a observação apenas do espectro de luz.

Resultados atingidos:

Durante a obtenção dos dados, para o primeiro experimento, foi possível montar o gráfico de queda de intensidade através do tempo, conforme eram indicadas suas intensidades máximas de luminescência (em unidades arbitrárias). No entanto, para a o segundo experimento, como foi realizado em pouco tempo e para poucas medidas tivemos que utilizar a última medida para normalizar as medidas realizadas para esta parte.

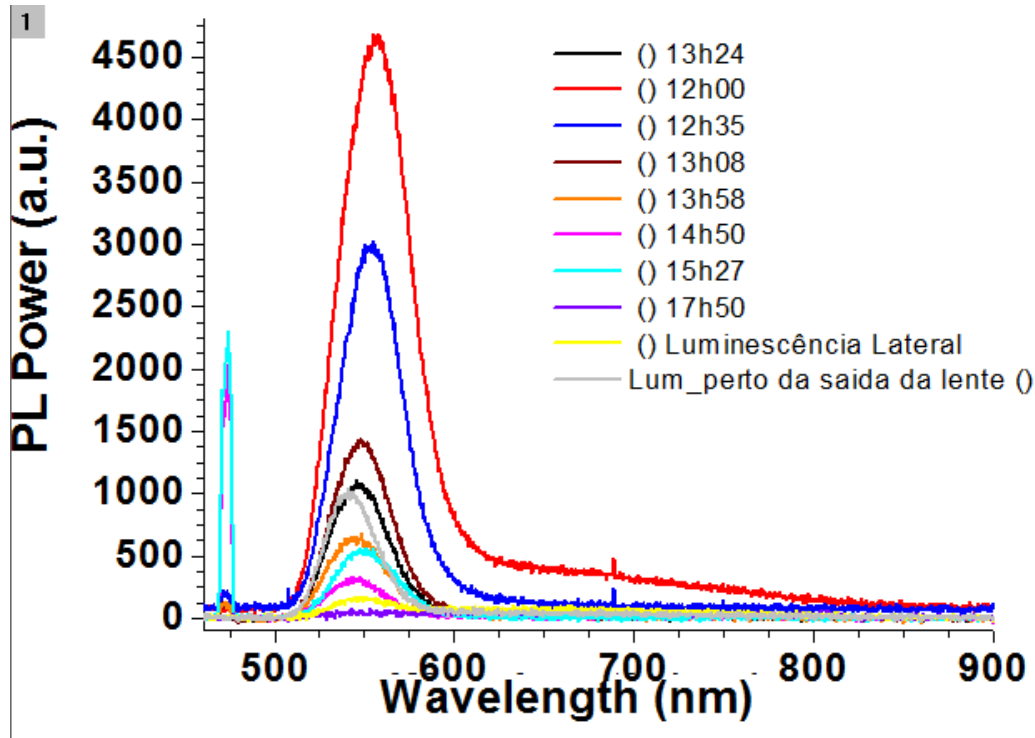


Gráfico 1 – Intensidade e comprimento de onda para o primeiro experimento

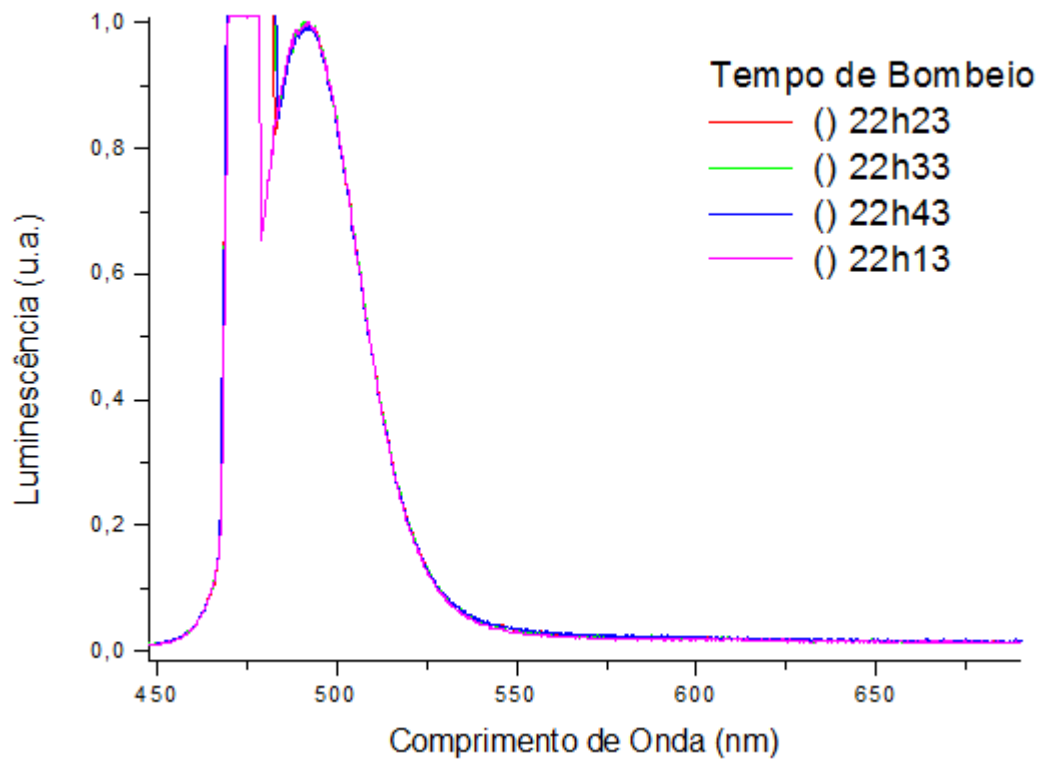


Gráfico 2 – Intensidade e comprimento de onda para o segundo experimento

Foto do instrumental:



Figura 7 – Imagem do Optical Spectrum Analyser (OSA) – desligado



Figura 8 – Imagem do USB2000 – detector de espectros



Figura 9 – Montagem esquemática

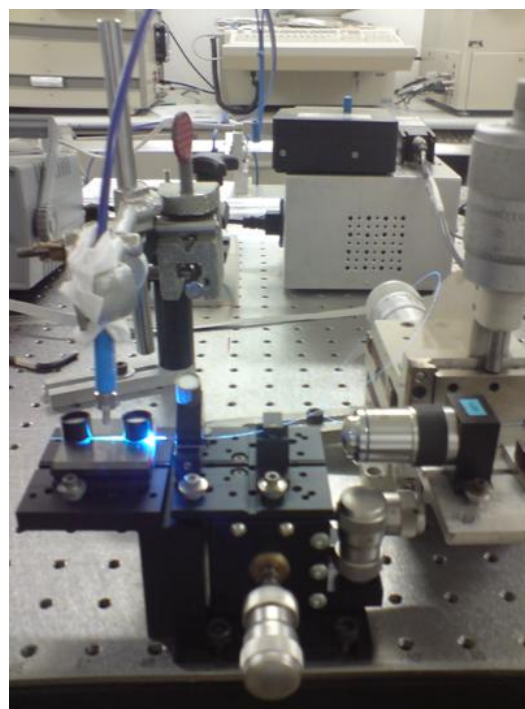


Figura 10 – USB2000

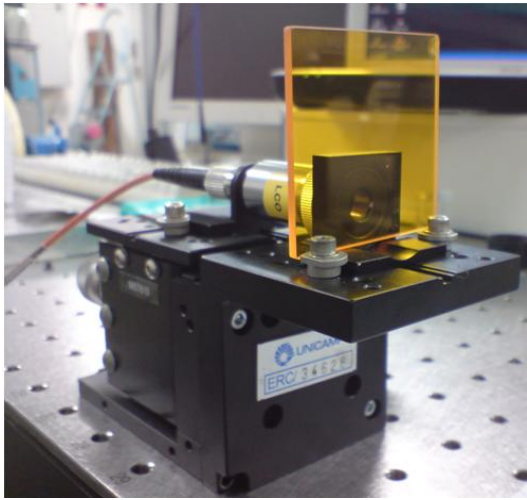


Figura 11 – filtro para OSA

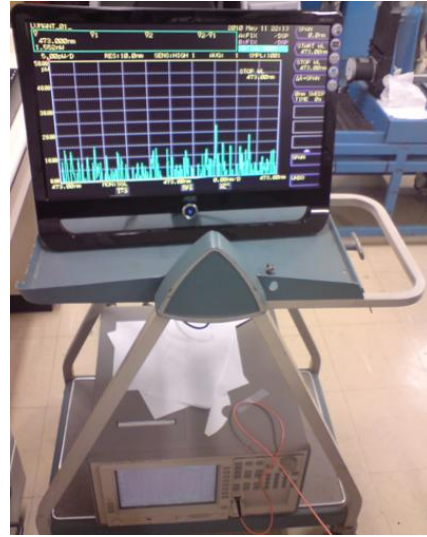


Figura 12 – Optical Spectrum Analyser

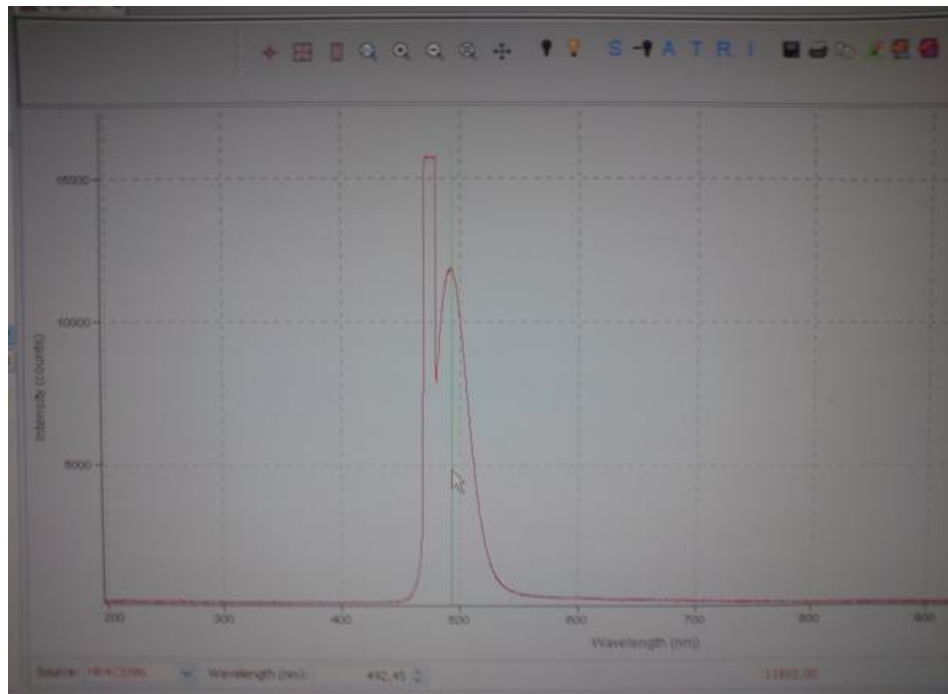


Figura 13 – Análise espectral do software do USB2000

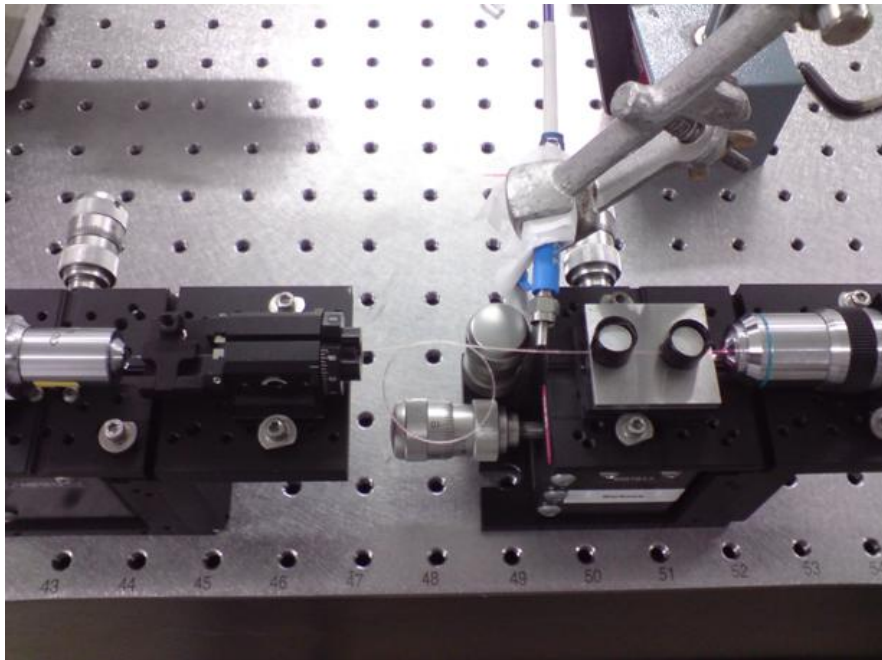


Figura 14 – Detector do USB2000 e laser vermelho

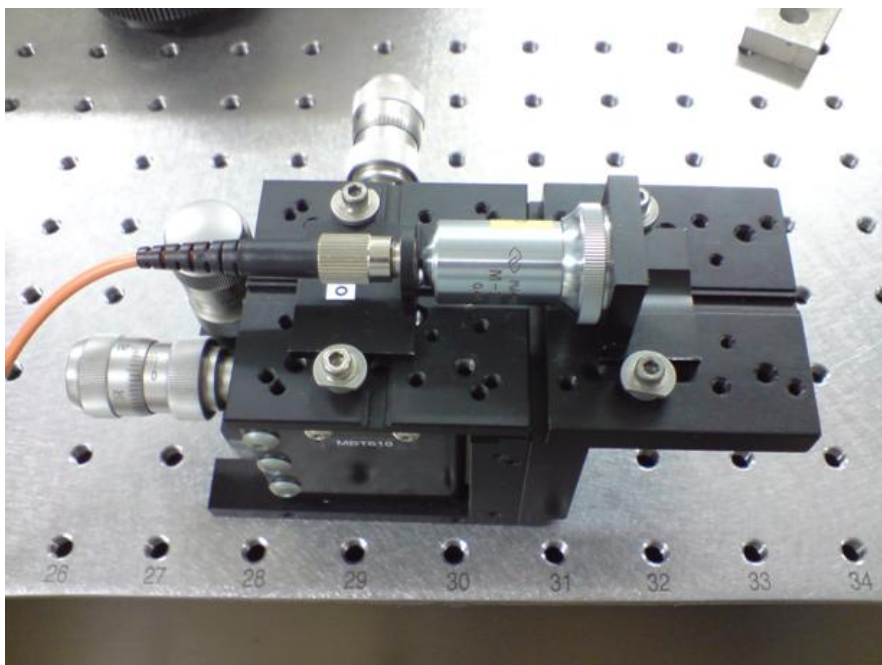


Figura 15 – Fibra óptica conectada ao OSA



Figura 16 – OSA (Optical Spectrum Analyser)

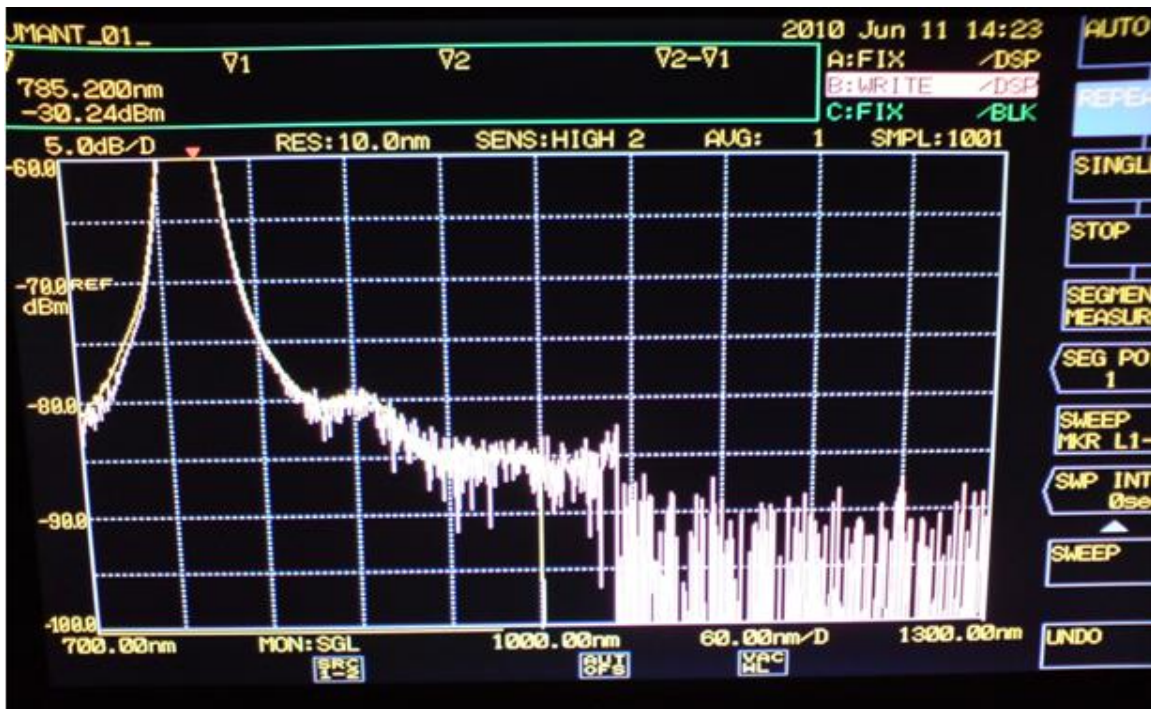


Figura 17 – Monitor conectado ao OSA (analisando espectro)

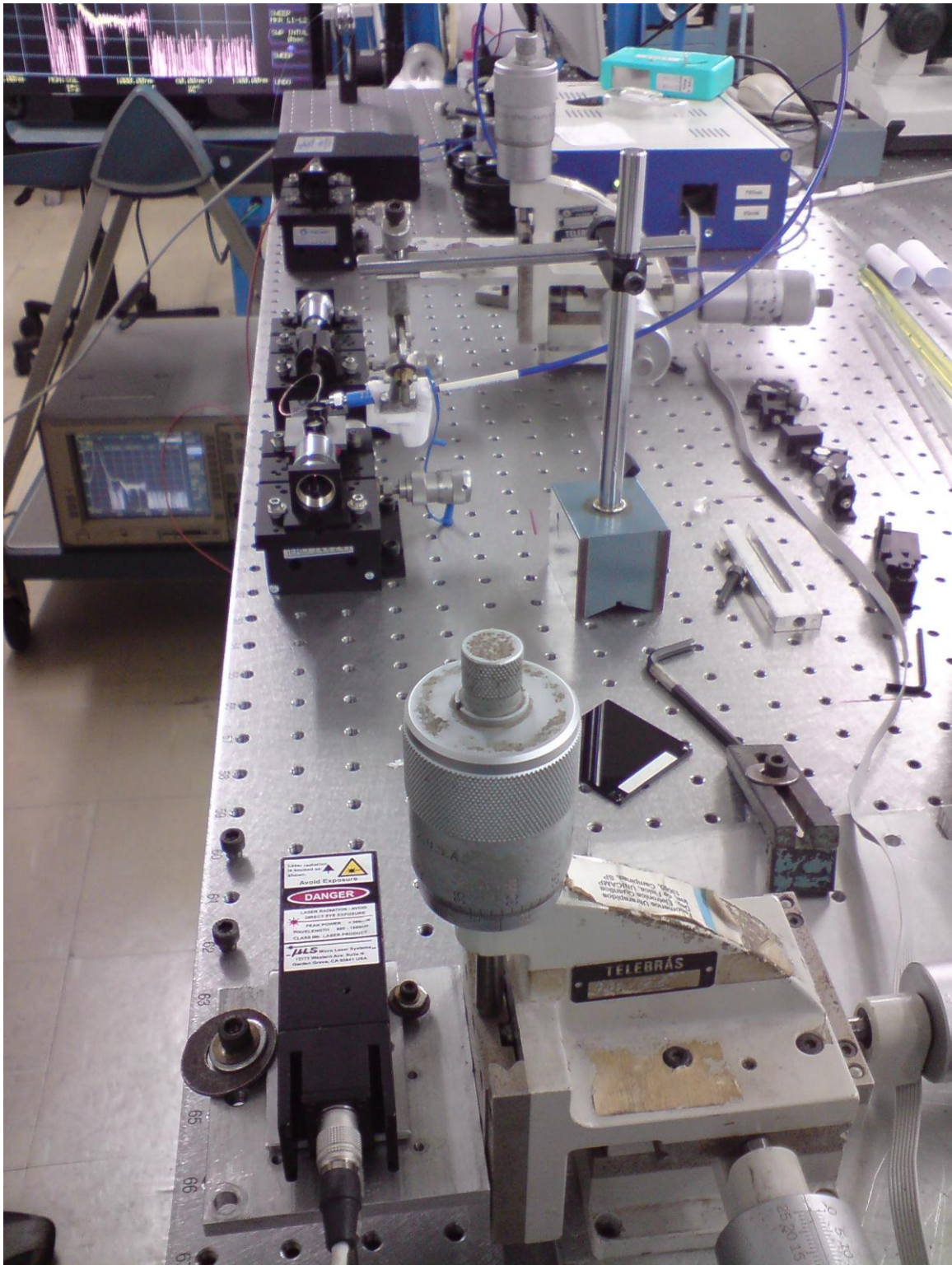


Figura 18 – Sistema completo com OSA e USB2000

Conclusões:

Após o término do estudo utilizando-se os aparelhos USB2000 e do OSA (Optical Spectrum Analyser) foi possível entender o funcionamento dos aparelhos e observar os resultados em experimentos de observação de espectros.

O OSA trabalha no método de varredura e nele podemos fazer a comparação de até três espectros simultaneamente. É um analisador de espectros que podem variar de 350nm até 1750nm, possuindo 2 detectores internos (silício e germânio) e sendo mais sensível para comprimentos de onda entre 800nm até 1750nm; ou seja, para grandes comprimentos de onda. O OSA possui um display próprio e possui uma entrada direta para uma fibra; e utilizamos um monitor conectado a ele para melhorar a visualização dos espectros.

O USB2000 trabalha com o método de FFT (transformada rápida de Fourier) e o espectro analisado pode ser observado instantaneamente, através de um software instalado a um computador. Ele funciona entre 200nm até 1100nm e sendo mais sensível a 350 até 800nm; ou seja, para baixos comprimentos de onda, trabalhando com apenas um detector de silício. O USB2000, pelo fato de ser mais sensível a bandas mais baixas ele não pode ser utilizado com a presença de iluminação do laboratório; as fotos tiradas são apenas para melhor visualização do trabalho, sendo que a análise dos espectros foram realizados sem a presença de luz no ambiente, com exceção do laser.

A utilização dos dois aparelhos simultaneamente possibilita uma melhor observação dos espectros em questão; pois como comentado, cada aparelho tem uma banda que é mais sensível, o que torna os dois aparelhos complementares. Esses aparelhos e estudos realizados possuem grande importância na área óptica para desenvolvimento de novos aparelhos, detectores, analisadores de espectros, entre outros.

Comentário do orientador:

“Meu orientador concorda com o expressado neste relatório final e deu a seguinte opinião:

O trabalho desenvolvido é de grande importância tanto para o aluno quanto para a pesquisa. O uso apropriado dos aparelhos possibilita indicar a coerência dos resultados.

Neste caso, o aluno empenhou-se em entender adequadamente o funcionamento dos equipamentos. Nesse estudo em particular foram caracterizados espectros de nanopartículas dentro de fibras fotônicas, o que representa importância; pois pode-se ser utilizado para dispositivos ópticos em geral, como por exemplo os sensores ópticos.”

Comentário do coordenador:

José Joaquín Lunazzi (31/05/2010 18:46:11): “RP aprovado”

Referências:

- <http://www.eletrica.ufpr.br/marlio/medidashf/apostila/apostila2a.pdf>
Explicação, de forma resumida, sobre analisadores de espectros e também sobre os seus três tipos (Banco de filtros, varredura, FFT).
- <http://www.warchalking.com.br/tutoriais/espectro.pdf>
Fala de forma mais completa sobre os analisadores de espectros e forma de obtenção e análise das imagens. Observação de ruídos, parte funcional do analisador, diagrama de blocos de cada parte de um analisador de espectros, e alguns modos de utilização.
- http://en.wikipedia.org/wiki/Spectrum_analyzer
Explicação bem resumida sobre analisador de espectros e operações.
- <http://www.oceanoptics.com/products/hr4000.asp>
Link do analisador de espectro utilizado no experimento, através do próprio fabricante. Possui dados técnicos sobre o produto.
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Spectrometer>
Explicação resumida do funcionamento de um espectrômetro e também exemplificações dos tipos.
- <http://www.chemguide.co.uk/analysis/masspec/howitworks.html>
Explicação sobre o funcionamento da parte física de um espectrômetro.
- http://www.usbio.com.br/asps/produtos/oceanoptics_espectrometros/usb2000.asp
Página da empresa Ocean Optics, em português, sobre um dos analisadores de espectros utilizados no experimento. Funcionamento básico, características e espectrômetros.
- <http://www.eletrica.ufpr.br/marlio/medidashf/apostila/apostila2c.pdf>
Explicação teórica do funcionamento de um analisador de espectros por FFT.
- <http://www.oceanoptics.com/technical/USB2000%20Operating%20Instructions.pdf>
Manual digital do aparelho USB2000 de instalação e operação da própria empresa. Apresenta as características do aparelho de forma detalhada e completa.
- <http://www.yokogawa.com/tm/pdf/comm/aq6315/buaq6315e.pdf>
Manual digital do aparelho OSA (Optical Spectrum Analyzer – AQ-6315 dos modelos A e B). Esse modelo de analisador de espectros também foi utilizado no experimento. Apresenta as suas especificações e aplicações de forma resumida.