

Hugo Alexandre Padovani Guimarães de Camargo (hgpadvani@gmail.com) & Dr. Flávio Caldas da Cruz (flavio@ifi.unicamp.br)

Instituto de Física "Gleb Wataghin" - Grupo de Lasers e Aplicações - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ

Palavras Chaves: Espectrômetro - Terahertz - lasers

OBJETIVO

Estudo em óptica, lasers, tecnologia de THz (Terahertz), eletrônica e desenvolvimento de um espectrômetro de THz no domínio do tempo utilizando antenas fotocondutivas e criação de banco de dados de espectros de amostras.

INTRODUÇÃO

O espectrômetro de terahertz (THz) consiste em uma fonte de radiação na faixa espectral denominada Terahertz, cuja região se encontra entre o infravermelho e o microondas, cobrindo radiação com frequência entre 0,1 – 10THz, equivalendo, em comprimento de onda, 3mm a 30 μ m. O Terahertz pode ser gerado e detectado em diversas maneiras, dentre elas podem-se citar: efeito fotocondutivo, efeito eletro-óptico e por misturas de ondas. (Dragoman & Dragoman, 2004)

Neste projeto foi utilizado o efeito fotocondutivo para geração e detecção, realizado por meio de antenas feitas de material semicondutor.

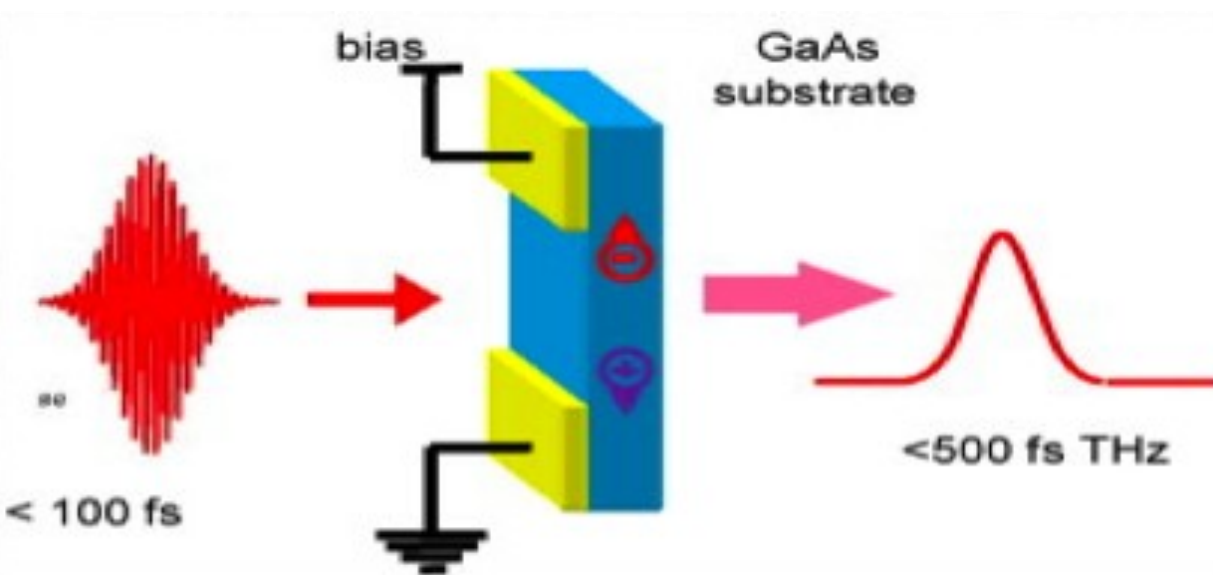


Figura 1 - Diagrama exemplificando a geração de um pulso de THz em uma antena fotocondutora.

METODOLOGIA

Para a montagem de um espectrômetro de THz no domínio do tempo, foi necessária uma fonte de luz pulsada para excitar as antenas. O substrato de GaAs possui um pico de absorção para luz no comprimento de onda de aproximadamente 800nm. Por esta razão, usualmente aplicam-se lasers de Ti:Safira em regime de modos travados (*mode-locking*), gerando pulsos com duração temporal <math>< 100\text{fs}</math> no infravermelho próximo (780 – 800nm).

Na montagem usou-se um laser de Ti:Safira com taxa de repetição de 1,22GHz e potência de saída de aproximadamente 800mW desenvolvido internamente ao Grupo de Lasers e Aplicações.

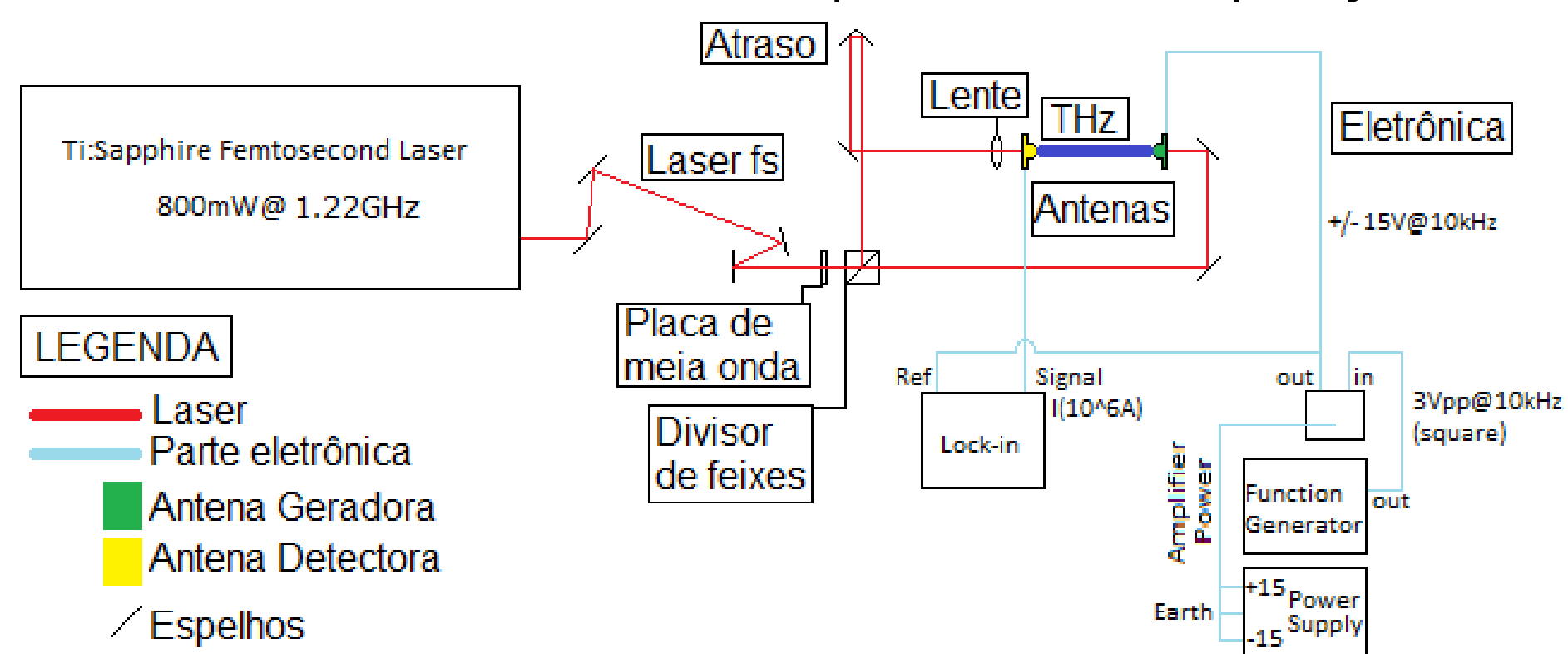


Figura 2 - Diagrama da montagem de um espectrômetro de THz.

Os pulsos do laser eram conduzidos por espelhos e incidiam em um divisor de feixe por polarização. A detecção do pulso de THz só é possível se o mesmo incidir na antena receptora no exato instante em que o pulso de excitação do laser de femtossegundos estivesse iluminando o substrato e criando portadores de carga.

Ajustando o comprimento dos braços de modo que ficassem iguais, foi possível sobrepor temporalmente os pulsos de THz e o de femtossegundos e tornar possível a medida da fotocorrente gerada na antena detectora.

Para coletar as medidas, foi realizada uma varredura do pulso de THz com o de fs, uma vez que o pulso de THz possui largura temporal de ~2ps, i.e. dezenas a centenas de vezes mais largo que pulsos de lasers de Ti:Safira. Isso foi feito deslocando os espelhos de um dos braços sobre um estágio de translação (atraso mecânico), analisando a intensidade da corrente gerada pela

interferência entre eles em função do tempo, e através de uma Transformada de Fourier desse sinal obtemos o espectro da amostra em questão.

A detecção foi dada via amplificador *lock-in*, pois a intensidade de corrente a ser medida é muito pequena e também em razão da interferência do ambiente, tornando possível filtrar o ruído e analisar algum evento que estivesse ocorrendo em uma frequência de referência (*chopper*).

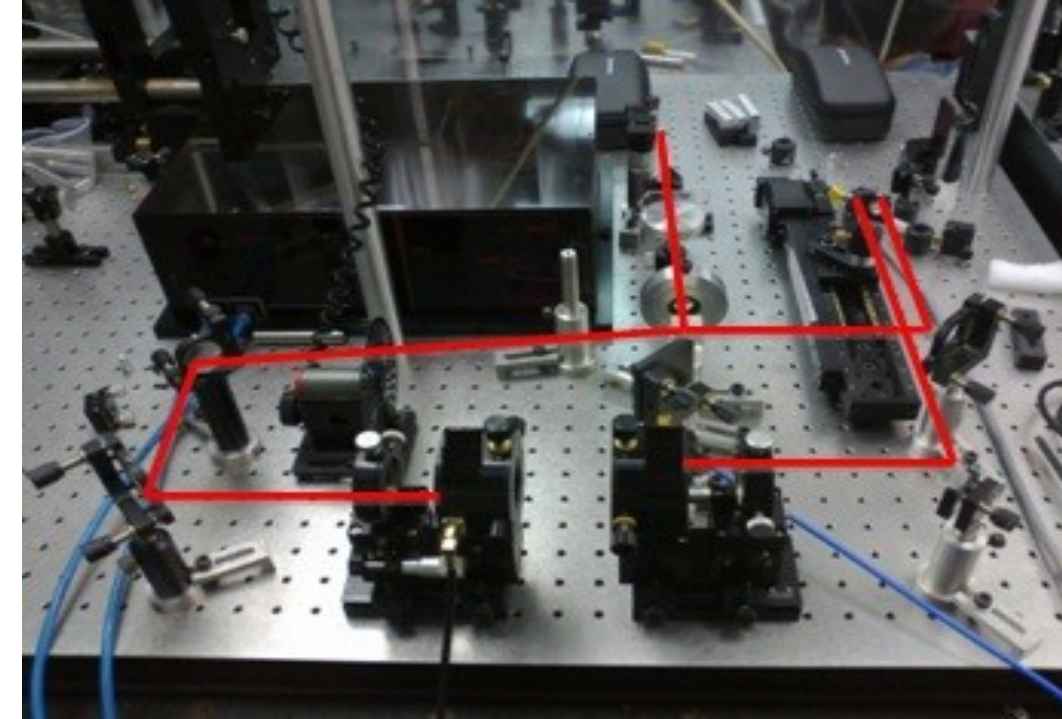


Figura 3 - Montagem para espectrômetro de THz.

No processo de aquisição dados foram usados dois programas de controle desenvolvidos em Labview®, um deles para acionamento do estágio de translação e outro para aquisição de dados do *lock-in* via conexão GPIB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da aquisição de dados do sinal no espectrômetro, pode-se gerar o seguinte gráfico, que representa a intensidade do pulso de THz em função do tempo, cujo formato é bem característico.

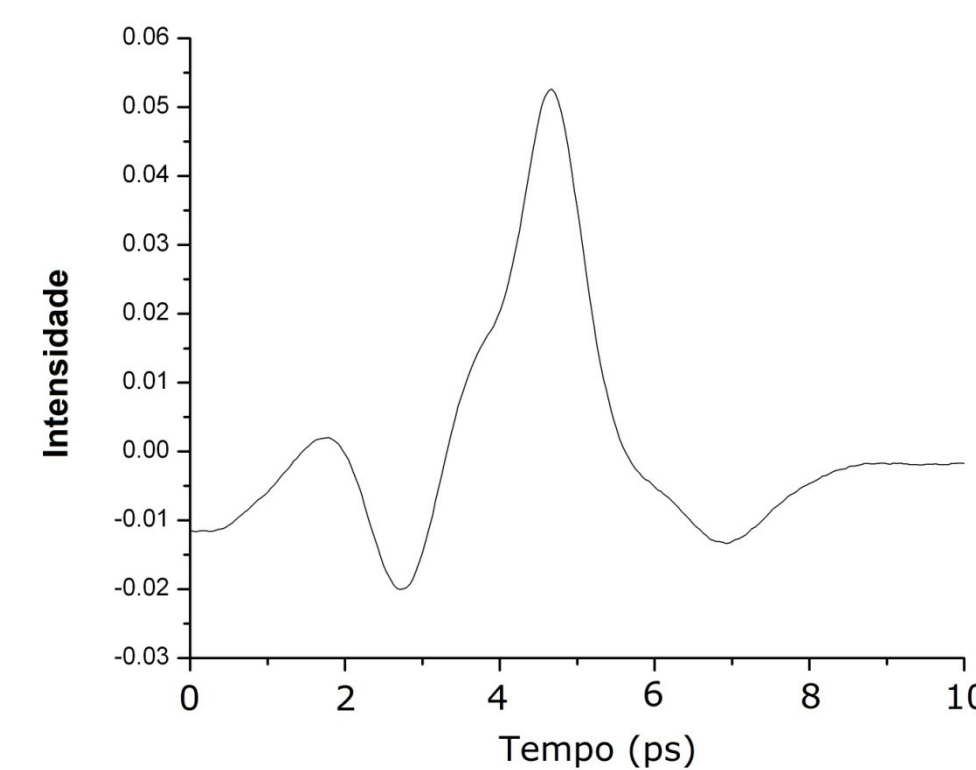


Figura 4 - Pulso de THz

Realizada a Transformada de Fourier deste pulso, obtemos seu espectro de Intensidade em função da frequência.

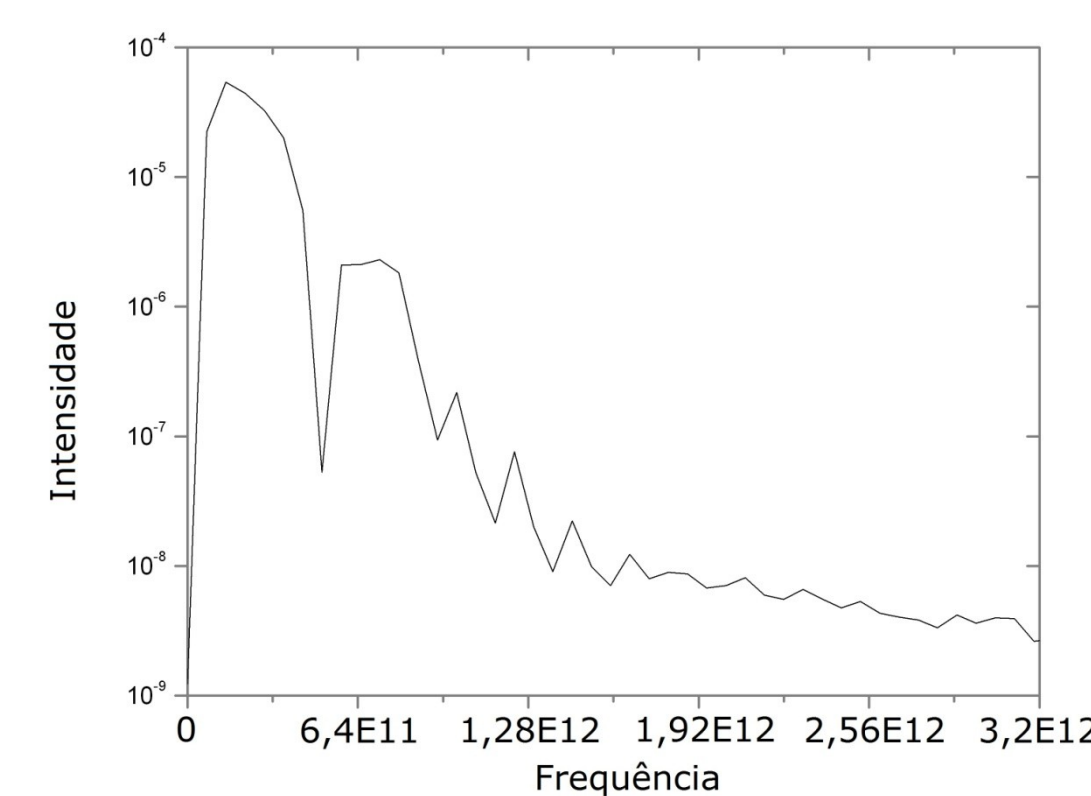


Figura 11: Transformada de Fourier do Pulso gerado.

A largura da faixa espectral do pulso está curta. Isso deve-se à potência de bombeio do laser. Aumentando a potência do laser, tem-se o aumento da faixa espectral.

Como já foi obtido o pulso de THz, alguns testes de estabilidade do sistema foram realizados. Tais testes consistiram em permanecer com o espectrômetro ligado por um longo período de tempo em vários dias diferentes, de modo que pudesse haver variação de temperatura do laboratório. O espectrômetro mostrou-se eficiente, sendo sensível apenas a alta temperatura, dificultando que o laser de bombeio permanecesse em regime de *mode-locking*, prejudicando a estabilidade do sistema. O maior tempo de estabilidade do sistema foi de aproximadamente 5 horas.

Para propósitos de aplicação, houve a medida espectral de filtros passa banda na região de THz conforme a figura a seguir:

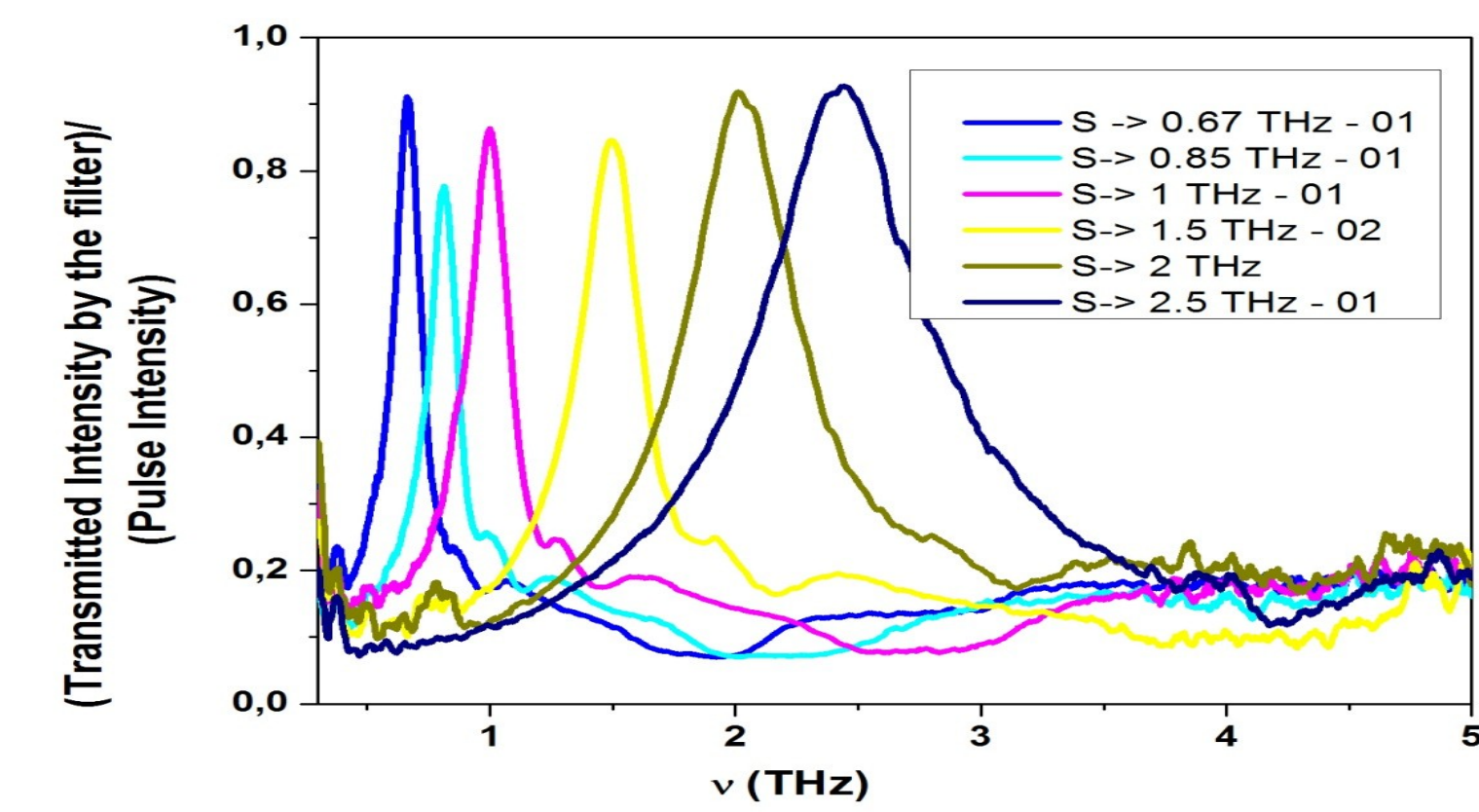


Figura 4 – Medidas de filtros passa-banda com frequência central em 0,67 THz, 0,85 THz, 1 THz, 1,5 THz, 2 THz e 2,5 THz.

Houve também a criação de um banco de dados de espectros de absorção de algumas amostras. A seguir temos alguns espectros:

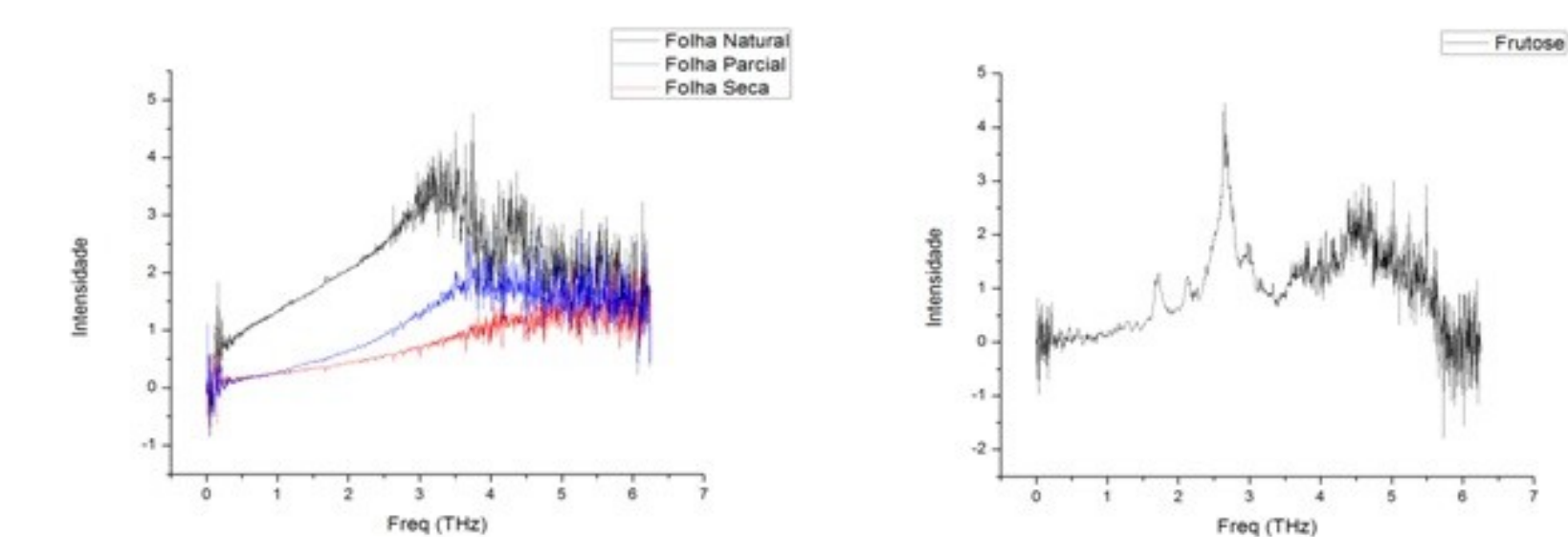


Figura 5 - Espectros de Absorção das Folhas e da Frutose

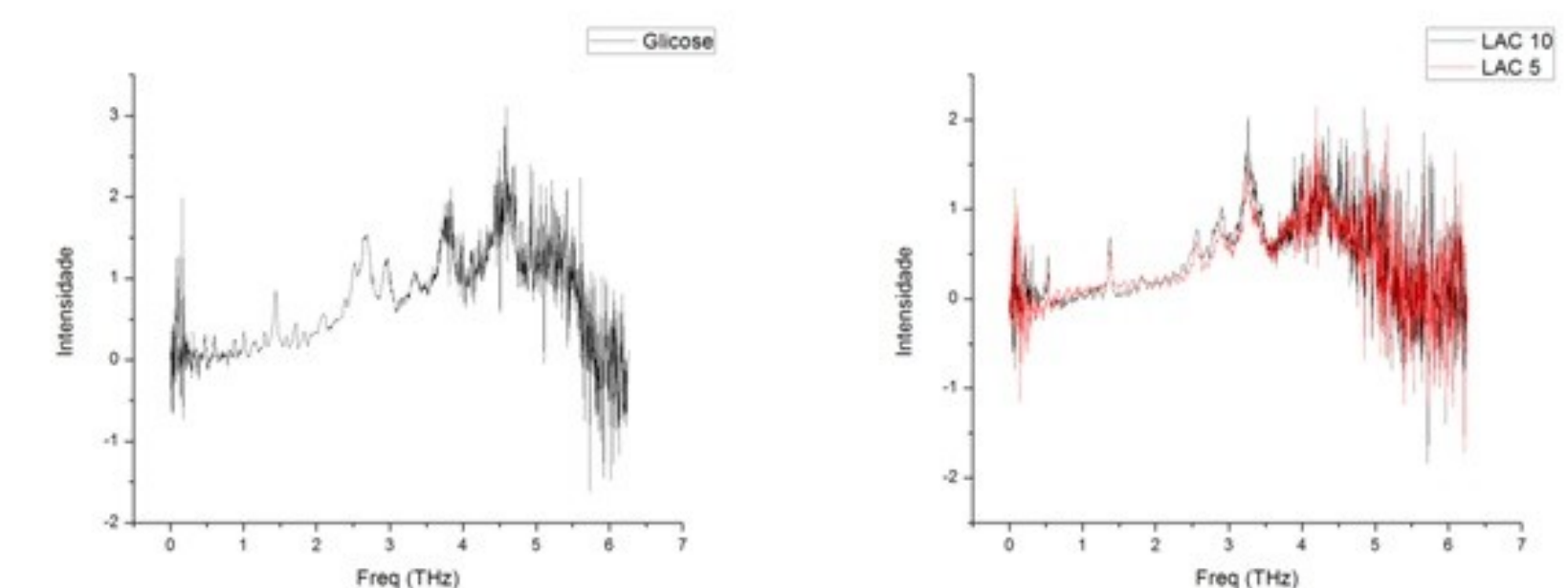


Figura 6 - Espectros de Absorção da Glicose e da Lactose

Espectro de uma folha de árvore, em que foi tirado um espectro para 3 concentrações diferentes de água na folha, o espectro da frutose e glicose (concentração 15%) e lactose (concentração 5% e 10%).

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a radiação gerada corresponde à faixa de THz. A largura da banda gerada pela Transformada de Fourier do sinal corresponde à faixa de 100GHz até 1,5THz, sendo uma função da potência do laser de bombeio. Foi realizada uma modulação em amplitude eletrônica (*choppeamento*) ao invés de óptica e obtiveram-se os mesmos resultados. O sistema mostrou-se estável pelo seu funcionamento por um longo período de tempo, sendo resistente à variações de temperatura, mostrando-se funcional e útil para realizar espectroscopia de amostras na região de THz.

BIBLIOGRAFIA

- BEARD, M., TURNER, G. M., & SCHMUTTENMAER, C. A. **Terahertz Spectroscopy**. American Chemical Society, p. 14, 2002.
- CHEVILLE, A. **THz Technology**. Short Course Notes. SC164, CLEO, 2009.
- DEXHEIMER, S. L. **Terahertz spectroscopy – Principles and Applications**. CRC Press - Taylor & Francis Group, 2008.
- DRAGOMAN, D., & DRAGOMAN, M. **Terahertz fields and applications**. Progress in Quantum Electronics, pp. 1-66, 2004.
- DREYHAUPT, A., WINNERL, S., DEKORSY, T., & HELM, M. **High-intensity terahertz radiation from a microstructured**. Appl. Phys. Lett. 86, 2005.
- FAN, W. **Broadband terahertz spectroscopy**. Chinese optics letters, p. 6, 2011.
- FERGUSON, B. & ZHANG, X.C. **Materials for Terahertz Science and Technology**. Nature Materials, pp. 26-33, 2002.
- HOFFMANN, M. **THz-Time-Domain-Spectroscopy**. Novel Techniques. pp. 1-189, 2006. HOSAKO, I., SEKINE, N., PATRASHIN, M., SAITO, S., FUKUNAGA, K., KASAI, Y., et al. **At the Dawn of a New Era in Terahertz Technology**. Proceedings of the IEEE, p. 13, 2007.
- JEPSEN, P. U., JACOBSEN, R. H., & KEIDING, S. R. **Generation and detection of terahertz pulses from biased semiconductor antennas**. Optical Society of America, p. 13, 1996.