



## **USO DA INTERFEROMETRIA DE ONDAS TÉRMICAS PARA ESTUDO DE SOLOS PENEIRADOS: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DOS SOLOS NÃO MODIFICADOS AQUECIDOS POR LUZ BRANCA**

Danilo de Paula Kuritza (PIBIC/CNPq/Uem), Antonio Carlos Bento (Orientador), Angela Maria Picolotto (Co-Orientador), e-mail: acbento@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Exatas/Física/Maringá, PR.

### **Ciências Exatas e da Terra/Física**

**Palavras-chave:** onda térmica, fototérmica, propriedade termofísica.

### **Resumo:**

Neste trabalho é aplicado a técnica de Interferometria de Ondas Térmicas (Thermal Wave Interferometry-TWI) com luz branca para análise das propriedades termofísicas de solo, de regiões próximas a Maringá. O experimento usa aquecimento por luz com o solo depositado em substrato de Titânio. Foram obtidos valores da difusividade e condutividade térmica, com valores entre  $6-30 \cdot 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$  para difusividade e condutividade entre  $1-3 \cdot 10^{-5} \text{W/cmK}$  para latossolo, concordando com valores típicos de materiais em pó.

### **Introdução:**

A técnica TWI tem como fundamento a propagação de ondas térmicas entre as interfaces amostra-gás e amostra-substrato. Com o uso de um sensor de infravermelho, a sobreposição das ondas térmicas refletidas e transmitidas podem ser detectadas, obtendo então as informações térmicas do material. Com propagação por difusão, quando se varia a frequência de modulação ( $f$ ), o comprimento de difusão térmica ( $u$ ) também varia. As propriedades térmicas obtidas são a difusividade térmica ( $\alpha$ ) e o coeficiente de reflexão térmico da interface amostra-substrato ( $R_b$ ), de onde é possível calcular a efusividade ( $e$ ) da amostra e a condutividade térmica ( $k$ ).

### **Materiais e métodos:**

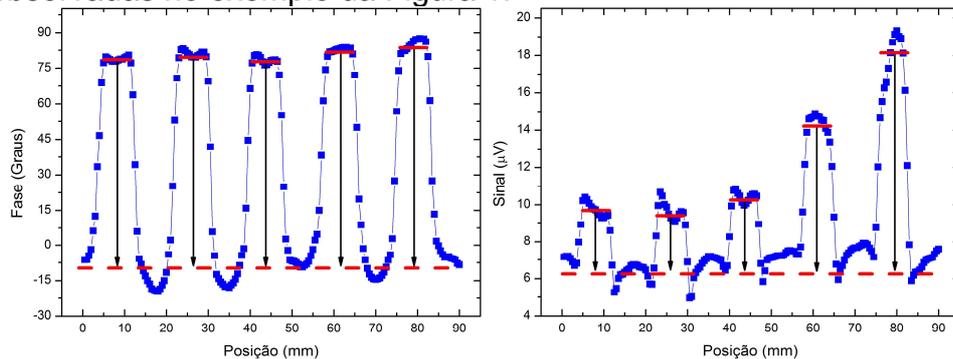
#### *Montagem experimental e preparação de amostras.*

A técnica usa uma lâmpada de arco-Xe, da Oriel 68820, um modulador mecânico Stanford 540, uma termopilha Oriel 77500, um lock-in Stanford 850 para controle da aquisição de dados, um translador API GETTYS 230 6102BN – Bipolar, programados em LabView para aquisição dos dados. A

luz é focada por lentes BK7 e a amostra colocada num substrato de titânio com cinco poços de espessura diferentes, variando entre 20 e 600  $\mu\text{m}$ . Os solos foram macerados com um almofariz e pistilo, e peneirados com peneiras Bertel com malhas de 25 e 45  $\mu\text{m}$ .

### Métodos e análise.

Várias varreduras com diferentes frequências foram feitas ao longo do substrato, as diferenças de fase e sinal entre o substrato e amostra podem ser observadas no exemplo da Figura 1.



**Figura 1** - Gráfico experimental do Sinal e Fase pela posição. Varredura com 1000 Watts de potência e modulação de 5 Hz (Amostra Latossolo 517P91, cultura de Milho).

Na Figura 1 é possível observar cinco “poços”, tanto no sinal como na fase. O sinal aumenta conforme a espessura  $L$  do pó, e a fase aumenta de forma mais discreta, apresentando uma diferença de fase de aproximadamente 10 graus entre a máxima e a mínima fase. A próxima etapa é construir o gráfico da fase em função de  $Lf^{1/2}$ , assim, a fase média de cada amostra pode ser calculada.

Como sabemos as espessuras ( $L$ ) de cada poço do substrato, a efusividade do titânio ( $7 \times 10^{-5} \text{W}\sqrt{\text{s}}/\text{cm}^2\text{K}$ ), e as frequências utilizadas nas varreduras, podemos plotar o gráfico da fase em função de  $Lf^{1/2}$  e encontrar as propriedades termofísicas das amostras. A Figura 2 mostra o gráfico dos resultados experimentais para a amostra 517P91, que foi ajustado com a equação da fase (ALMOND, 1996 e SILVA, 2002):

$$\varphi(x, Rb) = \tan^{-1} \left[ \frac{-R_b(1 + R_g)e^{-2AL} \sin(2AL)}{1 + R_b(1 - R_g)e^{-2AL} \cos(2AL) - R_b^2 R_g e^{-4AL}} \right]$$

Considere a interface gás-amostra,  $R_g = 1$ , e  $R_b = (1 - b)/(1 + b)$ , com  $b$  representando o acoplamento térmico amostra-substrato. Por meio da constante para cálculo de difusividade ( $A$ ), é possível encontrar a difusividade do material:  $A = \sqrt{\pi/\alpha}$ . Com a difusividade e a efusividade é possível encontrar a condutividade térmica ( $k$ ):  $k = e\sqrt{\alpha}$ .

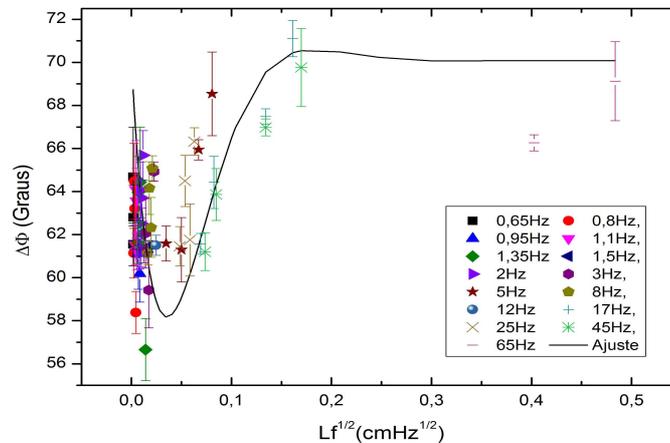


Figura 2- Gráfico dos resultados experimentais para a amostra 517P91.

### Resultados e Discussão:

Valores típicos para material porosos são da ordem de  $\alpha = 10 \rightarrow 150 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$  e  $k = 150 \rightarrow 700 \text{mW}/\text{cmK}$  (PICOLLOTO, 2012). As propriedades térmicas estudadas em relação aos horizontes de coleta não se alteraram de forma notável no grupo dos Latossolos, já no grupo dos Argissolos, a difusividade dos solos de horizonte A chegou a dobrar de valor em relação aos solos de horizonte B (Tabela 1 e 2). O grupo Latossolos apresentou variação nas propriedades térmicas quando usados em cultivos de milho, café, soja e eucalipto. Comparando os dois grupos, foi possível perceber uma pequena diferença entre as propriedades explicada pela variação na composição química dos mesmos (SALOMÃO, 2010).

Amostras HB	$10^{-3}\alpha(\text{cm}^2/\text{s})$	$10^{-3}k(\text{W}/\text{cmK})$	$10^{-4}e(\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}/\text{cm}^2\text{K})$
517P91-milho	$30,90 \pm 2,00$	$2,40 \pm 0,20$	$1,40 \pm 0,10$
603P78-eucalipto	$8,60 \pm 0,80$	$1,50 \pm 0,10$	$1,60 \pm 0,10$
<b>Amostras HA</b>			
497P88-soja	$18,46 \pm 2,62$	$1,37 \pm 0,04$	$1,01 \pm 0,14$
499P91-milho	$22,78 \pm 2,60$	$2,41 \pm 0,07$	$1,60 \pm 0,25$
522P87-eucalipto	$13,13 \pm 3,04$	$2,23 \pm 0,06$	$1,94 \pm 0,08$
629P33-café	$6,20 \pm 0,50$	$0,82 \pm 0,01$	$1,04 \pm 0,08$
640P82-soja	$7,87 \pm 0,06$	$2,78 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,07$

Tabela 1 - Dados experimentais das propriedades térmicas (Latosolo).

Amostras HB	$10^{-3}\alpha(\text{cm}^2/\text{s})$	$10^{-3}k(\text{W}/\text{cmK})$	$10^{-4}e(\text{W}\cdot\text{s}^{1/2}/\text{cm}^2\text{K})$
436P95	$10,60 \pm 0,80$	$1,24 \pm 0,09$	$1,20 \pm 0,10$
441P59	$11,85 \pm 0,67$	$1,32 \pm 0,07$	$1,21 \pm 0,07$
623P72	$9,14 \pm 0,64$	$1,93 \pm 0,14$	$2,05 \pm 0,14$
<b>Amostras HA</b>			
450P97	$21,48 \pm 0,51$	$2,579 \pm 0,001$	$1,76 \pm 0,04$
613P76	$20,54 \pm 1,83$	$2,08 \pm 0,03$	$1,45 \pm 0,08$
616P84	$26,80 \pm 1,60$	$4,57 \pm 0,05$	$2,80 \pm 0,72$

Tabela 2-Dados experimentais das propriedades térmicas (Argissolo).



**Figura 3** - Diferença de cor entre os horizontes HA e HB do grupo dos Latossolos.

### Conclusões:

A técnica TWI foi montada com sucesso. Durante as aquisições realizadas nos solos, a difusividade e a efusividade térmica foram calculadas, sendo que os resultados encontrados ficaram de acordo com o esperado para amostras em pó, porém, se tratando de amostras “in natura”, é muito difícil determinar a composição química e orgânica das amostras analisadas, dificultando um pouco a análise dos solos.

### Agradecimentos:

Ao CNPq pelo apoio financeiro, aos profs. E. Cezar e M. R. Nanni do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, por terem cedido as amostras de solos do Paraná.

### Referências:

PICOLOTTO, A.M. **Interferometria de Ondas Térmicas com Radiação da Lâmpada de Arco Xenônio: Teste em Cimento Endodôntico Rápido**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2012.

SILVA, E.N. **Montagem e Aplicação da Interferometria de Ondas Térmicas ao Estudo de filmes Espessos e Imagens de Defeitos em Sólidos Amorfos**. 2002. Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2002.

ALMOND, D.P & PATEL, P.M. **Photothermal Science and Techniques**. 1 ed. London: Chapman & Hall, 1996.

SALOMÃO, F.X. **Composição e Morfologia de Solos**. Cuiabá: UFMT, 2010. Disponível em: <[http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/Composicao\\_e\\_Morfologia\\_de\\_Solos\\_14984.pdf](http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/Composicao_e_Morfologia_de_Solos_14984.pdf)>. Acessado em 25/03/2015.