

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE UM SOLO DA UNIDADE
DE MAPEAMENTO SÃO PEDRO

Thermal Properties Determinations of One Soil of São Pedro
Unity Mapment

Flávio Miguel Schneider*, Afonso Decico**, Ailo Valmir Saccol***,
Arno Bernardo Heldwein****, Galileo Adeli Buriol***** e Paulo Augu-
sto Manfron****

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades térmicas de um solo da unidade de mapeamento São Pedro, no município de Santa Maria, RS.

A difusividade térmica foi obtida através das equações da velocidade e amplitude da onda diária de temperatura. O calor específico médio por unidade de volume foi calculado com a equação proposta por De VRIES (9). A condutividade térmica foi determinada pela relação de definição da difusividade térmica. Os valores médios da difusividade térmica, condutividade térmica e calor específico médio por unidade de volume do solo, com um teor médio de umidade de 22% em peso, são, respectivamente: $6,0 \times 10^{-3} \text{cm}^2 \cdot \text{seg}^{-1}$, $2,94 \times 10^{-3} \text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{seg}^{-1}$ e $0,49 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$.

SUMMARY

Thermal properties determinations of one soil of São Pedro unity mapment in the Santa Maria county, RS, was the main objective of this research.

The soil thermal diffusivity was obtained through equations using the velocity and daily temperature wave amplitude. Mean specific heat per volume unity was calculated with the equation, proposed by De VRIES (9). Thermal conductivity was determined through the relation of thermal diffusivity definition. The mean values of

-
- * Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
 - ** Professor Livre Docente do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
 - *** Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. Pesquisador do CNPq.
 - **** Professores Auxiliares de Ensino do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
 - ***** Professor Adjunto do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

thermal diffusivity, thermal conductivity and mean specific heat per volume unity of the soil, with a mean moisture content of 22% weight, are, respectively: $6,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{seg.}^{-1}$, $2,94 \times 10^{-3} \text{ cal. cm}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1} \cdot \text{seg.}^{-1}$ and $0,49 \text{ cal. cm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$.

INTRODUÇÃO

O regime de temperatura da camada superficial do solo é uma função da densidade de fluxo de energia radiante absorvida na superfície e das suas propriedades térmicas. Estas propriedades são: a condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica.

Sabe-se, experimentalmente, que as propriedades térmicas do solo são uma função da sua textura, densidade, porosidade e teor de umidade, razão pela qual, elas variam de solo para solo e dentro da um mesmo solo, principalmente com o seu teor de umidade.

Na determinação do calor específico do solo pode-se utilizar o calorímetro de mistura (KERSTEN, 7; WIERENGA et alii, 10), o calorímetro de radiação (BOWERS & HANKS, 1), método de contato (WIJK, 11) ou a equação proposta por De VRIES (9), a qual proporciona valores com boa precisão (JANSE & BOREL, 6).

A condutividade térmica do solo pode ser obtida sob condições de equilíbrio dinâmico (DECICO, 3; KERSTEN, 7), de fluxo de calor variável (COCHRAN et alii, 2; VRIES, 8; WIERENGA et alii, 10) ou estimada com a relação de definição da difusividade térmica.

Na determinação da difusividade térmica do solo, normalmente, utilizam-se soluções da equação de condução de calor em um meio homogêneo e infinito, sujeitas a condições de contorno inicial adequadas (4, 5, 10, 12).

No presente trabalho, pretende-se determinar as propriedades térmicas de um solo da unidade de mapeamento São Pedro no município de Santa Maria, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais de temperatura do solo foram obtidos na Estação Climatológica, situada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria, RS. Suas coordenadas geográficas são as seguintes: latitude $29^{\circ}42'S$; longitude $53^{\circ}18'W$ e altitude 95 metros.

O solo é classificado como Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico de textura franca no horizonte A (primeiros 50 cm de profundidade), possuindo uma porosidade média de 50%, 3% de matéria orgânica e massa específica das partículas de $2,48 \text{ g. cm}^{-3}$.

As temperaturas do solo foram obtidas com geotermômetros de mer

cúrio em vidro, de fabricação "Fuess", com escala graduada em divisões de 0,2 graus Celcius, instalados na profundidade de 2, 5, 10, 20 e 30 cm. Instalaram-se duas baterias de geotermômetros, uma em condições de solo desnudo e a outra em solo com cobertura vegetal seca.

As medidas das temperaturas do solo foram realizadas com aproximação visual de 0,1°C em intervalos de 30 minutos na área desnuda e de 60 minutos na área com cobertura vegetal seca, durante período de 24 horas com início às 06 horas da manhã, em dois dias completamente limpos (nebulosidade ausente).

Os dados de temperatura do solo não foram obtidos de forma contínua. Para estimar os valores mais prováveis das temperaturas máximas, traçaram-se curvas de temperatura do solo em relação ao tempo. Pelos pontos de máximo, obtidos graficamente, traçaram-se tangentes. Os prolongamentos dessas linhas, ao cortarem o eixo das ordenadas, forneceram os valores de temperatura máxima. Pelos mesmos pontos de tangência, baixaram-se perpendiculares que, ao cortarem o eixo das abscissas, forneceram os tempos de ocorrência das temperaturas máximas.

O cálculo da temperatura do solo foi realizado com a solução clássica da equação diferencial de $T = T(z,t)$ sujeita a condições de contorno e inicial adequadas, à qual é:

$$T(z,t) = \bar{T}(z) + T_0 \exp \left[-\left(\frac{\omega}{2D}\right)^2 z \right] \text{sen} \left[\omega t - \left(\frac{\omega}{2D}\right)^2 z \right] \quad \text{n}^\circ 1$$

onde: $T(z,t)$ = temperatura na profundidade z e tempo t ; $\bar{T}(z)$ = temperatura média do perfil de solo; T_0 = amplitude máxima da onda de temperatura em $z = 0$; D = difusividade térmica do solo; ω = velocidade angular da terra.

A difusividade térmica foi calculada a partir do coeficiente angular do modelo linear ($y = a + bx$) dos tempos de ocorrência das temperaturas máximas (x) obtidas nas profundidades medidas (y) e do coeficiente angular do modelo linear ($y = a + bx$) dos logaritmos das amplitudes máximas (x) observadas nas diversas profundidades (y) com o uso das equações da velocidade e das amplitudes máximas da onda de temperatura, as quais são, respectivamente:

$$D = \frac{1}{2\omega} \cdot \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2 \quad \text{n}^\circ 2$$

$$D = \frac{E}{2} \cdot \left[\frac{z_j - z_i}{\ln \left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_j}\right)} \right] \quad \text{n}^\circ 3$$

onde: $\frac{\Delta z}{\Delta t}$ = coeficiente angular da equação dos tempos de ocorrência

das temperaturas máximas obtidas nas profundidades medidas.

$\frac{z_j - z_i}{\ln \left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_j} \right)}$ = coeficiente angular da equação dos logaritmos das amplitudes máximas observadas nas diversas profundidades.

tudes máximas observadas nas diversas profundidades.

A estimativa do calor específico médio por unidade de volume foi obtida com a equação proposta por De VRIES (9).

A estimativa da condutividade térmica foi obtida a partir da relação de definição da difusividade térmica:

$$K = D.C$$

nº 4

onde: K = condutividade térmica do solo e C = calor específico por unidade de volume do solo.

Os perfis de umidade foram obtidos pela média de dois perfis, um no início e outro no final de cada período. Extraíu-se duas amostras da área de cada bateria de geotermômetros, de 0 a 5 cm e de 10 em 10 cm de profundidade após os 5 cm iniciais, com um tubo de aço inoxidável de uma polegada de diâmetro. As amostras foram secas em estufa a 105°C e pesadas em balança com sensibilidade de 0,01g. A umidade foi expressa em porcentagem de peso de solo seco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das amplitudes máximas e dos tempos de ocorrência das temperaturas máximas, nas profundidades observadas para os dois dias de medida, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das amplitudes máximas ΔT (°C) e dos tempos de ocorrência das temperaturas máximas t (horas e décimos) nas diversas profundidades para os dois dias de observação.

DATA	PROFUN- DIDADE (cm)	SOLO DESNUDO		SOLO COM COBERTURA VEGETAL SECA	
		ΔT	t	ΔT	t
27/12/1978	2	10,90	15,5	3,60	15,8
	5	9,10	16,2	2,35	17,0
	10	5,10	17,8	1,45	18,5
	20	2,50	19,8	0,58	20,5
	30	1,20	23,0	0,35	-
28/12/1978	2	10,90	15,5	3,80	15,5
	5	8,90	16,4	2,30	17,0
	10	5,20	17,8	1,50	18,5
	20	2,50	19,8	0,90	21,5
	30	1,30	23,2	0,40	-

Os valores de difusividade térmica calculados para o solo São Pedro, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de difusividade térmica, em $\text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$, estimados com as expressões nº 2 e nº 3.

DATA	SOLO DESNUDO		SOLO COM COBERTURA VEGETAL SECA	
	Equação nº 2	Equação nº 3	Equação nº 2	Equação nº 3
27/12/78	$7,7 \times 10^{-3}$	$5,7 \times 10^{-3}$	$7,9 \times 10^{-3}$	$5,8 \times 10^{-3}$
28/12/78	$7,3 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$	$5,5 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-3}$

Analisando-se os valores de difusividade térmica da Tabela 2, verifica-se que os valores médios obtidos pelas equações de nº 2 e nº 3 são respectivamente, $(7,1 \pm 1,3) \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$ e $(6,0 \pm 0,3) \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$.

Essa tendência da equação nº 2 em proporcionar valores levemente superiores aos da equação nº 3 também foi observada nos resultados obtidos por WIERENGA et alii (10).

A teoria clássica da condução de calor mostra que os resultados obtidos com as equações das amplitudes máximas e a da velocidade da onda de temperatura devem ser idênticos. Os perfis de umidade (Tabela 3) nas duas condições e nos dois dias, são similares. Deste modo, dispersão observada, principalmente nos valores obtidos com a equação nº 2, provavelmente, é devida a erros na determinação gráfica dos tempos de ocorrência das temperaturas máximas. Pois, como a variação da temperatura, em torno do momento da máxima, é mínima em profundidades maiores que 10 cm e, como os geotermômetros não são sensíveis a essa variação, verificou-se que as leituras das temperaturas eram idênticas durante período de até 3 horas, como ocorreu na profundidade de 30 cm da área com cobertura vegetal seca. Em consequência, erros de até 1 hora na estimativa do tempo de ocorrência das temperaturas máximas podem ter sido cometidos.

Ao confrontar-se os valores de temperatura estimados através da equação nº 1 e os medidos, obteve-se melhor concordância entre ambos, quando se utilizou o valor de $6,0 \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$ para a difusividade térmica do solo.

Os valores de calor específico médio por unidade de volume, calculados através da equação de De VRIES (9), para 0,0; 21,6 e 22,5% de umidade em peso foram, respectivamente, 0,23; 0,48 e 0,50 $\text{cal}.\text{cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$.

Os valores de condutividade térmica do solo, estimados utilizando-se valores de calor específico médio por unidade de volume e de

difusividade térmica, encontram-se na Tabela 4.

Tabela 3. Valores médios de umidade do solo, expressos em porcentagem de peso seco.

PROFUNDIDADE (cm)	SOLO DESNUDO		SOLO C/COBERTURA VEGETAL SECA	
	27/12/1978	28/12/1978	27/12/1978	28/12/1978
0 - 5	15,0	16,2	18,8	21,4
5 - 15	21,4	22,5	23,2	23,0
15 - 25	24,7	24,0	24,1	23,4
25 - 35	24,5	23,9	23,1	23,0
Valor médio	21,4	21,7	22,3	22,7

Tabela 4. Valores de condutividade térmica do solo, estimados com a equação nº 4, expressos em $\text{cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{seg}^{-1}$.

CALOR ESPECÍFICO MÉDIO ($\text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$)	DIFUSIVIDADE TÉRMICA ($\text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$)	
	$6,00 \times 10^{-3}$	$7,10 \times 10^{-3}$
0,48	$2,88 \times 10^{-3}$	$3,41 \times 10^{-3}$
0,50	$3,00 \times 10^{-3}$	$3,55 \times 10^{-3}$

Como a equação de De VRIES (9) fornece valores confiáveis de calor específico médio do solo (JANSE & BOREL, 6) e, ao substituir-se os valores de difusividade térmica na equação nº 1, obteve-se excelente concordância entre os valores medidos e os calculados com o valor de difusividade térmica igual a $6,0 \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$, infere-se que os valores de condutividade térmica estimados com a equação nº 4 e $D = 6,0 \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$, devem ser representativos deste solo, na condição de umidade estudada.

CONCLUSÕES

Para o solo estudado, conclui-se que:

1. O calor específico médio por unidade de volume do solo, no estado seco (0% de umidade), é $0,23 \text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$.
2. Os valores médios da difusividade térmica, condutividade térmica e calor específico por unidade de volume do solo, com um teor médio de umidade de 22% em peso, são, respectivamente: $6,0 \times 10^{-3} \text{cm}^2.\text{seg}^{-1}$, $2,94 \times 10^{-3} \text{cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{seg}^{-1}$ e $0,49 \text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$.

LITERATURA CITADA

1. BOWERS, S.A. & HANKS, R.J. - Specific heat capacity of soils and minerals as determined with a radiation calorimeter. *Soil Science*, Baltimore, 94:392-399, 1962.
2. COCHRAN, P.H.; BOERSMA, L.; YOUNGBERG, G.T. - Thermal properties of a pumice soil. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Madison, 31:454-459, 1967.
3. DECICO, A. - *Condutividade térmica dos solos. Equações para o cálculo da condutividade térmica de alguns solos em função da densidade e umidade*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" da Universidade de São Paulo, 1967. 26p. (Tese de Doutorado).
4. DECICO, A. - *A determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura, "Luiz de Queiróz", da Universidade de São Paulo, 1974. 78p. (Tese de Livre-Docência).
5. JACKSON, R.D. & KIRKHAM, D. - Method of measurement of the thermal diffusivity of moist soil. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Madison, 22:479-482, 1958.
6. JANSE, A.R.P. & BOREL, G. - Measurement of thermal conductivity in situ in mixed materials, e.g. soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, 13:57-62, 1965.
7. KERSTEN, M.S. - *Thermal properties of soils*. Minnesota, Institute of Technology, 1949. 255p. (Bulletin of University of Minnesota, nº 28).
8. VRIES, D.A. de - A nonstationary method for determining thermal conductivity of soil in situ. *Soil Science*, Baltimore, 73:83-89, 1952.
9. VRIES, D.A. de - Thermal properties of soils. In: VAN WIJK, W.R. editor. *Physical of Plant Environment*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1963. p.210-235.
10. WIERENGA, P.J.; NIELSEN, D.R.; HAGAN, R.M. - Thermal properties of a soil based upon field and laboratory measurements. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Madison, 33:354-360, 1969.
11. WIJK, W.J. Van - Two methods for the determination of the thermal properties of the soil near the surface. *Physica*, Haya, 30:387-388, 1964.
12. WIJK, W.R. Van & BRUIJN, P.J. - Determination of the thermal conductivity and volumetric heat capacity of soils near the surface. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, Madison, 28:461-466, 1964.