

COMPORTAMENTO TÉRMICO DO SOLO DE JABOTICABAL, SP, SOB TRÊS DIFERENTES COBERTURAS ^{1/}

Rubens Leite Vianello ^{2/}
Romísio Geraldo Bouhid, André ^{3/}
Valdo da Silva Marques ^{4/}

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é um dos mais importantes elementos na caracterização do microclima do solo. Juntamente com o fluxo de calor, a temperatura do solo varia amplamente, de acordo com a constituição física, com o conteúdo de água, com o tipo de cobertura e com o tempo.

Por seu turno, o estudo do microclima do solo é plenamente justificável para inúmeros propósitos. Destacam-se entre eles as atividades agropastoris, os estudos de balanço de radiação, os processos de evaporação e condensação, etc. Nesse sentido encontram-se algumas pesquisas realizadas por WIJK (8, 9) e GEIGER (3).

Em particular, a ocorrência de geadas é acentuadamente influenciada pelas características térmicas do solo, onde o tipo de cobertura exerce papel relevante. Também as propriedades térmicas do solo, como calor específico, condutividade e difusividade térmica, desempenham papel de realce nos processos de transferência de calor no solo, com conseqüências imediatas sobre o microclima da camada de ar junto à superfície.

Inúmeros pesquisadores, como Patten, Keen, Johnson e Davis, Coutts, Pearce e Gold, Garson, dentre outros, citados por VISWANADHAM e RAO (7) e WIJK (8), têm-se dedicado ao estudo da difusividade térmica em vários tipos de solos, a partir de medições de temperatura a diferentes profundidades.

Este trabalho visa estudar o comportamento térmico do solo de Jaboticabal,

^{1/} Recebido para publicação em 5-11-1981.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP. 14870 Jaboticabal, SP.

^{4/} Universidade Federal do Rio de Janeiro, 20000 Rio de Janeiro, RJ.

SP, em condições de cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu. A temperatura observada em diferentes profundidades, horários e meses do ano foi expandida em Série de Fourier de senos e co-senos, e os cinco primeiros harmônicos foram analisados e discutidos. A partir da amplitude e da fase, foi estimada a difusividade térmica do referido solo, para as três condições de coberturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram observados na Estação Climatológica Auxiliar, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, localizada em Jaboticabal, SP, latitude 21°15'22"S, longitude 48°18'58"W, altitude 595 m. O solo local é tipo Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa, e suas características físicas encontram-se no Quadro 1. O período de observação estendeu-se de 1972 a 1976, compreendendo 4 leituras diárias, realizadas às 7, 9, 15 e 21 horas locais, às profundidades de 2, 5, 10, 20 e 30 cm. Tais medições foram efetuadas com a utilização de termômetros de mercúrio em vidro. A homogeneidade foi alcançada mediante controle de qualidade, eliminando-se, visualmente, os dados considerados passíveis de incorreções. Para cada horário, profundidade e tipo de cobertura, obtiveram-se médias mensais, cujos perfis foram plotados e discutidos. Finalmente, foram obtidas as médias mensais para cada profundidade e tipo de cobertura. Esses valores foram, posteriormente, usados para calcular a amplitude e a fase de cada onda de temperatura.

Para fins teóricos, o solo foi considerado meio homogêneo, isotrópico, sem fontes e sumidouros de calor, limitando-se a análise apenas à direção vertical. Assim, a equação geral da condição de calor reduz-se a

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}, \quad (1)$$

em que T é a temperatura do solo (°C); t é tempo (s); $\alpha = \frac{k}{C}$ é a difusividade térmica ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$), sendo k a condutividade térmica ($\text{cal cm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{°C}^{-1}$) e C a capacidade calorífica ($\text{cal cm}^{-3} \text{°C}^{-1}$); Z é a profundidade do solo (cm).

A equação 1 é consistente com a lei de Fick, expressa por

$$H = -K \nabla T \quad (2)$$

em que H é o fluxo de calor ($\text{cal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) que flui através de uma área unitária perpendicular a Z, por unidade de tempo, e ∇T é o gradiente vertical de temperatura (°C cm^{-1}), reduzindo-se, aqui, a $\partial T / \partial Z$.

Uma solução mais geral da equação 1, que satisfaz as condições exigidas para o estudo das características térmicas do solo, é (6)

$$T(Z, t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp\left(-\frac{Z}{D_n}\right) \cos\left(n\omega t - \frac{Z}{D_n}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \exp\left(-\frac{Z}{D_n}\right) \sin\left(n\omega t - \frac{Z}{D_n}\right) \quad (3)$$

na qual a_0 , a_n e b_n são os coeficientes de Fourier do curso da temperatura a $Z = 0$,

QUADRO 1 - Características físicas do horizonte superficial do Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa, de Jaboticabal, SP. (Pereira, extraída de ANDRÉ (1))

Massa específica real do solo (kg m^{-3})	Massa específica aparente do solo (kg m^{-3})	Umidade gravimétrica (%) (1/3 Atm) (15 Atm)	Condutividade tér- mica do solo ($\text{Wm}^{-1} \text{OC}^{-1}$)
$2,64 \times 10^3$	$1,28 \times 10^3$	17,5 8,3	$26,168 \times 10^{-2}$

usados para calcular a amplitude, A_n , e a fase, ϕ_n , do n - ésimo harmônico da onda de temperatura no solo, ou seja

$$A_n = |a_n^2 + b_n^2|^{1/2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (4)$$

O parâmetro $D_n = \left(\frac{2\alpha}{w_n} \right)^{1/2}$, na equação 3, é a profundidade de amortecimento e $w = 2\pi/P$ é a frequência radial, sendo P o período (365 x 86400 s para o ciclo anual).

Pode-se mostrar facilmente que (6)

$$\alpha = \frac{w}{2} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\ln(\delta_1/\delta_2)} \right|^2 = \frac{1}{2w} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta_2 - \Delta_1} \right|^2 \quad (5),$$

em que δ e Δ representam, respectivamente, a amplitude e a fase da onda de temperatura, os índices 1 e 2 identificam dois níveis de profundidades diferentes e as fases devem ser expressas em unidade de tempo. As identidades 5 mostram que a difusividade térmica, para uma camada do solo, pode ser obtida a partir das amplitudes ou das fases das ondas de temperatura, nos níveis de profundidade que limitam a referida camada.

A variância, S_n^2 , de cada harmônico pode ser obtida pela expressão

$$S_n^2 = \frac{A_n^2}{2} \quad (6)$$

Conhecidas as variâncias dos dados observados e a variância estimada de cada harmônico, pode-se obter a percentagem da variância observada referente a cada harmônico, bem como a percentagem da variância acumulada dos diversos harmônicos em consideração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1a, 1b, 1c e 1d mostram os perfis anuais de temperatura para o solo nu, às profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, correspondendo, respectivamente, aos horários de observações das 7, 9, 15 e 21 horas. É interessante notar a inversão do gradiente de temperatura entre as 7 e as 15 horas (Figuras 1a e 1c, respectivamente). Às 7 horas, o gradiente evidencia-se, claramente, no sentido da superfície para os níveis mais profundos, com o conseqüente fluxo de calor no sentido contrário, de acordo com a equação 2, ou seja, as camadas mais profundas cedem calor para os níveis menos profundos, o que resulta, finalmente, na transferência de calor do solo para a atmosfera. A situação inverte-se totalmente às 15 horas, resultando num fluxo de calor da superfície para os níveis mais profundos. Geralmente, as amplitudes são mais acentuadas às 15 horas, para todos os níveis. Os perfis referentes às 9 e às 21 horas (Figuras 1b e 1d) mostram típicas situações de transição. Às 9 horas, no verão, o nível de 02 cm já se apresenta mais aquecido que os demais, o que não ocorre no inverno, quando predominam temperaturas mais elevadas às profundidades de 30 e 20 cm. Essa situação decorre da quantidade de ra-

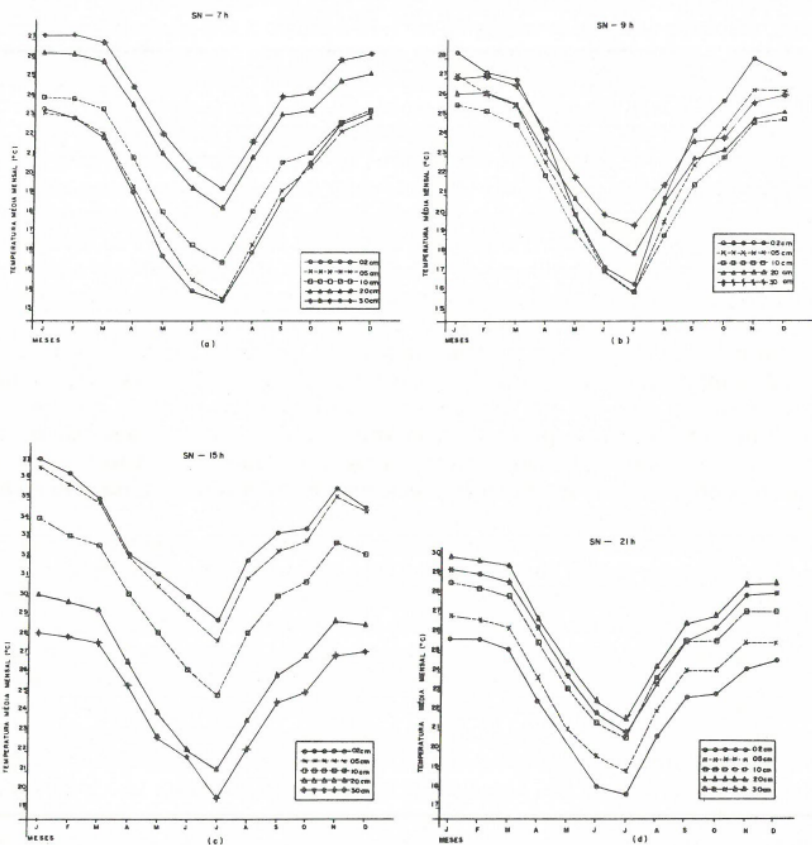


FIGURA 1 - Perfis anuais de temperatura, para solo nu, às profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, para Jaboticabal, SP, hora local: a) 7 horas; b) 9 horas; c) 15 horas; d) 21 horas.

dição incidente na superfície, do horário do nascer-do-sol e da ocorrência de nevoeiros, dentre outros fatores, facilmente justificáveis. Às 21 horas, durante quase todo o ano, a ordem dos perfis, do mais aquecido para o menos aquecido, é a seguinte: 20, 30, 10, 05 e 02 cm, situação que se aproxima da que foi observada às 7 horas.

Para o solo protegido por cobertura vegetal, os perfis apresentam características bastante distintas, em relação ao solo nu.

A comparação das Figuras 1a e 2a, perfis para as 7 horas, solo nu e cobertura vegetal, respectivamente, mostra que, embora a ordem dos perfis seja praticamente a mesma, os valores das temperaturas observadas são acentuadamente diferentes, sobretudo nos níveis mais superficiais e no inverno. Vale destacar os níveis de 02, 05 e 20 cm, nos quais o solo se apresenta mais aquecido sob cobertura vegetal; embora nesses níveis o solo se aqueça consideravelmente mais durante o dia em condições de solo nu, como se vê nas Figuras 1c e 2c, o papel da cobertura vegetal se destaca, impedindo a perda excessiva de calor durante a noite, permitindo, portanto, que pela manhã o solo se apresente ainda relativamente aquecido, o que não acontece com o solo nu. Também os contrastes térmicos entre os diversos níveis são suavizados em condições de cobertura vegetal, o que pode ser facilmente verificado pela comparação dos perfis para os horários respectivos, especialmente para o horário das 21 horas (Figuras 1d e 2d). Isso mostra o papel da cobertura vegetal também na chegada de energia à superfície, graças ao sombreamento resultante. A comparação das Figuras 1c e 2c evidencia as mais elevadas temperaturas que ocorrem no solo nu, em consequência da exposição direta a que se acha submetido. Em suma, o papel da cobertura vegetal assemelha-se ao de um termostato, com profundas consequências nas atividades agropastoris, especialmente nos processos de germinação das sementes, fluxos d'água no solo e ocorrência de geadas, além do balanço de energia.

As Figuras 3a, 3b, 3c e 3d correspondem aos perfis anuais de temperatura do solo sob cobertura morta, horários de 7, 9, 15 e 21 horas, respectivamente. Comparado aos perfis sob cobertura vegetal (Figuras 2a a 2d), observa-se que a ordem dos perfis é praticamente a mesma, exceto para as 21 horas. Sob cobertura morta, às 21 horas, os perfis já se encontram praticamente na mesma ordem observada às 7 horas, sugerindo, portanto, que o processo de perda de calor dos níveis mais profundos para a superfície, e desta para a atmosfera, é mais eficiente em tais condições, aproximando-se mais do solo nu que da cobertura vegetal (Figuras 1d, 2d e 3d). Quanto à amplitude da temperatura, os valores são ligeiramente mais elevados para a cobertura morta, especialmente nos meses de verão; isso indica que a eficiência da cobertura morta, no que tange ao papel termorregulador do solo, é menor que a da cobertura vegetal, embora incomparavelmente superior à do solo nu.

As Figuras 4a e 4b mostram os campos da temperatura para o solo nu, horários de 9 e 15 horas, respectivamente. Tais campos foram obtidos mediante interpolações dos valores disponíveis nos níveis estudados. Às 9 horas, o campo apresenta uma configuração curiosa: de setembro a abril verifica-se, em média, uma convergência do fluxo de calor para o nível de 15 cm, aproximadamente, ao passo que de maio a agosto os fluxos médios são, basicamente, dos níveis mais profundos para a superfície.

A defasagem é pouco pronunciada, permitindo, entretanto, visualizar um retardamento de 15 dias, aproximadamente.

Às 15 horas (Figura 4b), a configuração do campo é mais regular, ou seja, nota-se a presença do fluxo médio de calor da superfície para as camadas mais profundas em todos os meses do ano. Também aqui, a defasagem é de aproximadamente 15 dias.

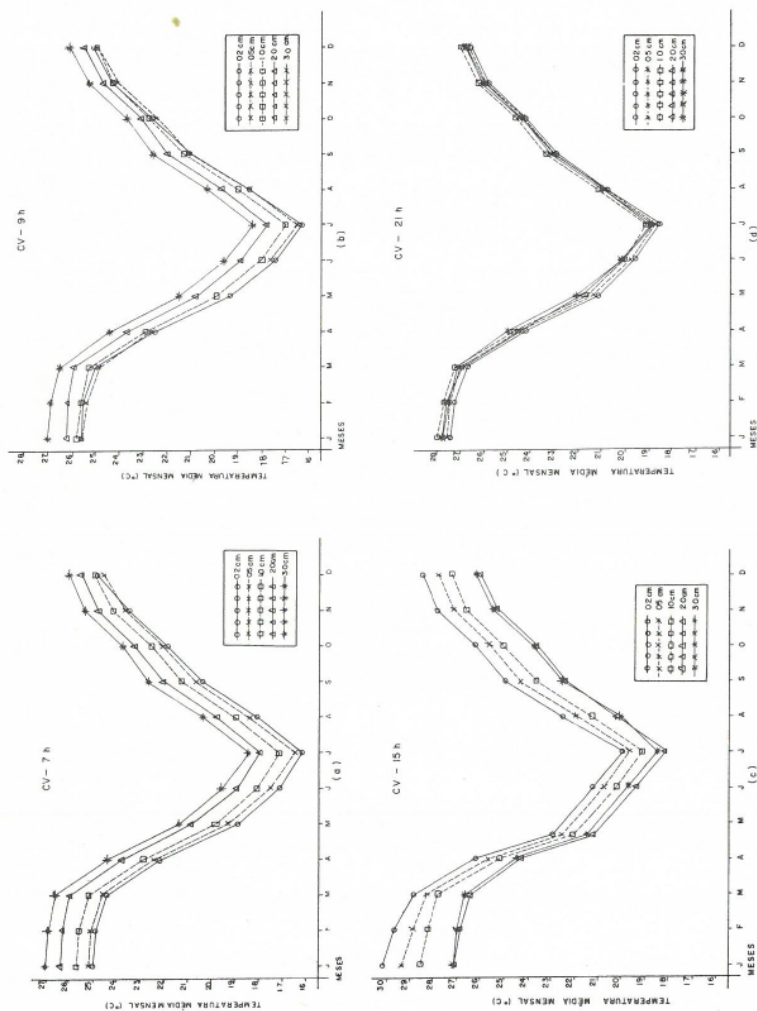


FIGURA 2 - Perfis anuais de temperatura do solo, em condições de cobertura vegetal, às profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, para Jaboticabal, SP, hora local: a) 7 horas; b) 9 horas; c) 15 horas; d) 21 horas.

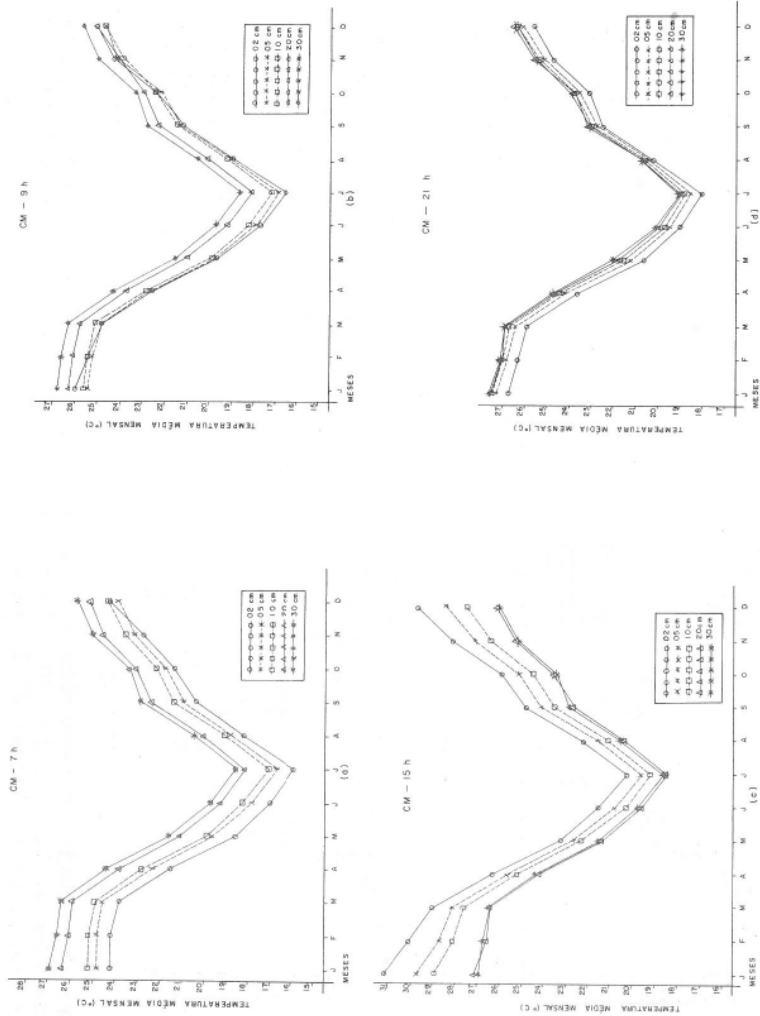


FIGURA 3 - Perfis anuais de temperatura do solo, em condições de cobertura morta, às profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, para Jaboticabal, SP, hora local: a) 7 horas; b) 9 horas; c) 15 horas; d) 21 horas.

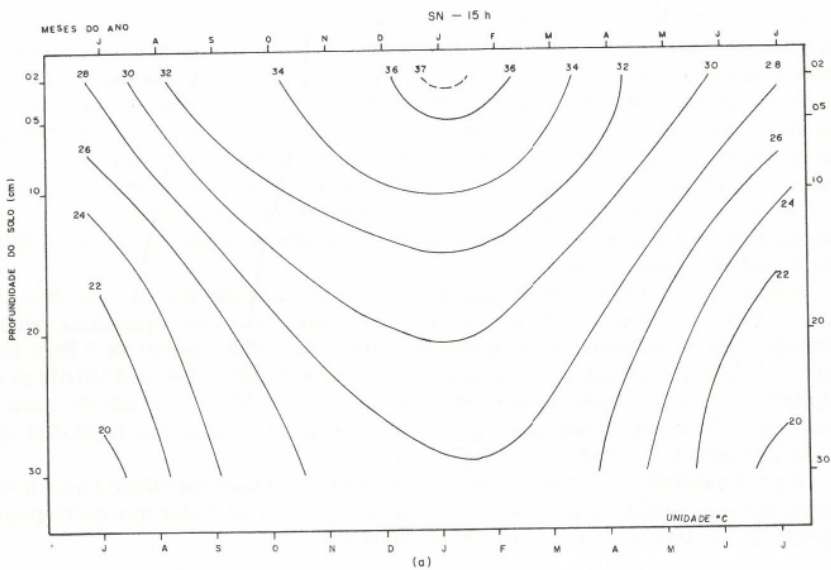
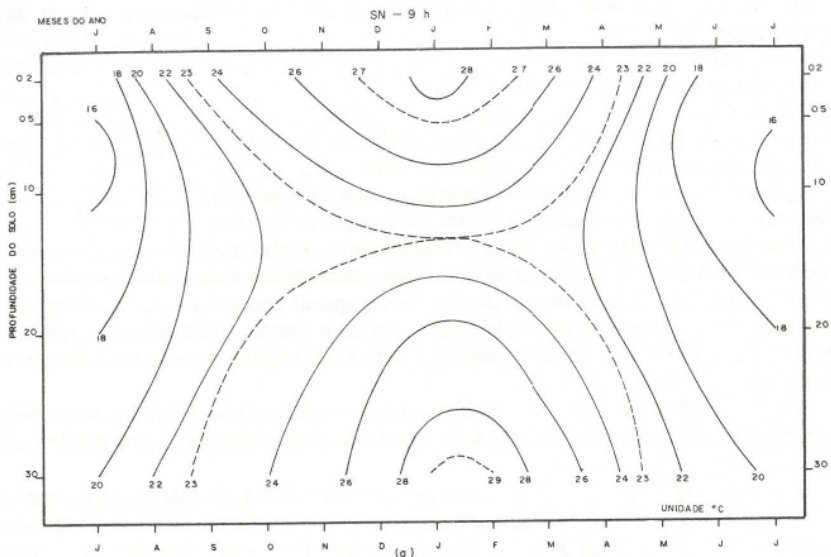


FIGURA 4 - Campos de temperaturas médias mensais para solo nu, de 02 a 30 cm de profundidade, para Jaboticabal, SP, hora local; a) 9 horas; b) 15 horas.

O Quadro 2 mostra a amplitude e a fase dos 5 primeiros harmônicos da Série de Fourier ajustada aos dados de temperatura do solo para as diversas profundidades e coberturas em estudo. Como se vê, o domínio do primeiro harmônico é notável, superando sempre 90% da variância observada, chegando a atingir 95,5% dela, como pode ser verificado pelo Quadro 3. A contribuição dos 5 primeiros harmônicos, praticamente, representa, de maneira integral, a variação da temperatura do solo, para todas as profundidades, o que pode ser comprovado pela análise do Quadro 4, em que os valores da variância acumulada superam, em todos os casos, a cifra de 99,7%. Também o decréscimo da amplitude, como é teoricamente esperado (2), pode ser notado, especialmente para o 1.º harmônico.

Quanto à fase, os resultados mostram perfeita coerência entre os três tipos de coberturas. O máximo, para o primeiro harmônico, situa-se no mês de janeiro, como se vê no Quadro 2, por ter-se considerado a média mensal valor representativo do 15.º dia do mês e o valor zero da fase coincidente com o mês de janeiro; entretanto, para o solo nu, em particular, as temperaturas máximas ocorrem alguns dias antes, ao passo que sob cobertura vegetal e morta, praticamente, não se observam diferenças. Isso mostra uma resposta mais rápida do solo nu à chegada de energia à superfície.

Especialmente para o primeiro harmônico, observa-se também uma defasagem da onda de temperatura com o aumento da profundidade, o que é fisicamente esperado.

A difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase, para as camadas de 2 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm e para as três coberturas, acha-se no Quadro 5. Como se vê, alguns valores desviam-se consideravelmente dos demais, especialmente os que se referem à camada de 20 a 30 cm.

Como os dados usados foram coletados a partir de observações de rotina, parece razoável admitir a ocorrência de possíveis erros relacionados com falhas instrumentais e de leituras. Por outro lado, como os parâmetros usados nos cálculos foram resultantes de médias aritméticas de 5 anos de observação, há uma tendência de compensação de erros, de tal forma que, para níveis em que as temperaturas são mais variáveis, como os superficiais, os pequenos erros residuais parecem não ser significativos para fins de cálculos da difusividade; entretanto, os níveis de 20 e 30 cm acham-se sujeitos a menores variações térmicas, o que os torna mais susceptíveis e, conseqüentemente, conduz a grandes desvios nos valores estimados da difusividade térmica.

Assim, tomando as médias das três primeiras camadas apenas (até 20 cm), a difusividade calculada, tanto pela amplitude quanto pela fase, apresenta, para os três tipos de coberturas, valores semelhantes, com média global de $7,89 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Esses resultados concordam com os obtidos por VISWANADHAM *et alii* (7), para regiões tropicais no Hemisfério Sul, e por VIANELLO *et alii* (6), para Viçosa, MG. Concordam também com os valores apresentados por GEIGER (3) e RAMANA RAO *et alii* (4).

A profundidade de amortecimento, calculada com base na difusividade média global do solo supracitado, é de 2,82 m para o ciclo anual, valor que corresponde, aproximadamente, a 15 cm para o ciclo diário (5).

4. RESUMO

Estudou-se o comportamento térmico do solo de Jaboticabal, SP, ciclo anual, sob cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu. Os níveis de profundidade analisados foram 2, 5, 10, 20 e 30 cm, para os quais se utilizaram dados de temperatura observados de 1972 a 1976. O tratamento teórico baseou-se na solução da equação

QUADRO 2 - Amplitude (°C) e fase (GRAUS) da onda de temperatura do solo, para profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, harmônicos de 1 a 5, cobertura vegetal, cobertura morta, e condições de solo nu, para Jaboticabal, SP

		Harmônicos									
Tipo de Profun- cobertu- ra	Profun- didade (cm)	1.º		2.º		3.º		4.º		5.º	
		Ampli- tude	Fase	Ampli- tude	Fase	Ampli- tude	Fase	Ampli- tude	Fase	Ampli- tude	Fase
Cobertura Vegetal	02	4,32	358	0,91	69	0,12	104	0,20	56	0,21	5
	05	4,24	359	0,92	69	0,13	107	0,18	56	0,23	5
	10	4,16	359	0,92	69	0,13	108	0,18	56	0,23	4
	20	4,01	1	0,89	70	0,14	107	0,18	55	0,22	5
	30	4,00	2	0,90	70	0,15	108	0,19	55	0,22	6
Cobertura Morta	02	4,26	358	0,79	66	0,26	106	0,26	57	0,24	5
	05	4,04	360	0,83	67	0,24	108	0,23	56	0,24	5
	10	4,00	1	0,86	67	0,25	108	0,22	57	0,25	6
	20	3,80	2	0,85	69	0,24	108	0,21	56	0,25	6
	30	3,77	3	0,87	69	0,25	109	0,22	55	0,26	7
Solo Nu	02	4,17	351	1,05	70	0,39	116	0,44	37	0,28	70
	05	4,13	351	1,02	67	0,27	114	0,32	42	0,37	2
	10	3,85	353	1,04	66	0,26	111	0,30	45	0,35	4
	20	3,69	357	1,05	65	0,24	112	0,28	46	0,32	4
	30	3,62	358	0,99	67	0,24	109	0,27	47	0,29	6

QUADRO 3 - Percentagem da variância total, para os 5 primeiros harmônicos, no solo de Jaboticabal, SP, sob cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º
Cobertura Vegetal	02	95,2	4,2	0,07	0,20	0,20
	05	95,0	4,4	0,09	0,17	0,27
	10	94,6	4,6	0,09	0,17	0,28
	20	94,7	4,7	0,11	0,19	0,28
	30	94,6	4,7	0,13	0,21	0,26
Cobertura Morta	02	95,5	3,3	0,36	0,36	0,30
	05	94,9	4,0	0,33	0,31	0,33
	10	94,3	4,4	0,37	0,28	0,37
	20	94,3	4,6	0,38	0,29	0,41
	30	93,6	5,0	0,41	0,32	0,44
Solo Nu	02	91,5	5,8	0,80	1,02	0,41
	05	92,6	5,6	0,40	0,56	0,74
	10	91,3	6,7	0,42	0,55	0,76
	20	90,9	7,4	0,38	0,52	0,68
	30	91,3	6,8	0,40	0,51	0,59

QUADRO 4 - Percentagem acumulada da variância total, para os 5 primeiros harmônicos, no solo de Jaboticabal, SP, sob cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1º	2º	3º	4º	5º
Cobertura Vegetal	02	95,2	99,4	99,47	99,67	99,87
	05	95,0	99,4	99,49	99,66	99,83
	10	94,6	99,2	99,29	99,46	99,74
	20	94,7	99,4	99,51	99,70	99,98
	30	94,6	99,3	99,43	99,64	99,90
Cobertura Morta	02	95,5	98,8	99,16	99,52	99,82
	05	94,9	98,9	99,23	99,54	99,87
	10	94,3	98,7	99,07	99,35	99,72
	20	94,3	98,9	99,28	99,57	99,98
	30	93,6	98,6	99,01	99,33	99,77
Solo Nu	02	91,5	97,3	98,10	99,12	99,53
	05	92,6	98,2	98,60	99,16	99,90
	10	91,3	98,0	98,42	98,97	99,73
	20	90,9	98,3	98,68	99,20	99,88
	30	91,3	98,1	98,50	99,01	99,60

QUADRO 5 - Difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do 1.º harmônico, para diferentes camadas do solo de Jaboticabal, SP, sob cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu

Camada entre profundidades (cm) de	Difusividade térmica (10^{-3} cm ² seg ⁻¹)							
	Cobertura vegetal		Cobertura morta		Solo nu		Média da camada	
	P/Ampl.	P/Fase	P/Ampl.	P/Fase	P/Ampl.	P/Fase	P/Ampl.	P/Fase
02 - 05	2,57	4,96	0,32	1,19	9,65	17,49	6,03	
05 - 10	6,86	25,16	25,16	$0,63 \times 10^{-4}$	0,51	1,85	9,92	
10 - 20	7,39	$0,2 \times 10^{-3}$	3,79	27,03	5,53	2,64	7,73	
Média	5,60	10,04	9,76	9,41	5,23	7,33	7,89	
20 - 30	1598,43	59,72	158,58	52,40	27,16	20,28	319,43	

da condução de calor, num meio homogêneo, com a análise restringindo-se apenas à direção vertical. A referida solução foi expandida em Série de Fourier, o que permitiu conhecer a amplitude e a fase dos cinco primeiros harmônicos. Calculou-se também a difusividade térmica e a profundidade de amortecimento da onda de temperatura no solo. Os resultados dos cálculos efetuados, bem como os perfis de temperatura plotados, foram analisados isoladamente, para cada tipo de cobertura, e, posteriormente, comparados entre si. Verificou-se claramente o papel destacável da cobertura vegetal como termorregulador do solo, discutindo-se também a importância das diferentes coberturas para a ocorrência de fenômenos meteorológicos relevantes para as atividades agropastoris.

5. SUMMARY

The soil thermal behaviour at Jaboticabal, State of São Paulo, Brazil, was studied under conditions of bare soil, grass cover and mulching. The data utilized were collected during the period of 1972 to 1976 at 0700, 0900, 1500 and 2100 hours local time and at depths of 2, 5, 10, 20 and 30 centimeters. The theoretical analysis was based on the solution of the heat conduction equation applied to a homogeneous medium. This solution was expanded in Fourier series and the first five harmonics were computed in their amplitude and phases. The thermal diffusivity and damping depth were also computed and compared with results obtained by others researchers. All of the results were presented in tables and diagrams and an analysis was carried out for each cover condition and finally compared with itself. The thermo-regulator role of the grass cover and its importance in frost formation was emphasized.

6. LITERATURA CITADA

1. ANDRÉ, R.G.B. *Um estudo dos transportes verticais de momentum, calor sensível e vapor d'água sobre superfície vegetada nos trópicos*. São José dos Campos, INPE, 1981. 125 p. (INPE 2060 — TDL/052).
2. CARSON, J.E. Analysis of soil and air temperatures by Fourier techniques. *Journal of Geophysical Research*, 68 (8):2217-2232, 1963.
3. GEIGER, R. *The climate near the ground*. Cambridge, Harvard University Press, 1971. 611 p.
4. RAMANA RAO, T.V. & VIANELLO, R.L. *Características térmicas do solo de Cachoeira Paulista — SP*. São José dos Campos, INPE, 1977. 23 p. (INPE — 1106 — PE/080).
5. SELLERS, W.D. *Physical climatology*. Chicago, University of Chicago Press, 1965. 272 p.
6. VIANELLO, R.L., RAO, T.V.R. & NOGUEIRA, J.M. *Comportamento térmico do solo de Viçosa — MG — Ciclo anual — 1971*. São José dos Campos, INPE, 1977. 32 p. (INPE — 1107 — PE/081).
7. VISWANADHAM, Y. & MOHANA RAO, N.J. The thermal diffusivity of soil at tropical stations in Southern Hemisphere. *Pure and Applied Geophysics*, 101 (9): 247-260, 1972.

8. WIJK, W.R. van. Soil microclimate, its creation, observation and modification. In: Mitchell, J.M. ed. *Meteorological Monographs — Agricultural Meteorology*. Boston, American Meteorological Society, 1965. pp. 59-73.
9. WIJK, W.R. van, *Physics of plant environment*. Amsterdam, Noordhollandse Uitgevers mij., 1963. 382 p.