

AQUILES SANDANIELO

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

ESTUDO DO CICLO DIÁRIO DO REGIME TÉRMICO DO SOLO DE
VIÇOSA-MG, SOB TRÊS CONDIÇÕES DE COBERTURA

5215
5215
1983

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1983

AQUILES SANDANIELO

ESTUDO DO CICLO DIÁRIO DO REGIME TÉRMICO DO SOLO DE
VIÇOSA-MG, SOB TRÊS CONDIÇÕES DE COBERTURA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de *Magister Scientiae*.

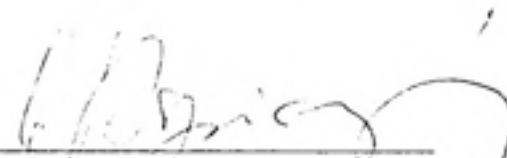
VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1983

AQUILES SANDANIELO

ESTUDO DO CICLO DIÁRIO DO REGIME TÉRMICO DO SOLO DE
VIÇOSA-MG, SOB TRÊS CONDIÇÕES DE COBERTURA

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de agosto de 1983

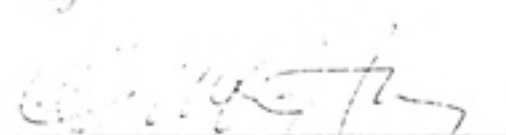


Prof. Celestino Aspiazú
(Conselheiro)

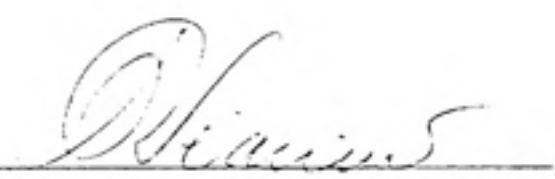


Prof. Gilberto C. Sedyama
(Conselheiro)

Prof. Hélio Alves Vieira



Prof. Liovando M. da Costa



Prof. Rubens Leite Vianello
(Orientador)

*Aos meus pais, José e Matilde, que
me levaram a descobrir o mundo e
responsáveis por tudo que sou.*

*Aos meus irmãos Julio Cesar, Elaine,
Heloisa, Lucia Helena e Silvia Maria,
pela nossa união e amizade.*

*À minha noiva, Vera Lucia, pelo
nosso amor e pelo incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Acima de todos e de tudo, a Deus por me ter dado paz e saúde para realizar este trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio e pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro durante todo o curso.

Ao Professor Rubens Leite Vianello, pela orientação segura, compreensiva e amigável, e, ainda, pela grande amizade no decorrer de todo curso.

Aos Professores Celestino Aspiazú, Gilberto C. Sedyama e Dirceu Teixeira Coleho, pela amizade e pelas sugestões apresentadas.

Ao Professor Hêlio Alves Vieira, pela amizade sincera, pelo apoio e pelas valiosas sugestões durante o curso e no decorrer deste trabalho.

Ao Departamento de Solos e ao Centro de Processamento de Dados, pela ajuda despendida neste trabalho.

Aos colegas de curso, pela convivência sincera e amizade.

A todas as pessoas amigas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

AQUILES SANDANIELO, filho de José Sandanielo e Matilde Encarnação J. Sandanielo, nasceu em Araraquara, Estado de São Paulo, em 23 de abril de 1954.

Em dezembro de 1977, obteve o certificado de Licenciatura Plena em Física, na UNESP - Rio Claro - SP.

Em 1981 iniciou o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
EXTRATO	xx
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Escolha da Área	20
3.2. Etapas do Experimento	20
3.3. Perfis Observados de Temperaturas do Solo .	21
3.4. Fluxo de Calor no Solo	22
3.5. Registros de Temperatura e de Umidade do Ar	23
3.6. Análises Textural e Físicas do Solo	23
3.7. Determinação de Parâmetros Derivados	24
3.8. Estimativa da Capacidade Calorífica por Meio das Características do Solo	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Marcha Diária da Temperatura do Solo para Diferentes Profundidades e Coberturas	30

	Página
4.2. Análise da Amplitude, da Fase e da Variância Acumulada das Ondas de Temperaturas do Ar e do Solo	42
4.3. Estimativa da Difusividade, da Capacidade Calorífica e da Condutividade Térmica do Solo	48
4.4. Análise da Onda de Calor e sua Comparação com a Marcha da Temperatura do Solo	58
4.5. Outros Parâmetros Estimados	61
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	62
BIBLIOGRAFIA	65
APÊNDICES	68

LISTA DE QUADROS

Quadros		Página
1	Análise Textural do Solo de Viçosa, Mg, <u>Ca</u> mada entre 0 e 20 cm de Profundidade	29
2	Umidade (% em Volume) das Amostras Coleta- das às 09 Horas, para Diferentes Camadas de Solo Nu, em Viçosa, MG, nos Períodos: I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/ 02/83 II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/ 03/83 III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/ 03/83	29
3	Amplitude da Onda Diária de Temperatura(°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/ 02 às 06 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cober- tura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11	45

Quadros

Página

- | | | |
|---|---|----|
| 4 | Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02,05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11 | 46 |
| 5 | Porcentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83 sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11 | 47 |
| 6 | Amplitude da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02,05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11 | 49 |
| 7 | Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11 | 50 |
| 8 | Porcentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20 , | |

Quadros	Página
30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11	51
9 Amplitude da Onda de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11	52
10 Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11	53
11 Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11	54
12 Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (GRAUS) e Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura do Ar, à 1,5 m de <u>Al</u> tura (Abrigo Meteorológico), para Viçosa, MG, Harmônicos de 1 a 11, nos Períodos: I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83 II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83 III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83	55

Quadros

Página

- 13 Difusividade Térmica, Calculada pela Amplitude e pela Fase do 1º Harmônico, para Diferentes Camadas do Solo de Viçosa, MG, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Valores Médios dos Períodos:
- I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83
- II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83
- III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83
- 56
- 14 Umidade (% em Peso), Densidade Aparente (g. cm^{-3}), Densidade Real (g. cm^{-3}) e Porosidade (% em Volume), Solo de Viçosa, MG, Camada 04-11 cm de Profundidade, para Amostras Próximas do Solo Nu, da Cobertura Morta e da Cobertura Vegetal, Coletadas em 05/03/83
- 57
- 15 Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (GRAUS) e Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária do Fluxo de Calor a 7,5 cm de Profundidade, sob Condições de Solo Nu, para Viçosa, MG, Harmônicos de 1 a 11, nos Períodos:
- I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83
- II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83
- III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83
- 59
- 1B Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade do Ar (%), ambas a 1,5 m de Altura (Abrigo Meteorológico), para Viçosa, MG, nos Períodos:

Quadros

Página

	I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83	
	II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83	
	III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83	73
2B	Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm	74
3B	Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm	75
4B	Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm	76
5B	Fluxo de Calor ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) e Gradiente Diário de Temperatura ($^{\circ}\text{C.cm}^{-1}$), Respe ^c tivamente, à Profundidade de 7,5 cm e na Camada Compreendida entre 05 e 10 cm, sob Solo Nu, para Viçosa, MG, nos Períodos: I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83 II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83	

Quadros		Página
	III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/ 03/83	77
6B	Observações Complementares de Temperatura (°C), em Viçosa, MG, Período de 07 Horas de 03/83 às 07 Horas de 04/03/83	78
7B	Observações Complementares de Temperatura (°C), em Viçosa, MG, Período de 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83	79

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
1	Representação de um Volume de Controle, para a Derivação da Equação Geral da Condução de Calor em um Meio Homogêneo e Isotrópico, HOLTON (8)	8
2	Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	31
3	Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, em Viçosa, MG	32
4	Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83, em Viçosa, MG	33

Figuras		Página
5	Marcha Diária da Temperatura, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	35
6	Marcha Diária da Temperatura, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	36
7	Perfis Verticais de Temperaturas, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG ...	37
8	Perfis Verticais de Temperaturas, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	39
9	Perfis Verticais de Temperaturas, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	40
10	Campos de Temperaturas, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG	41
11	Campos de Temperaturas, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02	

Figuras		Página
	às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG ...	43
12	Campos de Temperaturas, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG ...	44
13	Marcha Diária do Fluxo de Calor e da Temperatura, Sob Solo Nu, ambas a 7,5 cm de Profundidade, Período de 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, em Viçosa, MG	60

LISTA DE SÍMBOLOS

a_0	- Harmônico zero da série de Fourier
a_n	- Coeficiente da parte seno do n-ésimo harmônico da série de Fourier
$A(0)$	- Amplitude da onda de temperatura na <u>su</u> perfície
A_n	- Amplitude do n-ésimo harmônico na ex- pansão de Fourier
$A(z_1), A(z_2)$	- Amplitude de oscilação da onda de tem- peratura nos níveis de referência
b_n	- Coeficiente da parte co-seno do n-ési- mo harmônico da série de Fourier
c	- Calor específico ($\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)
C	- Capacidade calorífica volumétrica ($\text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$)
$\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z$	- Derivadas parciais em relação a x, y e z, respectivamente

$\partial T / \partial t$	- Variação local da temperatura ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)
D	- Profundidade de amortecimento (cm)
D_n	- Profundidade de amortecimento do n-ésimo harmônico da série de Fourier (cm)
H_x, H_y, H_z	- Componentes dos fluxos de calor nas direções x, y e z, respectivamente ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
$H(z, t)$	- Fluxo de calor, por unidade de área e tempo ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
K	- Difusividade térmica ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
m	- Número de observações
M_m, M_o, M_w	- Percentagem em peso de material mineral, de matéria orgânica e de água no solo, respectivamente (%)
n	- Número de harmônico da série de Fourier
P	- Período de oscilação da onda de temperatura (s)
\dot{Q}	- Fonte ou sumidouro interno de calor ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
S_a^2	- Percentagem da variância acumulada até o n-ésimo harmônico da série de Fourier (%)
S_n^2	- Percentagem da variância do n-ésimo harmônico da série de Fourier (%)
$t_{\text{máx}}(z_1), t_{\text{máx}}(z_2)$	- Instantes de máxima temperatura nos níveis de referência (h)
\bar{T}	- Temperatura média da superfície do solo ($^{\circ}\text{C}$)

$T(0, t)$	- Temperatura à superfície, no instante t ($^{\circ}\text{C}$)
$T(z, t)$	- Temperatura à profundidade z , no instante t ($^{\circ}\text{C}$)
V_a	- Fração do volume total de poros (V_p) que contém água (cm^3)
V_m, V_o, V_p	- Volume de material mineral, de matéria orgânica e de poros, na amostra de solo, respectivamente (cm^3)
V_T	- Volume total da amostra seca de solo (cm^3)
x, y, z	- Coordenadas cartesianas
W	- Frequência angular de oscilação (rad. s^{-1})
z_1, z_2	- Níveis de profundidade de referência (cm)
λ	- Condutividade térmica do solo ($\text{cal. cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
ρ	- Massa específica do solo (g. cm^{-3})
ρ_m, ρ_o	- Massa específica real, respectivamente, do material mineral e da matéria orgânica na amostra de solo (g. cm^{-3})
ϕ	- Constante de fase da onda de temperatura (rad)
ϕ_n	- Constante de fase do n -ésimo harmônico da série de Fourier (rad)
$\delta x, \delta y, \delta z$	- Dimensões do volume de controle (cm)
∇^2	- Operador Laplaciano ($\partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2 + \partial^2/\partial z^2$)

$\Delta t_{\text{m\acute{a}x}}$

- Defasagem da temperatura m\acute{a}xima nos n\bar{i}veis de refer\^encia (h)

EXTRATO

SANDANIELO, Aquiles. M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1983. *Estudo do ciclo do regime térmico do solo de Viçosa, MG, sob três condições de cobertura*. Professor Orientador: Rubens Leite Vianello. Professores Conselheiros: Gilberto C. Sedyama, Celestino Aspiazu.

Nesta pesquisa, estudou-se o comportamento térmico de um Podizólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico fase terraço, em Viçosa, MG. Foi montado o equipamento indispensável, isto é, confecção e calibração de pares termoeletricos, calibração de placa de fluxo de calor, preparação de milivoltímetros, instalação dos sensores etc. As medidas foram realizadas a intervalos de 1 hora, para o ciclo diário, sob diversificadas condições de tempo meteorológico e para três diferentes coberturas do solo, isto é, solo nu, cobertura vegetal e cobertura morta. Os sensores foram instalados às profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm além da placa de fluxo a 7,5 cm. Paralelamente às observações de temperatura e fluxo de calor, recolheram-se amostras de solo, a diferentes profundidades, com as quais foram determinadas as propriedades físicas e o teor de umidade do solo. A partir das medições, determinaram-se as propriedades

térmicas do solo a diferentes profundidades ou camadas. Dentre tais propriedades destacaram-se as seguintes: amplitude e fase das ondas de temperatura a diferentes profundidades e para os 11 primeiros harmônicos da série de Fourier; marcha diária do fluxo de calor a 7,5 cm; difusividade e condutividade térmicas do solo; profundidade de amortecimento e velocidade de penetração da onda de temperatura no solo. Finalmente, a partir das propriedades físicas e do teor de umidade, foram ainda determinadas a capacidade calorífica e o calor específico do solo. Todos os resultados foram apresentados em forma de gráficos e tabelas, e analisados e comparados com valores pesquisados por outros autores.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades térmicas do solo e o seu conseqüente comportamento, no que se refere aos fluxos de calor e à interação com o ar atmosférico, têm sido objeto de estudos sob dois enfoques principais: a influência sobre os fenômenos de grande escala, tais como as modificações sofridas pelas massas de ar em contato com a superfície, o desenvolvimento dos sistemas frontais etc., preocupação dos meteorologistas em geral; e, os efeitos sobre a ocorrência de geadas, orvalho, partição de energia no sistema solo-atmosfera e de previsão de temperaturas máximas e mínimas (3), para os quais se voltam, basicamente, os micrometeorologistas.

A atmosfera é essencialmente uma "máquina térmica" que se encontra em constante deslocamento devido, principalmente, ao aquecimento diferencial entre as áreas continentais e oceânicas e entre as latitudes altas e baixas. A fonte fundamental dessa energia é a radiação solar, que aquece a atmosfera não pela absorção direta dos raios solares, mas pela transformação na interface superfície-ar, uma vez que a atmosfera é capaz de reter somente uma pequena fração desta radiação. Essa energia, proveniente da superfície, chega à atmosfera na forma de ondas longas, calor sensível e calor latente (3).

A radiação solar, nas componentes direta e difusa, determina a troca de energia na superfície da Terra e a transferência de calor para dentro das camadas inferiores do solo. Essa transferência de calor e as conseqüentes variações de temperatura nas camadas do solo regulam os processos físicos, químicos e biológicos que ali ocorrem; o seu estudo, por conseguinte, é de grande importância na ciência agrícola (21).

Durante as horas de máxima insolação, a superfície do solo atinge temperaturas maiores que as do ar acima do solo, e que as do subsolo. Contudo, essa energia disponível é conduzida para longe da superfície, tanto para o ar quanto para as camadas mais profundas do solo. Assim, o solo atua como um reservatório de calor, absorvendo parte do excesso do ciclo diurno e reemitindo-o à atmosfera durante a noite; esse armazenamento reduz as temperaturas extremas da atmosfera e atua como estabilizador climático (3).

A quantidade de energia calorífica absorvida pela crosta da Terra depende da intensidade e da duração da radiação solar e da refletividade da superfície, enquanto aquela quantidade que penetra no solo é função de suas propriedades térmicas, bem como dos fatores cobertura, orientação e inclinação (3).

Em muitos casos, a temperatura do solo é de maior significado ecológico para a vida vegetal do que a temperatura do ar. Assim, localidades como as áreas polares e as altas montanhas ficariam sem vegetação, se não fosse o fato de a temperatura do solo ser consideravelmente maior que a do ar, especialmente durante o período de insolação (4).

Para os estágios iniciais de crescimento das plantas, tem sido encontrada uma boa correlação com a temperatura do solo, enquanto, nos estágios posteriores, a temperatura do ar, maior que a do solo, parece ser uma quantidade mais apropriada para correlacionar-se com o desenvolvimento das plantas (4). No entanto, freqüentemente, não se dá a devida importância à temperatura do solo, em comparação à temperatura do ar, sendo que a esta última, imputa-se todo o efeito sobre o desenvolvimento das plantas (10).

A temperatura do solo tem particular influência na germinação de sementes, na atividade funcional das raízes, na taxa e duração do crescimento das plantas e na ocorrência e severidade das doenças (4). Um pronunciado efeito sobre a decomposição de componentes orgânicos e minerais do solo e sobre a resultante liberação de elementos nutrientes para as plantas é atribuído à temperatura do solo, tanto por aquecimento quanto por resfriamento ou por congelamento da água do solo (10). Microorganismos, bactérias aeróbicas e anaeróbicas, fungos e algas são particularmente numerosos na camada superficial do solo, onde ocorrem as maiores flutuações de temperatura (22).

O microclima do solo pode ser definido como uma complexa interação de elementos e fatores, que caracterizam o seu estado. Dentre esses elementos destacam-se a temperatura, a umidade, a aeração e a permeabilidade à água; desses, a temperatura e a umidade têm sido os mais estudados. As diferentes condições de cobertura, tais como vegetal, morta e solo nu, entre outros, são fatores predominantes (22).

A temperatura do solo depende primariamente da quantidade de calor que penetra na superfície ou sai dela por unidade de área e tempo; sendo função também da composição, estrutura, conteúdo de ar e da umidade do solo. Essa quantidade de calor é determinada pela densidade de fluxo de calor na superfície e é a mais importante grandeza na estrutura do regime térmico do solo, nos estudos de evapotranspiração e no balanço de calor na superfície (22).

A mudança das condições da superfície e/ou das propriedades físicas do solo influencia o seu microclima. Dentre essas, citam-se as causadas pela irrigação, escarificação, drenagem, cobertura morta, cultivo do solo etc. O desenvolvimento de uma cobertura vegetal sobre uma região outrora sem vegetação induz variações acentuadas nos elementos climáticos, tais como variação diária da temperatura, evapotranspiração, umidade do ar, velocidade do vento etc., conseqüentemente, alterando o microclima local (22).

A presença de uma densa cobertura vegetal altera as características da superfície do solo; as trocas de calor e

de radiação com a atmosfera, nesse caso ocorrem, principalmente, na superfície da cobertura vegetal ou sobre uma pequena camada abaixo desta. No verão, em um solo com uma cobertura vegetal em crescimento ativo, grande percentagem da densidade do fluxo de calor que chega à superfície é usada na evapotranspiração (22).

A transferência de calor às camadas mais profundas do solo, as conseqüentes marchas diárias e a penetração das ondas de temperatura variam com as propriedades térmicas do solo. Dentre essas propriedades estão a condutividade térmica, a capacidade calorífica volumétrica e o calor específico. A condutividade térmica é uma propriedade física intrínseca do solo, que, por meio de interação molecular, descreve a habilidade desse solo em conduzir calor; e é definida como a quantidade de calor que flui por unidade de tempo, através da unidade de área de uma camada de solo de espessura unitária, quando uma diferença unitária de temperatura é mantida entre as duas faces opostas da camada. O calor específico e a capacidade calorífica volumétrica são definidos como as quantidades de calor necessárias para elevar de $14,5^{\circ}\text{C}$ a $15,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente, 1 g e 1 cm^3 de solo (4).

A condutividade térmica e a capacidade calorífica volumétrica são duas propriedades térmicas independentes que entram na descrição quantitativa da transferência de calor, sendo o quociente dessas propriedades a difusividade térmica, um índice da facilidade com a qual o solo sofre mudanças de temperatura quando o calor é conduzido através de camadas adjacentes, e pode ser definida como a mudança, em $^{\circ}\text{C}$, que ocorre em um segundo, quando o gradiente de temperatura muda de 1°C por cm^3 (4).

Segundo McCulloch e Penman, citados por VISWANADHAM e MOHANA RAO (21), a determinação direta dessas propriedades térmicas é extremamente difícil e o tratamento do problema, pela teoria simples do fluxo periódico de calor, em um solo semi-infinito e homogêneo, resulta em grande importância prática, pois os valores da condutividade e da difusividade térmica, obtidos por essa técnica, ajustam-se bem aos demais resultados obtidos por outras técnicas.

Em síntese, a temperatura e o fluxo de calor no solo são elementos de enorme importância na caracterização do microclima do solo. Este, por sua vez, tem notável influência, entre outros, na severidade das doenças, na germinação de sementes e no crescimento das plantas. Por outro lado, diferentes coberturas de solo exercem influência determinante na ocorrência de geadas, no balanço de calor e na evapotranspiração, que também alteram o microclima.

Considerando-se que, para Viçosa, MG, não existem ainda pesquisas relativas ao ciclo diário de temperatura do solo, a diferentes profundidades e nas diversificadas condições de cobertura da superfície, o presente trabalho visou aos objetivos:

a. realizar medições de temperaturas, para o ciclo diário, nas profundidades padrão de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, para condições de solo nu, de cobertura morta e de cobertura vegetal e medições do fluxo de calor no nível de 7,5 cm para condição de solo nu;

b. submeter os dados observados a uma análise harmônica, visando à quantificação da influência dos diversos harmônicos na marcha observada da temperatura;

c. comparar a fase da onda de temperatura observada com a fase do fluxo diário de calor no solo;

d. determinar, gráfica e analiticamente, a difusividade e a condutividade térmica do solo;

e. analisar, por meio de gráficos e tabelas, os resultados alcançados, visando a informar sobre as condições adequadas de cobertura do solo para fins agrícolas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para estudos teóricos sobre o comportamento da onda de temperatura e o do fluxo de calor no solo, torna-se necessário evocar algumas considerações físicas, ou seja, considerar o solo um meio homogêneo e isotrópico, sem fontes e sumidouros de calor. Assim, a análise poderá restringir-se apenas à direção vertical. Nessas condições, e considerando z como sendo a coordenada vertical, a quantidade de calor que flui por unidade de área e tempo na direção z , como consequência da diferença de temperatura é (16):

$$H(z,t) = - \lambda \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} \quad \text{eq. 1}$$

Essa equação é consistente com a Lei de Fick, em que:

$H(z,t)$, o fluxo de calor por unidade de área e tempo ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

z , a profundidade (cm);

$T(z,t)$, a temperatura no tempo t e profundidade z ($^{\circ}\text{C}$);

λ , a condutividade térmica do solo ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

O sinal negativo na equação 1 indica que o fluxo de calor ocorre sempre no sentido contrário do gradiente de

temperatura. Desde que a condutividade térmica e o gradiente de temperatura sejam conhecidos, a equação 1 permite estimar o fluxo de calor através da camada de solo em estudo (16).

A equação 1 é válida para o solo, desde que não haja grande movimento de água e ar através dos poros, como é observado em áreas irrigadas. A condutividade térmica é função da densidade, da composição mineral, do conteúdo de matéria orgânica, da umidade e da temperatura do solo (2).

A equação geral da condução de calor num meio homogêneo e isotrópico é obtida de uma maneira simples, usando-se argumentos similares aos geralmente usados na derivação da equação da continuidade em coordenadas cartesianas (17).

Na Figura 1, considerando o fluxo tridimensional de calor, através de um volume de controle de arestas δx , δy e δz centrado no ponto $P(x, y, z)$, na ausência de fontes ou sumidouros internos de calor, assumindo que a temperatura e o fluxo de calor, no ponto P , sejam funções contínuas em x , y , z , e igualando o ganho líquido de calor, por unidade de área e tempo, por todas as faces do volume, com a taxa de calor, expressa em termos da variação de sua energia interna com o tempo, obtêm-se (17):

$$\frac{\partial}{\partial x} H_x + \frac{\partial}{\partial y} H_y + \frac{\partial}{\partial z} H_z + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \text{eq. 2}$$

em que:

- H_x , H_y e H_z , os componentes fluxos de calor nas direções x , y e z , respectivamente ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{S}^{-1}$);
 ρ , a massa específica do meio (g.cm^{-3});
 $\partial T/\partial t$, a variação local da temperatura ($^{\circ}\text{C}.\text{S}^{-1}$);
 c , o calor específico ($\text{cal.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$).

A princípio, a solução da equação 2, mesmo no caso da presença de fontes ou sumidouros internos de calor, não oferece dificuldades. Entretanto, se as propriedades térmicas do meio dependem da temperatura, a equação 2 torna-se não linear, devendo, nesse caso, ser necessário o uso de métodos numéricos

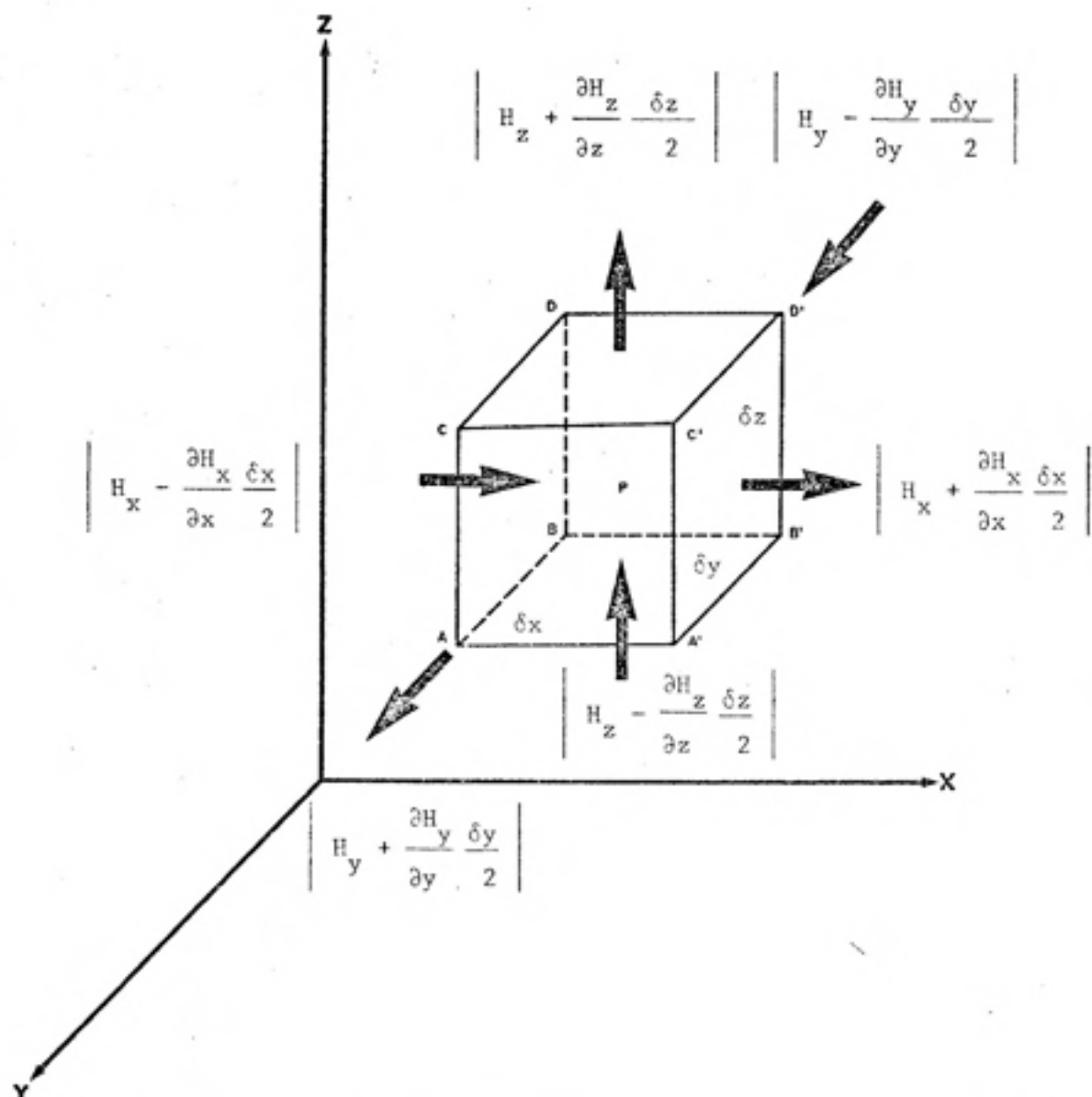


FIGURA 1 - Representação de um Volume de Controle, para a Derivação da Equação Geral da Condução de Calor em um Meio Homogêneo e Isotrópico, HOLTON (8)

de solução. Usando a equação 1, generalizada para três dimensões espaciais, a equação 2 pode ser escrita como segue (11):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \text{eq. 3}$$

Assumindo que a condutividade térmica não varia espacialmente, segue-se que:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = KV^2T \quad \text{eq. 4}$$

em que:

$$K = \frac{\lambda}{\rho c}, \text{ a difusividade térmica (cm}^2 \cdot \text{S}^{-1}\text{)};$$

$$\nabla^2 T = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \text{ o laplaciano da temperatura.}$$

A equação 4 é a Equação de Fourier da Condução de Calor em um meio homogêneo e isotrópico. É uma equação diferencial parcial linear de 1º grau e 2ª ordem, homogênea na variável dependente T, do tipo parabólica e uma das mais importantes da Física-Matemática. No caso de um regime permanente, em que T não varia com o tempo, a distribuição de temperatura deve satisfazer a forma conhecida como "Equação de Laplace":

$$\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad \text{eq. 5}$$

Se, além do regime permanente, o sistema possuir fontes ou sumidouros internos de calor, a equação 4 torna-se a conhecida "Equação de Poisson" (20):

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{Q}}{\lambda} = 0 \quad \text{eq. 6}$$

em que:

\dot{Q} , uma fonte ou sumidouro interno de calor ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{S}^{-1}$).

No estudo da temperatura do solo, é suficiente considerar as variações apenas com a profundidade, z , e com o tempo, t ; assim, a Equação de Fourier da Condução de Calor se reduz a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\lambda}{C} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \text{eq. 7}$$

em que:

$C = \rho c$, a capacidade calorífica volumétrica ($\text{cal.cm}^{-3}.\text{C}^{-1}$).

A equação 7, aplicável ao solo, relaciona o aquecimento ou o resfriamento da coluna de solo com a curvatura do perfil vertical de temperatura na coluna (16).

As marchas diária e anual da radiação solar causam variações na temperatura do solo, distinguindo-se, portanto, dois períodos: o diário, com 24 horas, e o anual, com 1 ano. O procedimento mais satisfatório, para se compararem as temperaturas observadas no solo com a teoria, é aproximar a temperatura observada por uma função seno. Assim, deriva-se o regime de temperatura, assumindo como condição de contorno que, para o ciclo diário, a temperatura da interfase solo-ar, isto é, em $z = 0$, oscila com o tempo, na forma (22).

Condição de contorno 1 (C.C.1):

$$T(0,t) = \bar{T} + A(0) \text{sen}(Wt + \phi)$$

em que:

$T(0,t)$, a temperatura na superfície, no instante t ($^{\circ}\text{C}$);

\bar{T} , a temperatura média da superfície do solo ($^{\circ}\text{C}$);

$A(0)$, a amplitude da onda de temperatura na superfície ($^{\circ}\text{C}$), correspondendo à metade da diferença entre o máximo e o mínimo de temperatura;

W , a frequência angular de oscilação (rad.S^{-1}), sendo

- igual a $2\pi/P$;
- P , o período de oscilação da onda de temperatura (S);
- ϕ , a constante de fase, cujo valor depende do ponto "ZERO" na escala de tempo (rad.).

Na natureza, observa-se que a amplitude da onda de temperatura decresce com a profundidade, de tal forma que, a grandes profundidades, a camada de solo tende a se tornar isotérmica. Isso pode ser representado pela relação a seguir (5).

Condição de contorno 2 (C.C.2):

$\lim_{z \rightarrow \infty} T(z,t)$ igual a um valor finito de temperatura

A solução da equação 7, que satisfaz as duas condições de contorno, é dada por:

$$T(z,t) = \bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \sin(Wt + \phi - z/D) \quad \text{eq. 8}$$

como pode ser visto no Apêndice 1A, sendo:

$D = (2K/W)^{1/2}$, um parâmetro que depende das propriedades térmicas do solo e do período de oscilação da onda de temperatura, sendo denominado profundidade de amortecimento (cm). À profundidade $z = D$, tem-se $A(z) = \frac{1}{e} A(0) \approx 0,37 A(0)$, ou seja, a amplitude em $z = D$ é reduzida a 0,37 do seu valor à superfície.

Considerando a equação 8, e as amplitudes $A(z_1)$ e $A(z_2)$, a duas diferentes profundidades z_1 e z_2 , respectivamente, o quociente dessas amplitudes resulta na "Equação da Amplitude":

$$\frac{A(z_2)}{A(z_1)} = \exp\left(\frac{z_1 - z_2}{D}\right) = \exp\left[(z_1 - z_2)\left(\frac{W}{2K}\right)^{1/2}\right]$$

eq. 9

a equação 9 mostra a atenuação da onda de temperatura. de acordo com a profundidade do solo, desde que as amplitudes $A(z_1)$ e $A(z_2)$ sejam estimadas gráfica ou teoricamente. A solução para K permite, para o ciclo em questão, estimar a difusividade térmica para a camada entre os níveis z_1 e z_2 , sendo essa técnica conhecida como "Método da Amplitude", isto é:

$$K = \frac{W}{2} \left| \frac{z_2 - z_1}{\text{Ln} \left| \frac{A(z_1)}{A(z_2)} \right|} \right|^2 \quad \text{eq. 10}$$

ou, como $W = 2\pi/P$, obtém-se:

$$K = \frac{\pi}{P} \left| \frac{z_2 - z_1}{\text{Ln} \left| \frac{A(z_1)}{A(z_2)} \right|} \right|^2 \quad \text{eq. 11}$$

Partindo da mesma equação, o tempo de máxima temperatura no solo, na profundidade z , ocorrerá quando:

$$\text{sen} (Wt + \phi - z/D) = 1$$

$$\text{Ou, } (Wt + \phi - z/D) = \pi/2 + n\pi \quad \text{para } n = 0, 2, 4, \dots \quad \text{eq. 12}$$

Aplicando a equação 12, para as profundidades z_1 e z_2 , obtém-se a "Equação da Fase":

$$\Delta t_{\text{máx}} = t_{\text{máx}}(z_2) - t_{\text{máx}}(z_1) = (z_2 - z_1) \left| \frac{1}{2WK} \right|^{1/2} \quad \text{eq. 13}$$

em que:

$t_{\text{máx}}(z_1)$ e $t_{\text{máx}}(z_2)$ são os instantes de ocorrência da máxima temperatura nas profundidades z_1 e z_2 , respectivamente, expressas em horas;

$\Delta t_{\text{máx}}$ é a defasagem entre a máxima temperatura nas profundidades z_1 e z_2 .

A equação 13 mostra a defasagem, com o aumento da profundidade, entre os instantes em que a temperatura máxima ocorre. A solução para K , a partir dessa equação, fornece uma relação conhecida como "Método da Fase", que permite estimar a difusividade térmica, para a camada entre os níveis z_1 e z_2 , em função da defasagem entre o máximo de temperatura nesses níveis, ou seja (2):

$$K = \frac{1}{2W} \left| \frac{z_2 - z_1}{\Delta t_{\text{máx}}} \right|^2 \quad \text{eq. 14}$$

ou, como $W = 2\pi/P$ obtém-se:

$$K = \frac{P}{4\pi} \left| \frac{z_2 - z_1}{\Delta t_{\text{máx}}} \right|^2 \quad \text{eq. 15}$$

Substituindo a equação 8 na equação 1, obtém-se:

$$H(z,t) = -\lambda \frac{\partial}{\partial z} \left| T(z,t) \right| = -\lambda \frac{\partial}{\partial z} \left| \bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \right. \\ \left. \text{sen}(Wt + \phi - z/D) \right|$$

e, através de manipulações matemáticas, como se vê no Apêndice 2A, segue:

$$H(z,t) = A(0)C (WK)^{1/2} \exp(-z/D) \text{sen}(Wt + \phi - z/D + \pi/4) \quad \text{eq. 16}$$

Comparando a equação 8 com a equação 16, observa-se que, a uma profundidade z , o fluxo de calor está defasado de $\pi/4$ da onda de temperatura. As observações têm indicado valores muito próximos dos teoricamente esperados, sugerindo-se, desse modo, que o fluxo de calor no solo pode ser descrito pela teoria simples da condução de calor, em que todo o processo pode ser caracterizado por um único valor da condutividade térmica do solo, valor obtido a partir de observações. Desde que, para o ciclo diário, $\pi/4$ corresponde a $1/8$ do período de oscilação, segue-se que o instante de máximo fluxo de calor precede de 3 horas ao instante de máxima temperatura. Para o ciclo anual, tal defasagem corresponde a 1,5 meses (14).

Como se sabe, a onda de temperatura no solo, a diferentes profundidades, é composta pelo somatório de vários harmônicos, que expressam fisicamente, a influência do ciclo diário de radiação solar, e os demais parâmetros meteorológicos. Assim, torna-se necessário expandir a equação 8 de forma tal que se torne possível conhecer, a partir de dados observados, a amplitude e a fase dos harmônicos correspondentes, isto é (2):

$$T(z,t,n) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \exp(-z/D_n) \cos\left(\frac{2\pi}{P}nt - z/D_n\right) + b_n \exp(-z/D_n) \sin\left(\frac{2\pi}{P}nt - z/D_n\right) \right] \quad \text{eq. 17}$$

em que, n identifica o número de harmônicos, e as constantes a_0 , a_n e b_n são os coeficientes de Fourier do curso da temperatura, e são usados para o cálculo da amplitude, A_n , e fase, ϕ_n , de cada harmônico:

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad \text{eq. 18}$$

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{b_n}{a_n}\right) \quad \text{eq. 19}$$

Como se vê, a equação 17 é análoga a:

$$F(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \operatorname{sen} nx) \quad \text{eq. 20}$$

que é a conhecida série de Fourier de senos e co-senos, cujos coeficientes são obtidos por (1):

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) dx, \quad \text{eq. 21}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) \cos(nx) dx, \quad (n \geq 0), \quad \text{eq. 22}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) \operatorname{sen}(nx) dx, \quad (n > 0) \quad \text{eq. 23}$$

Quando os dados disponíveis apresentam distribuição discreta, como é o caso dos dados de temperatura do ar e do solo, observados a intervalos de 1 hora, as equações 21, 22 e 23 devem ser colocadas na forma de somatórios, ou seja (20):

$$a_0 = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \quad \text{eq. 24}$$

$$a_n = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \cos(nWt) \quad \text{eq. 25}$$

$$b_n = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \operatorname{sen}(nWt) \quad \text{eq. 26}$$

em que, m é o número de dados disponíveis.

O número de harmônicos necessários para representar a marcha observada da temperatura do solo e do ar pode ser determinado por meio de análise da variância de cada harmô-

nico e, conseqüentemente, da percentagem da variância acumulada em relação à variância dos dados observados. A variância de cada harmônico é calculada pela expressão:

$$S_n^2 = \frac{A_n^2}{2} \quad \text{eq. 27}$$

em que A_n é a amplitude do harmônico considerado. Finalmente, a variância acumulada é obtida pela soma das variâncias dos harmônicos, isto é (19):

$$S_a^2 = \sum_{n=1}^N S_n^2 \quad \text{eq. 28}$$

em que N é o último harmônico considerado.

Segundo RAO e VIANELLO (15), a relevância dos estudos sobre temperatura e fluxos de calor no solo destaca-se na RECOMENDAÇÃO 7 (CC I-II) da OMM, sob o título "MEDIDAS DAS TEMPERATURAS DA TERRA" (EARTH TEMPERATURE MEASUREMENTS), de cujo conteúdo, extrai-se o seguinte:

"A Comissão de Climatologia, tendo em vista a Resolução 51 e a Resolução 2; e considerando, (1) que as medidas de temperatura da Terra, umidade de solo, ... e o fluxo de calor no solo são de grande importância para os fins climatológicos assim como os de agricultura;

(2) ...;

(3) ...

RECOMENDA,

(1) que os membros (países) providenciem para:

(a) ...

(b) que se façam estudos das medidas de radiação, de temperatura da superfície da Terra e de fluxos de calor no solo".

De fato, inúmeras pesquisas têm sido conduzidas ultimamente.

PEARCE e GOLD (14), para Ottawa, Canadá, em observações de temperatura do solo a 05, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 90 cm e fluxo de calor a 10 cm de profundidade, ciclo anual, 1958, encontraram uma boa concordância para a difusividade térmica das camadas do solo, calculada pela amplitude e fase do primeiro harmônico; também a componente anual da taxa de escoamento de calor, à mesma profundidade, achava-se defasada de 45,8 graus em relação à componente anual da temperatura o que é bem próximo, portanto, do que é esperado pela teoria. Nas camadas superficiais do solo, essa teoria de condução de calor não produziu uma descrição satisfatória do comportamento térmico do solo, interpretando-se isso devido ao aumento da condutividade térmica e ao fato de que, em Ottawa, essas camadas de solo estão congeladas em boa parte do ano.

CARSON (2), com observações de temperatura do ar a 170 cm de altura e de temperaturas do solo às profundidades de 01, 10, 20, 50, 100, 305 e 884 cm, no período de 1953 a 1955, por meio de análise em série de Fourier encontrou, para Argonne, EUA:

a. Os coeficientes da série dão uma estimativa da variação, tanto da amplitude quanto da fase e da difusividade térmica com a profundidade, nos ciclos anual e diário, exceto na camada 01-10 cm, provavelmente devido a outros processos de transferência de calor, como o movimento de água no solo e o ciclo congelamento-descongelamento, que mascaram a transferência de calor sensível nessa camada;

b. a onda diária de temperatura do solo, em contraste com a onda anual, não é representável por um único harmônico.

Pesquisas semelhantes foram desenvolvidas na Europa por inúmeros pesquisadores, como Hömen, Bartels, Hausmann, Dirmhirn, Albrecht, Schmidt, Batta, Katic e McCulloch, citados por GEIGER (7).

No Brasil, em particular, os estudos sobre o comportamento térmico do solo têm-se ampliado, ultimamente, podendo-se destacar algumas pesquisas.

VISWANADHAM e MOHANA RAO (21), com dados diários de temperatura do solo nas profundidades de 02, 05 e 10 cm, para Arapongas, PR, em julho de 1963, e nas profundidades de 02, 10 e 15 cm, para São José dos Campos, SP, em setembro de 1971, verificaram que a difusividade térmica, estimada pelos métodos da amplitude e da fase, está em boa concordância com os valores encontrados por diversos autores que usaram outras técnicas. O aumento da difusividade térmica, com a profundidade, foi interpretado como devido ao aumento da umidade do solo.

VIANELLO *et alii* (19) em Jaboticabal, SP, com quatro leituras diárias de temperatura do solo, no período de 1972 a 1976, nas profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm e diversificadas condições de coberturas, analisaram os diferentes papéis de tais coberturas, verificando que, para o ciclo anual, os valores da difusividade térmica, calculados pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico da série de Fourier, ajustam-se bem aos obtidos por outros autores, exceto nos níveis mais profundos, onde as pequenas variações de temperatura parecem susceptíveis a erros residuais que podem gerar grandes desvios na difusividade térmica.

DECICO e SANTOS (8), em Piracicaba, SP, sob diversas condições de coberturas, várias leituras diárias de temperatura do solo a 01, 03, 09, 27 e 50 cm e de fluxos de calor a 03, 09 e 27 cm de profundidade, para dias de céu descoberto, ciclo diário, 1973, fizeram observações e comparações entre os valores de temperaturas e de fluxos de calor no solo medidos e estimados pela teoria. Nas camadas superficiais do solo, ao contrário das mais profundas, não se observou boa concordância entre os valores medidos e os observados, o que foi interpretado como devido a uma intensa atuação de fenômenos da superfície, tais como vento e evaporação.

Especificamente para Viçosa, MG, VIANELLO *et alii* (20), baseando-se em três leituras diárias de temperatura do solo, nas profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm e de temperatura do ar, no interior do abrigo meteorológico, ciclo anual, 1971, encontraram perfis em boa concordância com os

observados em outras regiões. A difusividade térmica, estimada pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico, nas várias camadas do solo, apresentou valores compatíveis com a literatura, para solo sílico-argiloso, que se identifica com o solo da região.

OLIVEIRA *et alii* (12), baseando-se em uma função estímulo, ajustaram um modelo para três leituras diárias de temperatura do solo e radiação solar diária, para Viçosa, compreendendo o período de 1971 a 1976. Os resultados, comparados aos registros em 1977, não foram satisfatórios.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material, a metodologia e todos os procedimentos utilizados no decorrer desta pesquisa serão descritos em sub-itens, como se segue:

3.1. Escolha da Área

Esta pesquisa foi desenvolvida em um solo Podizólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico fase terraço em Viçosa, MG, coordenadas geográficas: Latitude $20^{\circ}45'S$, Longitude $42^{\circ}51'W$ e Altitude de 651 m, na Estação de Estudos Lisimétricos e Evaporimétricos, em área do Departamento de Engenharia Agrícola, no local denominado Fundação (Campus Universitário), área considerada como representativa para fins agronômicos na Zona da Mata Mineira.

3.2. Etapas do Experimento

Foram as seguintes as etapas experimentais: preparação de sensores, calibração, instalação e coleta de dados. Esta última foi realizada em três oportunidades:

- I - período de 07 horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, com céu limpo durante o dia e tornando-se semi-encoberto

durante a noite;

- II - período de 07 horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, com céu semi-encoberto nos períodos diurno e noturno;
- III - período de 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83, com céu praticamente encoberto pela manhã, tornando-se limpo à tarde e à noite.

3.3. Perfis Observados de Temperaturas do Solo

As leituras horárias de temperatura do solo, em períodos de 24 horas, foram coletadas em três diferentes condições de cobertura. A primeira em uma área de 4m^2 , coberta com grama batatais (*Paspalum notatum* L.), plantada em novembro de 1982, com um dossel a uma altura de aproximadamente 15 cm. A segunda, em uma área de 4m^2 , coberta com restos da mesma espécie de grama, depositados no local em dezembro de 1982 e cuja camada alcançava uma espessura de aproximadamente 07 cm; e finalmente a terceira com a mesma área, em solo nu, isto é, sem nenhuma cobertura vegetal.

Durante todo o experimento, a vizinhança das áreas escolhidas permaneceu com baixa cobertura, eliminando-se assim, os efeitos de bordadura. As três áreas, dispostas em linha reta, com solo nu ao centro e as demais distanciadas em 6 m entre si, situam-se em um local usado anteriormente como pastagem.

As temperaturas do solo, nas profundidades de 02,05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, consideradas como padrão pela Organização Meteorológica Mundial - OMM, foram obtidas por meio de pares termoeletrônicos de cobre-constantan, 24 AWG, instalados em dezembro de 1982, cujas junções foram preparadas utilizando-se de um arco voltaico e testadas em laboratório mediante o uso de temperaturas controladas.

Os conjuntos de termopares foram inseridos em conduites de borracha de $3/4''$, de aproximadamente 6 m de extensão, e superficialmente conduzidos ao abrigo meteorológico, situado a 1,5 m de altura. Nesse abrigo, os sensores foram ligados a uma chave giratória de 24 canais, e esta a um microvoltímetro HR-33T da Wescor, Inc-EUA, que, depois de

calibrado, foi utilizado com a saída em graus Celsius.

3.4. Fluxo de Calor no Solo

As observações horárias do fluxo de calor no solo foram realizadas mediante o uso de uma placa de fluxo de calor, construída por ASPIAZU*, segundo o modelo utilizado por TANNER (18). Tal placa compõe-se de ligações em série de pares termelétricos cobre-constantan e foi instalada no campo, juntamente com os sensores de temperatura, em condição de solo nu. Para instalação, optou-se pela profundidade de 7,5 cm, por ser, comumente, a mais utilizada no plantio das sementes das principais culturas exploradas economicamente no país.

A placa de fluxo de calor, de dimensões 2,5 x 5,5 cm e 0,5 cm de espessura, foi testada em área de pesquisa de campo da Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz-Universidade de São Paulo, ESALQ-USP, em Piracicaba, SP, por deferência especial do Prof. A. Decico, do Departamento de Física e Meteorologia (DFM) da referida instituição. O procedimento seguido nesse teste foi a instalação, a 1 cm de profundidade, dessa placa e de outras duas pertencentes ao DFM, cujas constantes de calibração são confiáveis, e, por meio de um milivoltímetro Moseley 680 M Scrip Chart Recorder foram obtidos, simultânea e instantaneamente, os registros de tensões associadas ao aquecimento diferencial nas duas superfícies da placa. Tal procedimento desenvolveu-se durante o período de máxima intensidade de radiação solar incidente à superfície.

A partir dos dados registrados, foi obtida uma regressão linear para a placa testada, isto é:

$$H(\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}) = 0,06959 V(\text{mV}) + 0,00072 \quad \text{eq. 29}$$

com correlação igual a 95,8%. Finalmente, valendo-se de um

* C. ASPIAZU, Departamento de Engenharia Florestal, UFV (comunicação pessoal).

milivoltímetro MFK-2 4345/1974, pertencente ao Departamento de Física da UFV e instalado no abrigo meteorológico, a 1,5 m de altura, distante 6 m do local de instalação da placa, obtiveram-se, para condição de solo nu, os fluxos horários de calor no solo a 7,5 cm de profundidade.

3.5. Registros de Temperatura e de Umidade do Ar

Nos períodos do experimento, foram realizadas leituras horárias de temperatura e umidade do ar, mediante o uso, respectivamente, de um termômetro de máxima e mínima e de um termo-higrógrafo, instalados em um abrigo meteorológico, a 1,5 m de altura, segundo recomendações da OMM.

3.6. Análises Físicas do Solo

Foram coletadas amostras, sob solo nu, nas camadas 02-05, 10-20, 20-30 e 40-50 cm, sempre às 09:00 horas, nos três períodos do experimento. A umidade (cm^3 de $\text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ de solo), nessas camadas de solo, foi determinada pelo clássico método padrão de estufa.

A densidade aparente (g/cm^3) e a densidade real (g/cm^3) do solo, e da camada 04-11 cm foram determinadas, respectivamente, pelo Método Padrão de Estufa, a partir de amostras coletadas com um cilindro de ULAND, e pelo Método do Balão Volumétrico no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos da UFV. As amostras foram coletadas dia 03/06/83, em três pontos do experimento, que se situavam a 0,5 m das três baterias de pares termoelétricos. A porosidade (% de volume), que é o espaço vazio no solo ocupável pela água, foi determinada, nos três pontos, por meio da relação:

$$\text{Porosidade} = \left(1 - \frac{\text{Dens. Aparente}}{\text{Dens. Real}}\right) \times 100\% \quad \text{eq. 30}$$

A análise textural do solo foi feita no mesmo laboratório, a partir de amostra, após a oxidação da matéria

orgânica coletada na camada 0-20 cm de profundidade.

3.7. Determinação de Parâmetros Derivados

Os dados de temperatura observados a 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm de profundidade, e sob condições de solo nu, de cobertura morta e de cobertura vegetal, foram submetidos a uma análise de Fourier. Para isso, fez-se uso da equação 17, ou seja:

$$T(z,t,n) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{11} \left[a_n \exp(-z/D_n) \cos\left(\frac{2\pi}{P} nt - \frac{z}{D_n}\right) + b_n \exp(-z/D_n) \sin\left(\frac{2\pi}{P} nt - \frac{z}{D_n}\right) \right]$$

Dessa análise, foram obtidos os coeficientes da série, a partir dos quais a amplitude e a fase da onda de temperatura foram calculadas, para os harmônicos da série, respectivamente, representadas pelas equações 18 e 19, isto é:

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

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

Para cada harmônico, foi determinada sua variância, usando-se para isso, a equação 27, ou seja:

$$S_n^2 = \frac{A_n^2}{2}$$

A variância acumulada foi obtida pela soma das variâncias dos harmônicos, que é representada pela equação 28, isto é:

$$S_a^2 = \sum_{n=1}^N S_n^2$$

A partir da amplitude e da fase do primeiro harmônico, foi estimada a difusividade térmica (K) nas várias camadas e nas diversificadas condições de cobertura do solo, valendo-se para isso, respectivamente, das equações 10 e 14, ou seja:

$$K = \frac{W}{2} \left| \frac{z_2 - z_1}{\text{Ln} \left| \frac{A(z_1)}{A(z_2)} \right|} \right|^2$$

$$K = \frac{1}{2W} \left| \frac{z_2 - z_1}{\Delta t_{\text{máx}}} \right|^2$$

A partir da difusividade térmica, média das camadas do solo, estimadas pelas equações 10 e 14, foi calculada a profundidade de amortecimento (D) para o ciclo diário, utilizando-se, para isso, da expressão:

$$D = \left(\frac{2K}{W} \right)^{1/2}$$

De forma idêntica à onda de temperatura, foram determinadas a amplitude e a fase e, por conseguinte, a variância de cada harmônico e a variância acumulada da onda de calor, sob condições de solo nu a 7,5 cm de profundidade, a partir dos dados medidos através da placa de fluxo de calor no solo.

A comparação entre as fases da onda de temperatura e da onda de calor tornou possível conhecer a defasagem entre os instantes de máxima chegada de calor e a resposta do solo, representada pela ocorrência da máxima temperatura registrada no mesmo nível. Tal procedimento permitiu comparar a defasagem observada com aquela prevista pela teoria

clássica, a partir da análise comparativa, respectivamente, das equações 8 e 16:

$$T(z,t) = \bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \sin(Wt + \phi - z/D)$$

$$H(z,t) = A(0)C(WK)^{1/2} \exp(-z/D) \sin(Wt + \phi - z/D + \pi/4)$$

A condutividade térmica foi estimada a partir dos dados observados de temperatura, a 05 e 10 cm, e do fluxo de calor, a 7,5 cm de profundidade, ambos sob condição de solo nu. Em tal procedimento, usou-se a equação 1, ou seja:

$$H(z,t) = -\lambda \frac{\partial T(z,t)}{\partial z}$$

Conhecidas a difusividade e a condutividade térmicas do solo, tornou-se possível estimar a capacidade calorífica volumétrica, por meio da relação:

$$C = \frac{\lambda}{K} \quad \text{eq. 31}$$

3.8. Estimativa da Capacidade Calorífica por Meio das Características do Solo

Devido à complexidade e à distribuição quantitativa dos elementos que compõem o solo, a capacidade do solo foi considerada como a soma da capacidade calorífica das frações mineral, orgânica e água. Após inúmeras determinações já realizadas, admite-se, para a capacidade calorífica volumétrica do material mineral, o valor de $0,46 \text{ cal.cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, para a matéria orgânica $0,6 \text{ cal.cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ e para a água $1,0 \text{ cal.cm}^{-3} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ (13). A capacidade calorífica volumétrica é, então, dada por:

$$C = 0,46 \frac{V_m}{V_T} + 0,60 \frac{V_o}{V_T} + \frac{V_a}{V_T} \quad \text{eq. 32}$$

em que:

$V_T = V_m + V_o + V_p$, volume total da amostra seca de solo (cm^3);

V_m , V_o e V_p , volume de material mineral, de matéria orgânica e de poros, na amostra de solo, respectivamente (cm^3);

V_a , fração do volume total de poros (V_p) que contém água (cm^3).

$$\text{Ou: } C = 0,46 \frac{M_m}{\rho_m V_T} + 0,60 \frac{M_o}{\rho_o V_T} + \frac{M_w}{V_T} \quad \text{eq. 33}$$

em que:

ρ_m e ρ_o , massa específica real, respectivamente, do material mineral e da matéria orgânica na amostra de solo (g/cm^3);

M_m , M_o e M_w , massas (g) de material mineral, de matéria orgânica e de água, respectivamente, contidas na amostra de solo.

O valor de ρ_m foi determinado, pelo método do Balão Volumétrico, como descrito no item 3.6, e ρ_o foi assumido como $1,3 \text{ g}/\text{cm}^3$, o que é um valor bastante representativo, e usado comumente com bons resultados (13). As percentagens, em peso, de material mineral e de matéria orgânica, média da camada, 0-20 cm de profundidade, foram determinadas pelo Método Walkley-Black, no Laboratório de Gênese e Morfologia do Solo, do Departamento de Solos da UFV.

A capacidade calorífica, assim estimada, foi comparada àquela calculada por meio da equação 31. Identicamente, a condutividade térmica foi comparada, para fins de verificação da aplicabilidade dos métodos.

Todos os resultados, observados e estimados, foram analisados mediante o uso de Tabelas e Figuras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa foi conduzida na Estação de Estudos Li simétricos e Evaporimétricos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Adotou-se, como meta, a execução das obser vações sob diversificadas condições de tempo meteorológico e de cobertura da superfície.

As análises texturais do solo foram feitas, mediante coleta de amostra até a profundidade de 20 cm, por se tratar da camada de maior relevância para fins agrícolas. Os resultados de tais análises podem ser vistos no Quadro 1. Co mo se vê, o solo estudado, cuja textura é argila pesada, des taca-se pelo alto teor de argila, com 77%.

A umidade, expressa em percentagem em volume, nas di ferentes camadas e nos diversos períodos de estudo, é vista no Quadro 2. De modo geral, embora os valores sejam relativamente elevados, nota-se que o período III destaca-se em relação aos demais. Todas as fases de observação foram precedidas de pelo menos um dia sem ocorrência de precipitações pluviais. Entretanto, claramente se observa que tais fases experimentais foram influenciadas por diferentes intensidades pluviais precedentes. As demais propriedades pes quisadas, tais como densidade real, densidade aparente e po rosidade serão discutidas juntamente com as propriedades térmicas do solo.

QUADRO 1 - Análise Textural do Solo de Viçosa, MG, Camada entre 0 e 20 cm de Profundidade

Profun- didade (cm)	Granulometria (% em peso)			Matéria Orgânica (% em peso)	Material Mineral (% em peso)
	Argila	Silte	Areia		
0-20	77	18	5	3	97

QUADRO 2 - Umidade (% em Volume) das Amostras Coletadas às 09 Horas, para Diferentes Camadas de Solo Nu, em Viçosa, MG, nos Períodos:

- I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83
 II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83
 III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83

Camada entre Profundidades (cm) de	Umidade		
	I	II	III
02 - 05	42,3	46,0	52,1
10 - 20	46,9	55,9	65,6
20 - 30	55,9	61,9	64,9
40 - 50	52,1	56,6	69,6

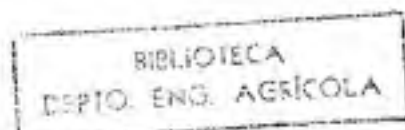
Para maior facilidade de interpretação e visualização, todos os dados observados foram organizados em forma de gráficos e perfis. Quanto aos dados, em sua totalidade, optou-se por apresentá-los no Apêndice B.

4.1. *Marcha Diária da Temperatura do Solo para Diferentes Profundidades e Coberturas*

A Figura 2, referente ao período I, mostra a marcha diária da temperatura, para diferentes profundidades, sob solo nu. O acentuado decréscimo da amplitude das ondas de temperatura, com a profundidade, expressam a ineficiência do solo em conduzir calor. Como se vê, a partir de 30 cm de profundidade, praticamente, não se observa variação diária da temperatura, especialmente nos níveis mais profundos, como a 1 m em particular. Os destacáveis valores, durante o período diurno, representam a pronta resposta das camadas superficiais do solo à incidência da radiação solar, período em que o solo atua como um reservatório de calor. Em contraposição, no período noturno, a interação do solo com o ar atmosférico, mais frio, induz um processo de transferência de energia do solo para a atmosfera, resultando num maior resfriamento das camadas superficiais, justificando, assim, a inversão dos gradientes térmicos.

A Figura 3 distingue-se da Figura 2 essencialmente no período diurno, em que a menor amplitude observada reflete a presença de nebulosidade. Em ambas as situações, o fator nebulosidade atuou praticamente igual no período noturno. Destaca-se ainda o fato de que a influência da cobertura de nuvens se restringe apenas aos níveis superficiais.

Identicamente às Figuras 2 e 3, a Figura 4 refere-se também ao solo nu. Entretanto, nesse período, observou-se uma situação peculiar no que tange à nebulosidade, ou seja, cobertura mais intensa predominou durante o dia, contrastando-se com céu claro à noite. Essa situação refletiu nas menores amplitudes diurnas e no maior resfriamento noturno. Como se destaca, a temperatura a 2 cm chegou a 16,6°C sob condições de céu claro, enquanto nos períodos anteriores, sob



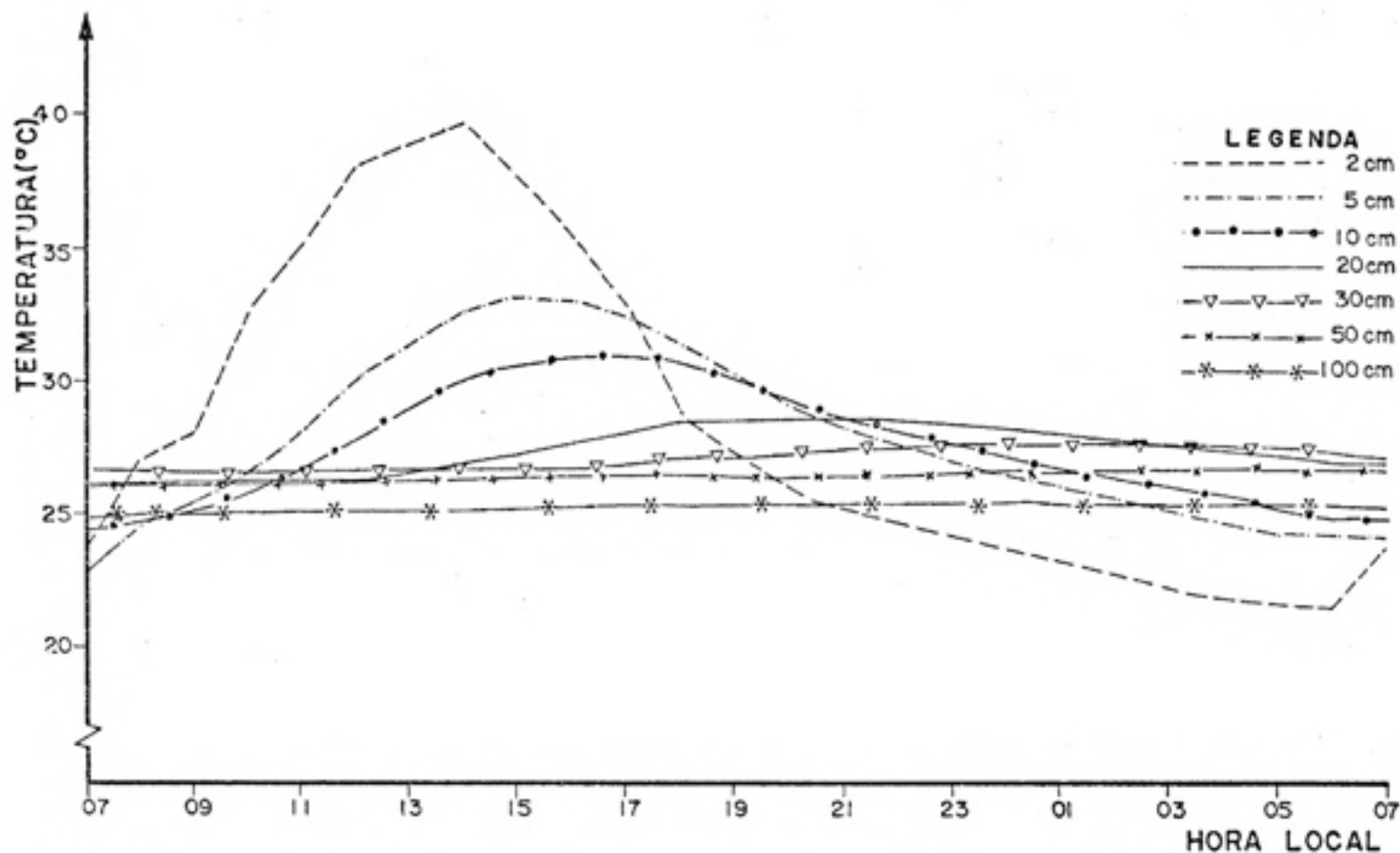


FIGURA 2 - Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

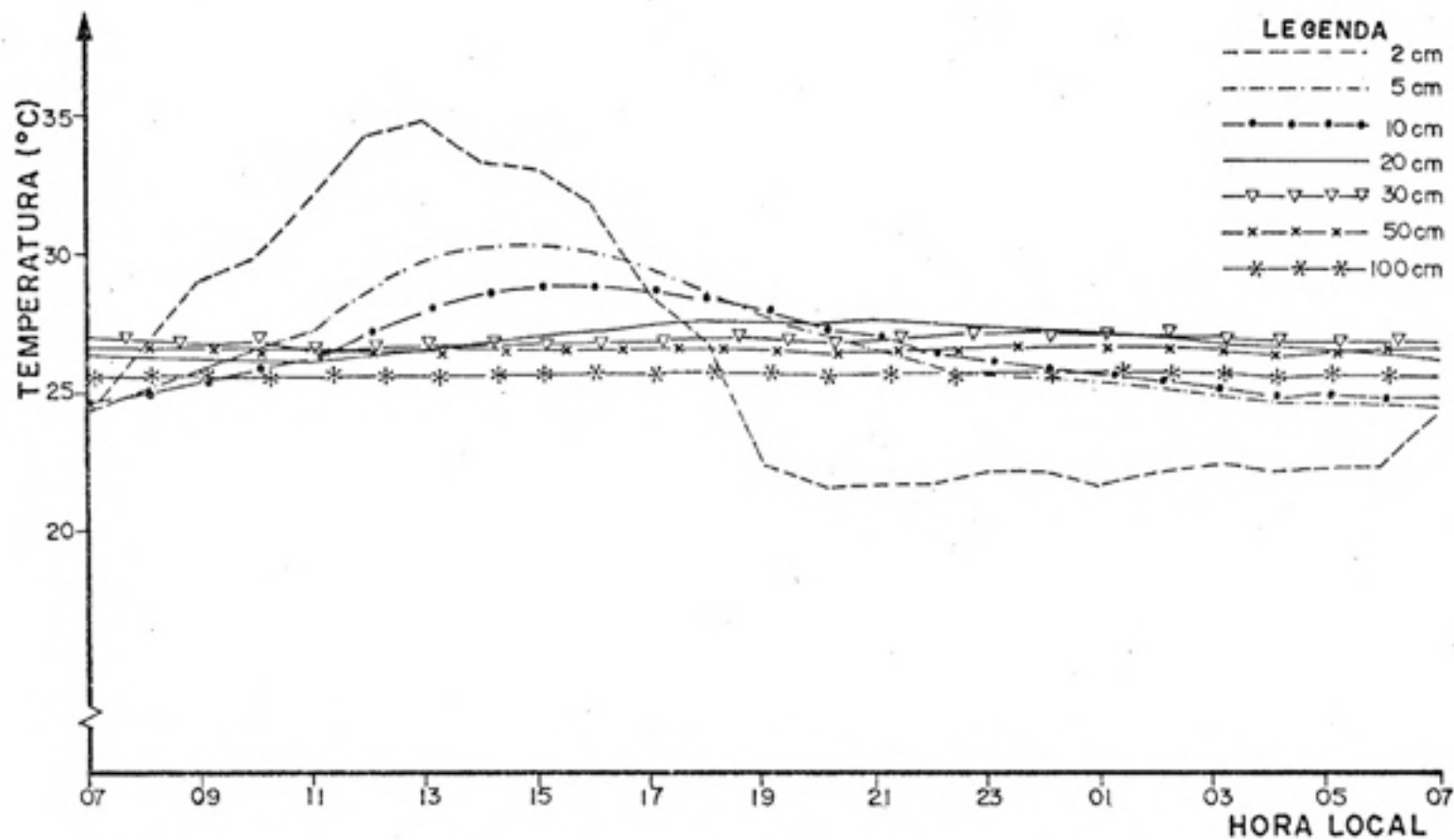


FIGURA 3 - Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, em Viçosa, MG

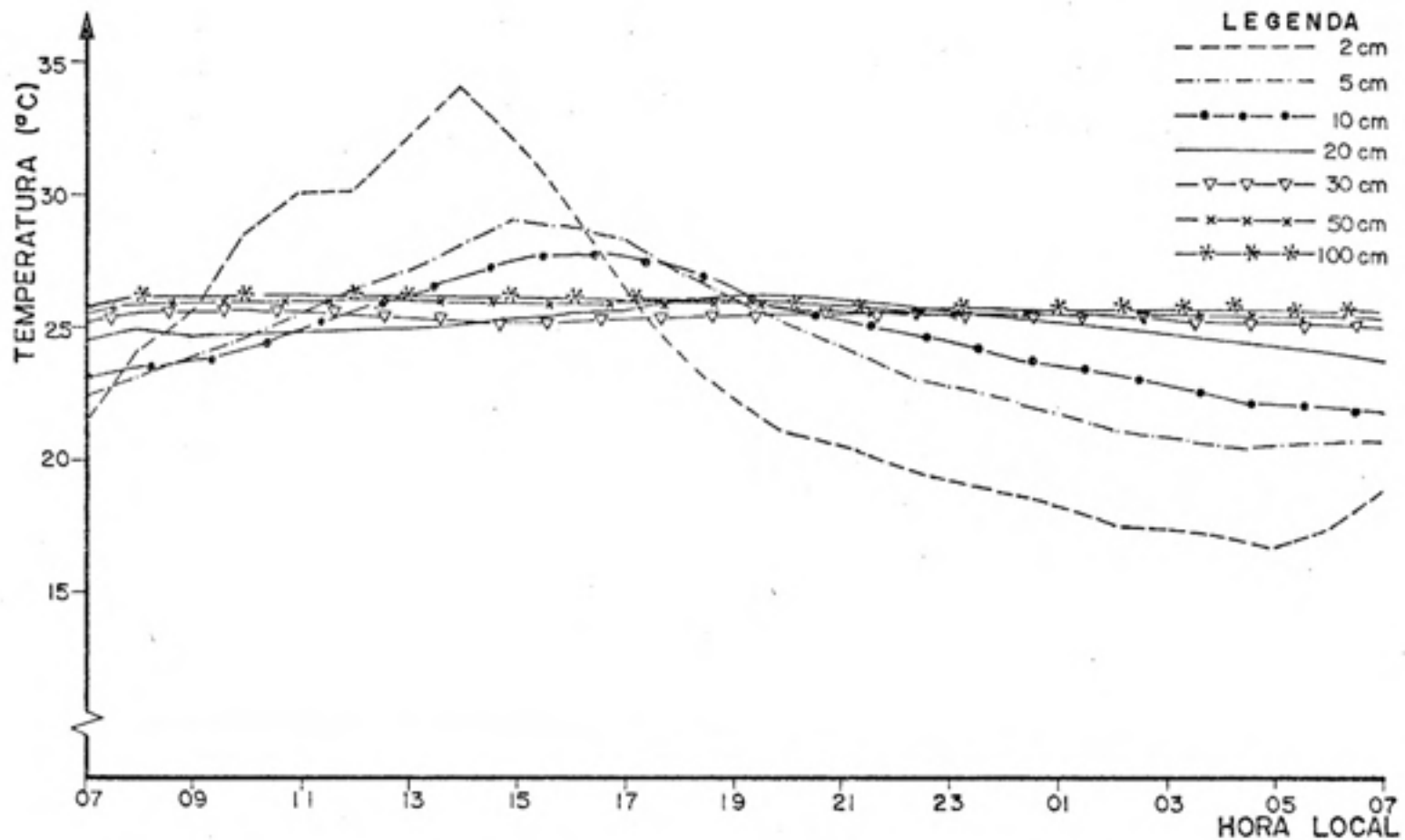


FIGURA 4 - Marcha Diária da Temperatura, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83, em Viçosa, MG

condições de nebulosidade, atingiu valores em torno de 22°C.

As Figuras 5 e 6 referem-se ao mesmo período representado na Figura 2. Conseqüentemente, foram obtidas sob as mesmas condições atmosféricas, porém, sob diversificadas condições de cobertura do solo. Como se vê, a influência da cobertura é notável. Sob cobertura vegetal, em grama batatais, (*Paspalum notatum*, L.) as temperaturas observadas situam-se entre 27,1°C e 23,0°C; sob cobertura morta, entre 28,6°C e 24,7°C e, sob condição de solo nu, entre 39,6°C e 21,3°C. Para os demais dias observados, sistematicamente, as temperaturas apresentam-se mais elevadas sob condições de cobertura morta, em relação à cobertura vegetal, tanto no período diurno quanto noturno. Entretanto, a amplitude diária é praticamente a mesma, em ambas as coberturas. Isso evidencia a maior eficiência da cobertura vegetal na proteção diurna do solo contra temperaturas extremas, enquanto à noite esta equipara-se à cobertura morta. Possivelmente, o processo de maior transpiração vegetal diurna desempenhe papel de destaque no sistema, consumindo parte da energia envolvida, principalmente, porque a grama existente durante o experimento achava-se a uma altura em torno de 15 cm, enquanto a compacta camada de cobertura morta situava-se a aproximadamente 7 cm de espessura. Outro fator importante no aquecimento diurno, pode ser a menor condutividade térmica da cobertura morta. Esse fato é observado ao se comparar a temperatura máxima diária à superfície irradiante, em que os valores mais elevados foram observados em contato com a cobertura morta e os menos elevados, na relva natural. Nota-se também, sob cobertura morta, uma inversão do gradiente, entre os níveis de 02 e 05 cm, por volta das 15 horas, antecipando-se sobremodo em relação ao solo nu e à cobertura natural. Provavelmente, a diminuição da energia solar incidente, combinada com efeitos advectivos, induzem a um maior resfriamento do nível de 02 cm, enquanto a umidade acentuada no nível de 05 cm assegure-lhe uma retenção de calor mais prolongada.

Na Figura 7, os perfis verticais de temperatura foram plotados para solo nu. Pode-se observar que esses perfis movimentam-se entre dois extremos, o das 14 e o das 05 horas,

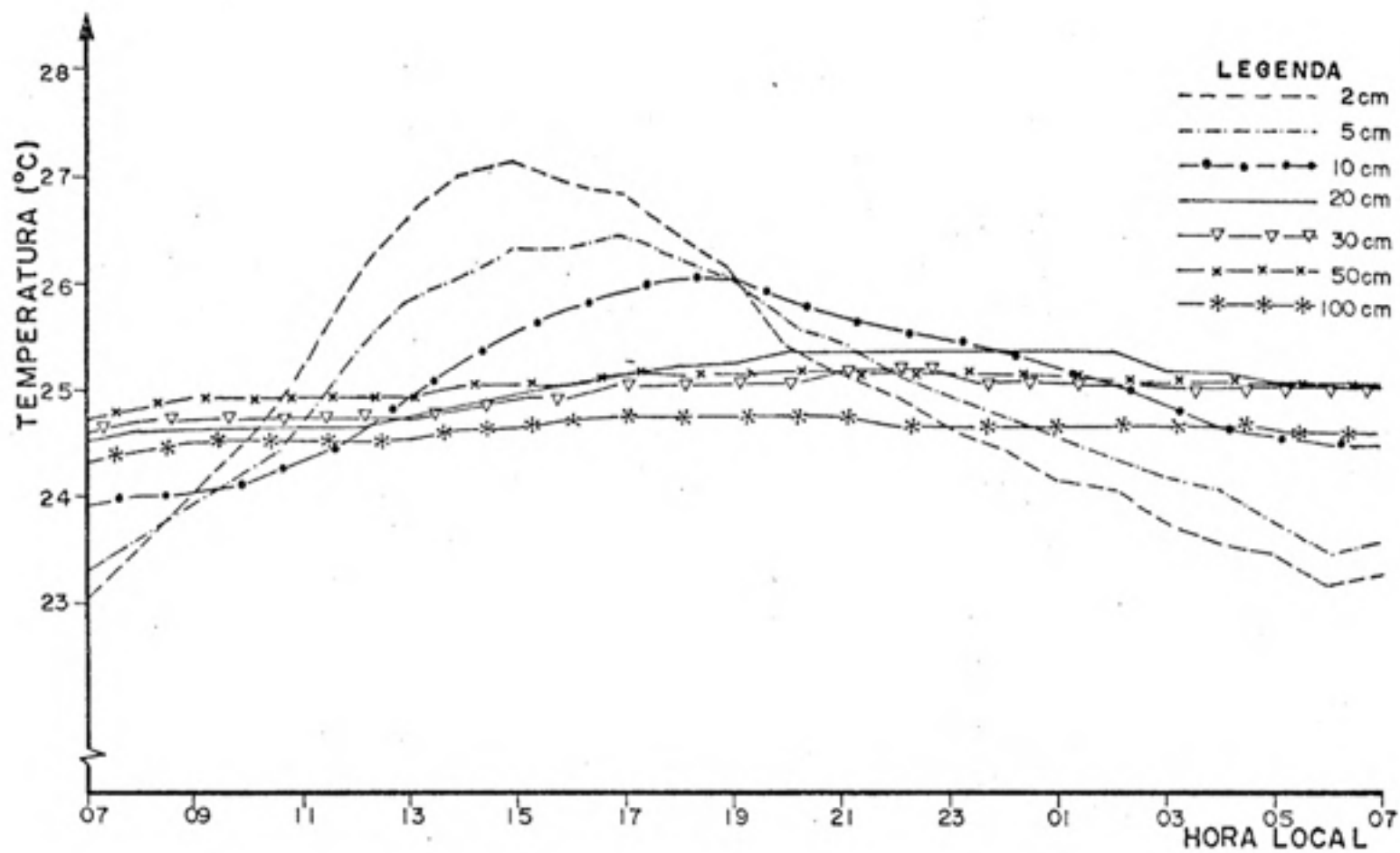


FIGURA 5 - Marcha Diária da Temperatura, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

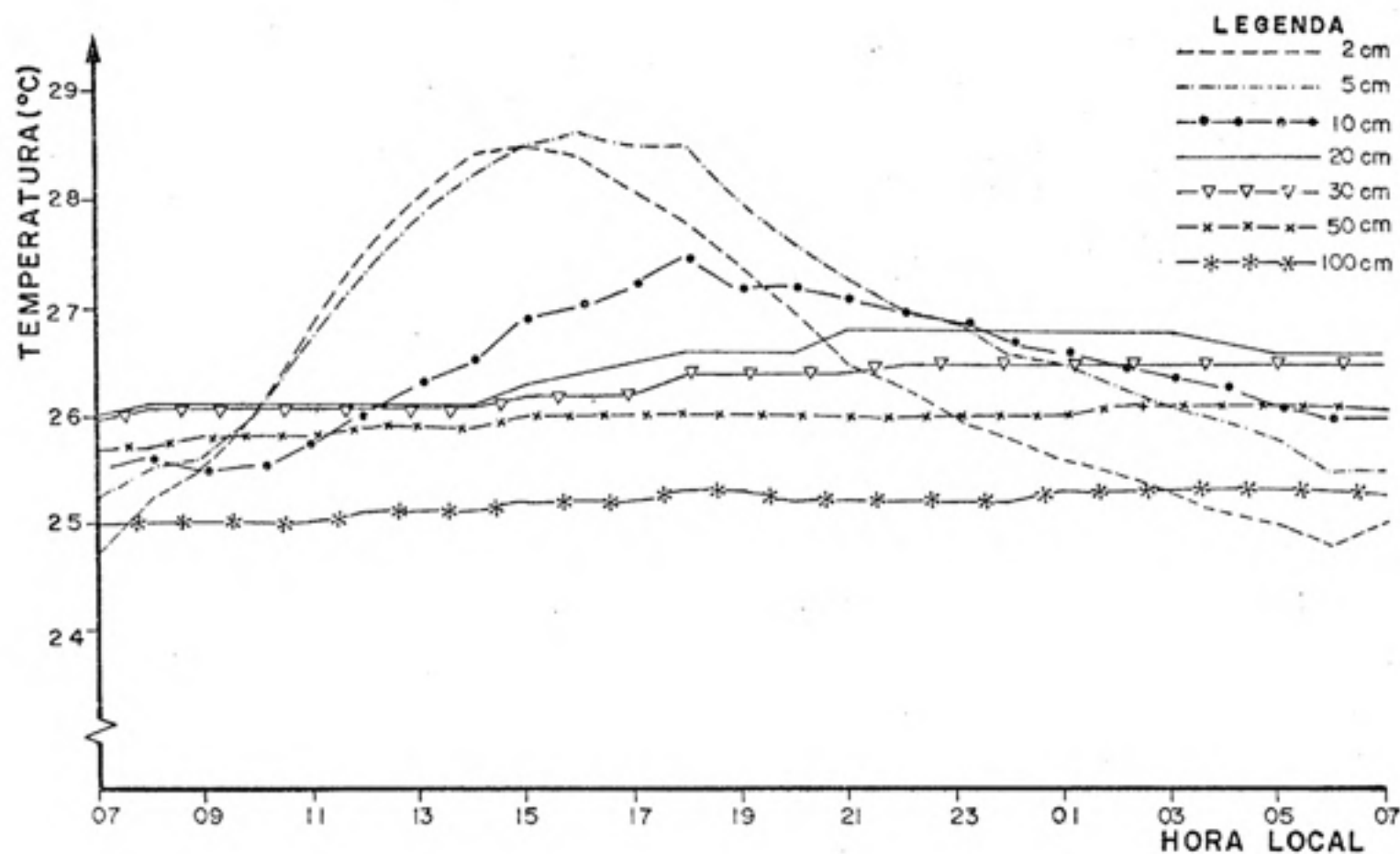


FIGURA 6 - Marcha Diária da Temperatura, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

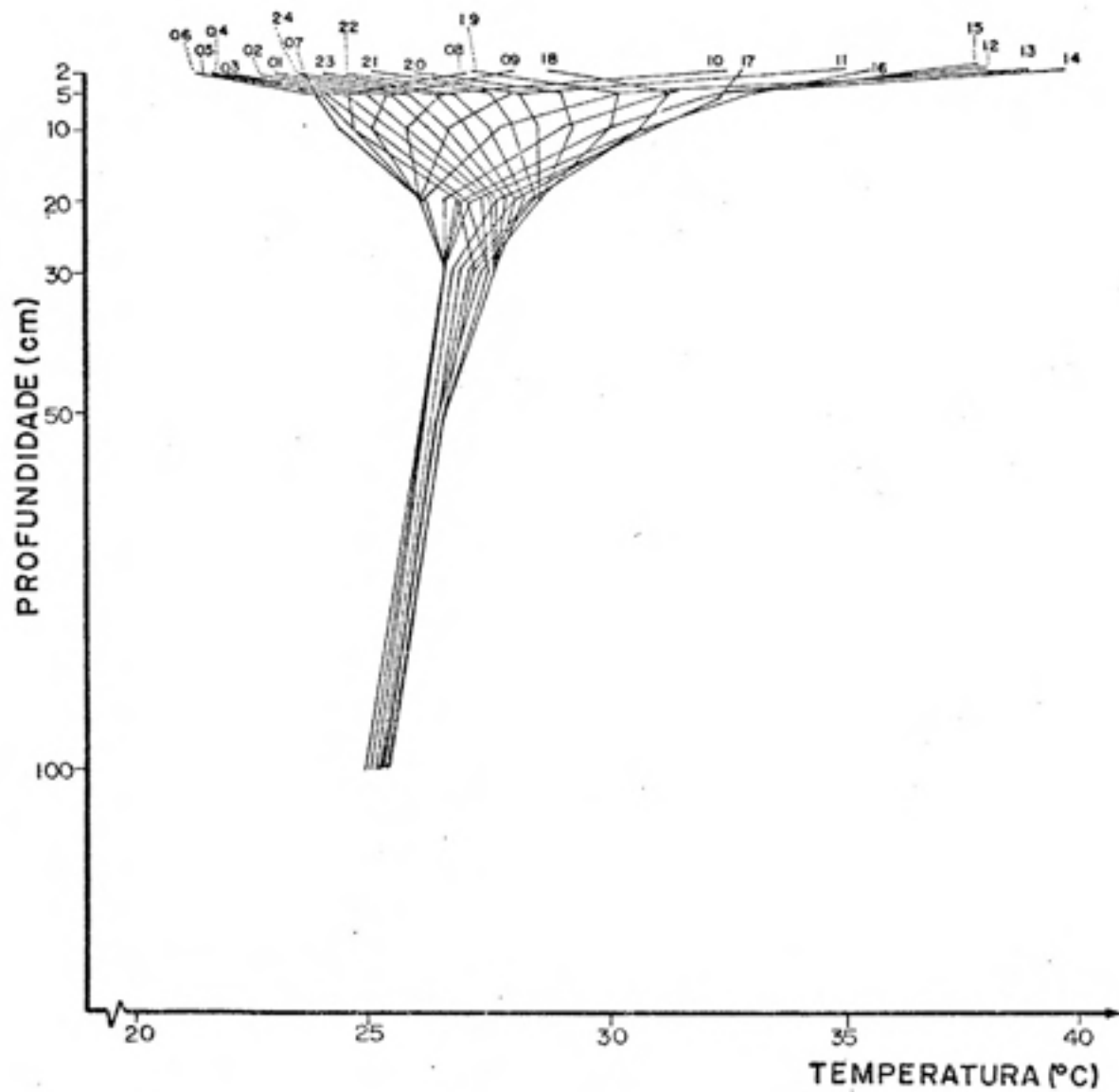


FIGURA 7 - Perfis Verticais de Temperaturas, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

caracterizados respectivamente, por acentuados balanços de radiação positiva e negativa. Assim, às 14 horas, a temperatura máxima, verificada a 2 cm, diminui a princípio, rapidamente, até o nível de 30 cm e depois suavemente com a profundidade. O oposto ocorre às 05 horas, com o mínimo de temperatura, a 2 cm, aumentando até o nível de 30 cm, para decair lentamente com a profundidade. Durante todo o restante do período, os perfis situam-se entre esses dois limites. Às 09 e 20 horas, esses perfis encontram-se em posição intermediária, com o fluxo de calor, a diferentes profundidades, movendo-se em sentidos opostos. Às 20 horas a máxima temperatura é observada a 10 cm. Abaixo desse nível, as temperaturas máximas avançam com a profundidade, de tal modo, que as perdas superficiais, para a atmosfera são compensadas pelos fluxos verticais das camadas inferiores e às 09 horas verifica-se o oposto. A diminuição da amplitude térmica diária, com a profundidade, manifesta-se, como se observa, na Figura 7, pelo enfeixamento progressivo dos perfis, enquanto a inclinação observada com a profundidade indica que o período de observação corresponde a uma época de maior aquecimento local (verão).

Os efeitos das diferentes condições de cobertura sobre a amplitude térmica diária e sobre o instante de ocorrência das temperaturas máxima e mínima no solo são observados por meio de análise comparativa das Figuras 7, 8 e 9. Nessa análise, destaca-se o papel "isolante" exercido pelas coberturas morta e relva natural sobre o aquecimento do solo, o que pode ser melhor visualizado na faixa de variação térmica nas camadas superficiais. Verifica-se, ainda, que a cobertura vegetal projeta sua influência até níveis mais profundos, alcançando, a 1 m, uma diferença em torno de $0,5^{\circ}\text{C}$ em relação à cobertura morta e ao solo nu, destacando-se ainda um pequeno desvio no feixe de perfis até 50 cm. Talvez a interação das raízes das camadas superficiais, com a umidade e com a porosidade do solo possam justificar tais observações.

A Figura 10 ilustra os campos de temperatura observados no período I, sob condição de solo nu. A inclinação des

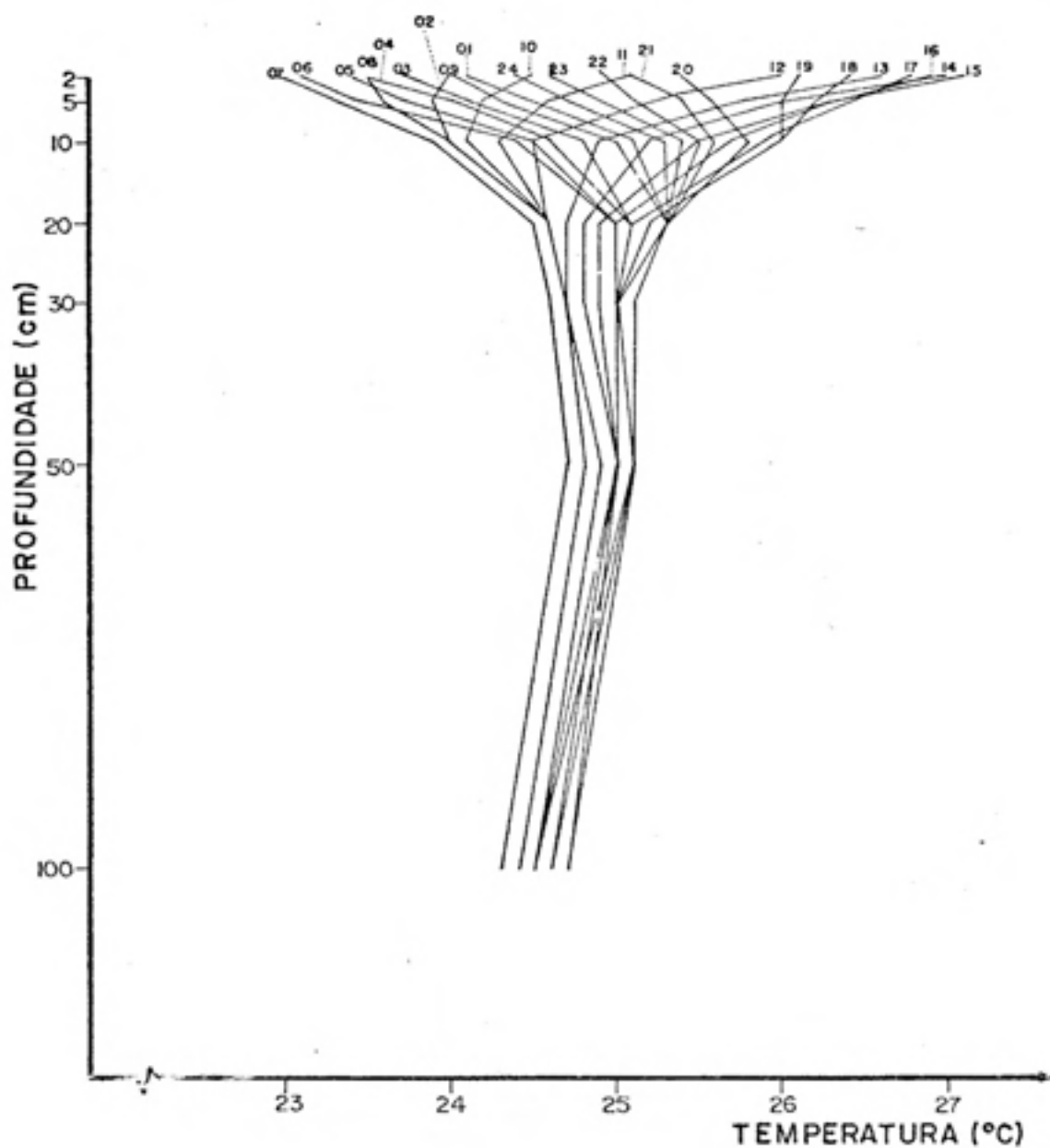


FIGURA 8 - Perfis Verticais de Temperaturas, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

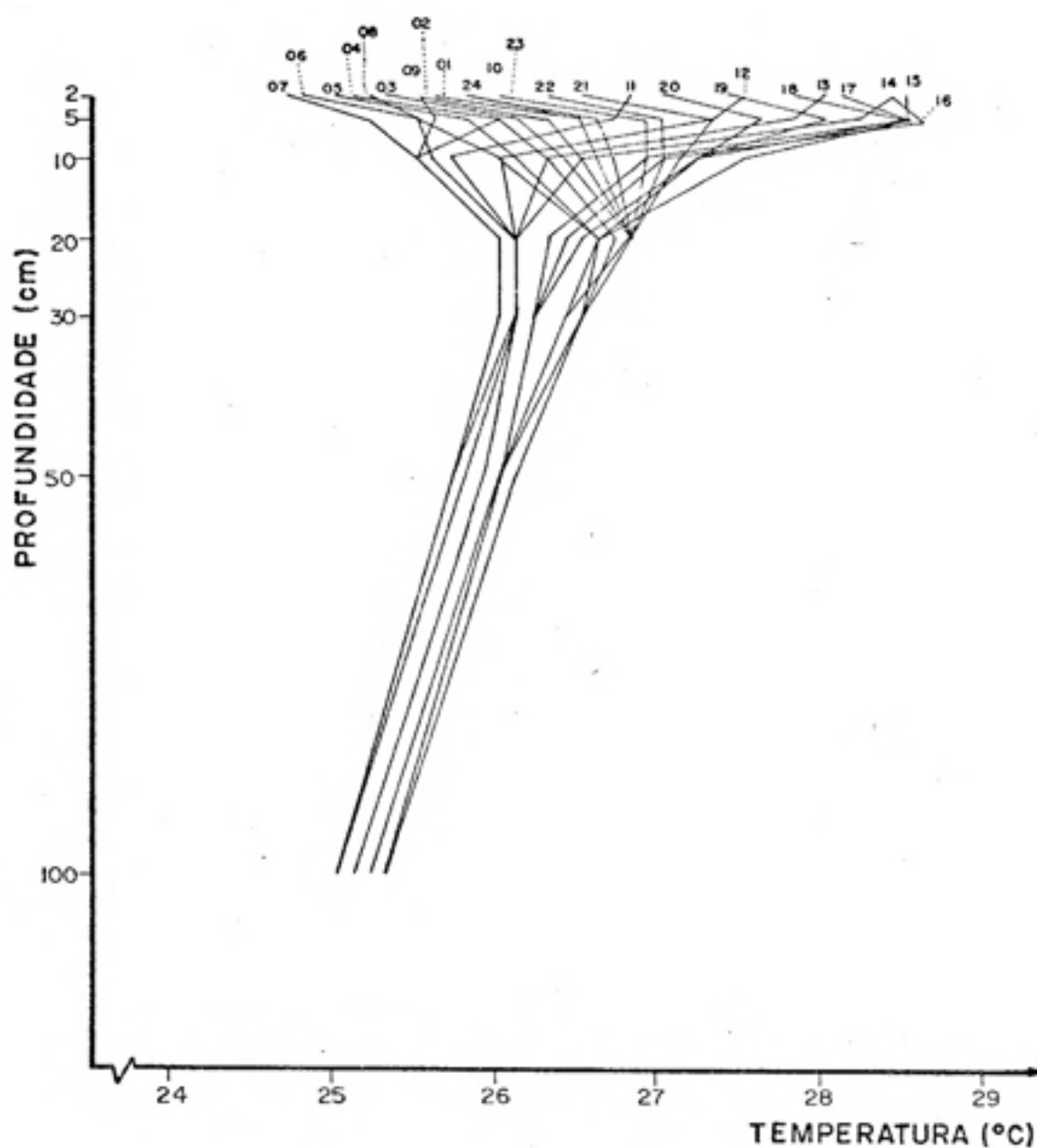


FIGURA 9 - Perfis Verticais de Temperaturas, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 06 Ho ras de 26/02/83, em Viçosa, MG

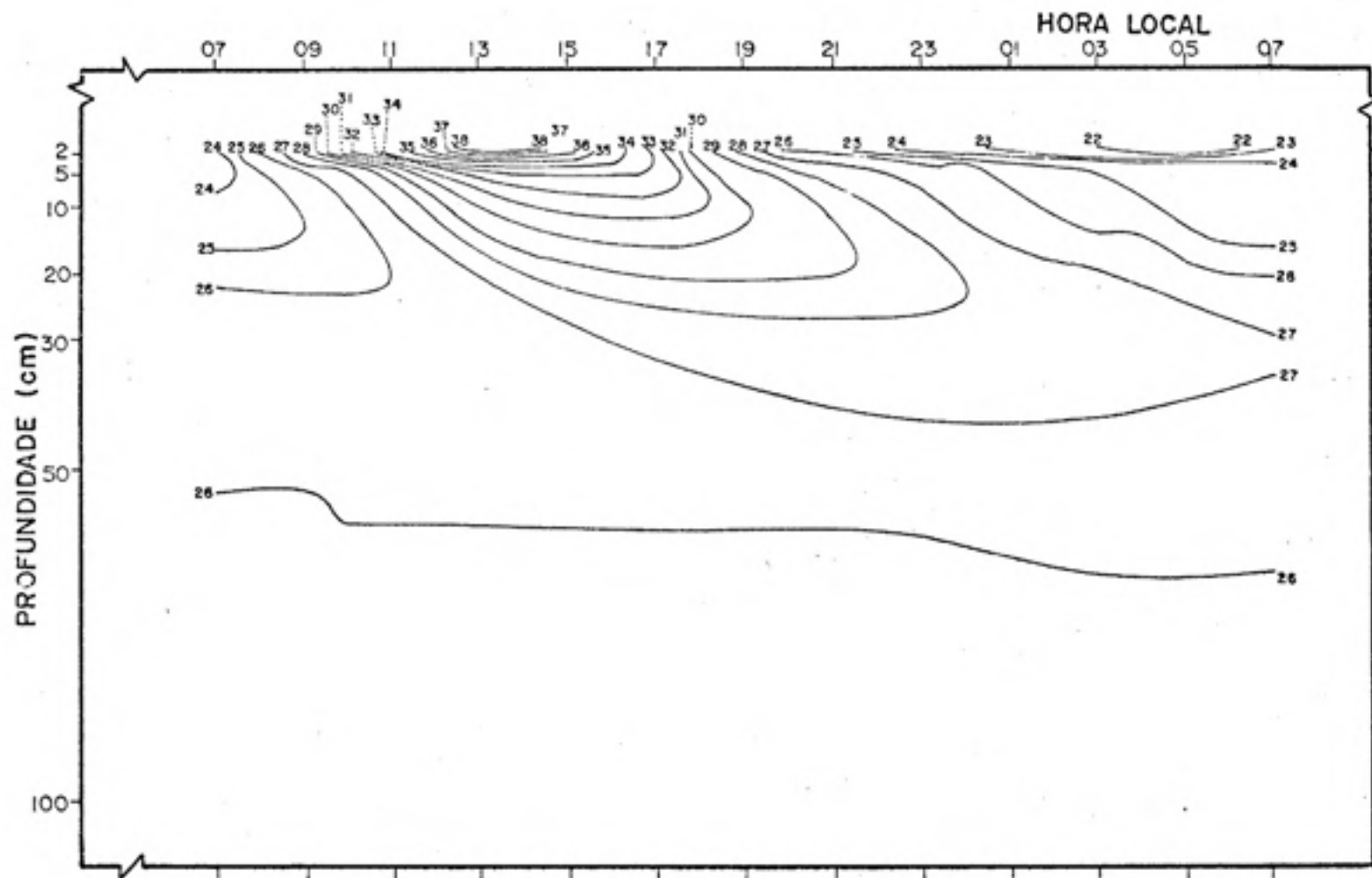


FIGURA 10 - Campos de Temperaturas, sob Solo Nu, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

ses campos mostra o avanço, com a profundidade, da onda de temperatura, enquanto a menor resolução desses campos, nos níveis mais profundos, atesta a diminuição da amplitude diária. Como já se discutiu anteriormente, a cobertura do solo diminui a amplitude das ondas de temperatura, o que se vê na menor resolução dos campos apresentados nas Figuras 11 e 12, quando comparadas à Figura 10. Esses campos permitem a estimativa da velocidade de penetração das ondas de temperatura.

4.2. *Análise da Amplitude, da Fase e da Variância Acumulada das Ondas de Temperatura do Ar e do Solo*

Os dados de temperatura do solo, observados nos períodos em estudo, foram submetidos a uma análise harmônica, com a finalidade de se obter a quantificação dos diversos harmônicos nas ondas de temperatura do solo nas diversas profundidades e diversificadas condições de cobertura. A amplitude, a fase e a variância acumulada dos 11 harmônicos da série de Fourier, relativas ao período I, são apresentadas nos Quadros 3, 4 e 5, respectivamente. O decréscimo da amplitude com a profundidade e o predomínio do 1º harmônico, como teoricamente esperado, pode ser visto nas diversas coberturas. Quanto à fase, cuja origem foi tomada às 07 horas, observa-se, sistematicamente, para todas as condições de cobertura, um aumento com a profundidade, até o nível de 30 cm. A partir desse nível, o mesmo não se registra, como seria também esperado. Entretanto, a pequena variação da temperatura, nos níveis mais profundos, bem como a maior aproximação do lençol freático, parecem justificar tal anomalia. Essas observações se aplicam, basicamente, para os dois primeiros harmônicos, predominantes na onda observada, como se comprova por meio da análise da variância. Destaca-se também o fato de os 11 harmônicos representarem pelo menos 92% da variância dos dados observados. Outros pesquisadores afirmam que apenas 5 harmônicos são suficientes para uma boa representatividade da onda observada no ciclo anual (19 e 20).

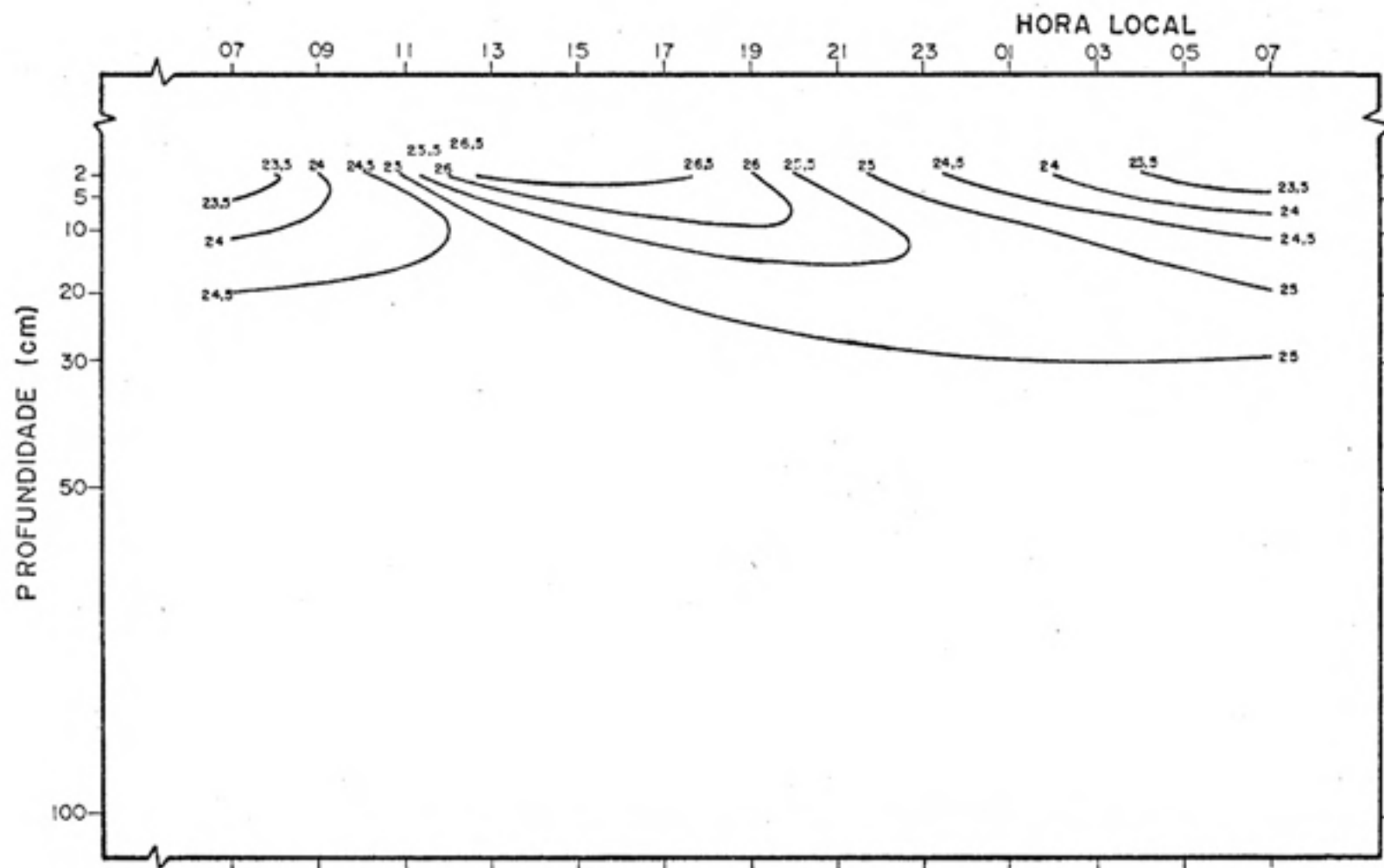


FIGURA 11 - Campos de Temperaturas, sob Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

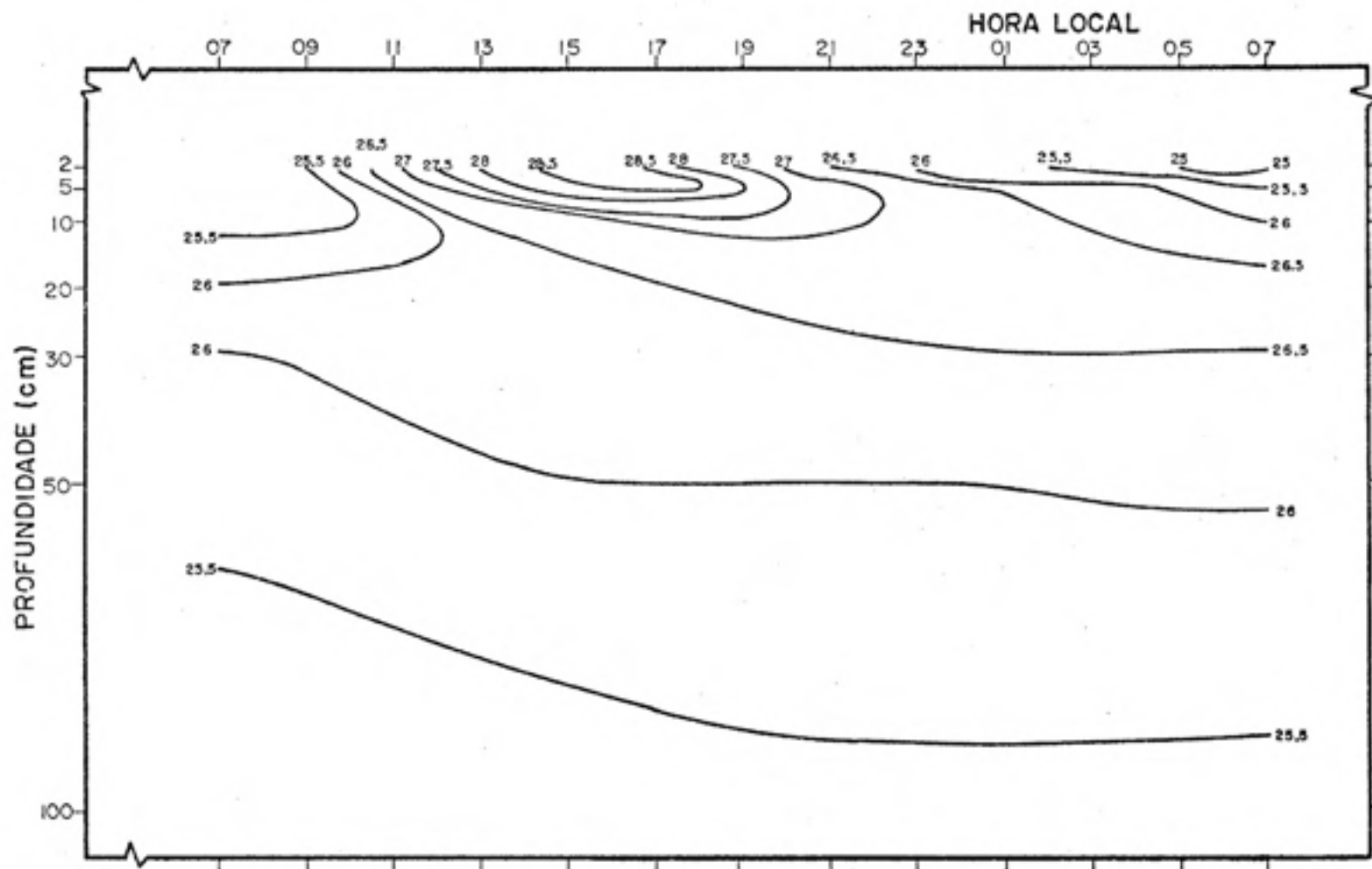


FIGURA 12 - Campos de Temperaturas, sob Cobertura Morta, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Período de 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, em Viçosa, MG

QUADRO 3 - Amplitude da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1. $^{\circ}$	2. $^{\circ}$	3. $^{\circ}$	4. $^{\circ}$	5. $^{\circ}$	6. $^{\circ}$	7. $^{\circ}$	8. $^{\circ}$	9. $^{\circ}$	10. $^{\circ}$	11. $^{\circ}$
Solo Nu	02	8,13	2,91	0,30	0,25	0,14	0,21	0,15	0,28	0,04	0,24	0,25
	05	4,21	1,18	0,11	0,02	0,03	0,01	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04
	10	2,97	0,72	0,01	0,01	0,08	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	20	1,24	0,19	0,06	0,04	0,04	0,05	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
	30	0,56	0,10	0,08	0,08	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02
	50	0,17	0,13	0,05	0,06	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02
	100	0,14	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Cobertura Morta	02	1,69	0,46	0,05	0,01	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	0,02	0,00
	05	1,45	0,43	0,05	0,05	0,03	0,01	0,05	0,03	0,02	0,05	0,02
	10	0,83	0,21	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,01	0,06	0,02
	20	0,40	0,07	0,04	0,06	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04
	30	0,23	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02
	50	0,11	0,09	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02
	100	0,12	0,08	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
Cobertura Vegetal	02	1,80	0,49	0,03	0,00	0,08	0,04	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03
	05	1,36	0,32	0,05	0,01	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
	10	0,92	0,20	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03
	20	0,40	0,06	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03
	30	0,19	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03
	50	0,13	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
	100	0,12	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01

QUADRO 4 - Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura (°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	104,4	90,5	107,7	28,8	5,3	12,7	5,2	10,4	13,3	7,1	12,7
	05	139,6	114,6	114,8	45,1	14,0	22,5	25,7	28,6	25,8	7,7	14,7
	10	157,4	123,7	104,9	74,9	26,3	39,4	5,7	7,5	25,0	23,0	18,7
	20	214,9	155,5	74,7	49,8	32,3	36,4	41,3	22,5	21,0	20,3	14,9
	30	259,5	114,8	71,5	58,7	38,9	33,6	30,2	23,9	14,4	22,0	10,4
	50	250,5	129,3	72,6	61,6	43,5	38,8	37,0	22,5	17,7	20,0	17,2
	100	224,0	120,7	62,6	54,1	44,4	37,5	30,3	26,2	24,3	16,7	17,7
Cobertura Morta	02	137,3	109,5	80,9	15,1	26,8	15,0	22,0	17,9	19,6	14,5	29,0
	05	154,2	119,2	74,0	66,3	25,3	22,5	17,8	20,8	9,7	21,0	11,5
	10	194,1	138,6	82,5	63,4	22,3	37,5	20,2	26,8	2,5	18,7	19,6
	20	245,4	127,5	66,6	53,4	52,4	37,5	27,6	28,9	19,4	19,5	16,9
	30	255,1	131,1	76,0	60,0	40,8	41,9	25,8	28,3	20,3	18,5	18,1
	50	238,8	127,5	78,3	54,1	47,7	37,5	30,6	28,3	26,1	19,5	18,7
	100	240,9	132,2	70,7	71,5	43,1	37,5	25,5	31,7	18,6	16,9	17,6
Cobertura Vegetal	02	139,8	108,1	80,0	47,8	26,8	34,4	23,8	22,5	18,2	3,7	17,7
	05	154,8	113,9	65,7	45,0	23,9	24,8	22,2	33,7	1,2	6,8	17,9
	10	187,8	135,9	54,3	71,5	38,1	41,9	29,9	22,5	18,8	17,7	19,5
	20	229,8	128,5	64,9	55,2	46,6	36,1	28,9	22,5	23,2	20,9	19,1
	30	232,4	141,2	88,2	51,3	43,7	39,4	25,6	24,2	23,7	19,0	16,1
	50	211,1	115,6	63,9	56,5	40,9	35,6	28,2	24,9	25,6	18,5	15,3
	100	192,1	131,3	55,7	41,5	43,1	30,0	37,2	26,2	23,6	25,7	14,2

QUADRO 5 - Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura(°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	84,4	95,2	95,4	95,4	95,5	95,5	95,6	95,6	95,7	95,7	95,8
	05	88,7	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8
	10	90,4	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8
	20	92,7	94,9	95,1	95,3	95,3	95,5	95,5	95,6	95,7	95,8	95,8
	30	87,6	90,3	92,0	93,8	94,1	94,7	94,8	95,3	95,5	95,7	95,8
	50	47,9	75,7	79,5	86,3	86,9	89,9	91,7	92,8	93,1	94,4	95,3
	100	71,3	77,7	84,0	88,5	89,3	89,8	89,9	90,7	91,0	92,5	95,4
Cobertura Morta	02	88,9	95,6	95,6	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8	95,8
	05	87,5	95,3	95,4	95,5	95,6	95,6	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8
	10	88,6	94,3	94,5	94,6	94,7	94,8	94,9	95,2	95,3	95,7	95,8
	20	85,7	88,2	89,2	91,5	91,7	92,3	92,8	94,0	94,4	95,0	95,8
	30	76,8	80,0	83,1	85,6	87,8	88,8	91,0	92,3	92,9	94,7	95,1
	50	40,1	69,1	77,3	81,8	83,7	85,6	90,6	93,7	93,9	94,3	95,4
	100	53,0	80,0	82,4	85,7	88,0	88,5	90,5	93,8	94,3	94,6	95,4
Cobertura Vegetal	02	88,7	95,4	95,4	95,4	95,6	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8
	05	90,4	95,3	95,4	95,4	95,6	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8
	10	90,6	95,0	95,0	95,1	95,3	95,4	95,5	95,6	95,7	95,7	95,8
	20	88,8	91,0	91,3	91,6	92,4	93,4	93,7	94,1	94,2	94,8	95,3
	30	76,3	80,9	82,3	87,5	88,1	89,9	90,7	92,6	93,1	93,9	95,8
	50	72,6	74,3	75,5	79,4	85,0	88,8	89,1	91,2	94,1	94,7	95,8
	100	71,3	76,3	83,0	87,2	89,0	90,3	90,7	91,7	92,8	94,4	95,2

Situações idênticas às observadas no período I são também verificadas nos períodos II e III, como se vê nos Quadros 6, 7, 8, 9, 10 e 11, exceto no que se refere à amplitude do 1º harmônico que foi claramente influenciada pela presença da nebulosidade, especialmente sob condições de solo nu e nos níveis mais superficiais. O efeito da nebulosidade também foi notado sobre a fase do 1º harmônico.

Os resultados da análise harmônica para o ar, à altura do abrigo meteorológico, nos três períodos de observação, encontram-se no Quadro 12, que, comparado com os valores, para 2 cm de profundidade, expressos nos Quadros 3, 4, 6, 7, 9 e 10, verifica-se excelente concordância nas fases dos dois primeiros harmônicos. Quanto às amplitudes, nota-se também boa concordância. Tais resultados são fisicamente consistentes, pois é sabido que a temperatura do ar é dependente do fluxo de calor e de radiação em ondas longas do solo, embora parte dessa energia seja também consumida nos processos de evaporação e advecção, o que explica a melhor concordância na fase que na amplitude. Por outro lado, tanto a temperatura do ar, quanto a 2 cm de profundidade no solo, possuem um notável predomínio dos dois primeiros harmônicos, como se vê ao se compararem os dados do Quadro 12 com os dados dos Quadros 5, 8 e 11.

4.3. *Estimativa da Difusividade, da Capacidade Calorífica e da Condutividade Térmica do Solo*

A difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do 1º harmônico da série de Fourier, nas diferentes camadas e diversificadas condições de cobertura, é mostrada no Quadro 13, em que os valores são médias para os três períodos em estudo. Como se observa, há grande discrepância nos valores encontrados para as camadas mais profundas do solo. Tal fato parece justificar-se devido à maior susceptibilidade aos pequenos erros instrumentais e humanos, como também à presença de maior teor de umidade nos níveis mais profundos, onde o modelo usado parece não se ajustar convenientemente. Para as camadas superficiais, os

QUADRO 6 - Amplitude da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1. ^o	2. ^o	3. ^o	4. ^o	5. ^o	6. ^o	7. ^o	8. ^o	9. ^o	10. ^o	11. ^o
Solo Nu	02	6,39	2,22	0,42	0,26	0,48	0,26	0,12	0,28	0,25	0,15	0,24
	05	2,76	0,85	0,09	0,11	0,08	0,10	0,06	0,04	0,03	0,04	0,05
	10	2,06	0,43	0,05	0,09	0,05	0,07	0,06	0,03	0,05	0,01	0,04
	20	0,65	0,09	0,09	0,04	0,04	0,02	0,04	0,00	0,05	0,04	0,03
	30	0,13	0,07	0,12	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	50	0,09	0,04	0,06	0,04	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
	100	0,07	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobertura Morta	02	1,33	0,30	0,07	0,08	0,08	0,09	0,05	0,08	0,02	0,05	0,05
	05	1,11	0,35	0,11	0,06	0,06	0,04	0,06	0,04	0,01	0,03	0,02
	10	0,57	0,14	0,09	0,06	0,02	0,05	0,02	0,07	0,05	0,01	0,04
	20	0,20	0,08	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
	30	0,05	0,03	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
	50	0,08	0,01	0,06	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00
	100	0,11	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobertura Vegetal	02	1,18	0,40	0,05	0,07	0,06	0,08	0,04	0,08	0,03	0,02	0,03
	05	0,89	0,25	0,03	0,05	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05
	10	0,55	0,10	0,07	0,05	0,02	0,03	0,00	0,04	0,00	0,04	0,04
	20	0,14	0,04	0,08	0,05	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
	30	0,11	0,01	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	50	0,17	0,01	0,07	0,03	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02
	100	0,12	0,03	0,06	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01

QUADRO 7 - Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura (°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	88,9	93,8	15,1	47,8	13,3	21,2	23,9	30,4	5,3	22,0	0,6
	05	129,3	112,1	113,1	17,7	35,7	33,3	37,2	30,0	11,0	11,8	13,7
	10	145,2	122,8	2,9	17,2	40,7	34,4	34,8	30,0	6,9	11,6	8,0
	20	198,0	168,4	19,7	10,2	10,8	37,5	12,5	30,2	7,0	3,5	14,5
	30	254,3	44,5	22,0	2,7	12,0	0,0	6,4	3,7	9,0	2,9	6,4
	50	113,8	25,1	15,0	2,7	55,4	45,0	37,2	37,5	15,0	9,6	6,0
	100	171,1	4,9	21,2	2,7	15,9	40,6	26,0	15,0	13,0	2,4	28,0
Cobertura Morta	02	132,6	110,1	109,5	8,2	26,7	37,5	28,7	30,6	14,2	9,4	15,8
	05	144,7	117,1	5,0	13,4	20,3	38,8	33,0	32,9	37,4	7,4	9,9
	10	173,3	138,8	11,1	8,4	56,3	43,4	38,0	30,7	12,8	22,4	14,5
	20	218,9	37,5	17,6	7,5	14,2	15,2	4,0	33,7	39,3	1,5	18,4
	30	167,2	22,5	23,1	5,9	29,6	45,0	27,5	45,0	9,3	4,5	2,9
	50	139,6	127,4	28,5	15,0	4,0	19,4	4,5	37,5	2,2	1,5	24,6
	100	123,1	119,9	45,0	40,2	35,6	39,4	46,9	41,2	5,0	12,0	30,2
Cobertura Vegetal	02	126,4	111,6	8,2	10,2	28,5	36,1	25,8	28,1	19,2	18,1	13,3
	05	139,8	116,6	112,5	4,0	31,8	39,8	21,5	35,8	12,5	15,1	14,4
	10	171,0	140,9	30,0	17,2	11,6	45,0	50,5	28,6	10,0	8,2	10,9
	20	200,8	5,8	25,1	19,0	25,3	30,0	31,3	37,5	27,0	31,1	6,0
	30	131,4	30,1	21,7	11,5	8,8	30,0	33,6	7,5	19,1	29,9	20,9
	50	116,3	134,9	30,0	18,5	23,0	11,8	22,8	22,5	10,0	9,0	8,6
	100	143,8	79,0	37,1	22,5	26,9	40,6	13,5	45,0	8,8	19,3	16,7

QUADRO 8 - Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura(°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83, sob condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	84,0	94,2	94,6	94,7	95,2	95,3	95,4	95,5	95,7	95,7	95,8
	05	86,9	95,3	95,4	95,5	95,6	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8
	10	91,2	95,2	95,3	95,5	95,5	95,6	95,7	95,7	95,8	95,8	95,8
	20	90,1	92,0	93,7	94,1	94,4	94,5	94,8	94,8	95,3	95,6	95,7
	30	38,7	49,4	83,7	87,2	92,7	92,9	93,0	93,5	93,7	94,4	95,0
	50	45,3	54,6	76,8	84,4	84,5	87,8	89,0	89,4	91,1	92,8	94,1
	100	44,3	49,9	69,4	83,3	86,0	89,4	89,9	90,6	91,1	92,2	92,7
Cobertura Morta	02	82,3	93,9	94,1	94,4	94,7	95,1	95,3	95,6	95,6	95,7	95,8
	05	85,3	93,9	94,7	95,0	95,2	95,4	95,6	95,7	95,7	95,8	95,8
	10	84,3	89,4	91,3	92,4	92,5	93,2	93,2	94,5	95,2	95,3	95,6
	20	73,4	84,2	91,0	92,6	93,8	93,8	93,8	95,3	95,7	95,7	95,8
	30	35,3	44,3	63,1	78,3	79,9	87,1	88,1	88,9	94,1	94,8	95,4
	50	44,8	45,8	72,2	80,2	81,5	84,0	85,9	87,9	94,5	95,5	95,5
	100	81,0	81,5	82,0	85,4	85,7	91,9	93,0	94,4	94,9	95,4	95,6
Cobertura Vegetal	02	84,4	94,1	94,3	94,5	94,8	95,2	95,3	95,7	95,8	95,8	95,8
	05	87,0	94,1	94,2	94,5	95,0	95,2	95,3	95,4	95,5	95,6	95,8
	10	89,2	91,9	93,3	93,9	94,1	94,4	94,4	94,8	94,8	95,2	95,8
	20	55,9	59,5	76,8	84,2	91,9	92,6	93,0	94,7	94,8	95,1	95,8
	30	57,0	57,3	84,8	89,2	92,2	92,6	93,6	93,9	95,0	95,4	95,6
	50	76,9	77,4	89,2	91,5	94,0	94,0	94,2	94,3	94,3	94,9	95,5
	100	64,1	68,4	82,7	83,7	88,5	90,1	90,6	90,9	92,5	93,4	94,5

QUADRO 9 - Amplitude da Onda Diária de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1. ^o	2. ^o	3. ^o	4. ^o	5. ^o	6. ^o	7. ^o	8. ^o	9. ^o	10. ^o	11. ^o
Solo Nu	02	7,43	2,01	0,62	0,70	0,15	0,21	0,43	0,29	0,10	0,08	0,08
	05	3,88	0,36	0,42	0,15	0,06	0,17	0,09	0,01	0,05	0,09	0,02
	10	2,52	0,29	0,29	0,06	0,11	0,10	0,09	0,05	0,03	0,05	0,03
	20	0,76	0,23	0,10	0,07	0,06	0,07	0,06	0,04	0,05	0,01	0,04
	30	0,02	0,21	0,08	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01
	50	0,34	0,10	0,07	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,00	0,03
	100	0,25	0,09	0,07	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00
Cobertura Morta	02	1,74	0,14	0,22	0,11	0,04	0,07	0,08	0,03	0,03	0,02	0,04
	05	1,26	0,04	0,17	0,04	0,06	0,08	0,06	0,03	0,07	0,04	0,02
	10	0,77	0,16	0,13	0,06	0,05	0,10	0,04	0,04	0,07	0,05	0,05
	20	0,51	0,19	0,04	0,14	0,10	0,05	0,07	0,03	0,03	0,02	0,03
	30	0,37	0,21	0,09	0,09	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03
	50	0,27	0,07	0,08	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,03
	100	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00
Cobertura Vegetal	02	1,83	0,25	0,28	0,16	0,10	0,09	0,09	0,05	0,05	0,02	0,04
	05	1,13	0,22	0,24	0,04	0,05	0,09	0,06	0,06	0,06	0,03	0,02
	10	0,46	0,03	0,14	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04
	20	0,17	0,16	0,09	0,03	0,06	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
	30	0,16	0,10	0,07	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
	50	0,14	0,12	0,12	0,01	0,08	0,03	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01
	100	0,23	0,10	0,10	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03

QUADRO 10 - Fase (GRAUS) da Onda Diária de Temperatura (°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	99,3	84,3	8,3	25,1	33,9	58,1	3,8	8,0	14,2	35,3	7,0
	05	126,3	117,3	18,5	25,2	0,6	10,6	10,3	37,5	1,3	2,7	1,5
	10	142,6	119,7	23,2	28,4	10,9	5,2	13,6	6,5	1,6	3,2	6,0
	20	181,7	29,0	41,0	10,7	15,6	10,6	13,4	4,6	11,1	21,8	6,3
	30	202,5	46,5	42,4	45,0	22,5	10,6	22,5	11,2	10,3	8,4	22,5
	50	95,5	37,5	42,1	86,5	22,9	7,5	29,3	3,7	11,8	19,5	16,3
	100	104,5	33,7	40,5	7,5	23,3	15,0	17,4	45,0	15,8	13,3	15,2
Cobertura Morta	02	133,1	85,1	23,0	22,0	19,8	10,0	21,3	20,8	16,0	15,6	5,8
	05	141,2	74,5	19,6	25,2	25,8	16,9	19,1	7,5	15,6	12,1	16,7
	10	156,7	39,1	37,8	26,5	20,3	16,6	18,7	12,6	15,0	15,1	16,2
	20	127,7	59,8	73,5	14,2	30,5	56,9	14,3	13,3	19,1	10,9	12,9
	30	111,4	51,1	44,7	19,8	27,5	15,0	21,7	9,9	15,7	14,8	12,4
	50	110,5	45,4	39,4	27,3	31,9	19,4	26,7	12,1	19,0	13,3	15,8
	100	116,5	51,2	44,1	19,8	18,3	19,4	18,8	7,5	16,9	13,3	11,9
Cobertura Vegetal	02	112,6	44,0	20,7	15,6	15,7	4,4	11,9	4,3	9,7	6,5	0,4
	05	121,5	41,5	33,0	15,0	19,6	9,4	12,3	6,7	7,7	9,4	5,9
	10	145,7	5,8	39,8	15,0	29,1	18,1	17,2	7,5	12,7	13,2	17,4
	20	132,0	42,5	43,9	63,4	20,7	15,0	22,2	13,3	12,0	12,7	17,7
	30	118,3	49,7	51,3	25,2	24,5	22,5	21,8	18,8	15,5	13,8	15,7
	50	117,8	52,0	44,2	22,5	23,9	9,4	20,5	22,5	15,1	13,9	15,2
	100	116,0	52,5	43,4	37,5	23,0	15,0	22,3	15,0	12,9	16,5	16,7

QUADRO 11 - Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária de Temperatura (°C) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, Harmônicos de 1 a 11

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Harmônico										
		1.º	2.º	3.º	4.º	5.º	6.º	7.º	8.º	9.º	10.º	11.º
Solo Nu	02	87,5	93,9	94,5	95,3	95,3	95,4	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8
	05	93,5	94,2	95,3	95,5	95,5	95,7	95,7	95,7	95,7	95,8	95,8
	10	92,7	94,0	95,2	95,3	95,5	95,6	95,7	95,8	95,8	95,8	95,8
	20	82,8	90,5	92,1	92,9	93,4	94,2	94,8	95,0	95,5	95,5	95,7
	30	0,8	78,2	89,0	89,1	91,6	92,2	92,4	92,8	94,3	95,6	95,8
	50	80,1	87,7	91,3	92,0	93,2	94,1	94,4	94,5	95,0	95,0	95,7
	100	74,7	84,2	90,2	91,2	93,3	93,7	94,9	95,3	95,6	95,8	95,8
Cobertura Morta	02	92,9	93,4	94,9	95,3	95,3	95,4	95,6	95,7	95,7	95,7	95,8
	05	92,6	92,7	94,3	94,5	94,7	95,1	95,3	95,4	95,7	95,8	95,8
	10	85,4	88,9	91,1	91,7	92,0	93,5	93,8	94,1	94,8	95,1	95,5
	20	73,6	83,7	84,2	89,6	92,5	93,3	94,6	94,8	95,2	95,3	95,5
	30	61,3	81,4	85,0	88,5	89,9	91,0	92,8	93,6	94,7	95,3	95,6
	50	75,4	81,2	87,5	89,0	90,5	90,9	92,2	93,5	93,7	94,3	95,5
	100	70,6	86,7	91,8	92,6	92,9	93,5	93,7	93,8	94,2	95,8	95,8
Cobertura Vegetal	02	90,4	92,1	94,2	94,9	95,2	95,4	95,6	95,7	95,8	95,8	95,8
	05	86,8	90,1	94,1	94,2	94,4	94,9	95,2	95,5	95,7	95,8	95,8
	10	84,2	84,4	92,7	92,8	93,2	93,4	94,1	94,6	94,9	95,2	95,8
	20	38,7	72,8	82,0	83,1	88,5	89,9	91,6	92,7	94,0	94,7	95,1
	30	50,0	63,5	79,2	82,8	87,0	88,0	89,9	91,5	92,5	93,4	95,6
	50	34,1	56,0	78,4	78,7	88,4	89,9	93,3	93,4	94,7	95,3	95,4
	100	65,1	76,5	88,1	89,2	90,0	90,8	92,8	93,1	93,2	94,1	95,5

QUADRO 12 - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (GRAUS) e Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da On-
da Diária de Temperatura do Ar, à 1,5 m de Altura (Abrigo Meteorológico), para Vi-
çosa, MG, Harmônicos de 1 a 11, nos Períodos:

I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83

II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83

III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83

Período		Harmonicos										
		1. $^{\circ}$	2. $^{\circ}$	3. $^{\circ}$	4. $^{\circ}$	5. $^{\circ}$	6. $^{\circ}$	7. $^{\circ}$	8. $^{\circ}$	9. $^{\circ}$	10. $^{\circ}$	11. $^{\circ}$
Amplitude	I	6,65	1,11	0,83	0,29	0,45	0,16	0,27	0,15	0,11	0,32	0,12
	II	4,36	1,15	0,36	0,09	0,25	0,35	0,33	0,16	0,13	0,03	0,16
	III	6,24	0,86	1,14	0,33	0,31	0,31	0,45	0,17	0,06	0,23	0,14
Fase	I	105,8	90,8	22,7	35,0	8,0	20,3	1,8	6,1	8,5	0,7	31,3
	II	99,0	95,0	41,4	50,6	18,9	22,3	26,2	29,0	23,4	27,7	17,5
	III	102,8	87,0	12,4	22,5	11,7	2,6	4,7	10,9	2,1	0,4	1,5
Perc. acum. da Variân- cia total	I	90,7	93,3	94,7	94,9	95,3	95,3	95,5	95,5	95,5	95,8	95,8
	II	87,4	93,5	94,1	94,2	94,5	95,0	95,5	95,6	95,7	95,7	95,8
	III	89,7	91,4	94,4	94,7	94,9	95,1	95,6	95,6	95,7	95,8	95,8

QUADRO 13 - Difusividade Térmica, Calculada pela Amplitude e pela Fase do 1º Harmônico, para Diferentes Camadas do Solo de Viçosa, MG, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Valores Médios dos Períodos:
 I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83
 II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83
 III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83

Camada entre profundidades (cm) de	Difusividade térmica ($10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{S}^{-1}$)						Média da camada
	Solo Nu		Cobertura Morta		Cobertura Vegetal		
	Ampl.	Fase	Ampl.	Fase	Ampl.	Fase	
02 - 05	0,77	1,18	9,03	9,16	2,79	7,78	5,12
05 - 10	7,66	10,82	2,91	5,98	3,67	3,63	5,78
10 - 20	3,34	5,23	4,09	3,90	3,62	23,90	7,35
Média	3,92	5,74	5,34	6,35	3,36	11,77	6,08
20 - 30	2,47	12,46	16,36	58,76	352,79	610,63	175,58
30 - 50	39,87	198,70	79,67	130,20	331,13	157,30	156,14
50 - 100	1604,07	1399,63	952,85	4692,70	559,05	610,60	1636,48

valores da difusividade parecem mais confiáveis. Nota-se, em particular, maior coerência entre os valores estimados pelas amplitudes, enquanto aqueles valores obtidos pelas fases, além de mais variáveis, apresentam-se sistematicamente mais elevados, como se depreende pelas médias. Os menores valores obtidos na camada de 02 a 05 cm, sob condições de solo nu, por ambos os métodos, podem estar relacionados com a presença, nos níveis superficiais, de um intenso movimento de umidade, além de processos não moleculares de transferência de calor. Apesar de todas as possíveis incorreções incorporadas nas estimativas, a média geral para a camada de 02 e 20 cm parece representar fidedignamente a difusividade térmica para essa camada, ou seja, $6,08 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{S}^{-1}$, especialmente porque tal valor corresponde ao esperado para tal tipo de solo (7 e 16). Inúmeros pesquisadores atestam a validade de tais técnicas para a determinação da difusividade térmica (2, 19 e 20).

Para a determinação da condutividade térmica, tornou-se necessário, antes, obter-se a capacidade calorífica da camada de interesse, isto é, de 05 a 10 cm. A determinação da capacidade calorífica, por seu turno, exigiu o conhecimento de algumas propriedades físicas do solo, como se discutiu na metodologia. Assim, a partir da coleta de três amostras, obteve-se o Quadro 14:

QUADRO 14 - Umidade (% em Peso), Densidade Aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), Densidade Real ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e Porosidade (% de Volume), Solo de Viçosa, MG, Camada 04-11 cm de Profundidade, para Amostras Próximas do Solo Nu, da Cobertura Morta e da Cobertura Vegetal, Coletadas em 05/05/83

Local	Umidade	Dens. Aparente	Dens. Real	Porosidade
S.N	44,5	1,14	2,16	47,2
C.M	42,7	1,23	2,15	42,8
C.V	47,2	1,05	2,14	50,9
Média	44,8	1,14	2,15	46,9

Como se nota, foram encontrados somente pequenos desvios, o que confere confiabilidade nos valores médios. Com tais valores, determinou-se a capacidade calorífica volumétrica para a camada em questão, ou seja, $0,74 \text{ cal.cm}^{-3} \cdot \text{C}^{-1}$. De posse da capacidade calorífica e da difusividade térmica, estimou-se a condutividade térmica para a camada, encontrando-se $4,50 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Esse valor parece também bastante confiável, quando comparado ao citado para essa classe de solo em condições próximas de sua capacidade de campo. Vale observar que, para uma fração volumétrica de porosidade de 46,9%, em relação ao volume total, correspondeu uma fração volumétrica de 44,8% d'água no solo.

4.4. *Análise da Onda de Calor e sua Comparação com a Marcha da Temperatura do Solo*

Os dados horários do fluxo de calor obtidos, a 7,5 cm de profundidade, por meio da placa anteriormente descrita, foram incoerentes em relação aos gradientes térmicos, pois o sinal do fluxo medido não se modificou, apesar da inversão do gradiente de temperatura, o que mostrou a inviabilidade do uso confiável daquele sensor. Diante de tal impasse, optou-se pela estimativa do fluxo de calor a partir da condutividade térmica estimada, como descrito no item 4.3, e dos gradientes horários, entre os níveis de 05 e 10 cm. Assim, obtiveram-se os valores horários do fluxo, constantes do Apêndice B, com os quais calcularam-se amplitudes, fases e variâncias acumuladas para os 11 primeiros harmônicos mostrados no Quadro 15. Comparando-se a fase do 1º harmônico do fluxo de calor, para os três períodos, com as respectivas fases da onda de temperatura, Quadros 4, 7 e 10, verificaram-se defasagens de 2,83, 2,92 e 2,26 horas, respectivamente. A Figura 13 mostra as marchas diárias da temperatura, média para 7,5 cm, e do fluxo de calor, para a mesma profundidade. Como se vê nessa Figura, ocorreu uma defasagem em torno de 2 horas entre os valores máximos observados. Como as observações foram realizadas a intervalos de uma hora, a defasagem mostrada na Figura 13 acha-se passível de pequenos desvios.

QUADRO 15 - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (GRAUS) e Percentagem Acumulada da Variância Total (%) da Onda Diária do Fluxo de Calor, a 7,5 cm de Profundidade, sob Condição de Solo Nu, para Viçosa, MG, Harmônicos de 1 a 11, nos Períodos:

I - 07 Horas de 25/02 às 06 Horas de 26/02/83

II - 07 Horas de 03/03 às 06 Horas de 04/03/83

III - 07 Horas de 24/03 às 06 Horas de 25/03/83

Período	Harmônicos											
	1 $^{\circ}$	2 $^{\circ}$	3 $^{\circ}$	4 $^{\circ}$	5 $^{\circ}$	6 $^{\circ}$	7 $^{\circ}$	8 $^{\circ}$	9 $^{\circ}$	10 $^{\circ}$	11 $^{\circ}$	
Amplitude	I	0,090	0,030	0,006	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
	II	0,053	0,026	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003
	III	0,089	0,004	0,008	0,005	0,005	0,005	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001
Fase	I	102,1	102,1	115,3	42,4	67,7	12,4	26,6	28,9	25,5	7,3	13,5
	II	93,5	102,5	105,7	19,0	29,1	30,0	48,3	30,0	21,7	11,4	18,6
	III	100,6	107,4	8,8	23,2	53,6	15,9	1,1	29,7	1,7	2,2	28,1
Perc. Acum. da Variância Total	I	85,6	94,9	95,3	95,3	95,4	95,5	95,6	95,7	95,7	95,8	95,8
	II	76,1	95,0	95,3	95,3	95,4	95,5	95,5	95,5	95,5	95,6	95,8
	III	93,6	93,7	94,6	94,9	95,1	95,5	95,5	95,7	95,7	95,7	95,8

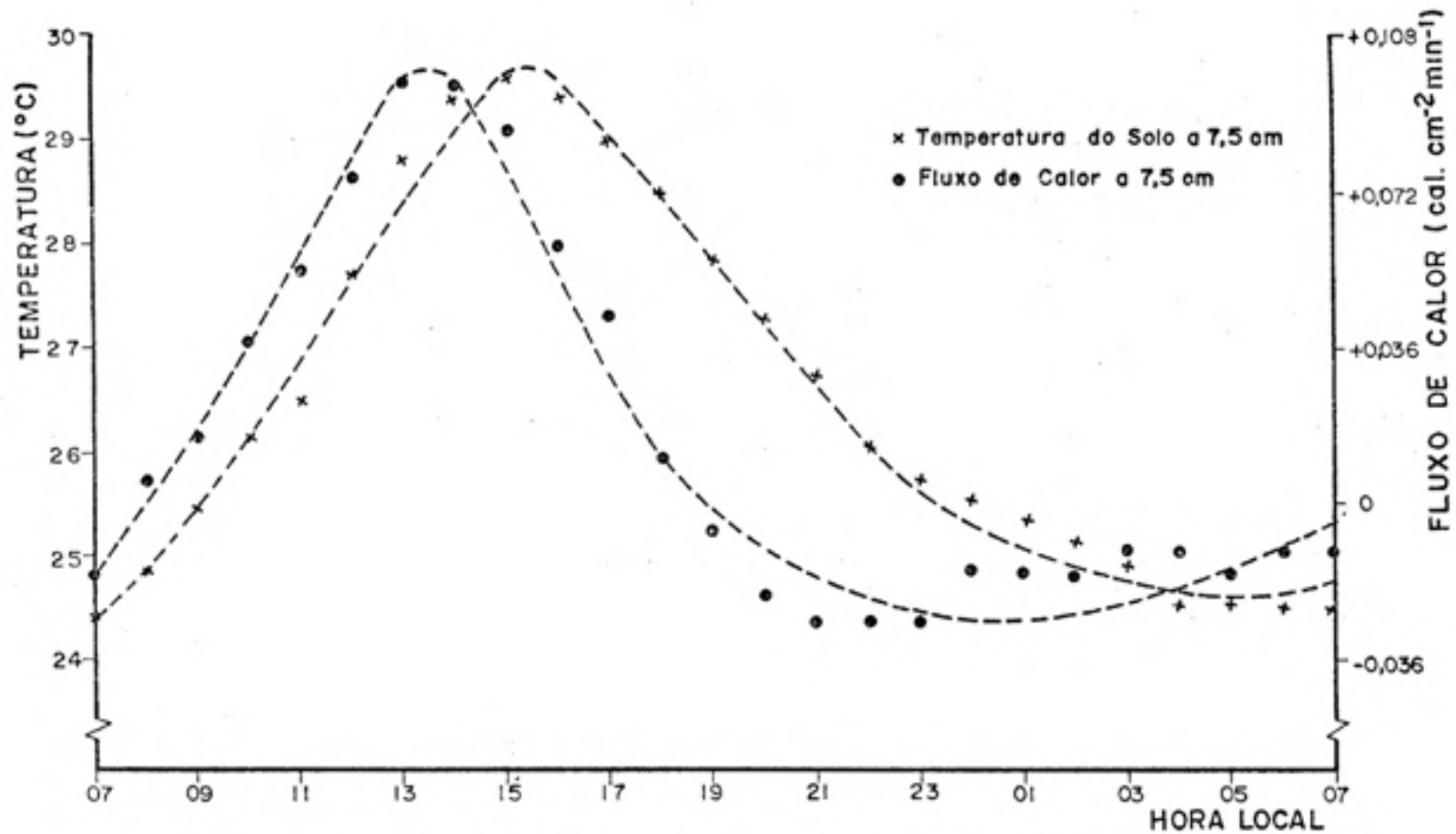


FIGURA 13 - Marcha Diária do Fluxo de Calor e da Temperatura, sob Solo Nu, ambas a 7,5 cm de Profundidade, Período de 05 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, em Viçosa, MG

4.5. Outros Parâmetros Estimados

Mediante o uso da difusividade térmica e da frequência angular, estimou-se a profundidade de amortecimento, isto é, 12,9 cm, para o ciclo diário, para a classe de solo em questão.

Identicamente, valendo-se dos mesmos parâmetros anteriormente citados, verificou-se que a onda de temperatura desloca-se para o interior do solo com uma velocidade de 3,38 cm.h^{-1} .

Finalmente, a partir da capacidade calorífica e da densidade real, determinou-se a capacidade calorífica em peso ou, simplesmente, o calor específico do solo estudado, isto é, 0,34 $\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

A profundidade de amortecimento, a velocidade de propagação da onda de calor no solo e o calor específico acham-se na faixa dos valores citados pela literatura (7 e 15).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A onda diária de temperatura mostrou uma diminuição da amplitude e um aumento da fase com a profundidade, para as três diferentes coberturas; sendo que a cobertura de relva natural e a cobertura morta destacaram-se pelo papel de suavizadoras das ondas, especialmente nas camadas mais superficiais do solo. Também a nebulosidade apresentou sensível influência sobre as ondas de temperatura, mormente em condições de solo nu e nas primeiras camadas do solo. Os gradientes verticais, mais pronunciados no solo nu, invertem-se de sinal ao longo do período, mostrando casos extremos nos horários das 14 e das 05 horas.

A análise de Fourier mostrou amplitudes mais destacáveis para os dois primeiros harmônicos, confirmando ainda a defasagem com a profundidade. A variância acumulada para os 11 primeiros harmônicos nunca foi inferior a 92%, representando, portanto, a onda observada de forma bastante realista.

A difusividade térmica, calculada pelo primeiro harmônico, foi de $6,08 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{S}^{-1}$ para o solo de textura argila pesada do terraço estudado.

Mediante análises em laboratório, observou-se, para o solo em questão, predomínio de argila, com 77%, seguindo

de silte, com 18% e 5% restantes constituídos de areia. Em relação ao peso seco, 97% correspondem à matéria mineral e os 3% restantes, à matéria orgânica. As densidades real e aparente foram de 2,15 e 1,14 g.cm^{-3} , respectivamente; e por conseguinte, a porosidade foi de 46,9% em relação ao volume total. A capacidade calorífica estimada, a partir dos dados anteriores, foi de 0,74 $\text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$ e, conseqüentemente, o calor específico foi de 0,34 $\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

A condutividade térmica, determinada em função da capacidade calorífica e da difusividade térmica, foi de $4,5 \times 10^{-3} \text{ cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

A onda de calor no solo apresentou, em média, uma defasagem de 2,63 horas em precedência à onda de temperatura, baseando-se na fase do primeiro harmônico; entretanto, as ondas observadas mostraram apenas uma defasagem de 2 horas, aproximadamente, sugerindo-se que tal discordância seja devida à frequência e às imprecisões das observações.

Pelos resultados, observou-se que o máximo resfriamento, à superfície, ocorreu sob condições de cobertura morta, caracterizando, portanto, essa situação como mais favorável à ocorrência de geadas, em contraposição ao solo nu. Por outro lado, durante o dia, as máximas temperaturas, à superfície, também ocorreram sob condições de cobertura morta, enquanto o menor aquecimento verificou-se sob condição de relva natural. Conseqüentemente, a cobertura morta se destacou pela ocorrência de valores extremos à superfície, enquanto a relva natural como melhor elemento amenizador.

Face à experiência adquirida e aos resultados encontrados, sugerem-se, para pesquisas futuras: a) a utilização de equipamentos mais apropriados, permitindo, inclusive, registros contínuos, com os quais serão obtidos resultados mais precisos; b) a ênfase ao estudo dos efeitos das variações de umidade do solo, em condições transientes e estacionárias da frente de umidade; c) a extensão dos estudos a outros tipos de solos, para fins de melhor caracterização regional; d) a realização de pesquisas semelhantes para diversas condições de inclinação e exposição do solo, visando a fornecer subsídios mais detalhados para o melhor

entendimento do fenômeno e para finalidades agrícolas; e) a condução de pesquisas simultâneas para solos cobertos por florestas e por pastagens naturais, com vistas ao melhor entendimento dos efeitos dos desflorestamentos sobre o clima.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. BUTKOV, E. *Física matemática*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1978. 725 p.
2. CARSON, J.E. Analysis of soil and air temperatures by Fourier Techniques. *Journal of Geophysics Research*, 68 (8): 2217-2232, 1963.
3. CARSON, J.E. & MOSES, H. The annual and diurnal heat-exchange cycles in upper layers of soil. *Journal of Applied Meteorology*, 2: 397-406, 1963.
4. CHANG, JEN-HU. *Climate and agriculture*. 2 nd ed. Chicago, Aldine Publishing Company, 1971. 296 p.
5. DECICO, A. Velocidade de propagação e camada de extinção da onda de temperatura no solo, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15º, Campinas, 1975. Anais, Campinas, 1976. p. 51-54. (Cópia xerox).
6. DECICO, A. & SANTOS, J.M. Comportamento térmico do solo sob diferentes condições de cobertura, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15º, Campinas, 1975. Anais, Campinas, 1976. p. 55-62. (Cópia xerox).
7. GEIGER, R. *The climate near the ground*. 4 ed. Cambridge, Harvard University Press, 1973. 611 p.
8. HOLTON, J.R. *An introduction to dynamic meteorology*. New York, Academic Press Inc., 1972. 319 p.
9. KIMBALL, B.A. & JACKSON, R.D. *Soil heat flux*. Arizona, Agricultural Research Service-USDA. s.d., 35 p. (Cópia xerox).

10. KOHNKE, H. *Soil physics*. New York, Mc Graw-Hill Book Co, 1968. 224 p.
11. MONTEITH, J.L. *Principles of environmental physics*. New York, American Elsevier Publishing Company Inc., 1973. 241 p.
12. OLIVEIRA, F.R., SEDIYAMA, G.C., VIEIRA, M. & COLEHO, D. T. Temperatura do solo como uma resposta ao estímulo da radiação solar, Viçosa, MG, *Revista Ceres* 27(153): 513-525, 1980.
13. OMETTO, J.C. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1981. 440 p.
14. PEARCE, D.C. & GOLD, L.W. Observations of ground temperature and heat flow at Ottawa, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 64(9): 1293-1298, 1959.
15. RAO, T.V.R. & VIANELLO, R.L. *Características térmicas do solo de Cachoeira Paulista-SP*, São José dos Campos, INPE, 1977. 21 p. (Relatório-INPE-1106-PE/080).
16. SELLERS, W.D. *Physical climatology*. Chicago, The University of Chicago Press, 1965. 272 p.
17. SUTTON, O.G. *Micrometeorology*. New York, Mc Graw - Hill Book Co, 1953. 333 p.
18. TANNER, C.B. Basic instrumentation and measurement for plant environment and micrometeorology. *Soils Bulletin*, 6: November, 1963.
19. VIANELLO, R.L., ANDRÉ, R.G.B. & MARQUES, V.S. Comportamento térmico do solo de Jaboticabal, SP, sob três diferentes coberturas, São José dos Campos, SP, *Revista Ceres* 29(161): 73-88, 1982.
20. 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. 26 p. (Relatório-INPE-1107-PE/081).
21. VISWANADHAM, Y. & MOHANA RAO, N.J. The thermal diffusivity of soil at tropical stations in Southern Hemisphere. *Pure and Applied Geophysics*, 101: 247-260, 1972.
22. WIJK, W.R. VAN. Soil microclimate, its creation, observation and modification. Published by the American Meteorological Society, Meteorological Society, *Meteorological Monographs - Agricultural Meteorology*. Boston, American Meteorological Society. 1965. 188 p.

APÉNDICES.

APÊNDICE A

APÊNDICE 1A

Derivação da Solução da Equação de Fourier da Condução de Calor, para um Solo Homogêneo e Isotrópico:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \text{eq. A.1}$$

que satisfaça as condições de contorno (C.C):

$$\text{C.C.1 } T(0,t) = \bar{T} + A(0) \text{ sen}(Wt + \phi)$$

$$\text{C.C.2 } \lim_{z \rightarrow \infty} T(z,t) \text{ igual a um valor finito de temperatura}$$

Usando o clássico método de separação de variáveis, isto é:

$$T(z,t) = f(z) \cdot g(t), \text{ substituindo em A.1 temos:}$$

$$\frac{g'(t)}{Kg(t)} = \frac{f''(z)}{f(z)}$$

a igualdade anterior será verificada quando ambos os lados forem iguais a uma constante r , isto é:

$$\begin{aligned} g'(t) - rKg(t) &= 0 & e \\ f''(z) - rf(z) &= 0 \end{aligned}$$

as soluções dessas equações são simples e, respectivamente, dadas por:

$$\begin{aligned} g(t) &= Ae^{rKt} & A: \text{cte} \\ f(z) &= Be^{\pm r^{1/2}z} & B: \text{cte} \end{aligned}$$

e a solução geral da equação A.1 é:

$$T(z,t) = Ge^{rKt} \cdot e^{\pm r^{1/2}z} \quad G: \text{cte}$$

definindo $r = iW/K$,

usando a relação de Euler: $e^{iWt} = \cos(Wt) + i\text{sen}(Wt)$

e a expressão: $i^{1/2} = \frac{i+1}{\sqrt{2}}$

a solução geral de A.1 se reduz a:

$$T(z,t) = Ge^{iWt} \cdot e^{\pm \left(\frac{i+1}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{W}{K}\right)^{1/2} z}$$

a C.C.2 permite-nos eliminar o sinal positivo da exponencial acima, e assim:

$$T(z,t) = Ge^{i|Wt - (W/2K)^{1/2}z|} \cdot e^{-(W/2K)^{1/2}z}$$

ou:

$$T(z,t) = G \left\{ \cos \left[\omega t - \left(\frac{\omega}{2K} \right)^{1/2} z \right] + i \operatorname{sen} \left[\omega t - \left(\frac{\omega}{2K} \right)^{1/2} z \right] \right\} \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2K} \right)^{1/2} z}$$

usando agora a C.C.1, a equação acima simplifica-se a:

$$T(z,t) = \bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \operatorname{sen}(\omega t + \phi - z/D) \quad \text{eq. A.2}$$

onde $D = \left(\frac{2K}{\omega} \right)^{1/2}$

APÊNDICE 2A

Derivação da Equação do Fluxo de Calor no Solo

Sejam dadas as equações:

$$H(z,t) = -\lambda \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} \quad \text{eq. A.3}$$

$$T(z,t) = \bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \operatorname{sen}(\omega t + \phi - z/D) \quad \text{eq. A.4}$$

substituindo a equação A.4 na equação A.3, obtêm-se:

$$\begin{aligned} H(z,t) &= -\lambda \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} = -\lambda \frac{\partial}{\partial z} \left[\bar{T} + A(0) \exp(-z/D) \operatorname{sen}(\omega t + \phi - z/D) \right] = \\ &= \left[\lambda \frac{A(0)}{D} \exp(-z/D) \operatorname{sen}(\omega t + \phi - z/D) + \lambda \frac{A(0)}{D} \exp(-z/D) \cos(\omega t + \phi - z/D) \right] = \\ &= \lambda \frac{A(0)}{D} \exp(-z/D) \left[\operatorname{sen}(\omega t + \phi - z/D) + \cos(\omega t + \phi - z/D) \right] \end{aligned}$$

a igualdade trigonométrica: $\operatorname{sen} y + \cos y = \sqrt{2} \operatorname{sen}\left(y + \frac{\pi}{4}\right)$, permite escrever a equação acima como:

$$H(z,t) = \lambda \frac{A(0)}{D} \sqrt{2} \exp(-z/D) \operatorname{sen}\left(Wt + \phi - \frac{z}{D} + \frac{\pi}{4}\right)$$

mas: $\frac{\lambda}{K} = C$ e $D = \left(\frac{2K}{W}\right)^{1/2}$

e finalmente, a equação anterior se identifica ã:

$$H(z,t) = (KW)^{1/2} C A(0) \exp(-z/D) \operatorname{sen}\left(Wt + \phi - \frac{z}{D} + \frac{\pi}{4}\right) \text{ eq. A.5}$$

APÊNDICE B

QUADRO 1B - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e Umidade do Ar (%), ambas a 1,5 m de Altura (Abrigo Meteorológico), para Viçosa, MG, nos Períodos:

I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83

II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83

III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83

Horas	Temperatura			Umidade relativa		
	I	II	III	I	II	III
07:00	22,5	21,0	19,0	94	98	85
08:00	24,0	24,0	20,3	75	98	80
09:00	26,0	26,0	20,8	70	97	72
10:00	27,5	26,0	22,0	56	94	71
11:00	29,0	27,5	23,5	51	83	63
12:00	30,0	29,5	24,0	48	72	61
13:00	31,0	29,5	24,8	47	66	54
14:00	31,5	28,5	27,0	45	63	47
15:00	31,0	28,5	26,3	44	59	51
16:00	31,0	28,0	25,0	43	60	54
17:00	30,0	27,0	23,5	46	61	64
18:00	26,5	25,0	21,0	65	85	70
19:00	24,0	24,0	18,5	75	95	80
20:00	22,1	22,0	17,0	85	96	86
21:00	22,0	21,5	16,5	88	96	92
22:00	21,0	21,0	16,1	89	96	92
23:00	20,0	21,0	15,7	90	96	93
24:00	20,0	21,0	15,3	91	97	93
01:00	19,0	21,0	14,0	92	97	94
02:00	19,0	20,9	13,5	93	97	94
03:00	18,5	20,9	13,2	93	97	94
04:00	18,0	20,9	13,0	93	97	95
05:00	18,0	20,8	13,0	94	97	95
06:00	18,0	21,0	14,0	95	97	96
07:00	22,0	22,0	15,0	95	97	94

QUADRO 2B - Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83, sob Condições de Solo Nu, Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Horas																								
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07
Solo Nu	02	23,6	27,0	28,0	32,5	35,0	36,0	36,8	39,6	37,8	35,5	32,8	28,7	27,1	25,9	25,0	24,5	24,0	23,5	23,0	22,5	22,0	21,6	21,3	21,3	23,5
	05	23,8	24,5	25,3	26,5	28,0	30,0	31,3	32,5	33,1	33,0	32,4	31,3	30,2	29,0	28,1	27,5	26,8	26,3	25,8	25,4	25,0	24,5	24,1	24,0	24,0
	10	24,4	24,6	25,0	25,7	26,6	27,7	29,0	30,0	30,5	30,8	30,9	30,6	30,0	29,2	28,5	28,0	27,5	27,0	26,6	26,2	25,8	25,5	25,0	24,6	24,6
	20	26,1	26,1	26,0	26,0	26,0	26,1	26,5	26,9	27,1	27,6	28,0	28,3	28,4	28,5	28,5	28,4	28,2	28,0	27,8	27,6	27,5	27,3	27,0	26,8	26,8
	30	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,7	26,8	27,0	27,0	27,1	27,3	27,3	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,4	27,4	27,1	27,1
	50	26,0	26,0	26,0	26,1	26,1	26,1	26,2	26,2	26,2	26,3	26,4	26,4	26,3	26,3	26,3	26,3	26,4	26,4	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
100	24,8	24,9	24,9	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,1	25,1	25,1	
Cobertura Morta	02	24,7	25,2	25,5	26,0	26,8	27,5	28,0	28,4	28,5	28,4	28,1	27,8	27,4	27,0	26,5	26,3	26,0	25,8	25,6	25,5	25,3	25,1	25,0	24,8	25,0
	05	25,2	25,5	25,6	26,0	26,7	27,3	27,8	28,2	28,5	28,6	28,5	28,0	27,6	27,3	27,0	26,9	26,6	26,5	26,3	26,1	26,0	25,8	25,5	25,5	25,5
	10	25,5	25,6	25,5	25,5	25,7	26,0	26,3	26,5	26,9	27,0	27,2	27,5	27,2	27,2	27,1	27,0	26,9	26,7	26,6	26,5	26,4	26,3	26,1	26,0	26,0
	20	26,0	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,3	26,4	26,5	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,7	26,6	26,6	26,6
	30	26,0	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,2	26,2	26,2	26,2	26,4	26,4	26,4	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
	50	25,7	25,7	25,8	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1
100	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,2	25,2	25,2	25,3	25,3	25,2	25,2	25,2	25,2	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	
Cobertura Vegetal	02	23,0	23,5	24,0	24,5	25,1	26,0	26,6	27,0	27,1	26,9	26,8	26,4	26,1	25,4	25,1	24,9	24,6	24,4	24,1	24,0	23,7	23,5	23,4	23,1	23,2
	05	23,3	23,6	23,9	24,2	24,6	25,3	25,8	26,0	26,3	26,3	26,4	26,2	26,0	25,6	25,4	25,1	24,9	24,7	24,5	24,3	24,1	24,0	23,7	23,4	23,5
	10	23,9	24,0	24,0	24,1	24,3	24,5	24,9	25,2	25,5	25,7	25,9	26,0	26,0	25,8	25,6	25,5	25,4	25,3	25,1	25,0	24,8	24,6	24,5	24,4	24,4
	20	24,5	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,7	24,8	24,9	25,0	25,1	25,2	25,2	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,1	25,1	25,0	25,0	25,0
	30	24,6	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,8	24,9	24,9	25,0	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
	50	24,7	24,8	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
100	24,3	24,4	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,6	24,6	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,5	24,5	24,5	

QUADRO 3B - Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Horas																								
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07
Solo Nu	02	24,1	26,5	29,0	29,8	31,8	34,3	34,8	33,4	33,0	31,8	28,5	26,9	22,3	21,5	21,5	21,5	22,0	22,0	21,5	21,8	22,8	21,9	22,0	22,1	24,0
	05	24,2	24,9	25,6	26,5	27,0	28,4	29,7	30,3	30,4	30,0	29,4	28,6	27,8	27,1	26,5	25,8	25,5	25,4	25,2	25,0	24,8	24,4	24,4	24,4	24,4
	10	24,5	24,8	25,3	25,8	26,0	27,0	27,9	28,5	28,8	28,9	28,6	28,4	27,9	27,5	27,0	26,3	26,0	25,7	25,5	25,3	25,0	24,6	24,7	24,6	24,6
	20	26,4	26,4	26,2	26,2	26,1	26,3	26,5	26,7	27,0	27,1	27,4	27,5	27,5	27,3	27,5	27,3	27,2	27,1	27,0	26,9	26,6	26,4	26,4	26,2	26,1
	30	26,9	26,9	26,8	26,7	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,7	26,8	26,8	26,8	26,7	26,8	26,9	27,0	27,0	27,0	26,9	26,8	26,6	26,6	26,6	26,6
	50	26,5	26,5	26,5	26,5	26,4	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,3	26,3	26,1	26,3	26,4	26,4
	100	25,5	25,5	25,5	25,4	25,4	25,4	25,5	25,5	25,5	25,5	25,6	25,6	25,6	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,4	25,3	25,4	25,4	25,4
Cobertura Morta	02	25,2	25,6	26,0	26,3	26,5	27,5	28,2	28,4	28,5	28,0	27,9	27,6	27,2	26,6	26,5	26,3	26,1	26,1	26,0	25,9	25,8	25,4	25,5	25,5	25,5
	05	26,0	26,1	26,4	26,5	26,6	27,4	28,0	28,3	28,5	28,4	28,3	28,0	27,7	27,3	27,1	27,0	26,9	26,7	26,6	26,5	26,4	26,0	26,0	26,0	26,0
	10	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,6	27,0	27,2	27,5	27,5	27,5	27,6	27,5	27,2	27,4	27,0	27,0	27,0	26,9	26,8	26,7	26,3	26,4	26,6	26,5
	20	26,6	26,6	26,6	26,5	26,4	26,5	26,5	26,5	26,6	26,6	26,7	26,8	26,8	26,8	26,9	26,9	26,9	26,9	26,8	26,7	26,6	26,5	26,4	26,5	26,5
	30	26,6	26,6	26,6	26,6	26,5	26,5	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,7	26,7	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,5	26,4	26,5	26,5	26,5
	50	26,4	26,4	26,4	26,4	26,3	26,4	26,4	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,4	26,4	26,4	26,3	26,3	26,4	26,4	26,4	26,3	26,3	26,2	26,2	26,2
	100	25,5	25,5	25,6	25,7	25,6	25,6	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,6	25,6	25,6	25,6	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
Cobertura Vegetal	02	24,0	24,5	24,9	25,0	25,3	26,0	26,5	26,8	26,8	26,5	26,3	26,1	25,6	25,1	25,0	24,7	24,6	24,6	24,6	24,5	24,4	24,1	24,2	23,3	24,4
	05	24,2	24,5	24,6	24,9	25,0	25,5	26,0	26,2	26,3	26,1	26,0	26,0	26,8	25,3	25,2	25,0	24,9	24,8	24,8	24,6	24,5	24,4	24,4	24,4	24,4
	10	24,5	24,6	24,6	24,7	24,6	24,9	25,0	25,3	25,5	25,5	25,7	25,7	25,6	25,4	25,4	25,2	25,1	25,0	25,0	24,9	24,9	24,5	24,5	24,5	24,5
	20	25,2	25,3	25,4	25,2	25,0	25,1	25,2	25,3	25,3	25,4	25,4	25,5	25,5	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,3	25,3	25,2	25,1	25,1	25,1
	30	24,9	25,0	25,0	24,9	24,9	24,9	25,0	25,0	25,0	25,1	25,1	25,0	25,0	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,8	24,7	24,7	24,8
	50	25,1	25,3	25,3	25,3	25,2	25,3	25,3	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,3	25,2	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,0	25,0	25,0	25,0
	100	24,0	24,8	24,8	24,9	24,8	24,8	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,7	24,7	24,6	24,6

QUADRO 4B - Valores Horários de Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) do Solo de Viçosa, MG, das 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83, sob Condições de Solo Nu, de Cobertura Morta e de Cobertura Vegetal, Profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Horas																								
		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07
Solo Nu	02	21,3	24,0	25,5	28,5	30,0	30,1	32,0	34,0	32,0	29,5	26,5	23,8	22,2	21,0	20,5	19,7	19,1	18,7	18,2	17,5	17,2	17,0	16,6	17,3	18,8
	05	22,3	23,1	23,8	24,4	25,4	26,4	27,0	28,0	29,0	28,8	28,2	27,0	26,1	25,0	24,2	23,2	22,6	22,2	21,6	21,0	20,7	20,4	20,4	20,5	20,6
	10	22,9	23,4	23,6	24,1	24,8	25,5	26,0	26,8	27,5	27,7	27,6	27,1	26,5	25,6	25,1	24,8	24,4	23,8	23,5	23,1	22,7	22,3	22,0	21,8	21,8
	20	24,5	24,9	24,6	24,7	24,8	24,9	24,9	25,0	25,1	25,5	25,5	26,0	26,1	26,0	25,9	25,7	25,5	25,3	25,1	24,8	24,6	24,4	24,2	24,0	23,8
	30	25,2	25,5	25,5	25,6	25,5	25,4	25,3	25,1	25,1	25,1	25,2	25,3	25,4	25,4	25,4	25,5	25,5	25,5	25,3	25,3	25,2	25,1	25,1	25,0	24,9
	50	25,6	25,9	25,9	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
100	25,7	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	
Cobertura Morta	02	23,6	24,6	24,8	25,0	25,4	25,9	26,1	26,6	26,9	27,0	26,4	26,4	26,0	25,6	25,1	24,9	24,6	24,3	24,0	23,7	23,4	23,0	23,0	23,1	23,1
	05	24,0	24,9	24,8	25,0	25,2	25,5	25,9	26,1	26,4	26,6	26,4	26,2	26,1	25,7	25,4	25,3	25,0	24,9	24,5	24,1	23,9	23,8	23,8	23,7	23,7
	10	24,3	25,3	25,0	25,2	25,3	25,4	25,5	25,5	25,7	26,0	26,0	26,0	26,1	26,0	25,8	25,6	25,4	25,3	25,0	24,8	24,6	24,5	24,3	24,2	24,0
	20	25,0	25,6	25,5	25,7	25,8	25,9	26,0	26,3	26,0	26,6	26,5	26,8	26,0	26,8	26,6	26,6	26,4	26,3	26,2	26,1	26,0	24,9	24,8	24,8	24,8
	30	25,2	26,0	25,9	26,0	26,0	26,0	26,0	26,9	26,8	26,8	26,6	26,7	26,9	26,8	26,6	26,6	26,5	26,4	26,4	26,3	26,2	26,1	26,0	26,0	26,0
	50	25,5	26,0	26,0	26,1	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
100	25,7	26,0	26,0	26,1	26,1	26,1	26,1	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	
Cobertura Vegetal	02	22,6	23,4	23,5	23,7	24,0	24,1	24,4	24,6	24,7	24,5	24,1	24,0	23,6	23,0	22,6	22,4	22,0	21,7	21,4	21,1	20,9	20,7	20,8	21,1	21,3
	05	22,8	23,5	23,5	23,9	24,0	24,0	24,0	24,0	24,2	24,3	24,2	24,2	24,0	23,6	23,2	23,0	22,9	22,7	22,5	22,2	22,0	21,9	21,9	21,8	21,8
	10	23,4	23,9	23,8	24,0	24,0	24,0	24,1	24,1	24,3	24,4	24,5	24,5	24,5	24,2	24,0	23,9	23,8	23,8	23,8	23,7	23,5	23,5	23,4	23,3	23,0
	20	24,0	24,5	24,4	24,5	24,5	24,5	24,4	24,2	24,2	24,3	24,4	24,5	24,5	24,4	24,3	24,4	24,4	24,3	24,1	24,1	24,0	24,0	24,0	23,9	23,9
	30	24,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,4	24,4	24,3	24,4	24,4	24,5	24,4	24,4	24,3	24,3	24,2	24,2	24,2	24,2	24,1	24,1	24,0	24,0
	50	24,5	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,8	24,8	25,0	25,0	24,8	24,7	24,8	24,8	24,8	24,7	24,7	24,7	24,6	24,5	24,4	24,4
100	24,5	25,0	25,0	25,1	25,1	25,1	25,0	24,9	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,8	24,8	24,8	24,7	24,7	24,7	24,6	24,5	24,5	24,5	

QUADRO 5B - Fluxo de Calor ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) e Gradiente Diário de Temperatura ($^{\circ}\text{C.cm}^{-1}$), Respectivamente, à Profundidade de 7,5 cm e na Camada Compreendida entre 05 e 10 cm, sob Solo Nu, para Viçosa, MG, nos períodos:

I - 07 Horas de 25/02 às 07 Horas de 26/02/83

II - 07 Horas de 03/03 às 07 Horas de 04/03/83

III - 07 Horas de 24/03 às 07 Horas de 25/03/83

Horas	Fluxo de calor			Grad. de temp.		
	I	II	III	I	II	III
07:00	-0,033	-0,016	-0,033	0,12	0,06	0,12
08:00	-0,005	0,005	-0,016	0,02	-0,02	0,06
09:00	0,016	0,016	0,011	-0,06	-0,06	-0,04
10:00	0,044	0,038	0,016	-0,16	-0,14	-0,06
11:00	0,077	0,055	0,033	-0,28	-0,20	-0,12
12:00	0,126	0,077	0,049	-0,46	-0,28	-0,18
13:00	0,126	0,098	0,055	-0,46	-0,36	-0,20
14:00	0,137	0,098	0,066	-0,50	-0,36	-0,24
15:00	0,142	0,088	0,082	-0,52	-0,32	-0,30
16:00	0,120	0,060	0,060	-0,44	-0,22	-0,22
17:00	0,082	0,044	0,033	-0,30	-0,16	-0,12
18:00	0,038	0,011	-0,005	-0,14	-0,04	0,02
19:00	0,011	-0,005	-0,022	-0,04	0,02	0,08
20:00	-0,011	-0,022	-0,033	0,04	0,08	0,12
21:00	-0,022	-0,027	-0,049	0,08	0,10	0,18
22:00	-0,027	-0,027	-0,087	0,10	0,10	0,32
23:00	-0,038	-0,027	-0,098	0,14	0,10	0,36
24:00	-0,038	-0,016	-0,087	0,14	0,06	0,32
01:00	-0,044	-0,016	-0,104	0,16	0,06	0,38
02:00	-0,044	-0,016	-0,115	0,16	0,06	0,42
03:00	-0,044	-0,011	-0,109	0,16	0,04	0,40
04:00	-0,055	-0,011	-0,104	0,20	0,04	0,38
05:00	-0,049	-0,016	-0,087	0,18	0,06	0,32
06:00	-0,033	-0,011	-0,071	0,12	0,04	0,26
07:00	-0,011	-0,011	-0,066	0,04	0,04	0,24

QUADRO 6B - Observações Complementares de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
em Viçosa, MG, Período de 07 Horas de 03/03 às
07 Horas de 04/03/83

Horas	Solo Nu a 10 cm de Altura	Superfície do Solo Nu	Superfície da Cob.Morta	Interface Cob. Morta-Solo
07:00	24,0	25,0	26,0	25,5
08:00	25,3	27,5	30,4	28,4
09:00	26,5	30,0	31,5	28,0
10:00	27,5	29,5	31,5	27,3
11:00	29,0	35,0	41,0	33,0
12:00	31,0	37,0	45,0	36,0
13:00	31,0	36,5	38,0	34,5
14:00	29,0	31,0	36,0	30,0
15:00	27,5	29,0	28,0	29,5
16:00	28,0	28,5	26,7	28,5
17:00	24,7	27,0	27,5	27,6
18:00	23,5	24,5	23,5	26,4
19:00	22,5	23,5	22,0	26,0
20:00	21,4	22,8	20,5	25,5
21:00	21,1	22,5	21,1	24,4
22:00	21,3	22,4	21,5	24,8
23:00	21,7	22,4	21,5	24,0
24:00	21,7	22,4	22,0	24,8
01:00	21,5	22,0	21,2	24,8
02:00	21,4	22,4	21,2	23,8
03:00	21,4	22,2	22,0	24,1
04:00	21,4	22,2	21,5	24,5
05:00	21,3	22,0	21,2	24,4
06:00	21,4	22,1	21,8	24,6
07:00	24,0	25,0	24,5	25,5

QUADRO 7B - Observações Complementares de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$),
em Viçosa, MG, Período de 07 Horas de 24/03 às
07 Horas de 25/03/83

Horas	Solo Nu a 10 cm de Altura	Superfície do Solo Nu	Superfície da Cob.Morta	Interface Cob. Morta-Solo
07:00	20,4	21,4	21,7	23,2
08:00	22,5	23,6	26,1	25,0
09:00	23,4	24,5	27,5	26,0
10:00	26,0	29,0	30,0	27,0
11:00	26,2	29,5	32,0	28,0
12:00	26,5	30,5	35,0	28,0
13:00	27,5	33,0	35,0	30,0
14:00	29,0	32,0	36,0	30,0
15:00	26,5	28,0	29,0	27,5
16:00	26,0	27,2	28,0	27,0
17:00	24,0	25,0	24,5	26,0
18:00	19,5	21,0	18,0	25,4
19:00	18,0	20,0	16,5	22,0
20:00	17,3	19,0	15,5	21,6
21:00	17,2	19,0	15,5	20,4
22:00	16,8	18,5	15,2	19,8
23:00	16,3	17,9	15,0	19,2
24:00	16,0	17,3	14,4	18,5
01:00	15,7	16,8	14,3	17,9
02:00	15,1	16,1	13,8	17,4
03:00	14,6	15,4	13,6	16,8
04:00	14,0	14,6	13,4	16,2
05:00	13,5	13,8	12,9	13,0
06:00	14,1	14,6	14,4	15,5
07:00	15,8	16,2	16,8	18,5