

ESTUDO DA TEMPERATURA DO SOLO COM E SEM COBERTURA, A DIVERSAS PROFUNDIDADES¹

DINAH MOCHEL DE MENEZES², MARLENE MAIA PINTO³ e LUCIO JOSÉ VIVALDI⁴

SINOPSE.- Foram estudados e analisados 29.565 dados geotérmicos de um solo da série "Ecologia", variante arenosa, com e sem coberturas, Município de Itaguaí, na Baixada Fluminense.

As observações foram obtidas através de geotermômetros a 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 100 cm de profundidade, no período de julho de 1968 a junho de 1969.

Foram estudados os tratamentos: A) solo gramado, B) solo capinado, e C) solo com cobertura morta.

As leituras dos geotermômetros foram feitas três vezes ao dia, num total de 81 observações diárias. Os tratamentos pesquisados deram diferenças altamente significativas.

Quanto ao revestimento do solo, as geotemperaturas aumentam conforme o grau de desnudamento: solo capinado (B) deu a média de 26,82°C; gramado (A), 25,91°C, e cobertura morta (C), 24,82°C.

Quanto às profundidades, as oscilações térmicas são mais acentuadas e variadas nas primeiras profundidades, aproximadamente até 30 cm.

Quanto às horas de observação, às 9 horas as geotemperaturas diminuem com o aumento de profundidade, às 15 horas ocorrem as mais altas temperaturas e às 21 horas ocorre o inverso, isto é, elas aumentam até 30 cm, ponto este onde começam a declinar.

INTRODUÇÃO

A temperatura do solo representa um dos mais palpáveis temas da pesquisa agrônômica, daí o presente trabalho, cujos resultados iniciais são agora divulgados.

A finalidade da pesquisa foi a de procurar conhecer como se realiza a troca de calor entre a atmosfera e a camada do solo onde germinam as sementes, se desenvolvem os sistemas radiculares das plantas e o mecanismo da flora microbiana e são mais ativas a decomposição e a transformação da matéria orgânica.

Geiger (1959) esclareceu que as temperaturas governam o clima; Meyer e Anderson (1955) interessaram-se em evidenciar os limites de temperatura para germinação de sementes; e Greene (1953) informou que a geotemperatura é fator de limitação no crescimento das raízes.

No Brasil podemos citar, entre outros, os seguintes trabalhos: Azevedo e Junot (1953), estudando a temperatura do solo na Baixada de Sepetiba, concluíram que as geotemperaturas mais favoráveis à produção do feijão ficavam entre 25 e 30°C; Costa e Godoy (1962), em Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, indicaram a profundidade de 20 cm como a de transição das grandes variações térmicas; Strang (1965), na Floresta da Ti-

juca, Guanabara, observou que a oscilação diurna média desaparece entre 30 e 40 cm de profundidade; e Souto e Döbereiner (1968), utilizando vasos sob condições controladas de estufa, verificaram que temperaturas máximas diurnas do solo entre 34° e 42°C prejudicavam a nodulação e a fixação do nitrogênio. Junot (s/d), em São Paulo, já explicava a influência da geotemperatura nos fenômenos físicos e químicos do solo.

A análise destes dados preliminares visa orientar as práticas agrícolas a fim de torná-las eficientes economicamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos de temperatura do solo foram realizados no campo do Setor de Climatologia Agrícola do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), região da Baixada Fluminense, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitude, 22°45'S e longitude 43°41'W; a altitude é de 33 metros.

O clima local, dentro da classificação de Köppen, é clima tropical do inverno seco de savana, tipo Aw, com verão muito quente e úmido. Temperaturas elevadas de dezembro a março, com precipitações irregularmente distribuídas, são comuns na localidade (Quadro 1).

O solo no qual foi realizada a pesquisa pertence à série "Ecologia", variante arenosa (65% da área do IPEACS), comumente encontrada em outros pontos do Município de Itaguaí, caracterizando-se pela textura arenosa com manchas de areia totalmente lavada, fisicamente de grande permeabilidade, com retenção de água muito baixa. Mendes *et al.* (1954) apresentaram o perfil da série (Quadro 2).

¹ Aceito para publicação em 31 ago. 1971.

Resumo deste trabalho foi apresentado no 5.ª Seção da Comissão de Meteorologia Agrícola da Organização Mundial de Meteorologia, Gênova, 1971.

² Eng.º Agrônomo do Setor de Climatologia Agrícola do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro-Sul (IPEACS), Km 47, Campo Grande, GB, ZC-26.

³ Eng.º Agrônomo, Chefe do Setor de Bioclimatologia do Departamento Nacional de Meteorologia, Praça 15 de Novembro, 4, Rio de Janeiro, GB, ZC-00.

⁴ Eng.º Agrônomo do Setor de Estatística do DNPEA, Ministério da Agricultura, 9.º andar, Brasília, DF.

QUADRO 1. *Elementos climáticos observados no período de julho/68 a junho/69 (médias e totais mensais)*

Meses	Total de chuva (mm)	Temperaturas (°C)			Umidade relativa (%)	Insolação total (horas)	Evaporação total (mm)	Nebulosidade média (0 — 10 p)
		Média	Máxima	Mínima				
Julho — 1968	23,3	18,8	25,5	13,4	72,5	214,9	119,1	5,6
Agosto	20,2	19,1	25,8	13,9	71,6	203,4	99,8	4,6
Setembro	64,7	20,4	26,4	15,5	71,5	176,7	93,3	5,4
Outubro	84,0	21,2	27,0	17,2	78,6	138,9	80,2	7,3
Novembro	64,6	23,4	29,3	18,7	73,1	167,8	119,4	6,6
Dezembro	208,0	25,5	31,4	21,0	70,3	243,0	141,2	5,6
Janeiro -- 1969	215,5	26,7	32,7	22,0	72,6	219,3	147,3	6,5
Fevereiro	73,6	26,8	33,0	22,4	76,5	171,9	110,4	6,9
Março	166,7	25,3	31,4	20,8	77,9	203,7	97,7	6,7
Abril	192,5	23,0	28,8	18,2	76,1	190,8	85,5	5,6
Maió	31,7	21,4	28,0	16,6	75,6	205,4	99,7	4,6
Junho	61,1	20,8	26,8	16,1	75,2	204,8	105,5	4,6
Médias e totais	1 225,9	22,7	28,8	18,0	74,3	2 341,5	1 299,1	5,8

QUADRO 2. *Principais características físicas e químicas do solo da série Ecologia, segundo Mendes et al. (1954)*

Horizontes	Espessuras (mm)	Características físicas		Características mecânicas				Pe
		M.e.a.	M.e.r.	Análise mecânica				
				Areia	Limo	Argila	Argila natural	
A _p	20	1,37	2,59	89,4	6,2	4,4	2,0	52,4
A ₂	40	1,38	2,62	89,5	5,2	5,3	3,4	35,8
A ₃ /B ₁	40	1,24	2,58	74,8	3,2	22,0	14,5	34,0
B ₂₁	50	1,13	2,59	64,1	2,0	33,9	17,9	47,1
B ₂₂	50	1,16	2,63	46,8	10,6	42,6	16,4	61,5
B ₂₃	40	1,20	2,60	75,6	8,7	15,7	11,4	27,3

QUADRO 2. (Continuação)

pH	P ₂ O ₅ Ass (mg/100g)	Características químicas							
		C	N	C:N	mEq./100 cm ³ de solo seco				
					H ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	S
5,8	0,2	0,39	0,06	6,5	1,51	1,99	0,87	0,08	2,94
5,9	0,2	0,25	0,03	8,3	0,89	0,87	0,27	0,04	1,18
5,0	0,2	0,15	0,03	5,0	1,62	0,91	0,45	0,08	1,44
4,7	0,2	0,19	0,03	6,3	2,89	0,70	0,76	0,08	1,54
4,6	0,2	0,09	0,03	3,0	6,23	0,34	2,68	0,12	3,14
4,9	0,2	0,03	0,22	1,5	4,82	0,84	4,86	0,13	5,83

A área escolhida, um retângulo de 48 m², foi dividida em três partes e cada uma delas recebeu os seguintes tratamentos:

- A. Solo gramado, isto é, recoberto com grama *Paspalum notatum* Fl. (aparada periodicamente);
- B. Solo capinado, permanentemente desnudo;
- C. Solo com cobertura morta (revestido com restos de gramineas secas, formando uma espécie de cama de aproximadamente 5 cm de espessura, "mulch").

Em cada tratamento foi colocada uma bateria de nove geotermômetros de mercúrio com divisões de 0,2°C, no total de 27 aparelhos, nas profundidades de 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 100 centímetros.

As observações foram realizadas no período de julho de 1968 a junho de 1969.

Foram feitas 81 observações diárias, nos horários de 9, 15 e 21 horas, num total de 29.565 observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, os resultados foram analisados estatisticamente como um fatorial 3 x 3 x 9 assim discriminado:

- a) coberturas: gramado, capinado e cobertura morta;
- b) horas de observações: 9, 15 e 21 horas;
- c) profundidades: 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 e 100 cm.

Foi verificada grande diferença estatística entre os tratamentos (Quadro 3) com exceção da profundidade. Foi observada uma diminuição da temperatura com o aumento da profundidade, até 30 cm, quando então se verifica uma tendência de estabilização dentro do limite das profundidades estudadas, o que pode ser observado na Fig. 1 e Quadro 4.

Foi observado um aumento das geotemperaturas em razão do desnudamento do solo. No Quadro 5 observa-se que as geotemperaturas obtidas, na ordem crescente, correspondem à cobertura morta, gramado e capinado.

Traçadas as isolinhas dos meses, foram encontradas as faixas de temperaturas extremas: solo capinado às 15 hs, 40,7°C em fevereiro; solo gramado às 21 hs, 19,0°C em julho (Fig. 2 a 4).

QUADRO 3. Análise da variância de 29.565 dados geotérmicos

F. de variação	G. L.	Q. M.ª
Total	29564	—
Dias	364	—
Profundidade	8	551,85
Coberturas	2	9916,71*
Horas de leitura	2	15302,41***
Int. prof. x cobertura	16	171,74
" prof. x leitura	16	2071,83***
" cobertura x leitura	4	1318,89***
" prof. x cobert. x leitura	32	184,95***
Resíduo	29120	2,26

* = significação ao nível de 5%. *** = significação ao nível de 0,1%. C.V. = 5,82%.

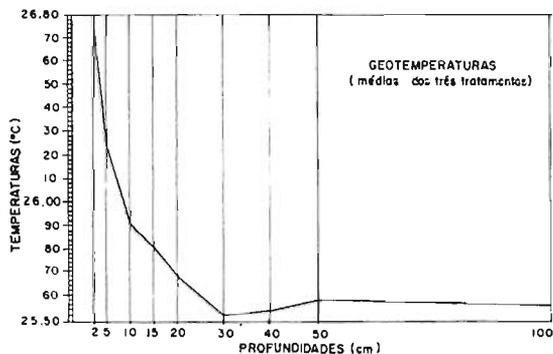


FIG. 1. Geotemperaturas em razão das profundidades.

QUADRO 4. Interação horas de leitura X profundidades

Horas de leitura	Profundidades (cm)									Médias
	2	5	10	15	20	30	40	50	100	
9	25,77	24,65	24,11	24,09	24,25	24,70	25,22	25,46	25,58	24,87
15	30,40	29,51	28,35	27,68	26,86	25,87	25,55	25,50	25,57	27,26
21	24,06	24,60	25,27	25,69	25,66	26,01	25,86	25,78	25,56	25,42
Médias	26,74	26,25	25,91	25,82	25,69	25,52	25,54	25,58	25,57	

QUADRO 5. Interação profundidades X coberturas

Coberturas	Profundidades (cm)									Médias
	2	5	10	15	20	30	40	50	100	
A	27,01	26,39	25,94	25,87	25,62	25,52	25,02	25,57	25,61	25,91
B	28,09	27,63	27,18	26,95	26,82	26,39	26,19	26,21	25,93	26,82
C	25,13	24,73	24,60	24,64	24,64	24,66	24,83	24,96	25,17	24,82
Médias	26,74	26,25	25,91	25,82	25,69	25,52	25,54	25,58	25,57	

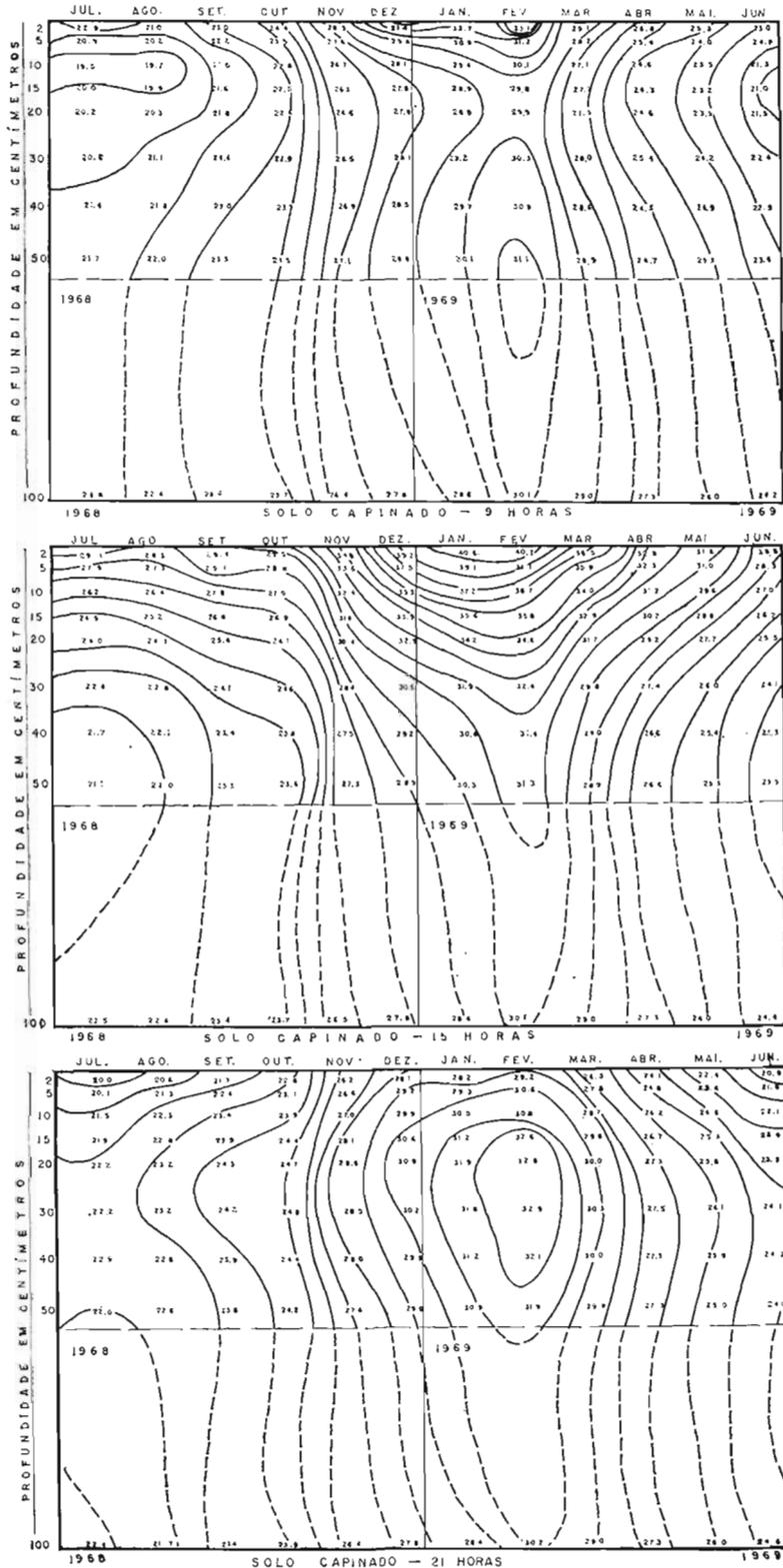


FIG. 2. Isolinhas dos meses. Temperatura extrema: solo capinado, às 15 hs, 40,7°C, em fevereiro.

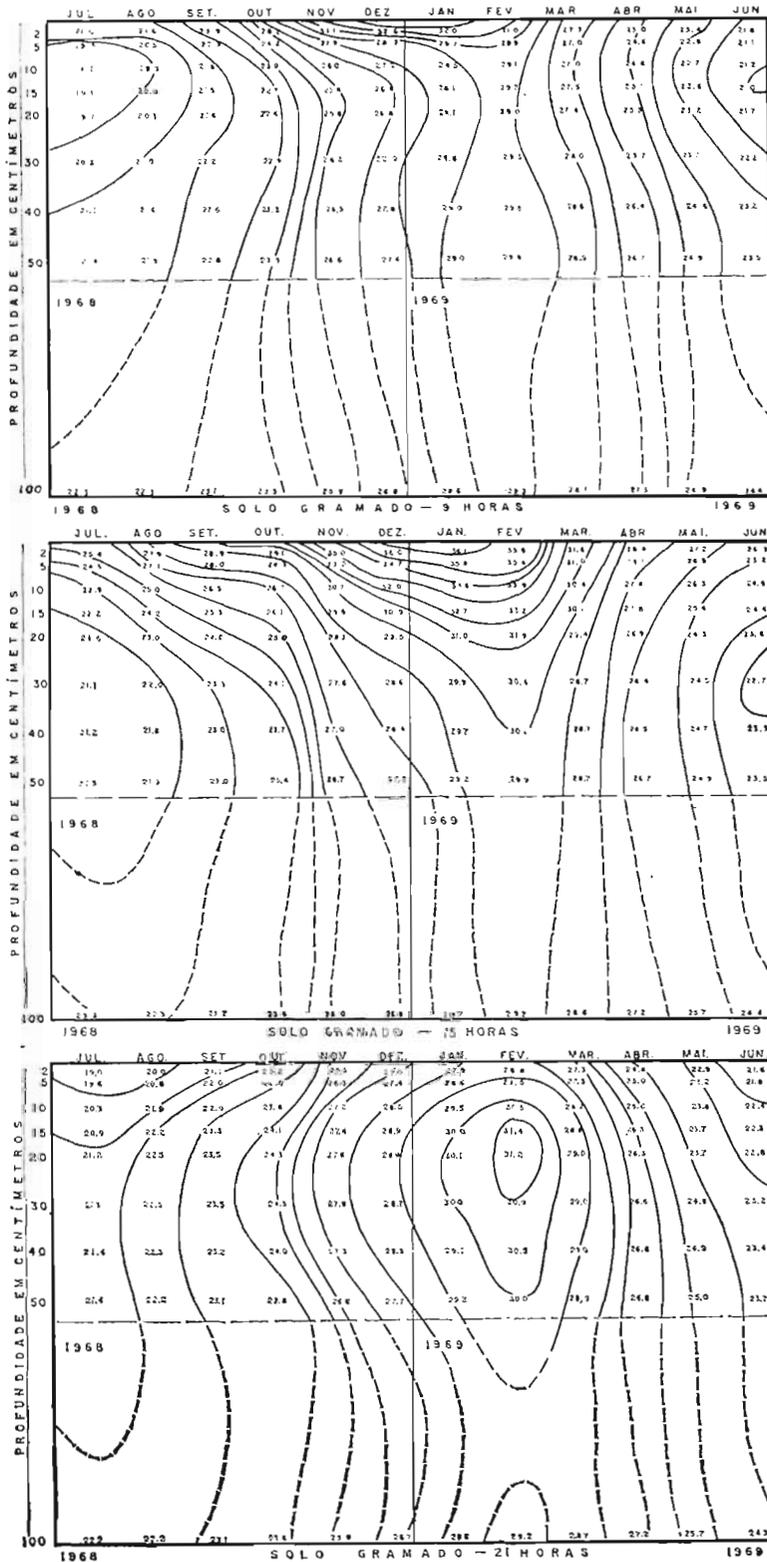


FIG. 3. Isolinhas dos meses. Temperatura extrema: solo gramado, às 21 hs, 19,0°C, em julho.

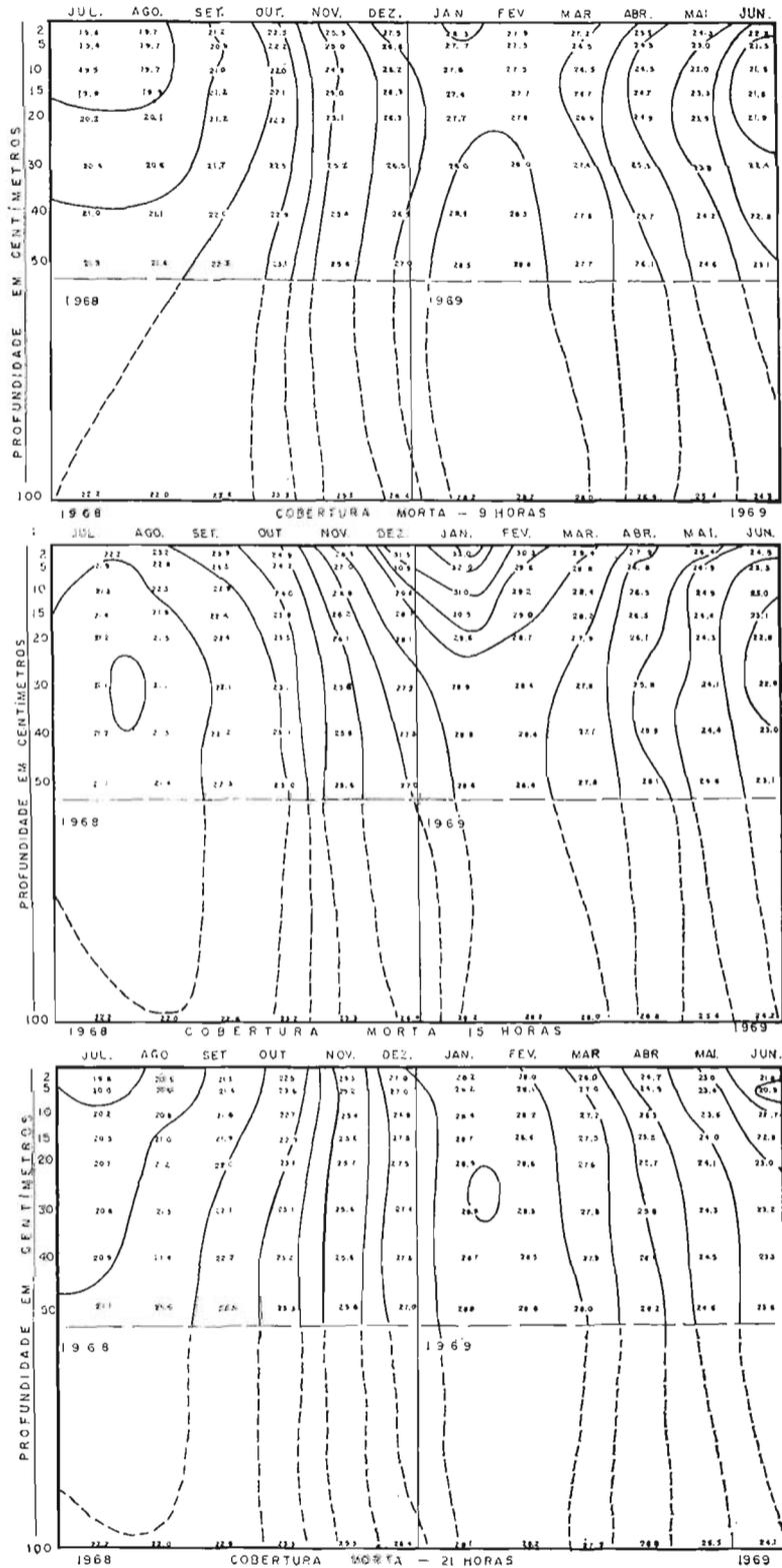


FIG. 4. Isolinhas dos meses. Cobertura morta.

A interação profundidade \times hora de leitura foi altamente significativa, indicando que às 9 horas as temperaturas do solo diminuem de acordo com o aumento de profundidade até 15 cm; às 15 horas, esse declínio vai até 100 cm, ocorrendo também nessa hora as mais altas temperaturas, e às 21 horas, a temperatura aumenta até 30 cm, ponto onde começa a declinar (Fig. 5).

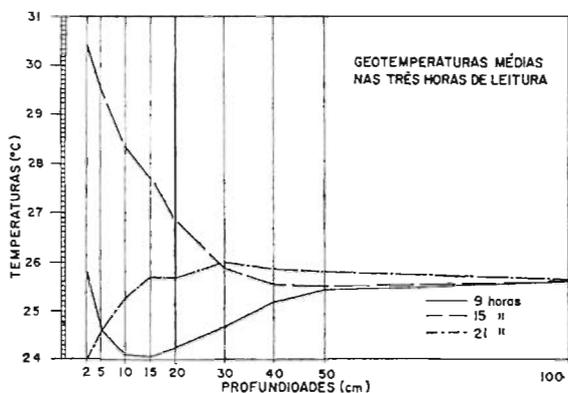


FIG. 5. Interação profundidades \times horas de leitura.

Quanto à interação profundidade \times tipo de cobertura, observamos que as temperaturas nos três tipos de cobertura diminuem à medida que as profundidades aumentam, com exceção da cobertura morta que após os 20 cm de profundidade apresenta ligeiro aumento (Quadro 5).

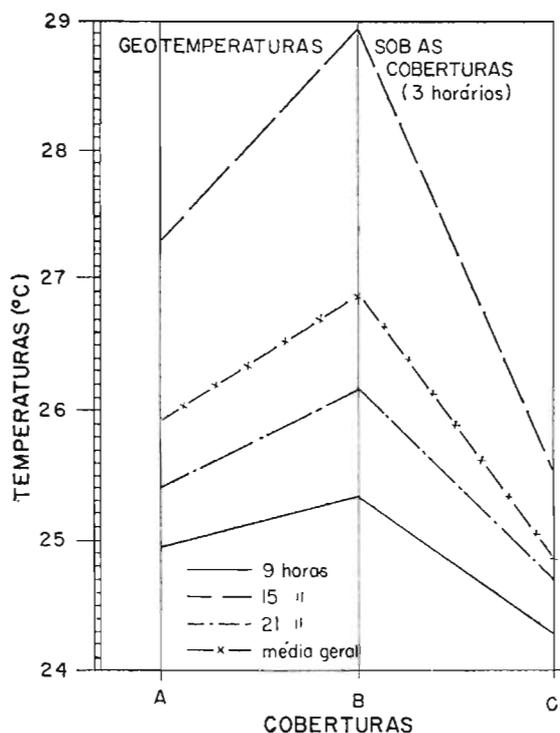


FIG. 6. Coberturas em função das horas de leitura.

O efeito das coberturas em função das horas de observação foi altamente significativo, verificando-se as maiores temperaturas no solo capinado (B), em todas as horas (Quadro 6 e Fig. 6).

QUADRO 6. Interação coberturas \times horas de leitura

Horas de leitura	Coberturas			Médias
	A	B	C	
9	24,99	25,35	24,27	24,87
15	27,31	28,95	25,51	27,26
21	25,12	26,17	24,68	25,12
Médias	25,91	26,82	24,82	

O tratamento C (cobertura morta) apresentou as mais baixas temperaturas; Cervellini e Salati (1959), em Piracicaba, S. Paulo, e Drummond (1955), no Instituto Agrônomo em Belo Horizonte, Minas Gerais, obtiveram idênticas informações.

O solo gramado funcionou com temperaturas intermediárias; Camargo (1966) explicou que gramado ou qualquer vegetação rasteira fechada age qual uma superfície irradiante, isolada termicamente do solo, permitindo por isso grandes quedas noturnas de temperatura do ar junto ao solo (Fig. 6). Dias e Carneiro (1953) explicaram que o revestimento vegetal é um fator de controle de temperatura do solo, pois no verão, interceptando, total ou parcialmente, os raios caloríficos, torna o solo, sob sua proteção, mais frio, que aquele desprotegido. No inverno, entretanto, estando o solo protegido pela vegetação, que é má condutora de calor, torna-se mais quente do que o despido da capa vegetal.

As interações entre as coberturas, horas de leitura e as profundidades (Quadro 7) foram altamente significativas até 40 cm, levando a crer que a temperatura é uma função dos três fatores dentro desta interação. Independentemente desses fatores, é provável que o elemento solo tenha contribuído para esse resultado, em vista do aumento do teor de argila nessa profundidade (Quadro 2).

Para se obterem melhores conclusões do trabalho, foi feita uma segunda análise estatística e consultados Anderson e Bancroft (1952), Draper e Smith (1966), Ezekiel (1945), Paterson (1956), Snedecor e Cochran (1967) e Stevens (1951). Os dados foram ajustados para vários tipos de equações como: curva geométrica, exponencial, hipérbole, curva de Gompertz e outras. Nessa análise a profundidade foi limitada de 2 a 50 cm, não só porque é nessa faixa que ocorrem as maiores e mais variadas oscilações, como também por ser a de maior interesse prático agrícola.

Comportamento das horas de leitura nos vários tipos de cobertura

Temperaturas tomadas às 9 horas. Os dados foram ajustados a uma equação da forma: $\text{Log} y = b_0 + b_1(\text{log} x) + b_2(\text{log} x)^2$, onde y é a temperatura média anual em $^{\circ}\text{C}$ e x é a profundidade do solo em cm, e que evidencia a semelhança da variação da temperatura, embora com gradientes desiguais.

QUADRO 7. Interação cobertura X horas de leitura X profundidades

Profundidades	Coberturas									Médias
	A			B			C			
	9 hs	15 hs	21 hs	9 hs	15 hs	21 hs	9 hs	15 hs	21 hs	
2	26,37	30,69	23,96	26,68	33,92	24,18	24,27	27,10	24,04	26,74
5	24,81	29,82	24,54	25,43	32,44	25,03	23,60	26,28	24,22	26,25
10	24,13	28,32	25,25	24,56	30,93	26,05	23,63	25,29	24,32	25,91
15	24,10	27,34	25,76	24,36	29,84	26,66	23,82	25,46	24,64	25,82
20	24,25	26,62	25,98	24,55	28,80	27,11	23,96	25,17	24,78	25,69
30	24,77	25,78	26,01	25,03	27,01	27,13	24,29	24,81	24,89	25,52
40	25,34	25,65	25,87	25,65	26,14	26,77	24,08	24,85	24,95	25,54
50	25,49	25,54	25,68	25,97	26,03	26,62	24,92	24,92	25,04	25,58
100	25,63	25,62	25,58	25,93	25,93	25,93	25,17	25,17	25,18	25,57
Médias	24,09	27,31	25,42	25,35	28,95	26,17	24,27	25,51	24,68	

As equações ajustadas aos dados pelo método dos quadrados mínimos foram as seguintes:

A. Solo gramado:
 $\log y = 1,458187 - 0,140108(\log x) + 0,065112(\log x)^2$;

B. Solo capinado:
 $\log y = 1,464534 - 0,138152(\log x) + 0,063706(\log x)^2$;

C. Solo c/cobertura morta:
 $\log y = 1,400304 - 0,061313(\log x) + 0,034901(\log x)^2$.

As curvas correspondentes estão na Fig. 7 em forma de $y = f(x)$.

A análise de variância dos logaritmos decimais da temperatura em °C forneceu os seguintes valores F para a componente regressão com 2 e 5 G.L.:

tipos de cobertura:	A	B	C
valor F	126,83***	44,29***	1164,80***;
valor de x^2	22,49.10 ⁻⁴	37,64.10 ⁻⁴	4,58.10 ⁻⁴ .

Para testar a hipótese $B_1 = 0$, obtiveram-se os seguintes valores de t:

tipos de cobertura:	A	B	C
t_{b_1}	-15,88***	-9,36***	-34,06***;
t_{b_2}	15,83***	8,96***	40,12***.

Os limites de confiança a 95% de probabilidade para os b_1 e b_2 são:

tipos de cobertura	b_1	b_2
A	-0,140108 ± 0,022678	0,065112 ± 0,010430,
B	-0,138152 ± 0,037948	0,063706 ± 0,018280,
C	-0,061313 ± 0,004628	0,034901 ± 0,002237.

Verificaram-se maiores diferenças entre as temperaturas conforme o maior grau de desnudamento do solo. Nos solos com cobertura morta as diferenças entre as temperaturas foram proporcionalmente menores que as do solo gramado, e neste, menores do que as do solo capinado (Quadro 8).

QUADRO 8. Temperaturas médias observadas e calculadas às 9 horas

x*	Solos					
	Gramado (A)		Capinado (B)		Cobertura morta (C)	
	y	\hat{y}	y	\hat{y}	y	\hat{y}
2	26,37	26,42	26,68	26,83	24,27	24,27
5	24,81	24,67	25,43	25,07	23,60	23,69
10	24,13	24,17	24,56	24,55	23,63	23,65
15	24,10	24,18	24,36	24,56	23,82	23,80
20	24,25	24,33	24,65	24,69	23,96	23,96
30	24,77	24,74	25,03	25,00	24,29	24,31
40	25,34	25,17	25,65	25,51	24,68	24,64
50	25,49	25,59	25,97	25,93	24,92	24,94

* x=profundidade do solo em cm, y=temperatura média anual em °C, \hat{y} =estimativa de y.

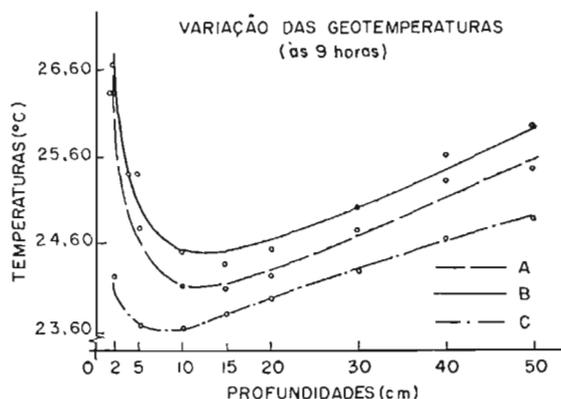


FIG. 7. Comportamento das coberturas nas diversas profundidades na leitura das 9 hs.

Graças ao tipo de equação ajustada, pôde-se determinar o ritmo relativo de aumento da temperatura, isto é, o ritmo de aumento por unidade x por unidade y (Quadro 9) nas diversas profundidades.

QUADRO 9. Ritmo relativo de aumento em °C/cm/°C às 9 horas

Profundidades (cm)	Coberturas		
	A	B	C
2,0	— 0,0504	— 0,0499	— 0,0203
2,5	— 0,0353	— 0,0350	— 0,0134
3,0	— 0,0260	— 0,0258	— 0,0093
4,0	— 0,0154	— 0,0154	— 0,0048
5,0	— 0,0098	— 0,0098	— 0,0025
6,0	— 0,0065	— 0,0052	— 0,0012
7,6	— 0,0034	— 0,0035	0
10,0	— 0,0010	— 0,0011	0,0009
11,9	0	— 0,0001	0,0012
12,1	0,0001	0	0,0012
15,0	0,0009	0,0008	0,0014
20,0	0,0015	0,0014	0,0015
30,0	0,0017	0,0017	0,0014
40,0	0,0017	0,0017	0,0013
50,0	0,0016	0,0016	0,0012

É evidente que, para as coberturas, uma mesma lei comanda o comportamento da temperatura no interior do solo, na faixa compreendida entre 2 e 50 cm de profundidade, ou seja, a partir de um ponto "p", próximo da superfície do solo, a temperatura vai decrescendo em escalas sempre menores até uma profundidade "p₀", de onde começa a crescer, quase que linearmente de 20 a 50 cm. O ponto p₀ se caracteriza por apresentar o ritmo relativo de aumento de temperatura igual a zero e, conseqüentemente, de ser a profundidade onde a temperatura é mínima.

Pela comparação dos elementos das curvas correspondentes às coberturas A e B, respectivamente, pode-se deduzir que o comportamento da temperatura no interior do solo, às 9 horas da manhã, é muito semelhante, nas condições referidas (Fig. 7).

Além do mais, outras características que forcem esta dedução ainda podem ser discutidas. A primeira seria a profundidade em que a temperatura se torna mínima: no solo gramado (A) está em torno de 11,9 cm e no solo capinado (B), 12,1 cm. O ritmo relativo de aumento da temperatura, semelhante em quase todos os pontos, é sem dúvida um índice de variação que mostra ser a faixa compreendida entre a superfície de 5 cm de profundidade aquela onde a variação de temperatura é maior nas duas situações (Quadro 9).

Por outro lado, a cobertura morta (C) mostrou ter influência moderadora na variação da temperatura dentro dos limites citados anteriormente, como pode ser observado na Fig. 7 e no ritmo relativo de aumento aproximadamente até 6 cm de profundidade. Já aos

7,5 cm torna-se mínima a temperatura, atingindo, aos 50 cm, valor superior ao registrado a 2 cm.

Temperaturas tomadas às 15 horas. Os dados foram ajustados às equações:

- A) solo gramado: $y = 25,29 (1,2575)^{0,93x}$;
- B) solo capinado: $y = 34,068472 - 0,340127x + 0,003574x^2$;
- C) solo c/cobert. morta: $\log y = 1,435905 - 0,002406x + 0,000331x^2$.

Os valores de s² e F para a componente regressão, obtidos da análise de variância, foram:

tipos de cobertura:	A	B	C
valor F	679,29***	3829,65***	105,50;
valor de s ²	3.10 ⁻³	850.10 ⁻³	2,6.10 ⁻³ .

Para testar a hipótese B₁ = 0, o teste t forneceu os valores abaixo mencionados, juntamente com os limites de confiança para os b_i:

tipos de cobertura:	B	C
t _{b₁}	45,41***	10,44***;
t _{b₂}	25,15***	7,57***;

limites de confiança (b₁): ± 0,019257 ± 0,000592;
 limites de confiança (b₂): ± 0,000365 ± 0,000011.

As temperaturas médias do ano em °C observadas e as calculadas estão no Quadro 10.

O ritmo relativo de aumento de temperatura em °C/cm/°C nas diversas profundidades seguem no Quadro 11.

Às quinze horas ocorre uma diminuição da temperatura no interior do solo a partir da superfície até uma profundidade maior do que a verificada às 9 horas nas três coberturas, porém, a variação até os 5 cm de profundidade é menor, como pode ser observado através do ritmo relativo de aumento da temperatura (Quadro 11).

É evidente que em todos os pontos do interior do solo há, a partir das 9 horas, presumivelmente, e até às 15 horas, um acréscimo de temperatura que, no entanto, é bem variável de acordo com a profundidade e tipo de cobertura sobre o solo (Quadro 12).

Nas condições das 15 horas, a influência da cobertura do solo na temperatura do interior deste é bem destacada, como pode ser visto na Fig. 8. Em uma mesma profundidade, a diferença de temperatura entre solos com e sem cobertura é muito maior do que aquela observada às 9 horas (Quadro 13).

QUADRO 10. Temperaturas médias observadas e calculadas às 15 horas

x ^a	Solos					
	Gramado (A)		Capinado (B)		Cobertura morta (C)	
	y	ŷ	y	ŷ	y	ŷ
2	30,89	30,83	33,42	33,40	27,10	27,00
5	29,82	29,66	32,44	32,45	26,68	26,59
10	28,32	28,26	30,93	31,02	25,79	26,00
15	27,34	27,32	29,84	29,77	25,46	25,54
20	26,62	26,68	28,80	28,70	25,17	25,17
30	25,78	25,95	27,01	27,08	24,81	24,76
40	25,65	25,61	26,14	26,18	24,55	24,70
50	25,54	25,46	26,03	26,00	24,92	25,02

^a x = profundidade do solo em cm, y = temperatura média anual em °C, ŷ = estimativa de y.

QUADRO 11. Ritmo relativo do aumento em °C/cm/°C às 15 horas

Profundidades (cm)	Coberturas		
	A	B	C
2	- 0,0144	- 0,0106	- 0,0022
3	- 0,0134	- 0,0101	- 0,0022
4	- 0,0124	- 0,0101	- 0,0021
5	- 0,0116	- 0,0099	- 0,0021
6	- 0,0107	- 0,0097	- 0,0020
10	- 0,0080	- 0,0088	- 0,0017
15	- 0,0056	- 0,0077	- 0,0014
20	- 0,0039	- 0,0066	- 0,0011
30	- 0,0019	- 0,0044	- 0,0004
40	- 0,0009	- 0,0022	- 0,0002
50	- 0,0004	0	0,0000

QUADRO 12. Coberturas X profundidades às 15 horas

Profundidades (cm)	Coberturas		
	A	B	C
2	4,41	6,57	2,73
5	4,09	7,38	2,90
10	4,09	6,47	2,35
15	3,15	5,21	1,74
20	2,35	4,01	1,21
30	1,21	1,99	0,45
40	0,44	0,67	0,06
50	- 0,13	0,07	0,08

QUADRO 13. Diferença de temperatura nas coberturas às 9 e 15 horas

Profundidades (cm)	B - A		B - C		A - C	
	9 hs	15 hs	9 hs	15 hs	9 hs	15 hs
2	0,31	2,57	2,11	6,40	2,10	3,83
5	0,62	2,79	1,74	5,86	1,12	3,07
10	0,43	2,76	0,93	5,02	0,50	2,26
15	0,26	2,45	0,51	4,23	0,28	1,78
20	0,30	2,02	0,59	3,53	0,29	1,51
30	0,26	1,13	0,74	2,32	0,48	1,19
40	0,31	0,57	0,97	1,48	0,66	0,91
50	0,48	0,54	1,05	0,98	0,57	0,44

	F	S	t _{b1}	t _{b2}	lim. de conf. 5%	lim. de conf. 5%
					b ₁	b ₂
A	103,72 ^{***}	10 ⁻¹	-	-	-	-
B	85,81 ^{***}	2,12 · 10 ⁻¹	8,26 ^{***}	6,74 ^{**}	± 1,785089	± 0,342837
C	128,82 ^{***}	12,50 · 10 ⁻¹	8,56 ^{***}	-	± 0,003848	-

O ritmo relativo de aumento em profundidades menores que 5 cm é sempre menor do que o verificado às 9 horas, em todas as coberturas (Quadro 11).

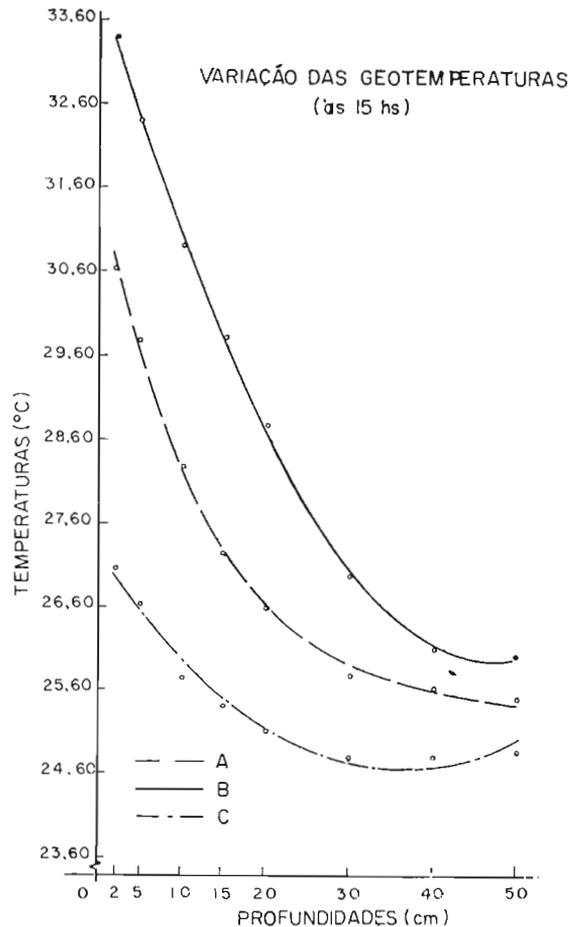


FIG. 8. Comportamento das coberturas nas diversas profundidades na leitura das 15 hs.

Temperaturas tomadas às 21 horas. Às 21 horas, as equações ajustadas aos dados nas várias coberturas foram:

solo gramado (A):
 $y = 23,72x^{0,022215} - 0,001122x^2 - 0,049551x - 0,241090$;
 solo capinado (B):
 $y = 18,433975 + 5,545219x^{1/3} - 0,898514x^{2/3}$;
 solo c/cobert. morta (C):
 $y = 23,75x^{0,013497}$.

Os valores de F, s, t e os limites de confiança são os seguintes:

As temperaturas médias do período em °C observadas e as calculadas estão no Quadro 14.

Às 21 horas ocorre quase que uma inversão da temperatura em relação àquelas observadas às 9 e 15 horas (Fig. 9).

QUADRO 14. Temperaturas médias observadas e calculadas às 21 horas

x ^a	Solos					
	Gramado (A)		Capinado (B)		Cobertura morta (C)	
	y	ŷ	y	ŷ	y	ŷ
2	23,96	23,95	24,18	24,00	24,04	23,97
5	24,54	24,44	25,93	25,28	24,22	24,27
10	25,25	25,26	26,05	26,21	24,38	24,49
15	25,76	25,03	26,66	26,64	24,64	24,63
20	25,98	25,91	27,11	26,87	24,78	24,72
30	26,01	26,08	27,13	26,89	24,80	24,85
40	25,87	25,97	26,77	26,88	24,95	24,95
50	25,68	25,62	26,62	26,66	25,04	25,04

x = profundidade do solo em cm, y = temperatura média anual em °C, y = estimativa de y.

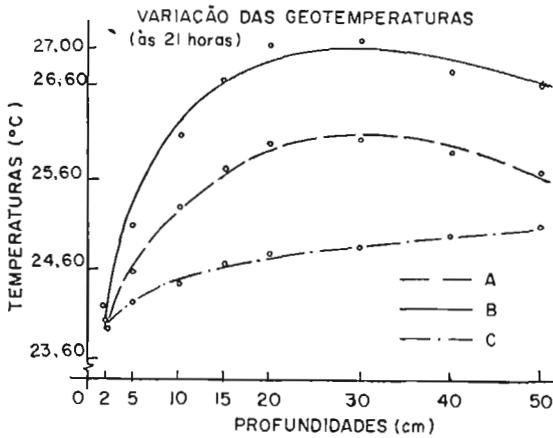


FIG. 9. Comportamento das coberturas nas diversas profundidades da leitura das 21 hs.

Nas diferentes coberturas, as temperaturas, nas proximidades da superfície do solo, são aproximadamente iguais, vindo a se diferenciarem significativamente após os 5 cm de profundidade. No solo capinado, o ritmo de crescimento é o maior, atingindo as maiores temperaturas aos 29,5 cm. No solo gramado, o ritmo de crescimento é menor, porém, cresce até 31,5 cm; no solo com cobertura morta, o ritmo é o mais baixo, mas a temperatura cresce até os 50 cm (Quadro 15).

Traçadas as curvas das temperaturas do solo, referentes às três horas de leitura, para cada um dos tratamentos (Fig. 10 a 12), foi possível localizar, pelo cru-

QUADRO 15. Ritmo relativo de aumento de temperatura em °C/cm/°C (21 hs)

Profundidades (cm)	Coberturas		
	A	B	C
2			0,0067
5	0,0006	0,0210	0,0027
10	0,0062	0,0090	0,0013
15	0,0036	0,0040	0,0009
20	0,0027	0,0021	0,0007
30	0,0007	0	0,0004
31,5	0	0	0,0004
40	-0,0005	-0,0004	0,0003
50	-0,0015	-0,0009	0,0003

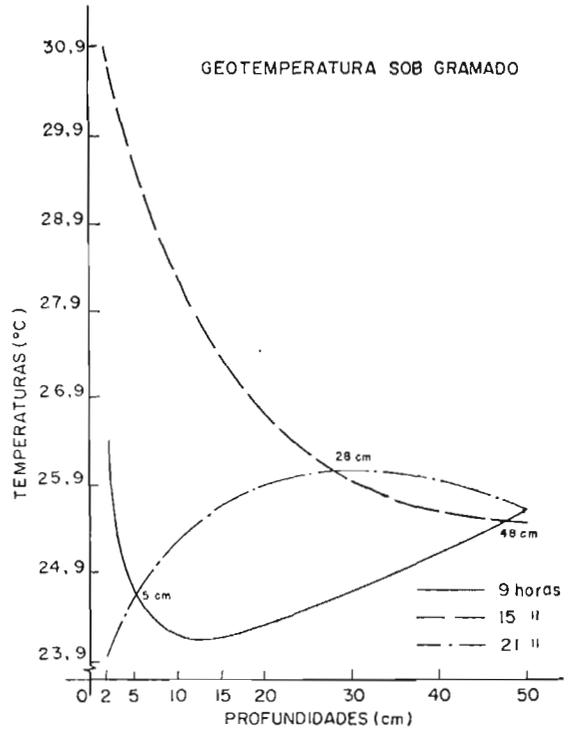


FIG. 10. Influência da hora de leitura no solo gramado "A" mostrando nas diferentes profundidades pontos de iguais temperaturas.

zamento das curvas, pontos em várias profundidades, de temperaturas idênticas; esses pontos foram os seguintes:

- para o solo gramado:
 - a 5 cm de profundidade, leituras das 9 e 21 hs;
 - a 28 cm, leituras das 15 e 21 hs;
 - a 48 cm, leituras das 15 e 9 hs;
- para o solo capinado:
 - a 4,5 cm, leituras das 9 e 21 hs;
 - a 31 cm, leituras das 15 e 21 hs;
- para o solo com cobertura morta:
 - a 2,5 cm, leitura das 9 e 21 hs;
 - a 27 cm, leitura das 15 e 21 hs.

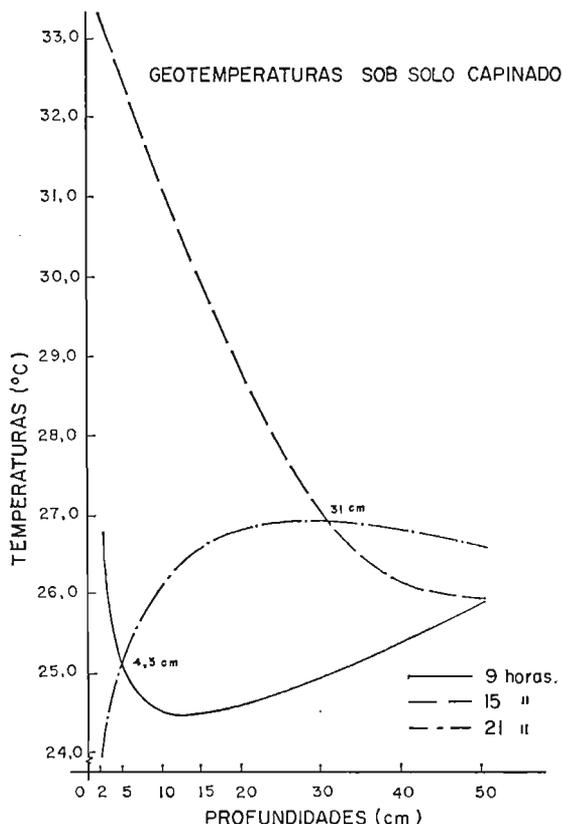


FIG. 11. Influência da hora de leitura no solo capinado "B" mostrando nas diferentes profundidades pontos de iguais temperaturas.

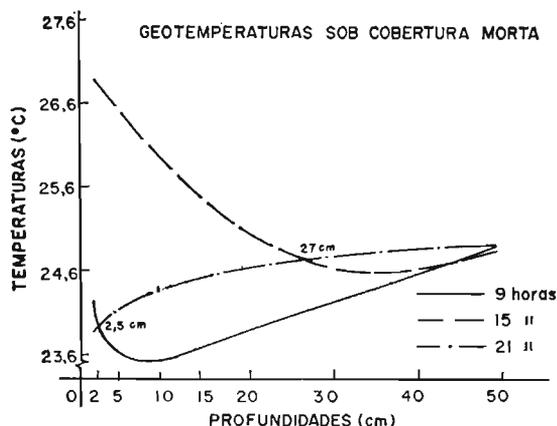


FIG. 12. Influência da hora de leitura no solo com cobertura morta "C" mostrando nas diferentes profundidades pontos de iguais temperaturas.

CONCLUSÕES

Independente do tipo de cobertura, há uma acentuada e variada oscilação térmica nas primeiras profundidades do solo estudado.

As coberturas mostraram que as geotemperaturas aumentam conforme o grau de desnudamento do solo (média de todas as leituras):

B) solo capinado	26,82°C;
A) solo gramado	25,91°C;
C) solo c/cobertura morta	24,82°C.

O solo com cobertura morta apresentou as mais baixas temperaturas em todas as horas de observação.

As maiores temperaturas foram registradas às 15 horas nos solos com e sem coberturas.

Pela comparação dos elementos das curvas correspondentes aos solos gramado e capinado, respectivamente, deduz-se que o comportamento das geotemperaturas às 9 horas é muito semelhante. Nessa hora as temperaturas se tornam mínimas nas seguintes profundidades: 11,9 cm em solo gramado; 12,1 cm, em solo capinado, e 7,5 cm, em solo com cobertura morta. Observou-se também que em todos os pontos do interior do solo há, a partir das 9 horas presumivelmente, até às 15 horas, um acréscimo de temperatura que, no entanto, é bem variável de acordo com a profundidade e o tipo de cobertura.

As 15 horas ocorre uma diminuição de temperatura a partir da superfície até uma profundidade de aproximadamente 50 cm. O ritmo relativo de aumento de temperatura em profundidades menores que 5 cm, nessa hora, é sempre menor do que o que ocorre às 9 horas, em todas as coberturas.

As 21 horas há uma inversão de temperatura. Aproximadamente até 5 cm de profundidade, a temperatura é praticamente igual nas várias coberturas. No solo capinado o ritmo de crescimento é o maior, atingindo as maiores temperaturas aos 29,5 cm; no solo gramado o ritmo é menor, porém, cresce até 31,5 cm; no solo com cobertura morta o ritmo é o mais baixo, mas a temperatura cresce até os 50 cm.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Helmut Wagemann, da Missão Meteorológica Alemã no Brasil, e aos funcionários do IPEACS, Srs. Adrião Teixeira e Paulo Antonio Tupinambá, pela valiosa colaboração na confecção do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Anderson, R.L. & Bancroft, T.A. 1952. Statistical theory in research. 1st ed. McGraw-Hill Book Co., New York, p. 207-211.
- Azevedo, F.D.de & Junot, L.R. 1953. Contribuição ao estudo da temperatura do solo na Baixada de Sepetiba. Soc. Bras. Ci. Solo. Campinas, p. 18-21.
- Camargo, A.P.de 1966. O clima do Estado de São Paulo. Agrônomo, Campinas, S. Paulo, 18(7/8):1-3.
- Cervellini, A. & Salati, E. 1959. Influência da cobertura morta na temperatura do solo. 7.º Congr. Bras. Ci. Solo, Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, S. Paulo.
- Costa, A.O.L.da & Godoy, H. 1962. Contribuição para conhecimento do clima e do solo de Ribeirão Preto. Bragantia 21(40):689-742.
- Dias, J.de D.de O. & Carneiro, H. 1953. Agricultura geral. Serv. Inf. Agric., Min. Agric., Rio de Janeiro, p. 211.
- Draper, N.R. & Smith, H. 1966. Applied regression analysis. 1st ed. John Wiley, New York, p. 131-135.
- Drummond, O.de A. 1955. Bolm Agric. Depto. Prod., Secret. Ind. Com. Trab. Est. Minas Gerais, Vol. 4, p. 80-82.
- Ezekiel, M. 1945. Correlation analysis. 2nd ed. John Wiley, New York, p. 75-101.

- Geiger, R. 1959. The climate near the ground. Harvard Univ. Press Cambridge, Massachusetts.
- Greene, G.E. 1953. Soil temperatures in the South Carolina Piedmont U.S.D.A. Forest Serv., Southeastern Forest Exp. Station, Paper n.º 29. (Citado por Strang 1965)
- Junot, L. (s/d). Temperaturas do solo em São Paulo. Bolm meteorol., Serv. Climatol. e Hidrográfico, Secret. Agric., Ind. Com. Est. São Paulo, Vol. 2 (7 e 13).
- Mendes, W., Lemos, P.O.C., Lemos, R.C., Carvalho, O.L.G. & Roseburg, R.J. 1954. Contribuição ao mapeamento em séries dos solos do Município de Itaguaí. Bolm téc. 12, Inst. Ecol. Exp. Agric. Rio de Janeiro.
- Meyer, B.S. & Anderson, D.B. 1955. Plant physiology. 2nd ed. D. Van Nostrand, New York, p. 708.
- Patterson, H.D. 1956. A simple method for fitting and asymptotic regression curve. Biometrics 12(3):323-329.
- Snedecor, G.W. & Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. 6th ed. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, p. 447-470.
- Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1968. Efeito do fósforo, temperatura e umidade do solo na nodulação e no desenvolvimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica* L.). Pesq. agropec. bras. 3:215-221.
- Stevens, W.L. 1951. Asymptotic regression. Biometrics 7(3): 247-267.
- Strang, D. 1965. Primeiras análises das geotemperaturas na Floresta da Tijuca. Vellozia, Rio de Janeiro, 1(5):237-248.

ABSTRACT.- Menezes, D.M.; Pinto, M.M.; Vivaldi, L.J. [A study of soil temperature at different depths with three surface treatments.]. Estudo da temperatura do solo com e sem cobertura, a diversas profundidades. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 39-11 [Pt, en] IPEACS, Km 47, Rio de Janeiro, GB, ZC-26, Brazil.

A study was conducted by the Department of Agricultural Climatology of IPEACS (Instituto de Pesquisa Agropecuária de Centro-Sul, Rio de Janeiro, Brazil) from July 1968 to June 1969 to determine the effect of soil management on soil temperature. The soil was an Ecologia Series, sandy variant. A total of 29.565 geothermic data were obtained using geothermometers set up at the depth of 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50 and 100 cm. The soil treatments were: A) Lawn, B) bare soil, and C) grass mulch.

Temperatures were recorded three times a day consisting of 81 daily observations. Highly significant differences were found among the treatments.

Soil temperature increased as the degree of soil covering decreased. The mean temperatures for the treatments were: bare soil (B) 26.82°C, Lawn (A) 25.91°C and mulch (C) 24.82°C.

Soil temperature oscillations were more accentuated in the first 30 cm. In relation to temperature recording hours, it was found that at 0900 hours there was a decrease in soil temperature as the depth increased, at 1500 hours the highest soil temperatures were reached, and at 2100 hours there was an increase in temperature up to 30 cm, and below this depth a decrease.