



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ESTRUTURA TÉRMICA DE SOLOS DO NORDESTE DO BRASIL

JOSÉ FIDELES FILHO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 01/11/88

TANTRAVAḤI VENKATA RĀMĀNA RAO

Orientador

JOSÉ MARIA NOGUEIRA DA COSTA

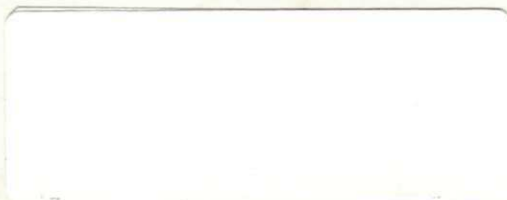
Membro

JURGEN WOLFGANG PRECKER

Membro

CAMPINA GRANDE

NOVEMBRO 1988



JOSE FIDELES FILHO

ESTRUTURA TERMICA DE SOLOS DO  
NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso de  
MESTRADO EM METEOROLOGIA da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
atendimento às exigências para  
obtenção do grau de Mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: AGROMETEOROLOGIA

DR. TANTRAVAHI VENKATA RAMANA RAO  
orientador

CAMPINA GRANDE - PE

NOVEMBRO - 1988



F451e Fideles Filho, Jose  
Estrutura termica de solos no Nordeste do Brasil / Jose Fideles Filho. - Campina Grande, 1988.  
91 p.

Dissertacao (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Solo - Propriedades Termicas - Nordeste - Brasil 2. Pedologia 3. Agrometeorologia 4. Solo - Estrutura Termicas - Nordeste - Brasil 5. Dissertacao I. Rao, Tantravahi Venkata Ramana, Dr. II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 631.436(043)

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal da Paraíba, Campus II, por intermédio do Departamento de Ciências Atmosféricas e Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia, pelo apoio e pelos ensinamentos.

Ao CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro durante o curso.

Ao Prof. T. V. Ramana Rao, pela orientação.

Aos Membros da Banca Profs. José Maria e Jurgen Preker.

Ao colega Malaquias da Silva Amorim Neto, pelos dados de temperatura do solo.

Aos Profs. Rans Raj e Dinarte Aéda da Silva pelos registros diários de temperatura do solo.

Aos colegas Bernardo Barbosa da Silva e Luiz Carlos Silva, pelas sugestões dadas.

A Enilson Palmeira Cavalcanti e Egres Diana Ventura Silva pelo apoio na computação dos dados.

A Renilson Targino Dantas pelo apoio dado durante o curso.

A Cleide dos Santos pela confecção das figuras.

A EMEPA-PB através dos diretores Dr. Paulo Roberto M. Leite (Dir. Pres.), Dr. Severino Pessoa de A. Filho (Dir. Tec.) e Dr. José Carlos Vasconcelos (Dir. Adm.).

Aos meus pais,

José Fideles e Lídia,

meu reconhecimento.

A Danilda, esposa e companheira,

e ao nosso filho Thiago,

dedico-lhes.

## RESUMO

Estudou-se o comportamento térmico de diferentes tipos de solo no Nordeste do Brasil através da técnica de análise harmônica de dados de temperatura. Foram consideradas as estações Climatológicas de Campina Grande-PB, São Gonçalo-PE e Surubim-PE e as estações Agrometeorológicas de Bebedouro e Mandacaru, respectivamente em Pernambuco e Bahia. As medidas foram realizadas nos horários de 12:00, 18:00 e 24:00 TMG, sob diferentes condições de tempo, em solo nu e nas profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm. A partir dos dados obtidos, determinou-se as propriedades térmicas em diferentes tipos de solo em diferentes profundidades ou camadas. Dentre tais propriedades, destacam-se as seguintes: amplitude e fase das ondas de temperatura a diferentes profundidades, para os 5 primeiros harmônicos da série de Fourier, ciclo anual; difusividade térmica; profundidade de amortecimento e velocidade de penetração da onda de temperatura.

Estudou-se, ainda, o comportamento térmico de um Latossolo de textura argilo arenosa, com cobertura vegetal e irrigado por cápsulas porosas sob diferentes condições de pressão hidrostática. Neste último caso, os sensores foram instalados às profundidades de 15, 30 e 60 cm e obtidos registros diários da temperatura.

Os valores apresentados pela difusividade térmica, profundidade de amortecimento e velocidade de penetração da onda de temperatura dos solos estudados, são compatíveis com os da literatura.

## ABSTRACT

The thermal behavior of different soil types in the northeast of Brazil was studied by means of the harmonic analysis technique. The soil temperature data were collected at three climatological stations (Campina Grande-PB, São Gonçalo-PB and Surubim-PE) and two agricultural meteorological stations (Bobedouro-PE and Mandacaru-BA). The temperature data were obtained at 1200, 1800 and 2400 GMT for the depths of 02, 05, 10, 20, 30, 50 and 100 cm. Using this data the thermal properties such as the annual amplitude and phase of the first five harmonics of the Fourier series, the damping depth and the velocity of propagation of the temperature wave were determined. The thermal diffusivity values for different layers were calculated using the amplitude and phase information of the annual cycle for all the five stations mentioned above.

The thermal behavior of the soil under corn crop subjected to two different hydrostatic pressures was also studied and compared with that of an adjacent bare soil location. For this part of the study the daily soil temperature data were obtained at three different depths (15, 30 and 60 cm) by means of distant thermographs.

The values of thermal diffusivity, damping depth, velocity of propagation, etc., obtained for different soils in the northeast of Brazil are in reasonable agreement with those found in the literature.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1a - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 12:00 TMB, Surubim-PE.....	23
Figura 1b - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 18:00 TMB, Surubim-PE.....	24
Figura 1c - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 24:00 TMB, Surubim-PE.....	25
Figura 2a - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 12:00 TMB, Campina Grande-PB.....	26
Figura 2b - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 18:00 TMB, Campina Grande-PB.....	27
Figura 2c - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 24:00 TMB, Campina Grande-PB.....	28
Figura 3a - Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100	



	cm, horário 12:00 TMG, São Gonçalo-PB.....	29
Figura 3b -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 18:00 TMG, São Gonçalo-PB.....	30
Figura 3c -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 24:00 TMG, São Gonçalo-PB.....	31
Figura 4 -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias às 12:00, 18:00 e 24:00 TMG, em São Gonçalo-PB.....	33
Figura 5 -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias às 12:00, 18:00 e 24:00 TMG, em Surubim-PE.....	34
Figura 6 -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias às 12:00, 18:00 e 24:00 TMG, em Campina Grande-PB.....	35
Figura 7 -	Ciclo anual de temperatura para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm, médias diárias, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	36
Figura 8 -	Ciclo anual de temperatura para solo nu,	

	profundidades de 02, 05, 10 e 20 cm, médias diárias, na estação experimental de Mandacuru-BA.....	37
Figura 9	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 23/09/79, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	60
Figura 10	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 09/10/79, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	61
Figura 11	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 27/10/79, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	62
Figura 12	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas 16/11/79, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	63
Figura 13	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	64
Figura 14	- Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de	

00 às 23 horas de 02/12/79, na estação  
experimental de Bebedouro-PE..... 65

Figura 15 - Marcha diária da temperatura do solo, sob  
cobertura de milho, irrigado por cápsulas  
porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35m$ ,  
período de 00 às 23 horas de 23/09/79,  
profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação  
experimental de Bebedouro-PE..... 67

Figura 16 - Marcha diária da temperatura do solo, sob  
cobertura de milho, irrigado por cápsulas  
porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35 m$ ,  
período de 00 às 23 horas de 09/10/79,  
profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação  
experimental de Bebedouro-PE..... 68

Figura 17 - Marcha diária da temperatura do solo, sob  
cobertura de milho irrigado por cápsulas  
porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35 m$ ,  
período de 00 às 23 horas de 27/10/79,  
profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação  
experimental de Bebedouro-PE..... 69

Figura 18 - Marcha diária da temperatura do solo, sob  
cobertura de milho irrigado por cápsulas  
porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35 m$ ,  
período de 00 às 23 horas de 16/11/79,  
profundidades de 15, 30 e 60 cm, na  
estação experimental de Bebedouro-PE..... 70

Figura 19 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática 0,35 m, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 71

Figura 20 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 02/12/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 72

Figura 21 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $H=0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 23/09/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 74

Figura 22 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $H=0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 09/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 75

Figura 23 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas

	porosas, com pressão hidrostática $H=0,75$ m, período de 00 às 23 horas de 27/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	76
Figura 24 -	Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática $H=0,75$ m, período de 00 às 23 horas de 16/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	77
Figura 25 -	Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática $H=0,75$ m, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro-PE.....	78
Figura 26 -	Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática $H=0,75$ m, período de 00 às 23 horas de 02/12/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bbedouro-PE.....	79
Figura 27 -	Difusividade térmica diária, calculada pelo método da amplitude, nas camadas do solo entre 15-30 cm e 30-60 cm, sob solo nu, na estação experimental de Bebedouro,PE.....	81

Figura 28 - Difusividades térmica diária, calculada pelo método da amplitude, nas camadas entre 15-30 e 30-60 cm, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $H=0,35$  m, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 83

Figura 29 - Difusividade térmica diária, calculada pelo método da amplitude, nas camadas do solo entre 15-30 e 30-60 cm, sob cobertura de milho irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $H=0,75$  m, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 84

Figura 30 - Difusividade térmica diária, calculada pelo método da fase, nas camadas do solo entre 15-30 e 30-60 cm, sob solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE..... 85

## LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1	- Estações climatológicas e agrometeorológicas utilizadas no estudo .....	12
Tabela 2	- Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	41
Tabela 3	- Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	42
Tabela 4	- Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	43
Tabela 5	- Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	43
Tabela 6	- Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	44
Tabela 7	- Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°C)	

	do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	45
Tabela 8	- Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.	46
Tabela 9	- Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	46
Tabela 10	- Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	47
Tabela 11	- Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.	48
Tabela 12	- Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Campina Grande -PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	49
Tabela 13	- Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	49
Tabela 14	- Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do	



<p>solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....</p>	51
<p>Tabela 15 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....</p>	51
<p>Tabela 16 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....</p>	52
<p>Tabela 17 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.</p>	52
<p>Tabela 18 - Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....</p>	53
<p>Tabela 19 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.....</p>	53
<p>Tabela 20 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, na estação</p>	

profundidades, harmônicos de 1 a 5.....	54
Tabela 21 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.	54
Tabela 22 - Difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico, para diferentes camadas do solo nu, de São Gonçalo-PB, Campina Grande-PB, Surubim - PE, Bebedouro-PE e Mandacaru-BA.....	56
Tabela 23 - Profundidades de amortecimento da onda de temperatura do solo (m) e velocidade de propagação (cm/h).....	58

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3. 1 - Escolha do período.....	11
3. 2 - Dados básicos.....	11
3. 3 - Instalação do termógrafo.....	13
3. 4 - Considerações teóricas.....	13
3. 5 - Obtenção dos dados.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	22
4. 1 - Ciclo anual da temperatura do solo para diferentes profundidades.....	22
4. 2 - Análise da amplitude, da fase, da variância e da variância acumulada da onda anual de temperatura do solo .....	39
4. 3 - Estimativa da difusividade térmica do solo ...	55
4. 4 - Profundidade de amortecimento e velocidade de propagação da onda de temperatura no solo ....	55
4. 5 - Marcha diária da temperatura do solo para diferentes profundidades e cobertura vegetal sob dois tratamentos diferenciados de irrigação .....	57
4. 6 - Análise da amplitude, da fase e da variância acumulada das ondas diária de temperatura do	

solo .....	73
4. 7 - Estimativa da difusividade térmica do solo ....	80
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
APÊNDICE - A.....	A.1

## 1. INTRODUÇÃO

Embora saibamos que medições de temperatura do solo em profundidades específicas são rotineiras em estações Meteorológicas, poucos são os estudos que têm se beneficiado de tais observações. A não utilização de tal acervo de dados deve-se principalmente por não considerar o fator térmico como limitante, dando-se maior ênfase ao fator hídrico, onde na verdade a temperatura do solo é uma de suas propriedades importante. Dentro de limites, seu controle possibilita o desenvolvimento das plantas e a formação do solo. Sob congelamento não há atividade biológica, a água já não se move como um líquido e nestas condições o tempo detém-se para o solo. Entre as temperaturas de  $0^{\circ}\text{C}$  e  $5^{\circ}\text{C}$  as raízes de muitas plantas não crescem e a germinação de muitas sementes é impossível.

Os processos biológicos no solo são em larga escala controlados pela temperatura e umidade. Cada espécie tem seu requerimento de calor. Na Antártida, por exemplo, existe uma planta microscópica que se desenvolve somente em temperaturas abaixo de  $7^{\circ}\text{C}$ , temperatura na qual a maioria das plantas está inativa. Em outro exemplo, a germinação de sementes de muitas plantas tropicais, requer uma temperatura do solo de  $24^{\circ}\text{C}$  ou mais. Cada planta tem uma ou mais exigência de temperatura do solo, as quais são encontradas no solo de seu ambiente nativo. Da mesma maneira a fauna do solo tem sua exigência de temperatura

para sobreviver (VIEIRA, 1975).

Em muitos casos, a temperatura do solo é de maior significado ecológico para vida vegetal do que a temperatura do ar, e é, obviamente, importante para aqueles que trabalham na agricultura. Uma temperatura do solo desfavorável durante a estação de crescimento, pode retardar ou mesmo arruinar as colheitas. Em muitas fazendas, a felicidade ou a desgraça do agricultor estão intimamente relacionadas com as variações de temperatura do solo. O rendimento do milho depende da temperatura do solo na ocasião da sementeira. Mas, segundo Wang, citado por MOTA (1977), a temperatura do solo é muito importante no início do crescimento do milho, mas a temperatura do ar assume maior significância nos estágios reprodutivos.

A temperatura do solo, particularmente as extremas, influencia a germinação das sementes, na atividade funcional das raízes, na velocidade e duração do crescimento das plantas e na ocorrência e severidade das doenças das plantas (MOTA, 1977).

A uma profundidade de 2 cm, no período de 24 horas, há uma grande variação de temperatura, e esta variação decresce acentuadamente com a profundidade, sendo bem menor a 20 cm e praticamente desprezível a 50 cm. Isto significa que as raízes de uma planta estão num ambiente muito variável no tempo (hora) e no espaço (RESENDE, 1986).

Segundo SEDIYAMA et alii (1986) tem sido demonstrado que pequenas variações na temperatura do solo podem afetar drasticamente o crescimento e o estado nutricional de algumas

plantas. Acredita-se que a absorção de cálcio pelas plantas está relacionada com a temperatura do solo. Outros resultados de pesquisas comprovam que a distribuição das raízes da soja está intimamente relacionada com o perfil de temperatura do solo. Em terrenos mais frios, as raízes crescem lateralmente, alinhando-se quase paralelamente à superfície do solo. Em solos mais quentes, as raízes penetram mais profundamente aumentando o perfil do solo explorado pelo sistema radicular, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes.

Resende, citado por RESENDE (1986), sugere uma hipótese de que as raízes mais superficiais, evoluídas num ambiente com grandes flutuações de temperatura, gastam parte da energia em mecanismo de proteção contra essas flutuações, talvez até em detrimento de uma fisiologia mais eficiente. Assim, as raízes mais profundas podem-se desenvolver sem parte destas proteções, empregando toda energia disponível no desenvolvimento de uma fisiologia mais eficiente. Isto implica em serem as raízes mais profundas mais eficientes na absorção de água e nutrientes.

Um dos componentes mais importantes do microclima da planta é a massa do solo, que serve não só como suporte da planta, mas também como um meio, através do qual a água e os nutrientes são transferidos para o sistema radicular. Além disso, fisicamente o solo funciona como principal mecanismo de armazenamento de energia (SEDIYAMA et alii, 1986).

A quantidade de energia calorífica absorvida pela crosta terrestre depende da intensidade e duração da radiação

solar, da refletividade e transmissividade da superfície, enquanto que a quantidade que penetra no solo depende de suas propriedades térmicas, bem como outros fatores como cobertura vegetal, exposição e inclinação (CARSON & MOSES, 1963).

A porção de energia solar refletida pela superfície do solo depende do seu tipo e da cor da superfície que, por seu turno, é função do teor de umidade do solo, tipo de cobertura e do estágio de desenvolvimento da vegetação. Por outro lado, a energia emitida pela superfície do solo é função da própria temperatura da superfície e das propriedades térmicas dos constituintes do solo.

A atmosfera é essencialmente uma máquina térmica, cujo mecanismo de condução é o aquecimento diferencial entre as áreas continentais e oceânicas e 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, visto 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 (CARSON & MOSE 1963).

A transferência de calor para as camadas mais profundas do solo 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, sendo as duas primeiras propriedades



independentes. O quociente entre a condutividade térmica pela capacidade calorífica é um índice da facilidade com a qual uma substância sofrerá uma mudança de temperatura e é conhecida como difusividade térmica. Em outras palavras, é a mudança em graus centígrados que ocorre em um segundo, quando o gradiente de temperatura muda  $1\text{ C por } \frac{1}{3}$ . A difusividade térmica de um solo pode ser determinada tanto por medida direta de amostras ou pela computação a partir da amplitude ou do retardamento de fase em diferentes profundidades do solo.

Considerando-se que para o Nordeste não existem ainda pesquisas relativas ao comportamento térmico do solo, a diferentes profundidades, o presente trabalho objetiva:

a. submeter os dados de temperatura do solo coletados em estações do Nordeste a uma análise harmônica, visando quantificar a influência dos diversos harmônicos na determinação das ondas anual e diária;

b. determinar a difusividade térmica do solo, através do método das amplitudes e fases;

c. analisar, por meio de gráficos e tabelas, os resultados alcançados, com vistas ao fornecimento de informações acerca das condições adequadas de temperatura do solo para fins agrícolas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo do comportamento térmico do solo é de tal importância, tanto no aspecto climatológico quanto para fins agrícolas, a ponto de ter levado a Organização Meteorológica Mundial - OMM, em sua nota técnica número 20, B1, citada por ALFONSI et alii (1981) a recomendar que na impossibilidade de registros contínuo, da temperatura do solo, sejam feitas leituras em horários fixos, preferivelmente em intervalos de no máximo seis horas.

Existem vários métodos para estimar a temperatura do solo em profundidades específicas e em função do tempo, para solos com cobertura vegetal (viva ou morta) e nu, mas a análise harmônica tem sido muito utilizada.

PEARCE & GOLD (1959), para Ottava - Canadá, em observações de temperatura do solo a 05, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75 e 90 cm e fluxos 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, possivelmente pelo fato de que em Ottawa, essas camadas de solo estão congeladas durante boa parte do ano.

CARSON (1963), com observações de temperatura do ar a 170 cm de altura e de temperatura 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, que 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 nas camadas 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. A onda diária de temperatura do solo, em contraste com a onda anual, não é bem representada por único harmônico.

CARSON & MOSES (1963) afirmaram que as propriedades térmicas do solo são de grande importância nos processos de larga escala, caracterizados por modificação das massas de ar, formação de tornados, desenvolvimento dos sistemas atmosféricos e na própria circulação geral da atmosfera.

Segundo SELLERS (1965), a taxa na qual o calor flui através de um nível do solo, numa profundidade  $Z$  abaixo da superfície, é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura existente naquele nível. Assim, na profundidade  $Z$ ,

$$G_1 = \lambda \left| \frac{\Delta T}{\Delta Z} \right|_1$$

em que  $G_1$  é o fluxo de calor no nível 1, positivo para baixo,

quando a temperatura decresce com a profundidade;  $\lambda$  é a constante de proporcionalidade, chamada de condutividade térmica, sendo uma função da composição, teor de umidade e temperatura do solo;  $\Delta T$  é a diferença da temperatura entre os limites superior e inferior da camada e  $\Delta Z$  a sua espessura.

Pesquisas semelhantes foram desenvolvidas na Europa por inúmeros pesquisadores, como Homen, Bartels, Hansmann, Dirnhirn, Albrecht, Schmidt, Batta, Katic e McCulloch, citados por GEIGER (1973).

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

VISWANADHAM & MOHANA RAD (1972), 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, e 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 se utilizaram de técnicas. O aumento da difusividade térmica, com a profundidade, foi interpretada como que sendo devido ao aumento da umidade do solo.

DECICO & SANTOS (1976), em Piracicaba, SP, sob diversas condições de cobertura e com base em várias leituras diárias de temperatura do solo a 01, 03, 09, 27 e 50 cm e de fluxo 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 temperatura e de fluxo 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 aqueles observados, o que foi interpretado como devido a uma intensa atuação de fenômenos da superfície, tais como o vento e evaporação.

VIANELLO et alii (1977) estudaram o comportamento térmico do solo em Viçosa-MG, ciclo anual, usando análise harmônica, obtiveram resultados concordantes com os de estudos realizados em outras regiões. A difusividade térmica estimada apresentou também resultados compatíveis com o tipo de solo da região em estudo, e sugeriram que a presente formulação tem a mesma validade para estudo do comportamento térmico dos solos tropicais.

RAMANA RAO & VIANELLO (1977), com base em medições de temperatura à superfície e em várias profundidades do solo, em Cachoeira Paulista-SP, realizados em intervalos de meia hora, estudaram o ciclo diário da temperatura do solo. Igualmente, usando-se registros contínuos, estenderam o estudo ao ciclo anual. Para tais fins, aplicaram o tratamento clássico da condução de calor, cuja solução foi expandida em série de Fourier, a qual permitiu conhecer a amplitude e fase dos cinco primeiros harmônicos. A difusividade térmica estimada pelos métodos da amplitude e fase do primeiro harmônico nas várias camadas do solo, apresentaram valores compatíveis com a literatura.

OLIVEIRA et alii (1980), baseando-se em uma função estímulo, ajustaram um modelo para três leituras diárias de temperatura do solo e radiação solar diária, para Viçosa-MG, compreendendo o período de 1971 a 1976. Os resultados, comparados aos registros em 1977, não foram satisfatórios.

VIANELLO et alii (1982), em Jaboticabal-SP, sob cobertura vegetal, cobertura morta e solo nu, estudaram o comportamento térmico do solo por meio de análise em série de Fourier, ciclo anual, estimaram a difusividade térmica pelos métodos da amplitude e fase do primeiro harmônico; determinaram, também, a profundidade de amortecimento da onda de temperatura no solo, destacaram o papel da cobertura vegetal como termorregulador do solo e a importância das diferentes coberturas para a ocorrência de fenômenos meteorológicos relevantes para as atividades agropastoris.

### 3. MATERIAIS E METODOS

#### 3. 1 - Escolha do período

A presente pesquisa foi conduzida com dados coletados em estações Climatológicas e Agrometeorológicas, no período de 1979 a 1984, cujas séries foram obtidas junto ao setor de Climatologia da SUDENE e no CNPA.

#### 3. 2 - Dados básicos.

Utilizou-se como dados básicos, os valores médios mensais de temperatura do solo, nas profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, consideradas como padrão pela Organização Meteorológica Mundial-OMM e os totais médios mensais de precipitação das estações Climatológicas e Agrometeorológicas situadas nos municípios de Campina Grande e São Gonçalo-PB, Surubim e Mandacaru-PE e Bebedouro-BA, caracterizadas na Tabela 1, sendo que os dados de temperatura do solo das estações Agrometeorológicas de Bebedouro e Mandacaru, foram medidos até às profundidades de 30 e 20 cm respectivamente, e suas médias mensais, obtidas das médias diárias.

Para comparação das temperaturas do solo nu, em relação ao solo com cobertura vegetal, utilizou-se dados de temperatura do solo nas profundidades de 15, 30, e 60 cm com registro diário no período de 15.09 a 04.12.1979 na estação

TABELA 1 - Estações climatológicas e agrometeorológicas utilizadas no estudo.

ESTAÇÃO	ESTADO	ELEVAÇÃO (M) (M)	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
Campina Grande	PB	547,66	07 13'	35 53'
S. Gonçalo	PB	233,05	06 45'	38 13'
Surubim	PE	418,32	07 05'	35 43'
Bebedouro *	PE	365,50	09 09'	40 22'
Mandacaru *	BA	375,50	09 24'	49 26'

\* Estações agrometeorológicas do Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Arido (CPATSA/EMBRAPA).

TABELA 1 (continuação).

ESTAÇÕES	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS
Campina Grande-PB	-Regossol Distrófico, textura arenosa
São Gonçalo-PB	-Aluvional, textura franco-arenosa
Surubim-PE	-Podzólico Vermelho Amarelo, textura argilo arenosa
Bebedouro-PE	-Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilo arenosa
Mandacaru-BA	-Vertissolo, textura argilosa



experimental de Bebedouro, PE, onde havia uma área cultivada com milho (*Zea mays* L.), cultivar Centralmax, e irrigado por meio de cápsulas porosas na camada entre 15 e 30 cm de profundidade e conectadas entre si de 2 em 2 m por mangueira plástica transparente, de 0,94 cm de diâmetro interno, ligada a um reservatório de água de nível constante.

### 3.3 - Instalação do termógrafo.

Os sensores de medir a temperatura, nos três níveis citados, foram instalados em Latossolo de superfície arenosa com limite claro para o sub-solo e de textura argilo arenosa, no campo experimental de Bebedouro do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CPATSA/EMBRAPA, em Petrolina-PE, cujas coordenadas geográficas são: Latitude  $09^{\circ} 09' S$ , Longitude  $40^{\circ} 22' W$  e Altitude 365,5 m.

### 3.4 - Considerações teóricas.

A Equação de Fourier da Condução de Calor em um meio homogêneo e isotrópico, é uma equação diferencial parcial linear de primeiro grau e segunda ordem, homogênea na variável dependente  $T$ , do tipo parabólica e uma das mais importantes da Física-Matemática. A mesma pode ser escrita sob a forma:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = K \nabla^2 T \quad (3.1)$$

em que  $K$  representa a difusividade térmica ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) e  $\nabla^2 T$  o laplaciano da temperatura. Por sua vez,  $\lambda$ ,  $\rho$  e  $c$  se referem à condutividade térmica ( $\text{cal}/\text{cm} \cdot \text{s} \cdot \text{C}$ ), massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e calor específico ( $\text{cal}/\text{g} \cdot \text{C}$ ).

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":

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (3.2)$$

E, se o sistema possuir fontes ou sumidouros interno de calor, a equação (3.2) torna-se igual a conhecida "Equação de Poisson":

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{Q}}{\lambda} = 0$$

onde  $\dot{Q}$  é uma fonte ou sumidouro interno de calor ( $\text{cal}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$ ).

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 :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (3.3)$$

A equação (3.3), aplicável ao solo, relaciona o aquecimento ou resfriamento da coluna de solo com a curvatura do perfil vertical de temperatura na coluna (SELLERS, 1965).

O procedimento mais satisfatório, para se comparar temperaturas observadas no solo com aquelas obtidas teoricamente, é o de aproximar temperatura observada por uma função seno. Assim, deriva-se o regime de temperatura, assumindo as condições de contorno 1 e 2 que para os ciclos diário e anual, a temperatura da interface solo-ar (isto é, em  $Z=0$ ) oscila com o tempo, na forma:

Condição de contorno 1

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

onde:

$T(0, t)$ , a temperatura na superfície, no instante  $t$  (°C);

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

$A(0)$ , a amplitude da onda de temperatura na superfície (°C), correspondendo à metade da diferença entre o máximo e o mínimo de temperatura;

$w$ , a frequência angular de oscilação (rad/s), sendo igual a  $2\pi/P$ ;

$P$ , o período de oscilação da onda de temperatura (s);

$\phi$ , o ângulo 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 (DEICÓ, 1976). Isso pode ser representado pela relação a seguir:

Condição de contorno 2

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

A solução da equação (3.3) que satisfaz as duas condições de contorno, é dada por:

$$T(z, t) = \bar{T} + A(0) \exp\left(-\frac{z}{D}\right) \sin\left(\omega t + \phi - \frac{z}{D}\right) \quad (3.4)$$

onde  $D = (2K/W)^{1/2}$  é 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  $A(Z) = 1/e \cdot A(0) = 0,37A(0)$ , ou seja, a amplitude em  $Z=D$  é reduzida a 0,37 do seu valor à superfície.

Considerando a equação (3.4), 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":

$$\frac{A(Z_2)}{A(Z_1)} = \exp\left(\frac{Z_1 - Z_2}{D}\right) = \exp\left((Z_1 - Z_2) \left(\frac{W}{2K}\right)^{1/2}\right) \quad (3.5)$$

A equação (3.5) 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  $K$  permit, para os ciclos 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", ou seja:

$$K = \frac{W}{2} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\ln(A(Z_1)/A(Z_2))} \right|^2 \quad (3.6)$$

Como  $W=2\pi/P$ , obtém-se

$$K = \frac{\pi}{P} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\ln(A(Z_1)/A(Z_2))} \right|^2 \quad (3.7)$$

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

$$\sin(\omega t + \phi - \frac{Z}{D}) = 1 \quad (3.8)$$

Aplicando a equação (3.8), para as profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ , obtém-se a "Equação da Fase", qual seja:

$$\Delta t_{\max} = t_{\max}(Z_2) - t_{\max}(Z_1) = (Z_2 - Z_1) \left( \frac{1}{2WK} \right)^{1/2} \quad (3.9)$$

onde:

$t_{\max}(Z_1)$  e  $t_{\max}(Z_2)$  são os instantes de ocorrência da máxima temperatura nas profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ , respectivamente, expressos em horas;

$\Delta t_{\max}$  é a defasagem entre a máxima temperatura nas profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ .

A equação (3.9) 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 as profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ , em função da defasagem entre o máximo de temperatura nesses níveis (CARSON, 1963):

$$K = \frac{1}{2W} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta t_{\text{máx}}} \right|^2 \quad (3.10)$$

Como  $W=2\pi/P$ , obtém-se

$$K = \frac{P}{4\pi} \left| \frac{Z_2 - Z_1}{\Delta t_{\text{máx}}} \right|^2 \quad (3.11)$$

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 dos demais parâmetros meteorológicos. Assim, torna-se necessário expandir a equação (3.4) de forma tal que se torne possível conhecer, a partir de dados observados, a amplitude e a fase dos harmônicos correspondentes (CARSON, 1963):

$$T(z,t,n) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp\left(-\frac{Z}{D}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{P}nt - \frac{Z}{Dn}\right) + b_n \exp\left(-\frac{Z}{Dn}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{P}nt - \frac{Z}{Dn}\right) \quad (3.12)$$

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, que são usados para o cálculo da amplitude,  $A_n$  e fase  $\phi_n$ , de cada harmônico:

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \quad (3.13)$$

$$\phi_n = \arctan \left( \frac{b_n}{a_n} \right) \quad (3.14)$$

Como se vê, a equação (3.12) é idêntica a :

$$F(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)) \quad (3.15)$$

que é a conhecida série de Fourier, cujos coeficientes são obtidos por:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) dx \quad (3.16)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) \cos(nx) dx \quad (> 0) \quad (3.17)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} F(x) \sin(nx) dx \quad (> 0) \quad (3.18)$$

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, para o ciclo diário e de 1 mês para o ciclo anual, as equações (3.16), (3.17) e (3.18) devem

ser colocadas na forma de somatórios (VIANELLO et alii, 1977):

$$a_0 = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \quad (3.19)$$

$$a_n = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \cos(nwt) \quad (3.20)$$

$$b_n = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^m T_i \sin(nwt) \quad (3.21)$$

onde,  $m$  é o número de dados disponíveis.

O número de harmônicos necessários para representar a onda observada da temperatura do solo pode ser determinado por meio de análise da variância de cada harmônico e, conseqüentemente, da porcentagem da variância acumulada em relação à variância dos dados observados. A variância de cada harmônico é calculada pela expressão:

$$S_n^2 = \frac{A_n^2}{2} \quad (3.22)$$

onde  $A_n$  é a amplitude do harmônico considerado. Finalmente, a variância acumulada é obtida pela soma das variâncias dos harmônicos, isto é:

$$S^2 = \sum_{n=1}^m S_n^2 \quad (3.23)$$

onde  $N$  é o último harmônico considerado.



A partir da difusividade térmica média das camadas do solo, estimada pelas equações (3.10) e (3.11), foram calculadas a profundidade de amortecimento (D) e a velocidade (V) de propagação da onda de temperatura para o ciclo anual, utilizando-se, para isso, as expressões:

$$D = \left(\frac{2K}{W}\right)^{1/2} \quad (3.24)$$

$$V = (2Wk)^{1/2} \quad (3.25)$$

### 3.5 - Obtenção dos dados.

Os dados de temperatura relativos às profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, nas estações Climatológicas e Agrometeorológicas observados a intervalos de 6 horas, foram obtidos por meio de termômetro de mercúrio em vidro, os quais foram instalados às profundidades acima citadas, sob condições de solo nu.

O instrumento usado para medir a temperatura do solo nas profundidades de 15, 30 e 60 cm, na cultura de milho irrigado, foi um Termógrafo de Distância, marca Will Lambrech KG. Dois sensores foram instalados a 6 cm do eixo vertical das cápsulas porosas nos tratamentos T1P5 e T2P5, sendo T1 e T2, tratamentos com pressão hidrostática  $\Delta H=0,35$  m e  $\Delta H=0,75$  m, respectivamente; em ambos os casos a densidade de plantas por cápsulas foi P5=13 plantas; e um terceiro sensor foi instalado em solo nu, como testemunha, fora dos bulbos molhados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo procura-se apresentar e discutir resultados obtidos acerca do comportamento térmico do solo nu para cada estação Climatológica e Agrometeorológica, ciclo anual, e um solo em condições de cobertura vegetal submetida a dois tratamentos de irrigação T1 e T2, ciclo diário, obedecendo a sequência abaixo descrita.

##### 4.1 - Ciclo anual da temperatura do solo para diferentes profundidades.

As Figuras 1a, 1b, 1c; 2a, 2b, 2c; 3a, 3b, 3c mostram os perfis anuais de temperatura para o solo nu, às profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, para as estações de Surubim-PE, Campina Grande-PB e São Gonçalo-PB, correspondendo aos horários de observação das 12:00, 18:00 e 24:00 TMG. É interessante notar a inversão do gradiente de temperatura entre as 18:00 e as 24:00 TMG, Figuras 1b, 1c; 2b, 2c; 3b, 3c, respectivamente. Às 2400 TMG, o gradiente evidencia-se, claramente, no sentido da superfície para os níveis mais profundos, com o conseqüente fluxo de calor no sentido contrário, ou seja, as camadas mais profundas cedem calor para os níveis menos profundos, o que resulta, finalmente, na transferência de calor do solo para a atmosfera. A situação inverte-se totalmente às 18:00 TMG, resultando num fluxo de calor da superfície para

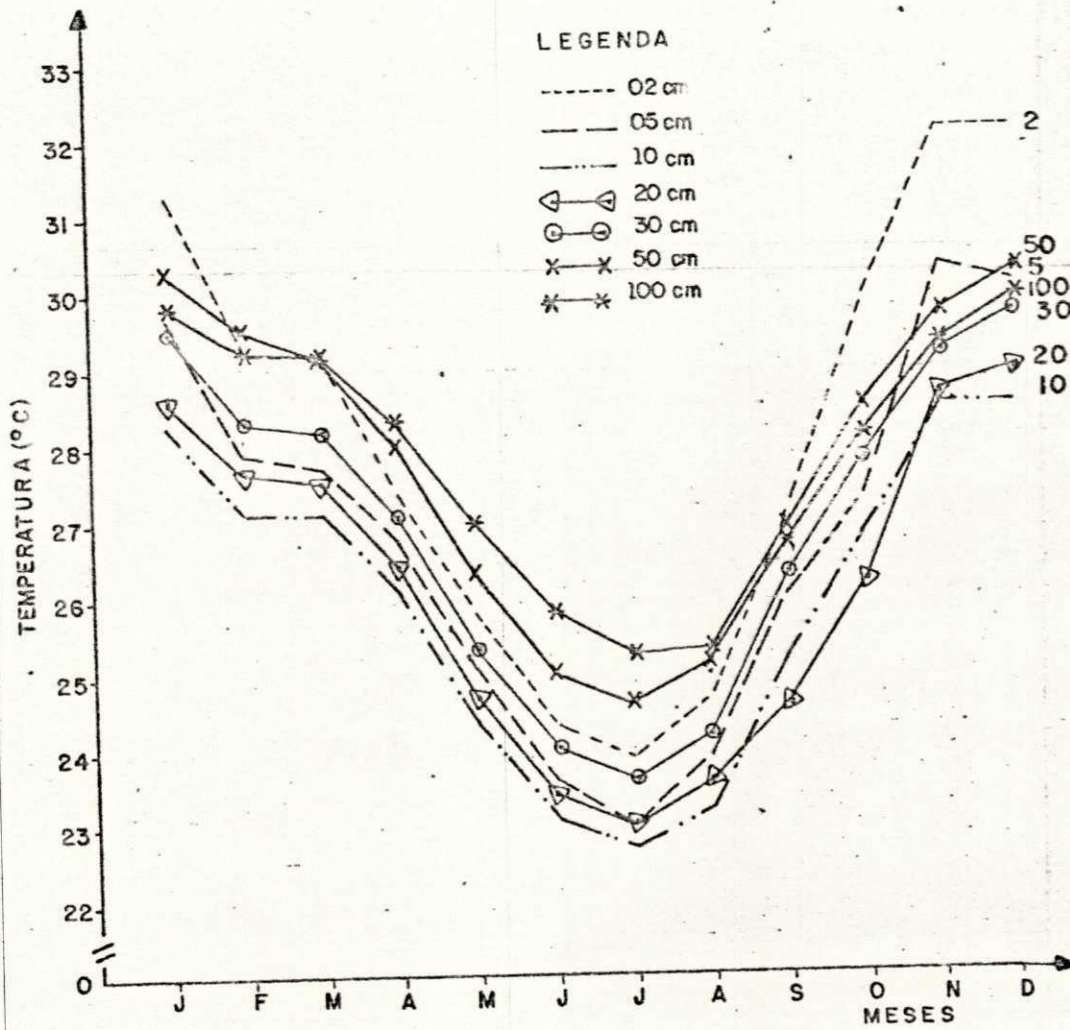


FIG. 1a - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1200 TMG. Surubim, PE.

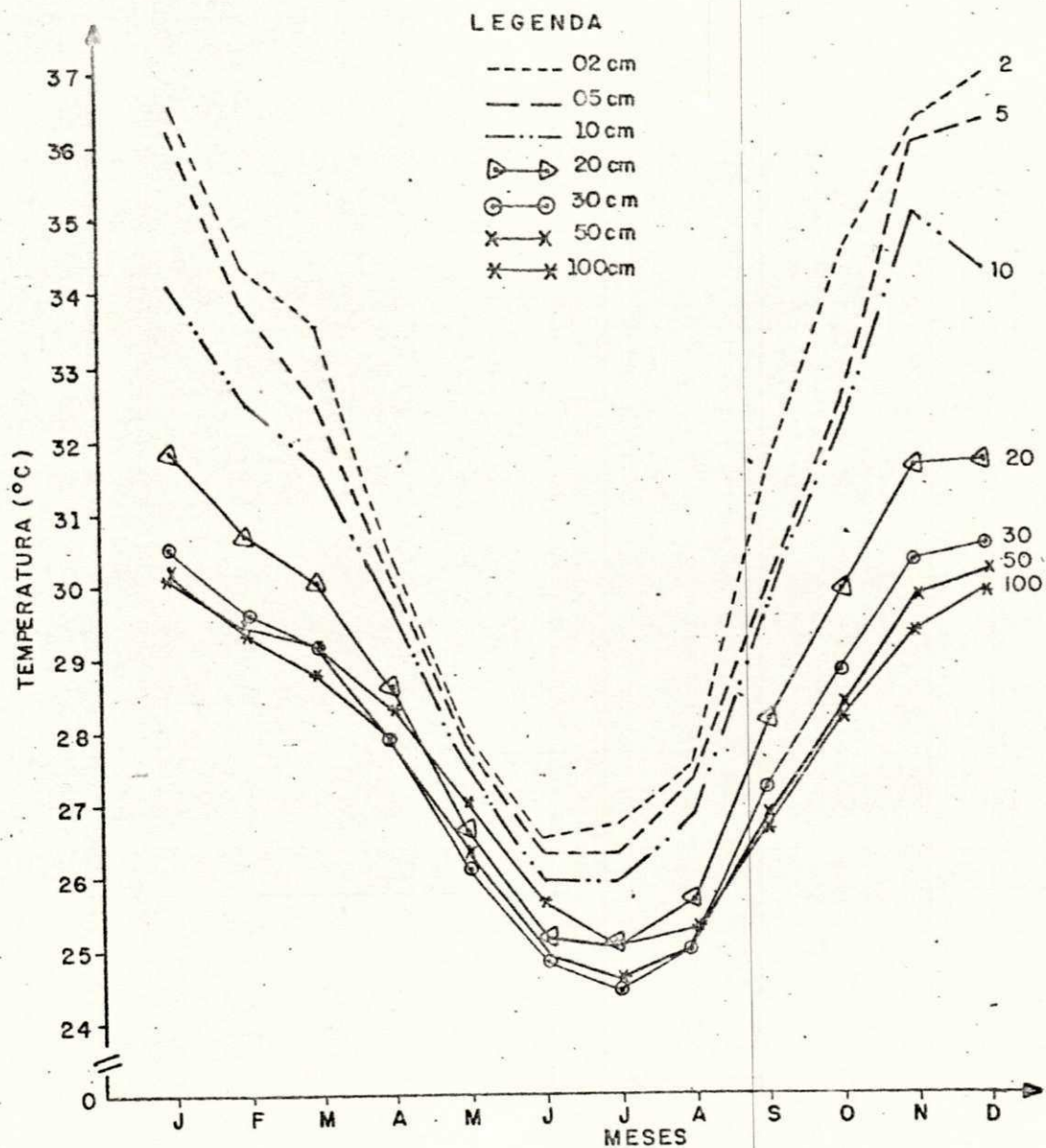


FIG. 1b - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1800 TMG. Surubim, PE.

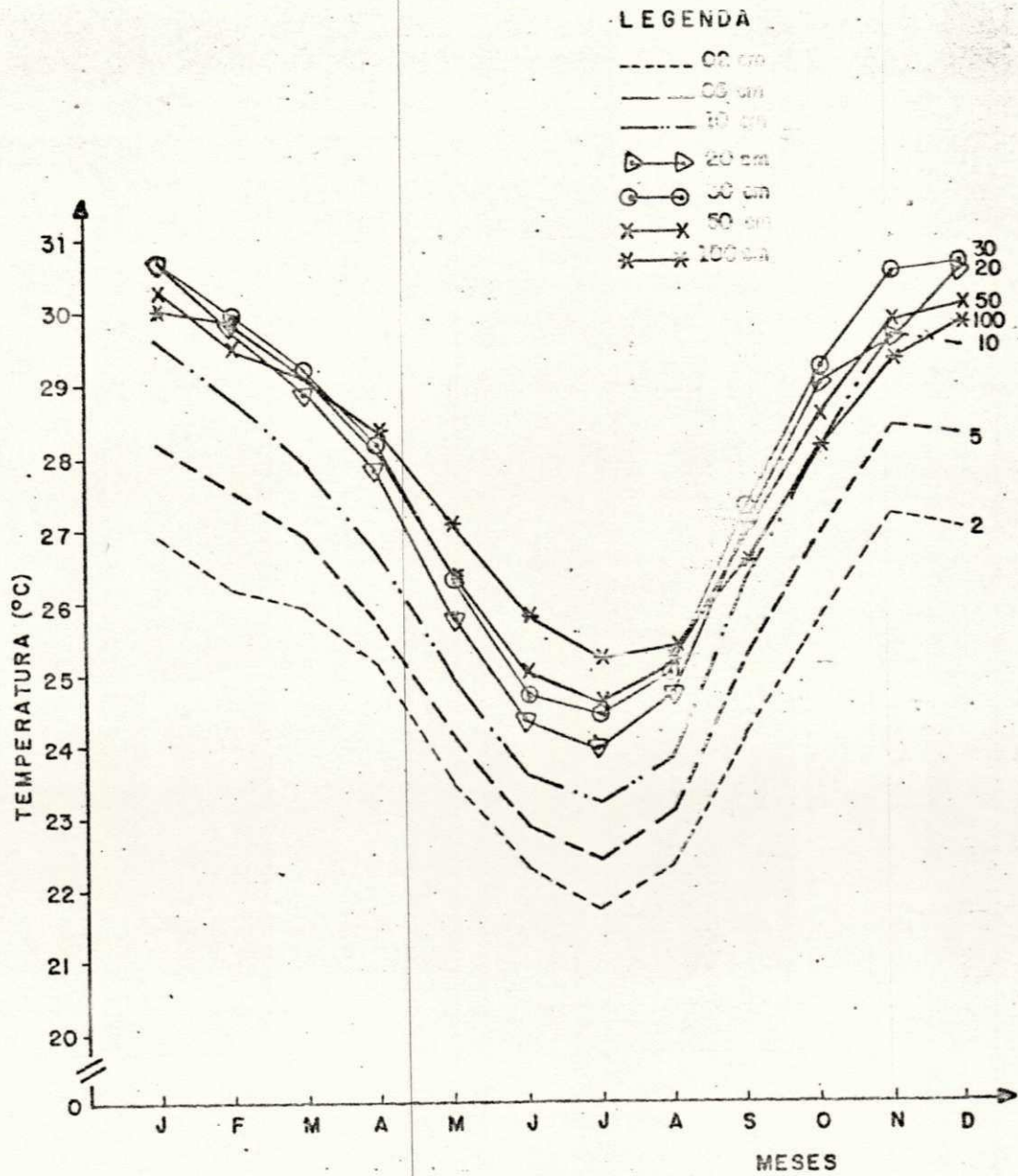


FIG. 1c - Ciclo anual de temperatura, para solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 2400 TMG. Surubim, PE.

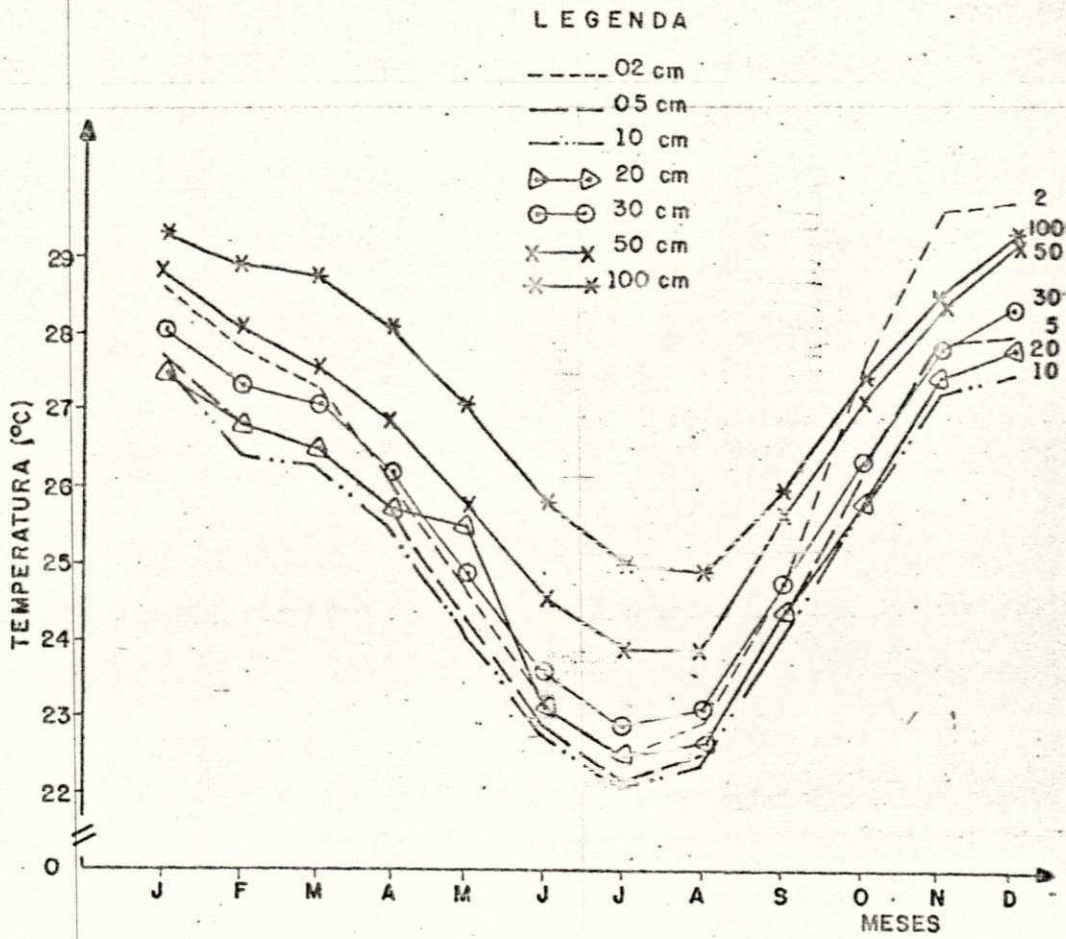


FIG. 2a - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1200 TMG. Campina Grande, PB.

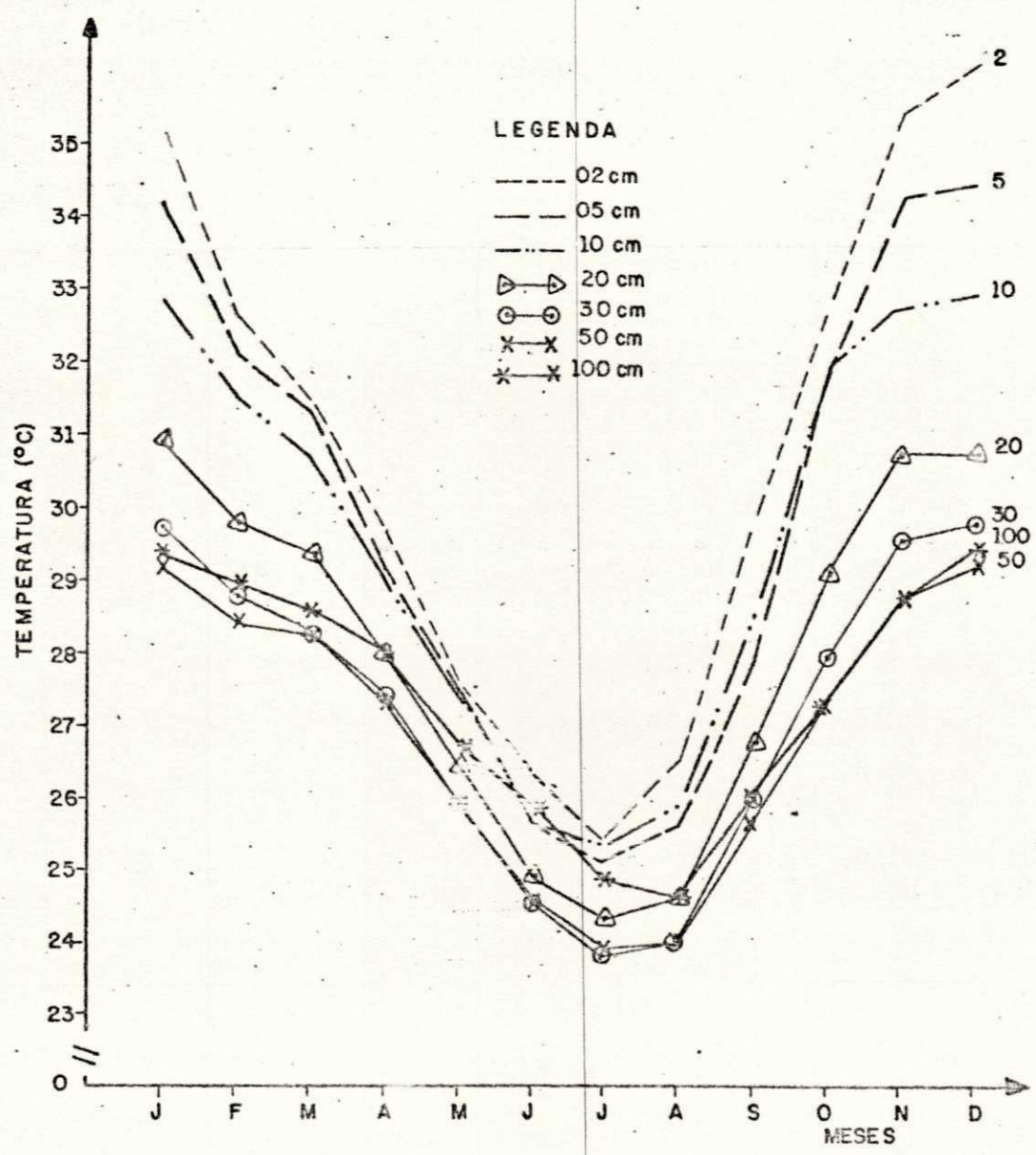


FIG. 2b - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1800 TMG. Campina Grande, PB.

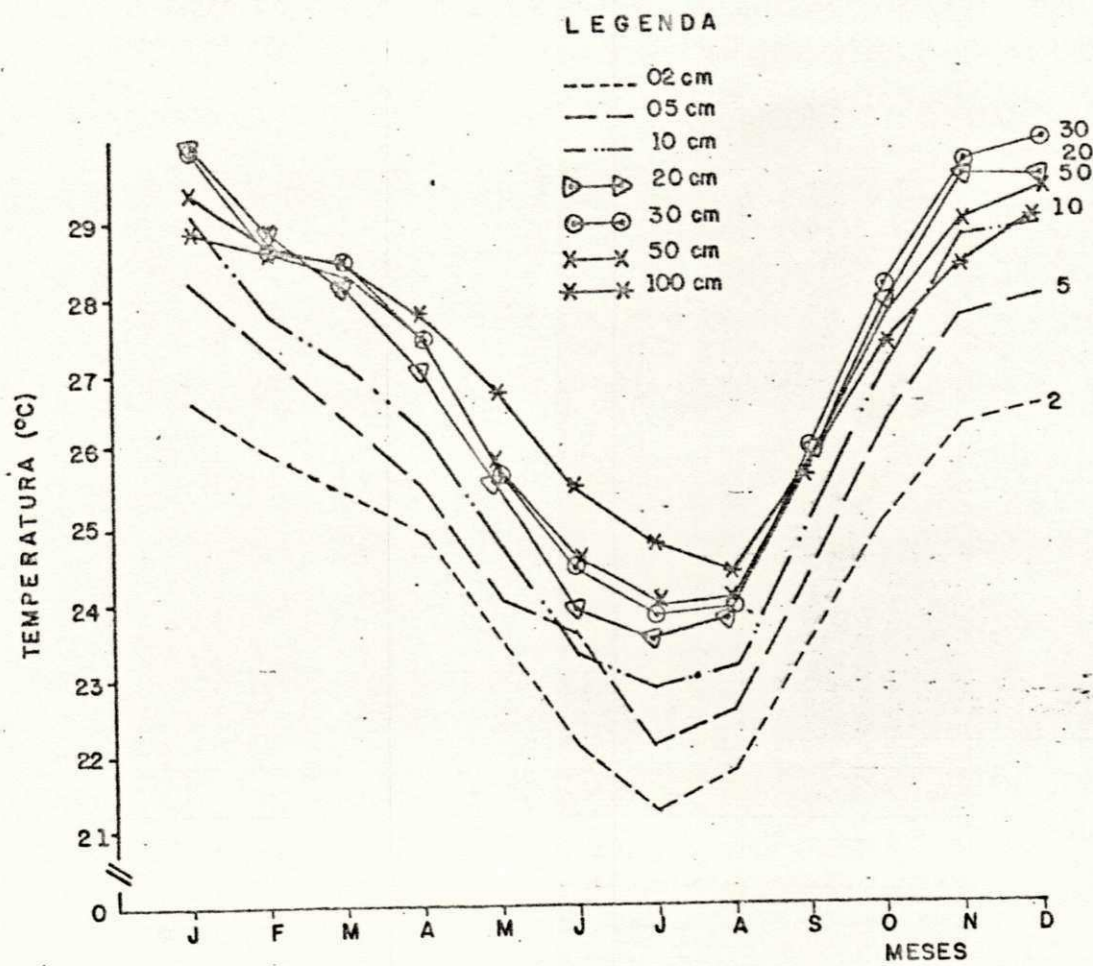


FIG. 2c - Ciclo anual de temperatura; para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 2400 TMG. Campina Grande, PB.



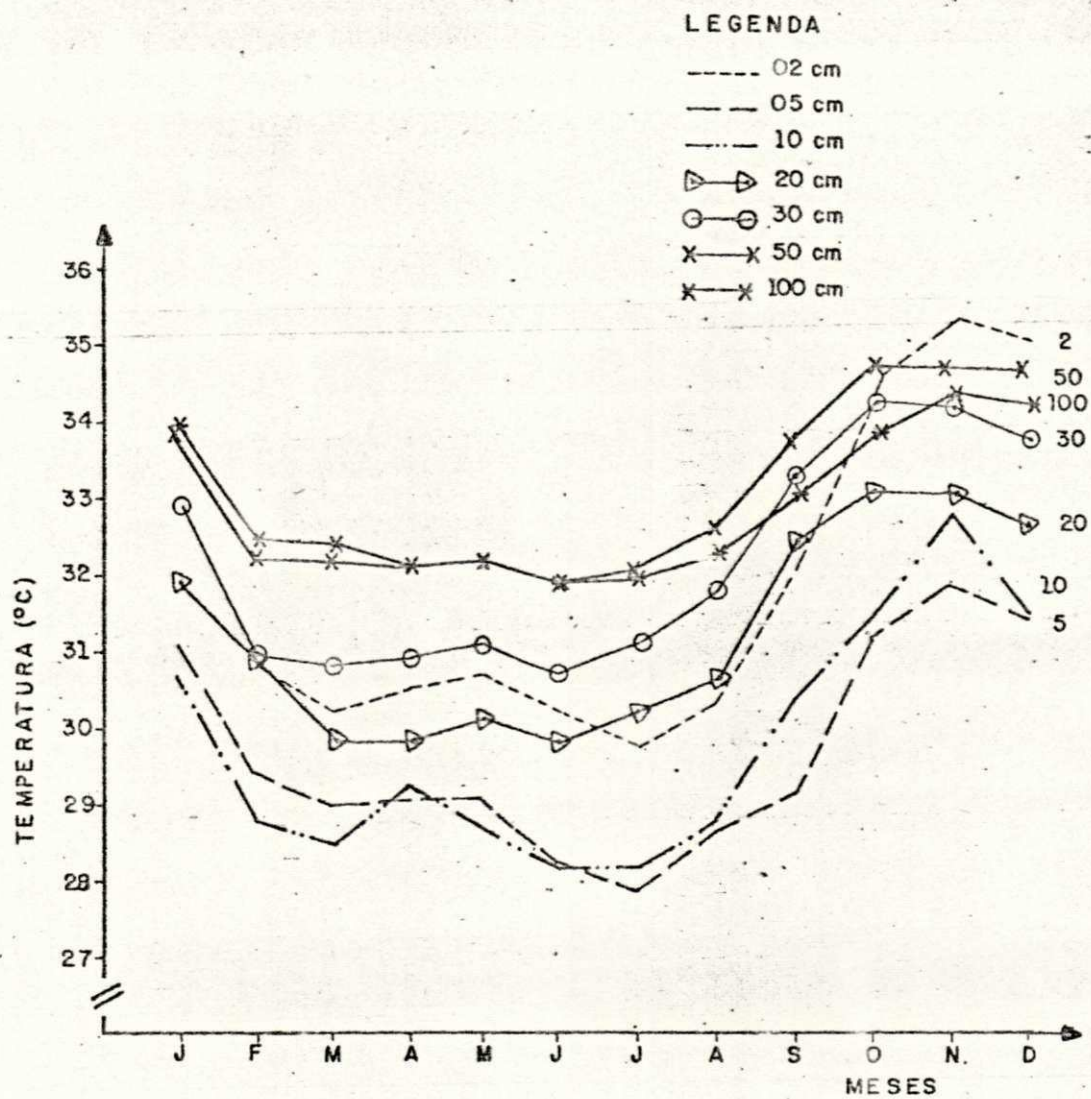


FIG. 3a - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1200 TMG, São Gonçalo, PB.

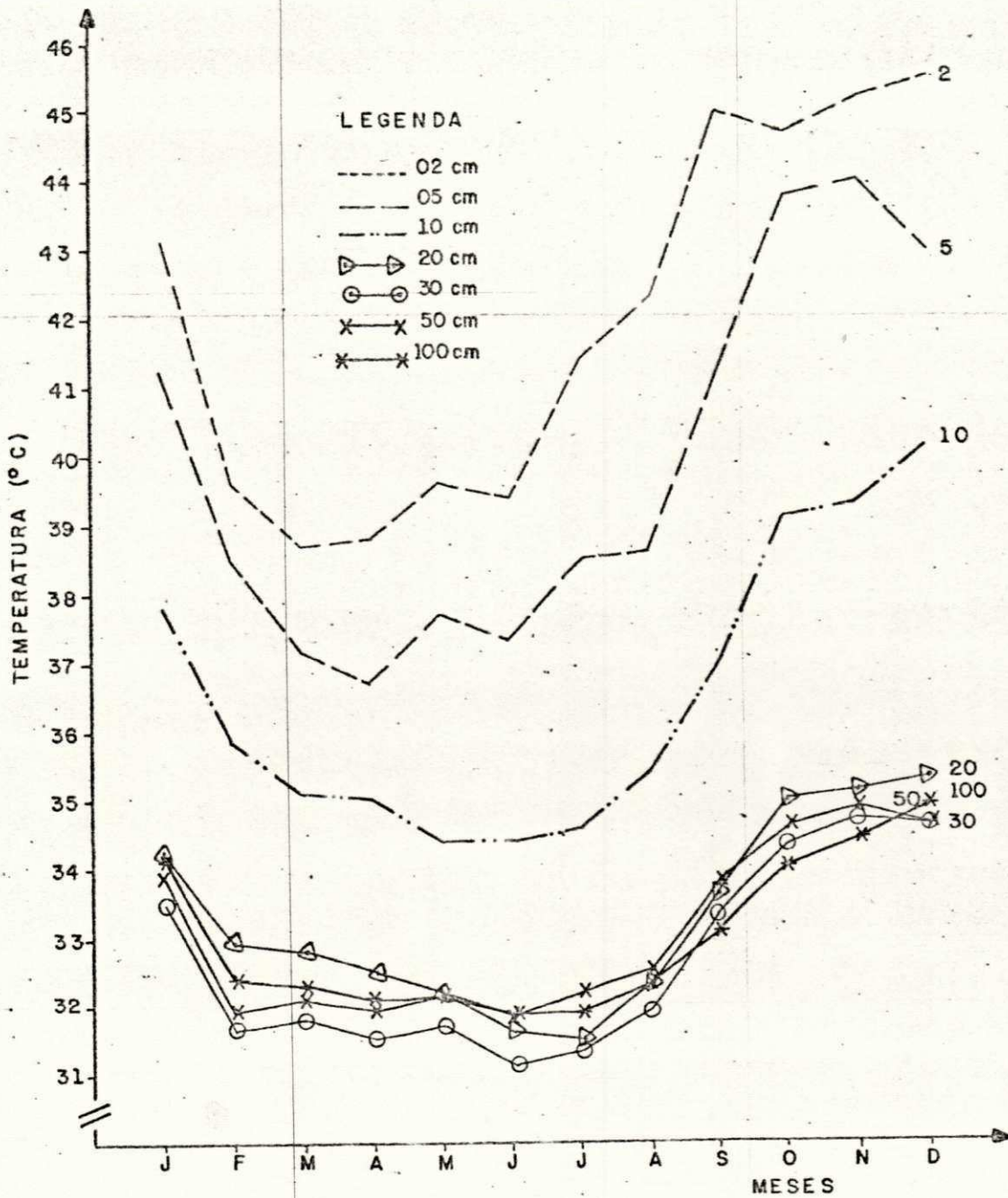


FIG. 3b - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 1800 TMG, São Gonçalo, PB.

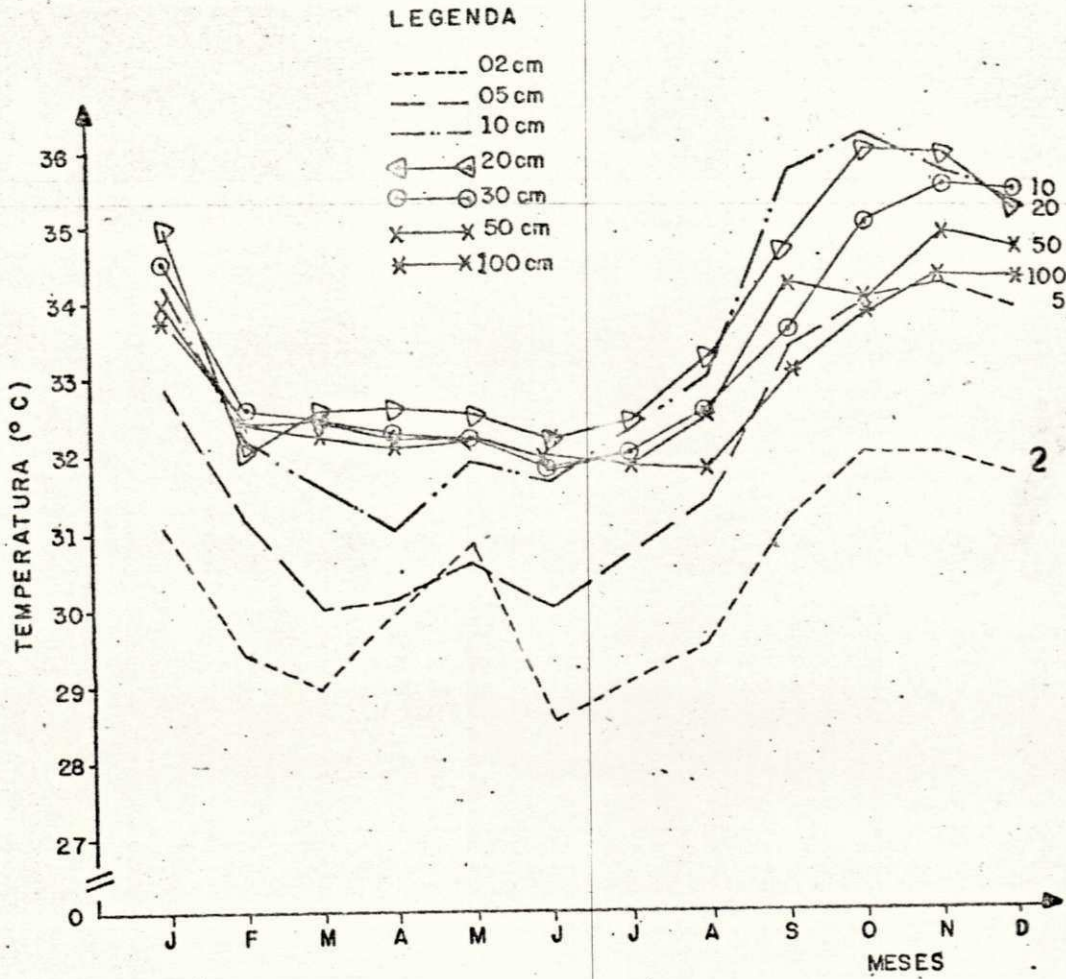


FIG. 3c - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 03, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, horário 2400 TMG, São Gonçalo, PB.

os níveis mais profundos. Geralmente, as amplitudes são mais acentuadas às 12:00 TMB, para todos os níveis. Os perfis referentes às 1200 TMB, Figuras 1a, 2a, e 3a respectivamente, mostram situações típicas de transição. No verão, o nível de 02 cm já se apresenta mais aquecido que os demais, o que não ocorre no inverno, quando predominam temperaturas mais elevadas às profundidades de 50 e 100 cm. Essa situação decorre da quantidade de radiação solar incidente na superfície, do horário do nascer-do-sol, da cor e exposição do solo, da ocorrência de orvalho, dentre outros fatores, facilmente justificáveis.

Embora a ordem dos perfis seja praticamente a mesma, a Figura 3b distingue-se das Figuras 1b e 2b essencialmente no horário das 18:00 TMB, onde os valores de temperatura observados são acentuadamente elevados, contribuindo para um aumento na amplitude nas três primeiras profundidades. Isto justifica-se, pois São Gonçalo-PB, está situado em uma altitude de 233,05 m em relação ao nível médio do mar, enquanto Surubim-PE e Campina Grande-PB estão a uma altitude de 418,32 m e 547,66 m, respectivamente.

As Figuras 4, 5, 6, 7, e 8 mostram os perfis médios anuais da temperatura do solo nos níveis de profundidades em consideração, exceto para as duas últimas figuras, cujos perfis foram medidos até as profundidades de 20 e 30 cm, respectivamente.

A temperatura do solo ao nível de 02 cm de profundidade, para o solo Aluvional de textura franco-arenosa,

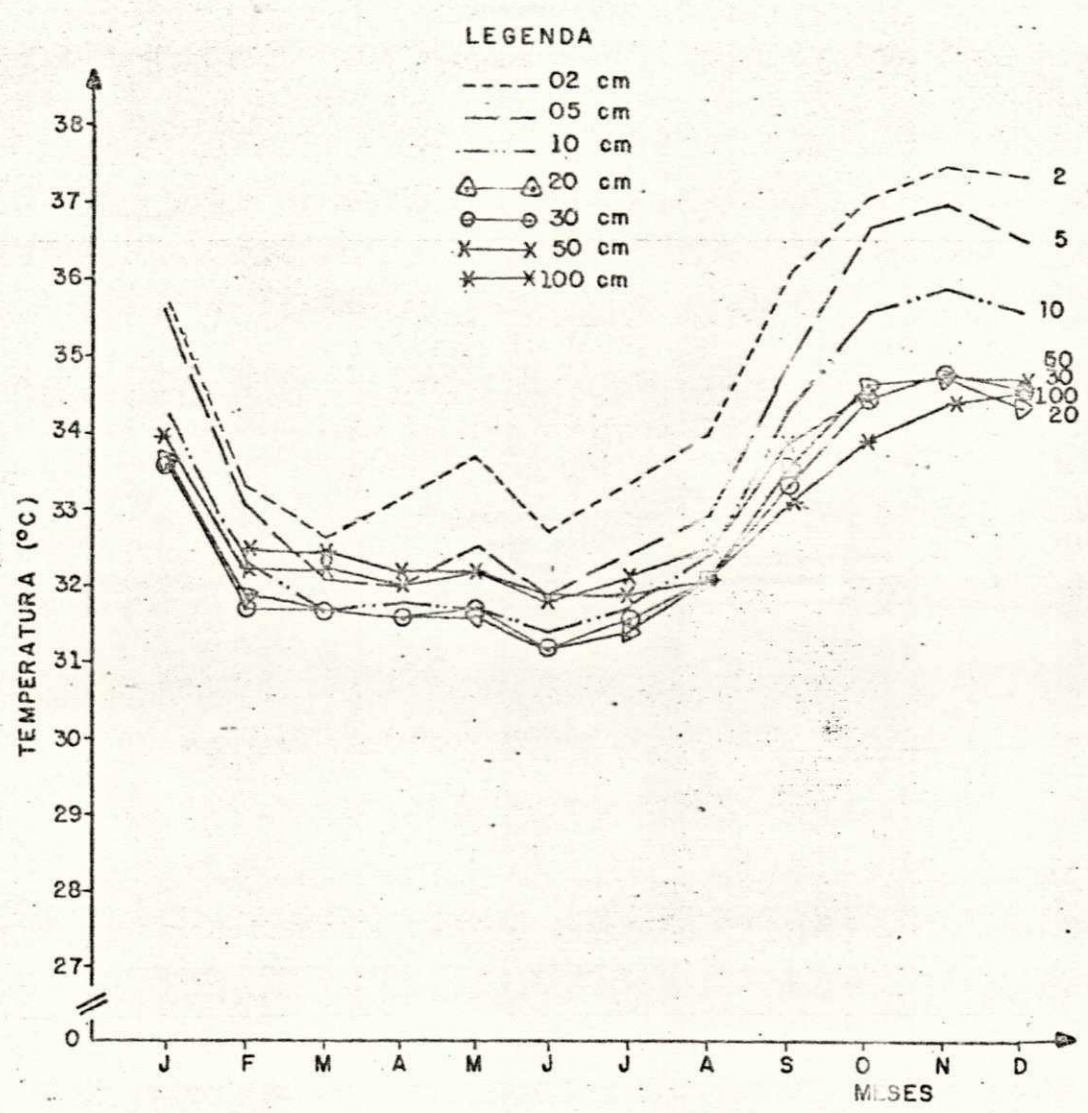


FIG. 4 - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias as 1200, 1800 e 2400 TMG, em São Gonçalo, PB.

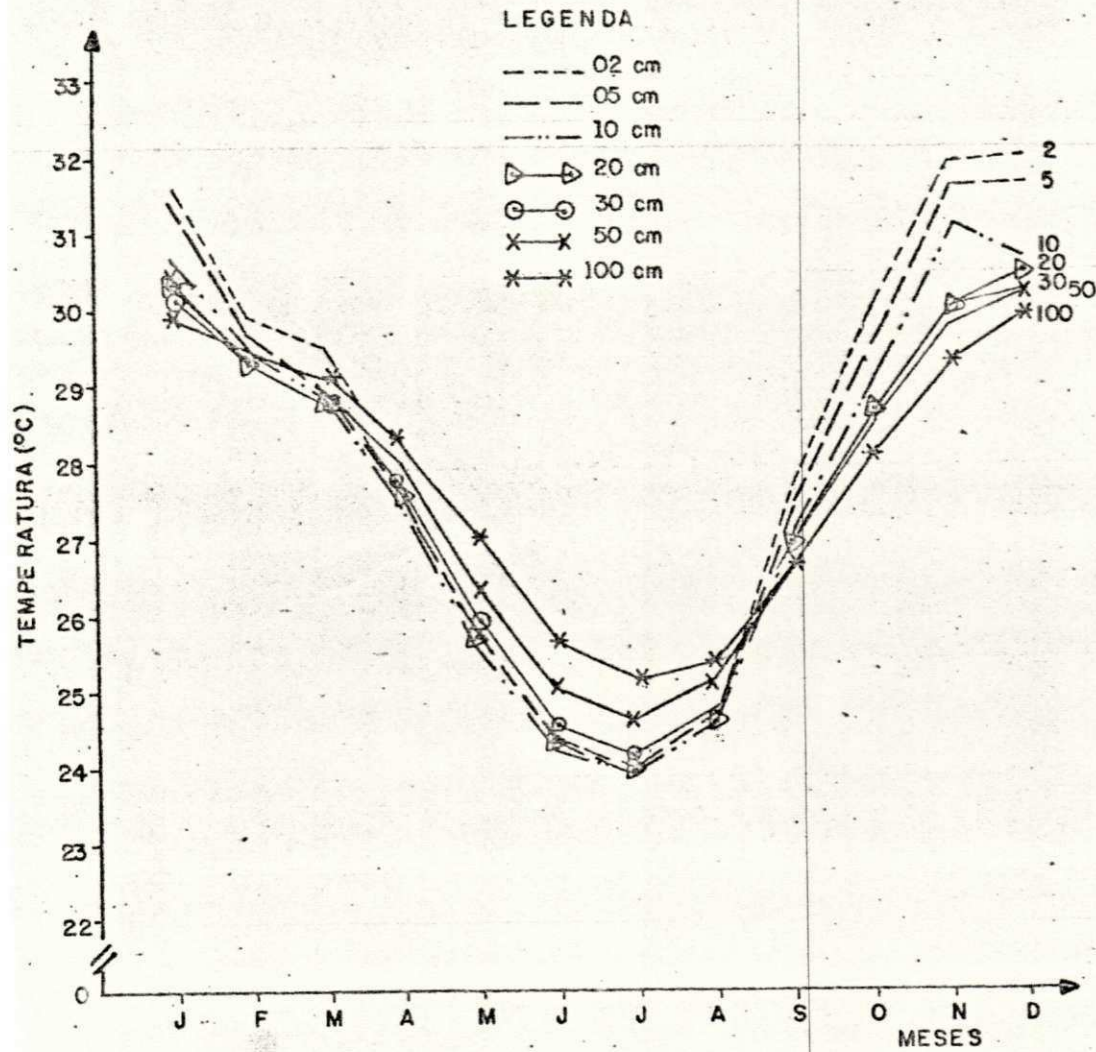


FIG. 5 - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias às 1200, 1800 e 2400 TMG, em Surubim, PE.

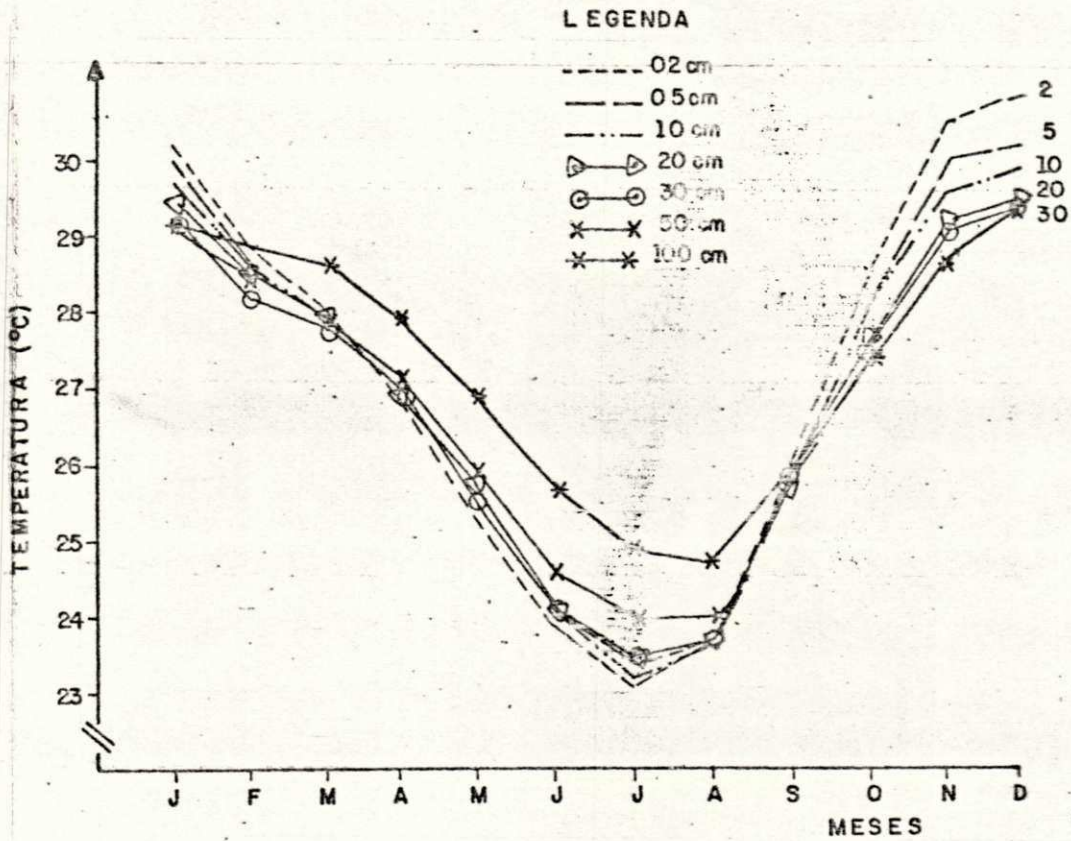


FIG. 6 - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20, 30, 50 e 100 cm, médias para observações diárias às 1200, 1800 e 2400 TMG, em Campina Grande, PB.

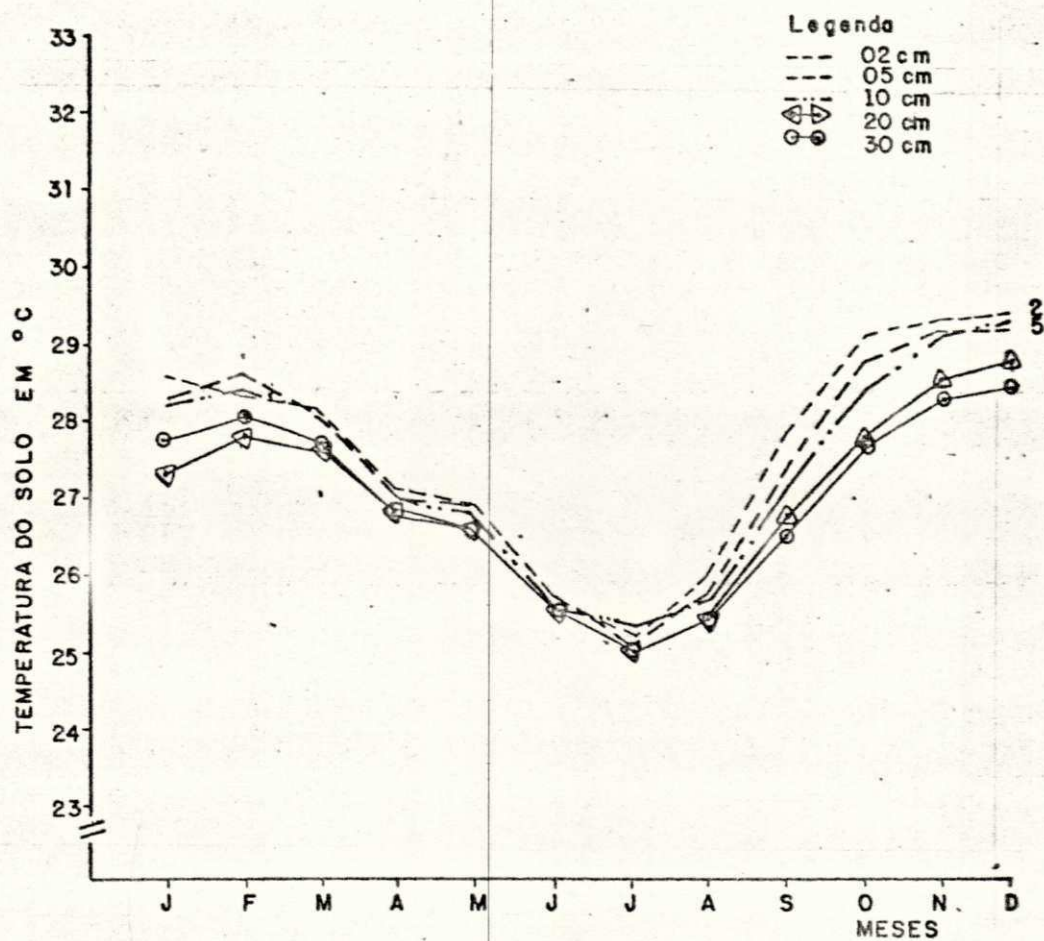


FIG.7 - Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10, 20 e 30 cm médias diárias, na estação experimental de Bebedouro, PE.



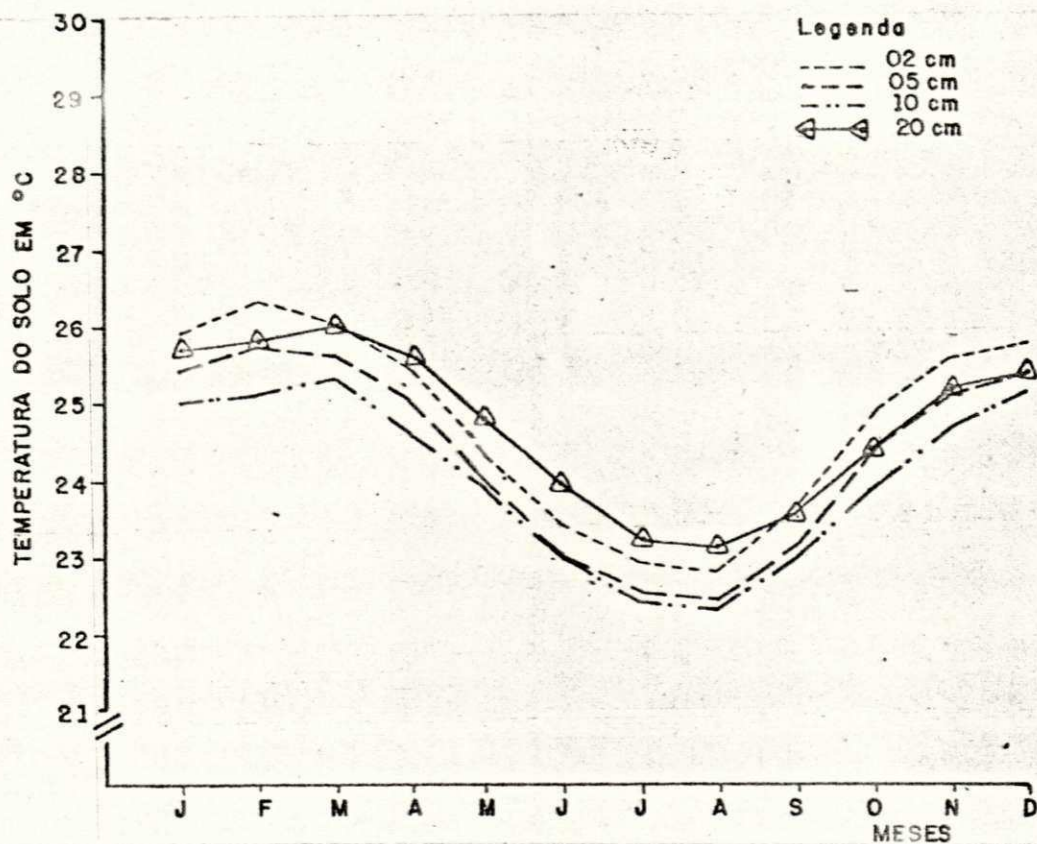


FIG. 8- Ciclo anual de temperatura, para o solo nu, profundidades de 02, 05, 10 e 20 cm, médias diárias, na estação experimental de Mandacaru, BA.

Figura 4, apresenta valores mais elevados durante todo ano. Observa-se ainda, que a variação de temperatura em qualquer nível de profundidade é máxima no mês de novembro e mínima no inverno, mais precisamente no mês de julho, onde os níveis 05, 50 e 100 cm de profundidades apresentam maiores valores de temperatura. A diferença de temperatura média anual entre os níveis de 20, 30, 50 e 100 cm é inferior a 1,0 C.

A Figura 5, por sua vez, mostra que os maiores valores de temperatura para o Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilo arenosa, na profundidade de 02 cm se destaca nos meses de novembro e dezembro, onde ocorrem os maiores valores; e mínima no inverno, mais precisamente no mês de julho, onde as temperaturas nas profundidades de 50 e 100 cm apresentam maiores valores e amplitudes mais acentuadas.

A Figura 6, referente a um Regossol Distrófico de textura arenosa, tem seus perfis de temperatura semelhantes ao da Figura 5, diferindo apenas na profundidade de 100 cm, onde apresenta maiores valores de temperatura a partir dos meses de fevereiro a setembro e a mínima no mês de agosto. A diferença de temperatura média mensal entre os níveis de 20, 30, 50 e 100 cm de profundidade é inferior a 1,0 C.

As Figuras 7 e 8 são referentes as estações Agrometeorológicas do campo experimental de Bebedouro, em Petrolina-PE, e a do campo experimental de Mandacaru, em Juazeiro-BA, ambas às margens do Rio São Francisco, distantes

aproximadamente 30 Km uma da outra.

Para o Latossolo de textura argilo arenosa do campo experimental de Bebedouro-PE, Figura 7 referente a temperatura média mensal, apresenta seus mínimos de temperatura no mês de julho e seus máximos no mês de dezembro, e com uma diferença de temperatura entre os níveis de 20 e 30 cm de profundidade inferior a 0,5 °C.

Para o Vertissolo de textura argilosa, do campo experimental de Mandacaru, BA, Figura 8, tem seus mínimos de temperatura no mês de agosto e seus máximos variáveis de acordo com a profundidade. Os níveis de 02 e 05 cm de profundidade tem seus máximos de temperatura no mês de fevereiro, enquanto que os níveis de 10 e 20 cm tem seus máximos no mês de março. A diferença de temperatura média mensal entre os níveis de profundidades é em torno de 1,0 °C.

#### 4. 2 - Análise da amplitude, da fase, da variância e da variância acumulada a onda anual de temperatura 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, das estações em estudo. A amplitude, a fase, e a contribuição à variância e variância oferecida pelos 5 harmônicos da série de Fourier, relativas ao solo de São Gonçalo-PB, ciclo anual, são

apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente. O domínio do primeiro harmônico é notável, superando os 79% da variância observada, chegando a atingir os 89%, como pode ser verificado na Tabela 4. A contribuição dos 5 primeiros harmônicos, praticamente, representa de maneira integral, a variação da temperatura do solo para as profundidades, o que pode ser comparado pela análise da Tabela 5, em que os valores da variância acumulada superam, em todos os casos, os 99%. Também o decréscimo da amplitude com a profundidade, como é teoricamente esperado (CARSON, 1963) e o predomínio do primeiro harmônico. Quanto à fase, Tabela 3, cuja origem foi tomada como sendo o mês de janeiro, observa-se um aumento com a profundidade até o nível de 20 cm, para o horário das 1800 TMG. A partir desse nível, o mesmo não se registra, como seria esperado. Entretanto, a pequena variação da temperatura, nos níveis mais profundos, bem como a maior aproximação do lençol freático, parecem justificar tal anomalia. Para os horários de 1200 e 2400 TMG, a fase não é explicativa.

A amplitude, a fase, a variância e a variância acumulada dos 5 harmônicos da série de Fourier, relativos aos solos das estações Climatológicas de Surubim-PE e Campina Grande-PB, são apresentadas nas Tabelas 6, 7, 8 e 9; 10, 11, 12 e 13, respectivamente. O decréscimo da amplitude com a profundidade e o predomínio do primeiro harmônico, como teoricamente esperado, é visto como sendo devido as camadas mais superficiais do solo estarem mais aquecida do que as mais profundas, principalmente nos horários de 12:00 e 18:00 TMG, momentos em que o solo está

TABELA 2 - Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Hora da observação	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
1200 TMG	02	2.27	1.46	0.39	0.40	0.25
	05	2.10	0.96	0.11	0.06	0.08
	10	1.85	0.87	0.17	0.16	0.25
	20	1.77	0.38	0.25	0.04	0.13
	30	1.82	0.57	0.23	0.16	0.08
	50	1.47	0.48	0.17	0.16	0.11
1800 TMG	100	1.21	0.39	0.11	0.09	0.11
	02	3.51	0.59	0.63	0.28	0.27
	05	3.47	1.00	0.23	0.24	0.25
	10	2.67	0.77	0.18	0.24	0.19
	20	1.74	0.57	0.14	0.13	0.14
	30	1.72	0.62	0.20	0.14	0.14
2400 TMG	50	1.53	0.49	0.17	0.20	0.11
	100	1.38	0.46	0.20	0.16	0.12
	02	1.32	0.85	0.55	0.28	0.23
	05	2.20	0.45	0.34	0.06	0.15
	10	2.49	0.45	0.38	0.20	0.16
	20	1.89	0.66	0.25	0.35	0.31
2400 TMG	30	1.78	0.58	0.16	0.13	0.14
	50	1.48	0.38	0.28	0.17	0.10
	100	1.21	0.48	0.09	0.18	0.03

TABELA 3 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (°) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Hora da observação	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
1200 TMG	02	312.1	115.7	93.3	87.4	19.7
	05	313.9	116.5	113.8	45.9	60.3
	10	306.0	114.8	95.6	32.9	64.8
	20	294.8	113.8	19.6	85.2	32.5
	30	291.5	114.9	109.9	81.7	58.7
	50	298.6	117.4	107.7	76.3	55.3
	100	311.4	126.4	102.9	79.8	63.6
1800 TMG	02	281.8	136.2	103.2	70.5	35.9
	05	294.7	124.5	72.9	3.4	45.4
	10	308.7	123.8	90.0	74.1	46.3
	20	315.9	110.4	105.0	73.4	54.3
	30	303.6	117.3	101.7	71.9	56.5
	50	296.6	120.8	105.0	78.2	59.3
	100	313.0	131.9	101.7	73.7	58.3
2400 TMG	02	302.6	112.1	112.9	51.0	43.3
	05	294.6	120.0	118.1	13.8	34.6
	10	286.6	109.8	17.6	69.8	43.7
	20	295.1	113.1	109.5	83.2	67.3
	30	308.9	122.2	96.1	83.4	61.0
	50	303.7	117.9	106.6	60.0	82.7
	100	315.9	122.6	116.2	76.2	54.1

TABELA 4 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo n, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	79.0	13.30	3.80	1.40	1.80
05	89.90	8.50	0.70	0.20	0.60
10	89.10	7.90	0.90	0.60	1.34
20	88.90	8.00	1.20	0.70	1.00
30	87.70	9.70	1.10	0.50	0.80
50	87.90	8.00	1.70	1.20	0.90
100	86.70	10.40	0.90	1.00	0.80

TABELA 5 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em São Gonçalo-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	79.60	92.90	96.70	98.10	99.90
05	89.80	98.30	99.00	99.20	99.80
10	89.10	97.00	97.90	98.50	99.80
20	88.90	96.90	98.10	98.80	99.80
30	87.70	97.40	98.50	99.00	99.80
50	87.90	95.90	97.60	98.90	99.70
100	86.70	97.10	98.00	99.00	99.80

TABELA 6 - Amplitude da onda anual de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) do solo  
na, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades,  
harmônicos de 1 a 5.

Hora da observa- ção	Profun- didade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
1200 TNG	02	3.93	0.90	0.21	0.14	0.18
	05	3.35	0.87	0.17	0.09	0.18
	10	2.83	0.65	0.15	0.12	0.12
	20	2.85	0.62	0.13	0.12	0.07
	30	2.93	0.54	0.11	0.18	0.08
	50	2.87	0.46	0.05	0.12	0.04
1800 TNG	100	2.31	0.48	0.08	0.12	0.01
	02	5.35	0.61	0.12	0.38	0.07
	05	5.17	0.53	0.05	0.19	0.15
	10	4.40	0.73	0.19	0.05	0.24
	20	3.46	0.57	0.04	0.13	0.12
	30	3.07	0.55	0.04	0.11	0.09
2400 TNG	50	2.82	0.48	0.11	0.07	0.07
	100	2.49	0.43	0.06	0.09	0.04
	02	2.60	0.66	0.07	0.04	0.15
	05	2.96	0.61	0.05	0.03	0.09
	10	3.25	0.62	0.08	0.05	0.14
	20	3.16	0.47	0.35	0.41	0.21
2400 TNG	30	3.20	0.65	0.02	0.11	0.09
	50	2.82	0.53	0.03	0.10	0.07
	100	2.43	0.38	0.02	0.04	0.06



TABELA 7 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura ( $^{\circ}$ C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Hora da observação	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
1200 TMG	02	340.7	110.6	72.9	71.9	66.3
	05	343.3	108.3	86.2	85.2	14.8
	10	348.6	102.4	81.1	75.0	39.8
	20	348.7	99.6	82.3	71.5	39.7
	30	349.1	99.3	91.9	71.5	46.6
	50	353.4	95.4	96.1	78.5	36.6
1800 TMG	100	1.1	104.5	77.7	69.6	49.8
	02	339.1	95.4	45.0	73.9	59.9
	05	339.5	104.6	104.9	73.9	58.5
	10	340.9	101.1	63.4	59.9	59.6
	20	346.8	95.3	81.2	83.4	65.4
	30	349.5	95.3	81.2	73.1	58.4
2400 TMG	50	352.5	101.5	96.1	80.8	71.1
	100	1.6	103.9	101.2	79.8	65.9
	02	350.6	99.6	75.0	85.2	56.0
	05	347.6	98.3	36.1	67.5	71.1
	10	346.6	96.8	78.7	89.9	82.5
	20	351.8	80.1	119.1	78.0	46.3
2400 TMG	30	349.1	95.7	104.9	88.1	18.9
	50	353.3	96.3	90.0	85.9	40.4
	100	1.4	107.5	89.9	18.9	22.9

TABELA 8 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	96.20	3.10	0.10	0.20	0.20
05	96.60	2.90	0.05	0.06	0.20
10	95.80	3.50	0.10	0.04	0.20
20	96.00	2.90	0.20	0.40	0.30
30	96.20	3.40	0.06	0.10	0.10
50	96.80	2.00	0.04	0.10	0.08
100	96.70	3.00	0.04	0.10	0.05

TABELA 9 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, em Surubim-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	96.20	99.30	99.40	99.60	99.80
05	96.60	99.50	99.55	99.61	99.81
10	95.80	99.30	99.40	99.44	99.64
20	96.00	98.90	99.10	99.50	99.80
30	96.20	99.60	99.60	99.76	99.86
50	96.80	99.60	99.64	99.74	99.82
100	96.70	99.70	99.74	99.84	99.89

TABELA 10 - Amplitude da onda anual de temperatura (°C) do solo  
 nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes  
 profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Hora da obseva- ção	Profun- didade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
	02	3.39	0.96	0.23	0.02	0.07
	05	2.82	0.74	0.11	0.04	0.06
	10	2.63	0.63	0.08	0.11	0.08
1200 TMG	20	2.46	0.76	0.17	0.13	0.15
	30	2.60	0.60	0.07	0.10	0.02
	50	2.47	0.54	0.07	0.13	0.08
	100	2.20	0.48	0.03	0.08	0.06
	02	5.05	0.94	0.12	0.23	0.13
	05	4.64	0.81	0.15	0.14	0.16
	10	4.01	0.88	0.28	0.28	0.24
1800 TMG	20	3.32	0.68	0.09	0.10	0.08
	30	2.96	0.67	0.02	0.09	0.07
	50	2.63	0.55	0.04	0.10	0.05
	100	2.26	0.44	0.04	0.14	0.08
	02	2.55	0.58	0.10	0.06	0.09
	05	2.82	0.55	0.19	0.13	0.21
	10	3.04	0.59	0.02	0.12	0.11
2400 TMG	20	3.20	0.56	0.04	0.15	0.09
	30	3.06	0.68	0.08	0.22	0.10
	50	2.71	0.59	0.10	0.13	0.02
	100	2.17	0.56	0.06	0.12	0.07

TABELA 11 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura (C) do solo  
 no  $\square$  Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades,  
 harmônicos de 1 a 5.

Hora da observação	Profundidade (cm)	Harmônicos				
		1	2	3	4	5
1200 TNG	02	346.6	111.7	60.0	45.1	50.8
	05	352.6	109.2	68.9	79.8	13.1
	10	354.3	108.4	70.0	76.9	19.0
	20	358.2	111.7	110.3	34.8	44.8
	30	355.9	108.6	81.2	66.3	22.6
	50	355.7	113.1	110.3	70.2	33.5
1800 TNG	100	8.4	112.1	90.0	77.3	49.6
	02	339.4	116.5	101.2	69.6	34.4
	05	344.4	114.3	57.9	86.9	65.3
	10	345.5	105.3	36.8	89.2	57.4
	20	351.3	104.6	45.0	83.7	12.5
	30	353.3	107.9	45.0	82.5	67.0
2400 TNG	50	358.4	107.6	81.2	75.0	50.0
	100	6.4	113.3	68.9	67.5	19.3
	02	356.3	103.3	120.0	82.5	48.1
	05	353.1	114.7	79.7	70.2	35.8
	10	350.9	111.5	105.0	86.5	38.1
	20	351.6	106.3	63.3	17.0	35.4
2400 TNG	30	351.6	108.9	72.3	78.7	27.7
	50	356.7	106.2	56.9	79.8	21.8
	100	6.7	111.0	41.2	71.5	36.8

TABELA 12 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (C) do solo nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	94.70	4.80	0.10	0.07	0.07
05	94.40	3.90	0.10	0.08	0.10
10	94.70	4.40	0.10	0.20	0.10
20	94.70	4.70	0.10	0.10	0.10
30	94.70	4.80	0.40	0.20	0.04
50	95.20	4.40	0.06	0.20	0.03
100	94.80	4.60	0.03	0.20	0.09

TABELA 13 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (C) do solo nu, em Campina Grande-PB, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	94.70	99.50	99.60	99.67	99.74
05	94.40	98.30	98.40	98.48	98.58
10	94.70	99.10	99.20	99.40	99.50
20	94.70	99.40	99.50	99.60	99.70
30	94.70	99.50	99.54	99.77	99.78
50	95.20	99.60	99.66	99.86	99.89
100	94.80	99.40	99.43	99.63	99.72

sendo aquecido. Quanto à fase, cuja origem foi tomada como sendo o mês de janeiro, observa-se para os horários de 12:00 e 18:00 TMG, um aumento com a profundidade, ostrando assim um atraso, em graus, na chegada da máxima temperatura aos níveis mais profundos (CARSON, 1963). Para o horário de 2400 TMG, a fase não é explicativa, provavelmente devido as camadas mais profundas do solo estarem cedendo calor para as menos profundas, e a consequente perda de calor para a atmosfera.

Os resultados da análise da variância e variância acumulada, são apresentadas nas Tabelas 8 e 9; 12 e 13, respectivamente. Como se vê, o domínio do primeiro harmônico é notável, superando sempre os 96% e 94% das ondas de temperatura observadas para Surubim-PE e Campina grande-PB. A contribuição dos 5 primeiros harmônicos, praticamente representa, a variação da temperatura do solo, em que os valores da variância acumulada superam em todos os casos 99% e 98%, respectivamente. Outros pesquisadores afirmam que apenas 5 harmônicos são suficientes para uma boa representatividade da onda de temperatura observada no ciclo anual (VIANELLO et alii, 1977 e RAMANA RAO et alii 1977).

Os resultados são semelhantes para as estações Agrometeorológicas de Bebedouro-PE e Mandacaru-BA, e são apresentados nas Tabelas 14, 15, 16 e 17; 18, 19, 20 e 21, respectivamente

#### 4. 3 - Estimativa da difusividade térmica do solo.

TABELA 14 - Amplitude da onda anual de temperatura do solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	1.81	0.66	0.14	0.16	0.17
05	1.79	0.61	0.19	0.21	0.18
10	1.75	0.54	0.08	0.20	0.21
20	1.45	0.61	0.08	0.27	0.20
30	1.51	0.46	0.12	0.16	0.12

TABELA 15 - Fase (GR. US) da onda anual de temperatura (°C) do solo nu, da estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	335.35	91.95	44.97	51.76	47.65
05	340.81	97.51	79.69	44.01	45.07
10	342.78	101.01	42.30	47.06	42.69
20	344.69	102.65	47.72	48.06	39.94
30	350.88	101.92	32.71	43.71	46.62

TABELA 16 - Percentagem da variância (%) da onda anual de temperatura (C) do solo nu, na estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	85.80	11.40	0.50	0.60	1.50
05	86.10	9.90	0.90	1.20	1.70
10	87.80	8.30	0.20	1.10	2.50
20	79.80	14.10	0.20	2.70	0.30
30	89.00	8.20	0.50	0.90	1.10

TABELA 17 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (C) do solo nu, da estação experimental de Bebedouro-PE, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	85.80	97.20	97.70	98.30	99.80
05	86.10	96.00	96.90	98.10	99.80
10	87.80	96.10	96.30	97.40	99.90
20	79.80	93.80	94.10	96.80	99.80
30	89.00	97.20	97.70	98.60	99.70



TABELA 18 - Amplitude da onda anual de temperatura ( $^{\circ}$ C) do solo nu. da estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	1.68	0.36	0.14	0.03	0.06
05	1.65	0.37	0.13	0.03	0.05
10	1.46	0.33	0.08	0.09	0.06
20	1.39	0.31	0.07	0.02	0.06

TABELA 19 - Fase (GRAUS) da onda anual de temperatura ( $^{\circ}$ C) do solo nu. da estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	10.94	93.45	45.01	29.83	29.88
05	13.21	97.88	52.28	29.82	42.93
10	15.17	104.29	63.79	57.78	47.80
20	24.42	99.56	60.02	75.00	26.18

TABELA 20 - Percentagem da variância (%) da onda anual da temperatura do solo nu, da estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	94.80	4.30	0.60	0.03	0.01
05	94.50	4.70	0.50	0.03	0.08
10	4.30	4.80	0.20	0.30	0.10
20	94.80	4.70	0.20	0.01	0.10

TABELA 21 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda anual de temperatura (C) do solo nu, da estação experimental de Mandacaru-BA, nas diferentes profundidades, harmônicos de 1 a 5.

Profundidade (cm)	Harmônicos				
	1	2	3	4	5
02	94.80	99.10	99.70	99.73	99.74
05	94.50	99.20	99.70	99.73	99.81
10	94.30	99.10	99.30	99.60	99.70
20	94.80	99.50	99.70	99.71	99.81

A difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico da série de Fourier, nas diferentes camadas e condições de solo nu, das estações Climatológicas e Agrometeorológicas, são mostradas na Tabela 22. Como se observa, há grande discrepância nos valores encontrados para as camadas mais profundas do solo. Tal fato parece justificar-se devido à presença do maior teor de umidade nos níveis mais profundos, pela composição química, estrutura e matéria orgânica do solo, que podem causar este tipo de variação. Para as camadas superficiais, os valores da difusividade térmica parecem mais confiáveis. Nota-se, em particular, maior coerência entre os valores estimados pela amplitude, enquanto aqueles valores obtidos pelas fases, além de mais variáveis, apresentam-se sistematicamente mais elevados. A média geral para a camada de 02 e 20 cm parece representar a difusividade térmica para essa camada, ou seja, São Gonçalo-PB  $0,87 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , Campina Grande-PB  $4,98 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , Surubim-PE  $2,90 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , Bebedouro-PE  $5,21 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$  e Mandacaru-BA  $1,54 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , especialmente porque os valores correspondem aos esperados para tais tipos de solo (GEIGER, 1973 e SELLERS, 1965). Inúmeros pesquisadores atestam a validade de tais técnicas para a determinação da difusividade térmica (CARSON, 1963; VIANELLO et alii, 1977 e 1982).

#### 4. 4 - Profundidade de amortecimento e velocidade de propagação da onda de temperatura no solo.

TABELA 22 - Difusividade térmica, calculada pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico, para diferentes camadas do solo nu, de São Gonçalo-PB, Campina Grande-PB, Surubim-PE, Bebedouro-PE e Mandacaru-BA.

Camadas entre profundidades (cm)	Difusividade térmica ( $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )					
	S. Gonçalo-PB		Surubim-PE		Campina Grande-PB	
	Ampl.	Fase	Ampl.	Fase	Ampl.	Fase
02 - 05	2.66	0.33	0.27	6.92	0.08	0.17
05 - 10	0.12	0.10	0.15	4.24	0.36	4.18
10 - 20	1.56	0.46	67.60	8037.30	2.12	22.96
20 - 30	50.51	1.20	33.92	12.65	3.24	2766.16
30 - 50	1.64	3.42	12.15	10.78	7.01	999.98
50 - 100	11.59	4.61	11.09	0.01	11.17	0.01

TABELA 22 (continuação).

Camadas entre profundidades (cm)	Difusividades térmica ( $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ )			
	Bebedoura-PE		Mandacaru-BA	
	Ampl.	Fase	Ampl.	Fase
02 - 05	16.42	0.10	2.36	0.59
05 - 10	4.88	2.16	0.17	2.19
10 - 20	0.29	9.19	3.55	0.39
20 - 30	7.75	0.88	-	-

Mediante o uso da difusividade térmica e da frequência angular, estimou-se a profundidade de amortecimento da onda de temperatura, para as classes de solo em questão.

Identicamente, valendo-se dos mesmos parâmetros anteriormente citados, estimou-se a velocidade de propagação da onda de temperatura para o interior do solo.

Como se observa na Tabela 23, num solo com maior difusividade térmica, a onda de temperatura se propaga com maior velocidade e conseqüente aumento na profundidade de amortecimento.

4. 5 - Marcha diária da temperatura do solo para diferentes profundidades e cobertura vegetal sob dois tratamentos diferenciados de irrigação.

Os dados diários de temperatura do solo em diferentes profundidades, para o solo nu e cobertura vegetal, no caso, milho (*Zea mays* L.), irrigado com cápsulas porosas entre 15 e 30 cm abaixo da superfície do solo, com diferentes pressões hidrostáticas e diversificadas condições atmosféricas, foram organizados em forma de gráficos para maior facilidade de interpretação e visualização, nas diferentes fases fenológicas da cultura, ou seja: aos 18 e 34 dias após o plantio, período de crescimento, 52 e 72 dias, início e 50% de floração e 83 e 88 dias, maturação total.

TABELA 23 - Profundidade de amortecimento da onda de temperatura do solo (m) e velocidade de propagação (cm/h).

ESTAÇÃO	$K \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$	Prof. Amort. (m)	Veloc. Propag. $10^{-2} \text{ cm/h}$
São Gonçalo-PB	0,87	0,94	6,70
Surubim-PE	2,90	1,71	12,23
Campina Grande-PB	4,98	2,24	16,03
Bebedouro-PE	5,21	2,29	16,40
Mandacaru-BA	1,54	1,24	8,91

As Figuras 9 a 14, são referentes ao solo nu para os dias 23/07, 09 e 27/10, 16 e 28/11 e 02/12/79 e mostram a marcha diária da temperatura, para as profundidades de 15, 30 e 60 cm. O acentuado decréscimo da amplitude das ondas de temperatura, com a profundidade, expressam a ineficiência do solo em conduzir calor. Como se vê (Figura 9) a 15 cm de profundidade a curva apresenta forte atividade após as 09 horas, atingindo valores máximos entre 17 e 18 horas. Os valores mínimos são atingidos em torno das 7 e 8 horas. A 30 cm de profundidade, os valores extremos são alcançados às 9 e 18 horas, com menor amplitude. Na profundidade de 60 cm, as variações diárias da temperatura ficam em torno de 1<sup>o</sup> C. Os destacáveis valores de temperatura 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 contra posição, no período noturno, a interação do solo com a 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.

Apesar das Figuras 11, 12 e 14 assemelharem-se com a Figura 10, no comportamento do perfil, entretanto, algumas diferenças no horário dos valores extremos e na amplitude térmica, causada, provavelmente, pela presença de nuvens, como podemos ver na Figura 13, que para este dia houve apenas 2,4 horas de sol, refletindo na diminuição da amplitude diurna e um maior aquecimento na profundidade de 60 cm.

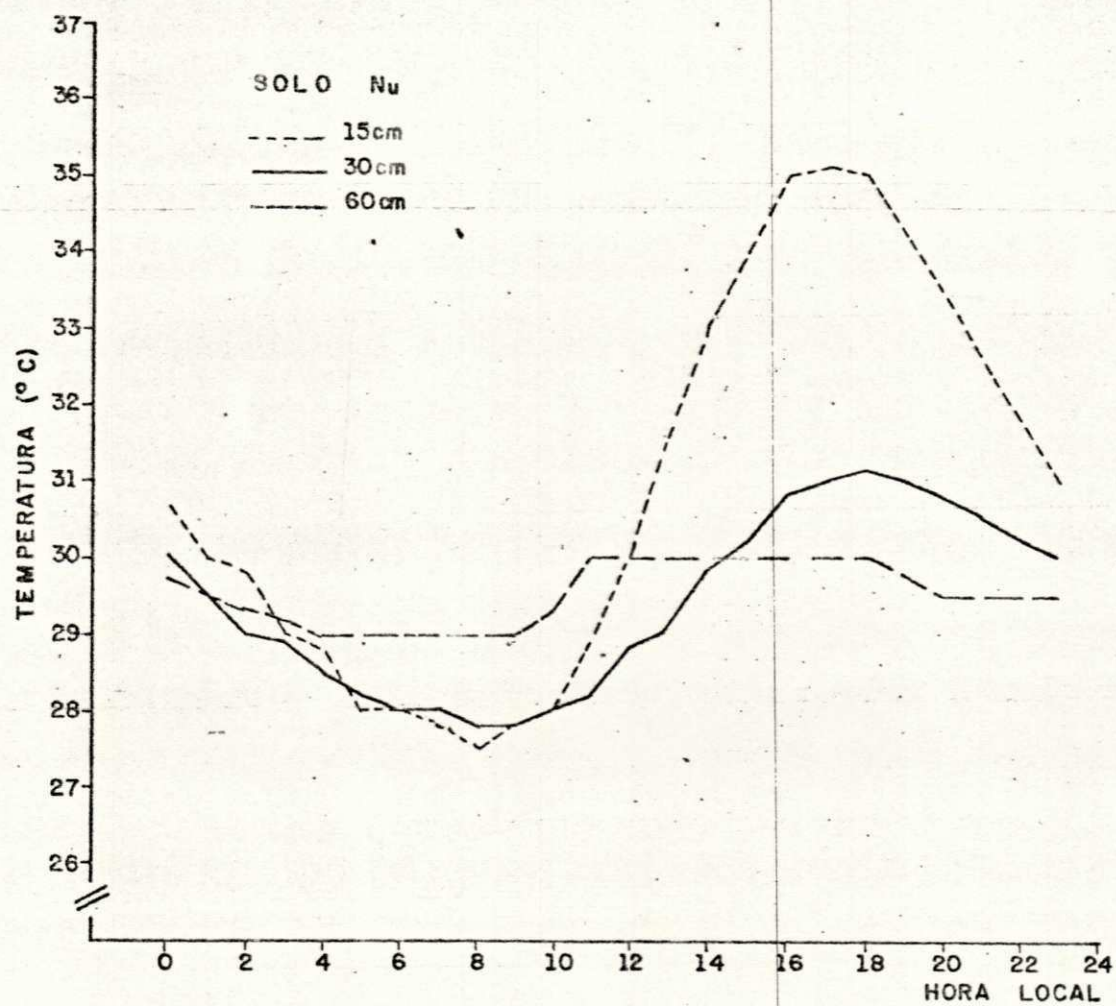


FIG. 9 - Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 23/09/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.



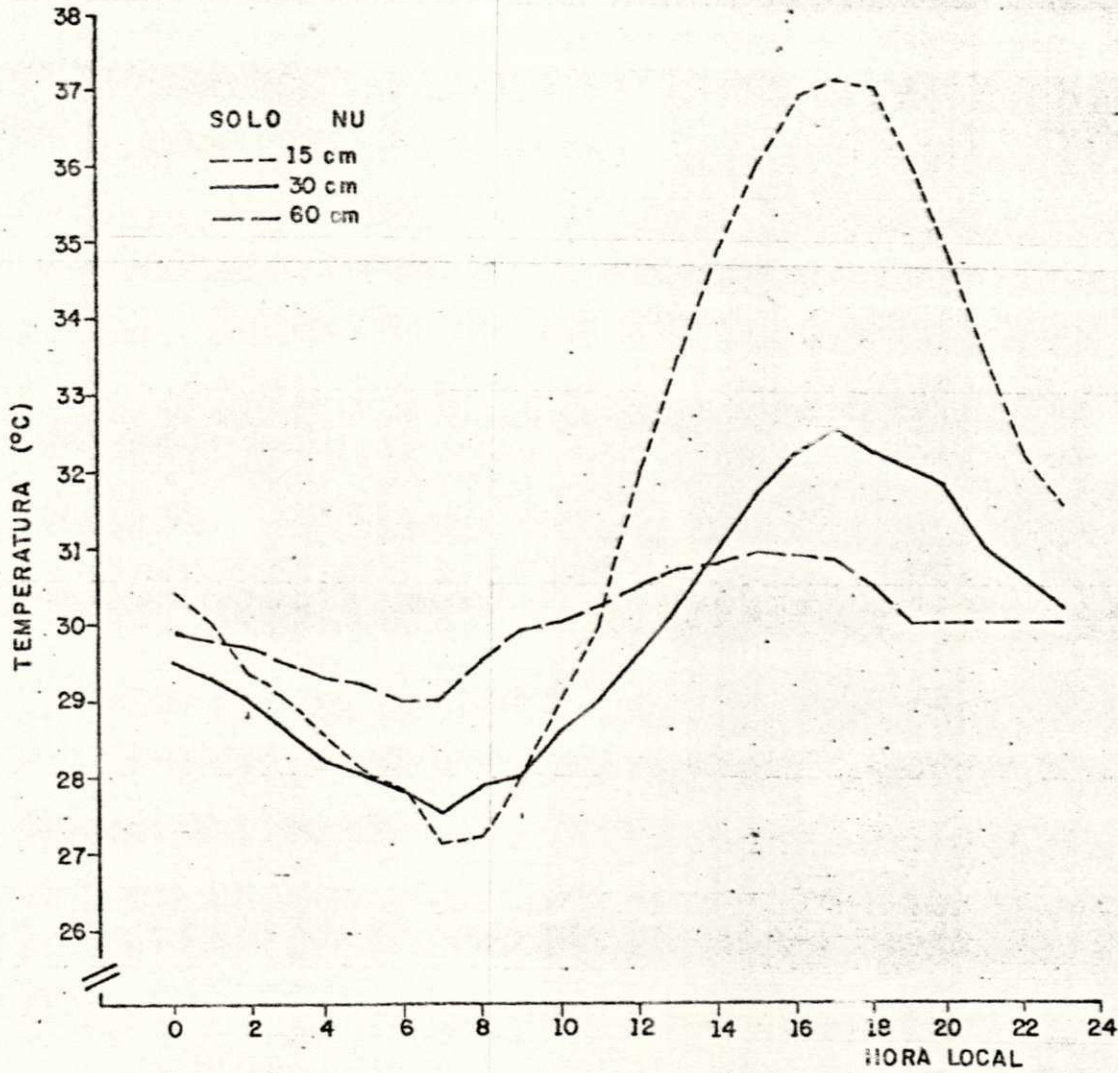


FIG. 10 - Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 09/10/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.

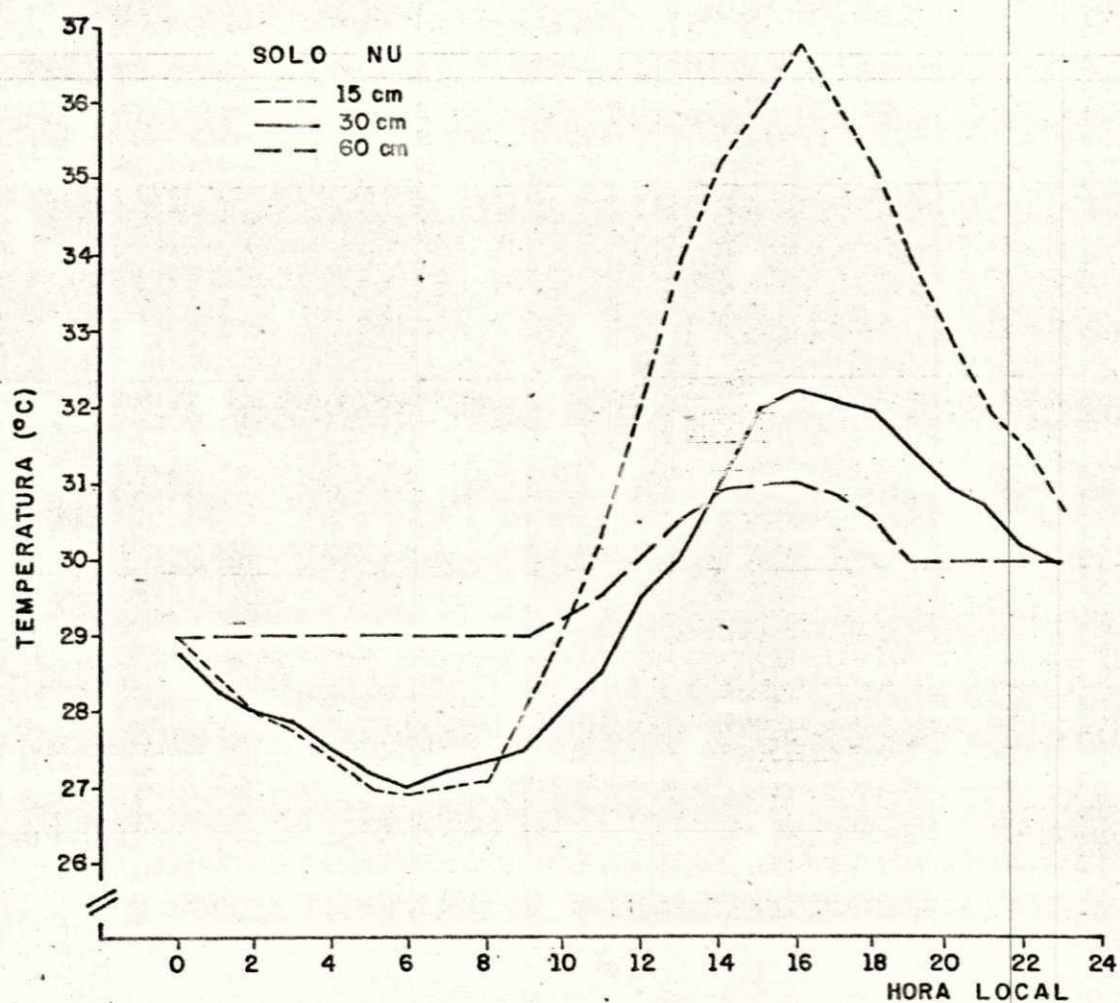


FIG.11- Marcha diária da temperatura do solo, nu; profundidades de 15, 30, e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 23/10/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.

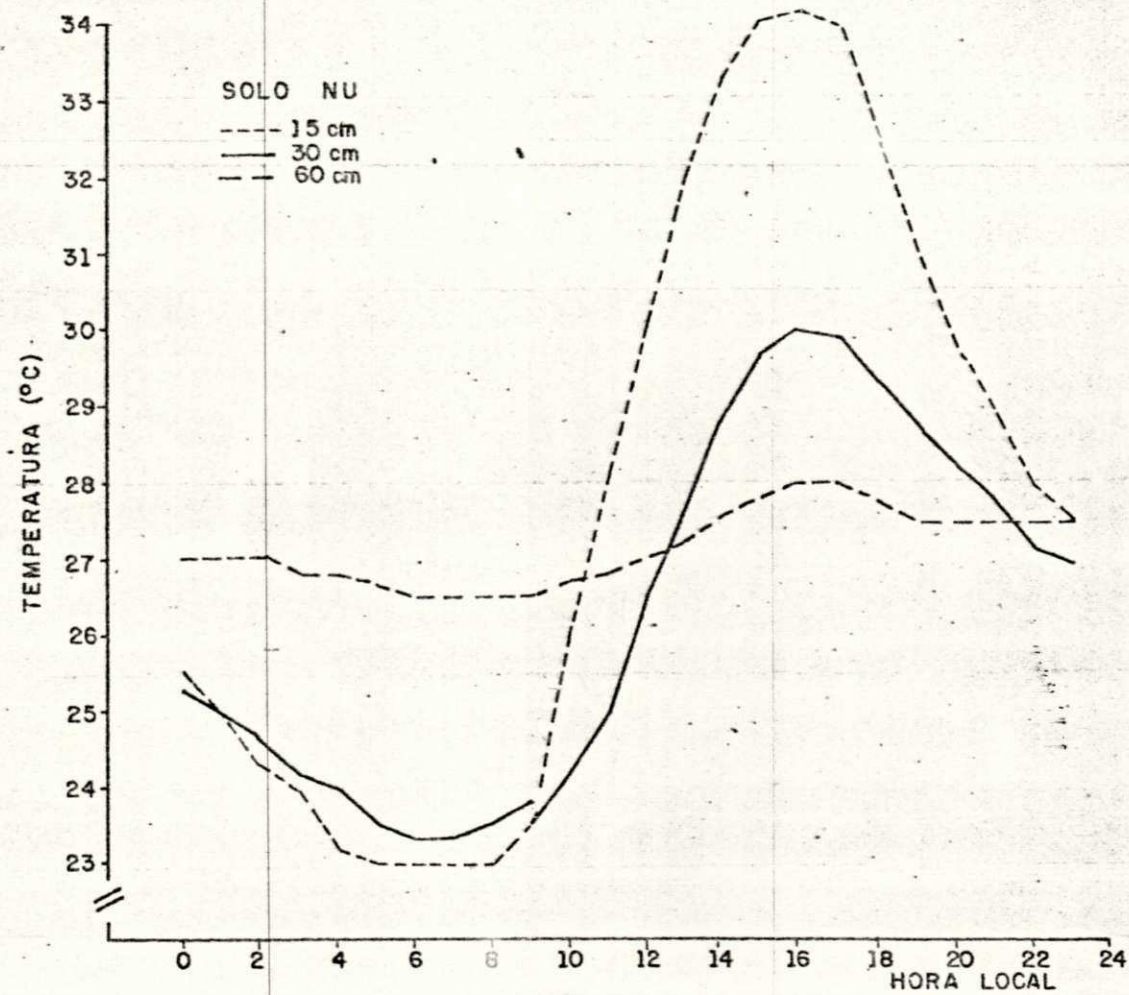


FIG. 12 - Marcha diãria da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 16/11/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.

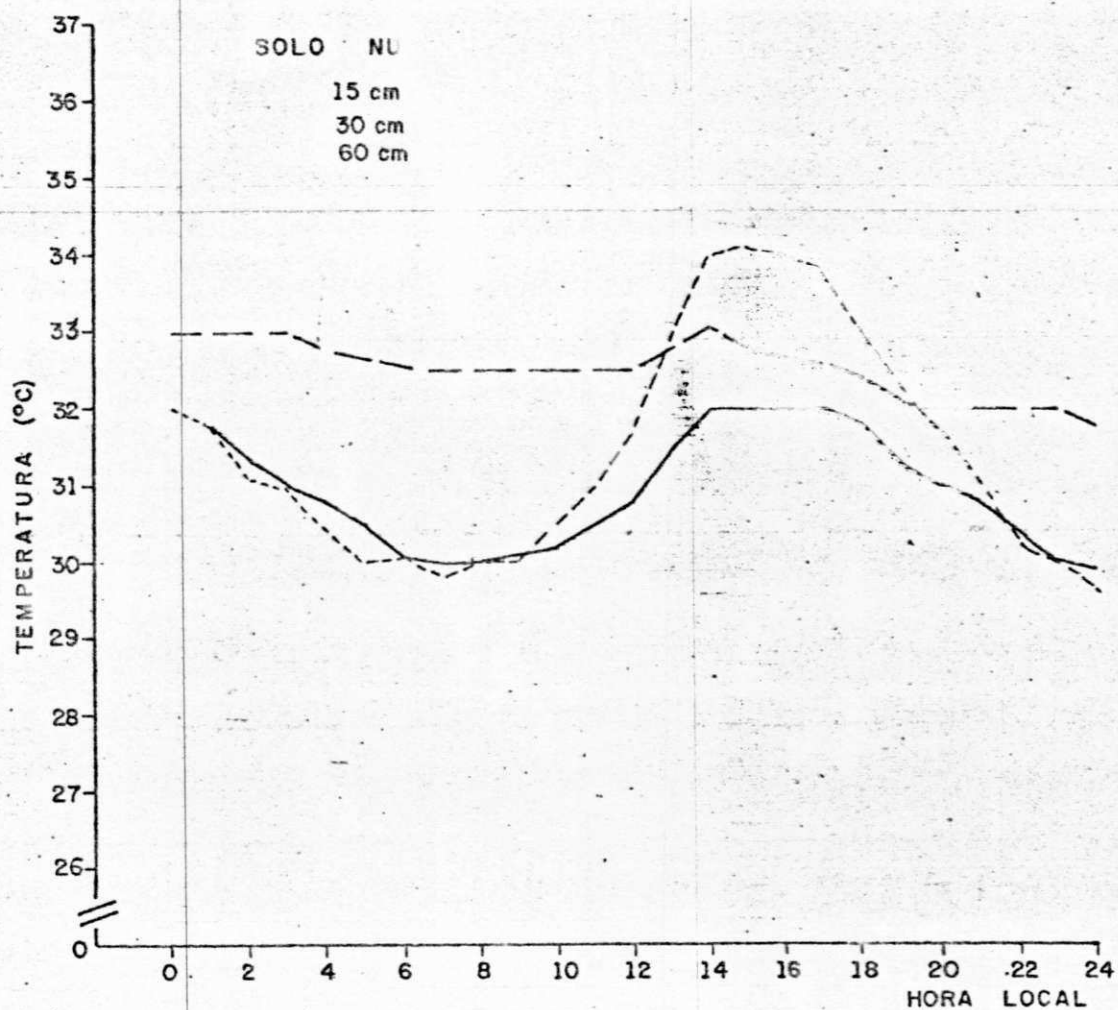


FIG. 13 - Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.

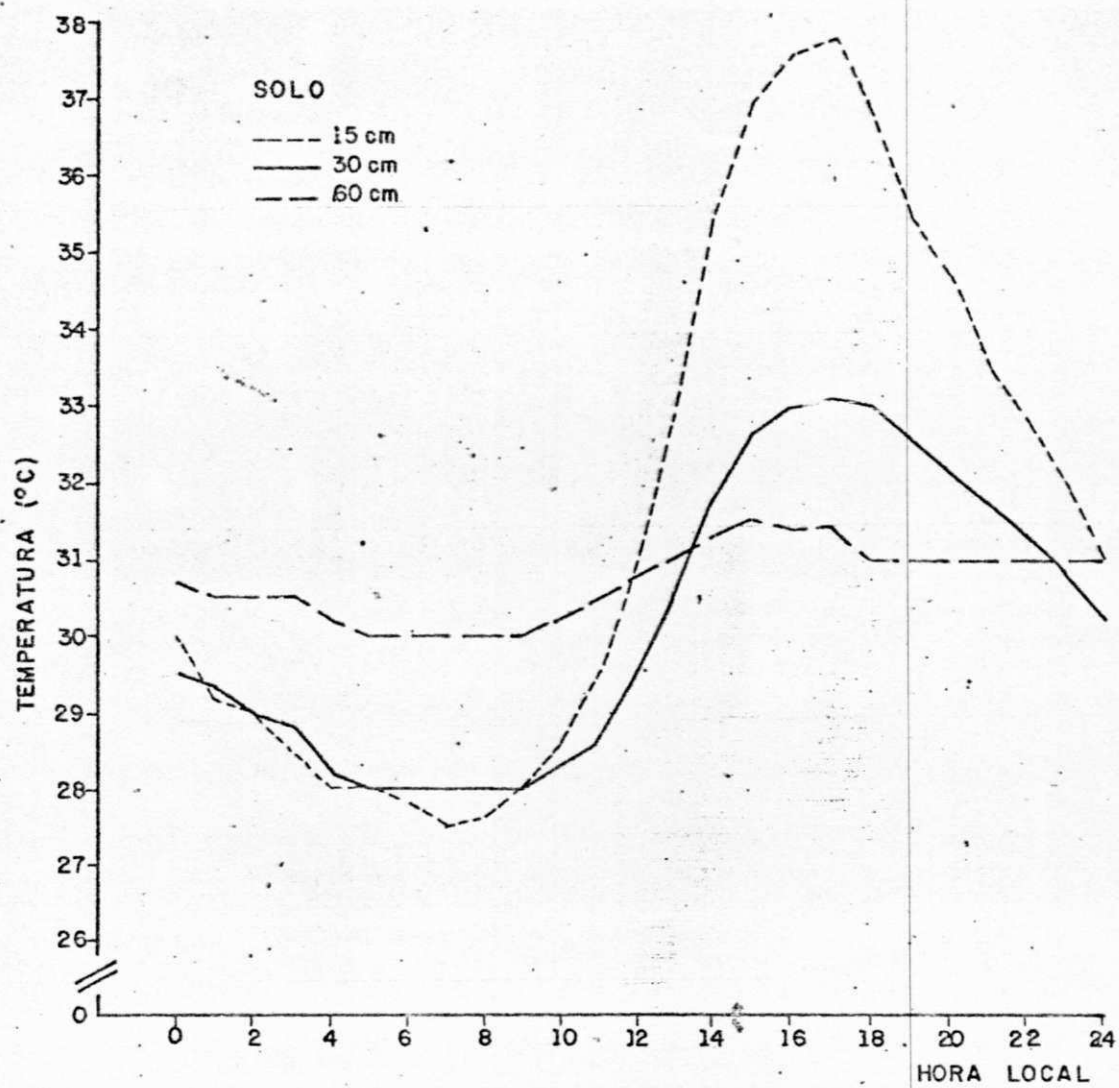


FIG. 14 - Marcha diária da temperatura do solo nu, profundidades de 15, 30 e 60 cm, período de 00 às 23 horas de 02/12/79, na estação experimental de Bebedouro, PE.

As Figuras 15 a 20, referem-se ao mesmo período apresentado para o solo nu, e foram obtidos sob as mesmas condições atmosféricas, porém, sob condições de cobertura vegetal, em milho (*Zea mays* L.), irrigado por cápsulas porosas submetidas a uma pressão hidrostática de 0,35 m, com uma densidade de 13 plantas por cápsulas. Como se vê, a influência da cobertura vegetal é notável, as temperaturas observadas aos 18 dias após o plantio (Figura 15), situam-se entre 26,4 C e 31,9 C e em condições de solo nu, entre 27,5 C e 35,1 C para a profundidade de 15 cm. Aos 34 dias após o plantio (Figura 16), as temperaturas ficam entre 28,0 C e 33,0 C, aumentando as temperaturas máximas e mínimas e diminuindo a amplitude na profundidade de 15 cm. Aos 52 dias (Figura 17) a diferença de temperatura entre as profundidades de 15, 30 e 60 cm não excede a 1,0 C, causado, provavelmente, pela umidade do solo e sombreamento por parte das plantas. Aos 72 dias (Figura 18) a profundidade de 60 cm permaneceu mais aquecida que as demais até as 16 horas, ficando a profundidade de 15 cm mais aquecida a partir desta hora. Aos 83 dias (Figura 19) com a maturação total e presença de nuvens e com uma insolação de 2,4 horas, as profundidades de 15 e 30 cm apresentaram variações diárias de temperatura em torno de 1,0 C, enquanto a temperatura na profundidade de 60 cm ficou mais aquecida durante todo o dia. Aos 88 dias (Figura 20) a amplitude térmica aumentou nas profundidades de 15 e 30 cm e a profundidade de 60 cm permaneceu mais aquecida no período diurno. Ramdas & Dravid citados por (GEIGER, 1973) afirmam que o aumento da temperatura não se deve à temperatura da água, que se iguala rapidamente à temperatura do

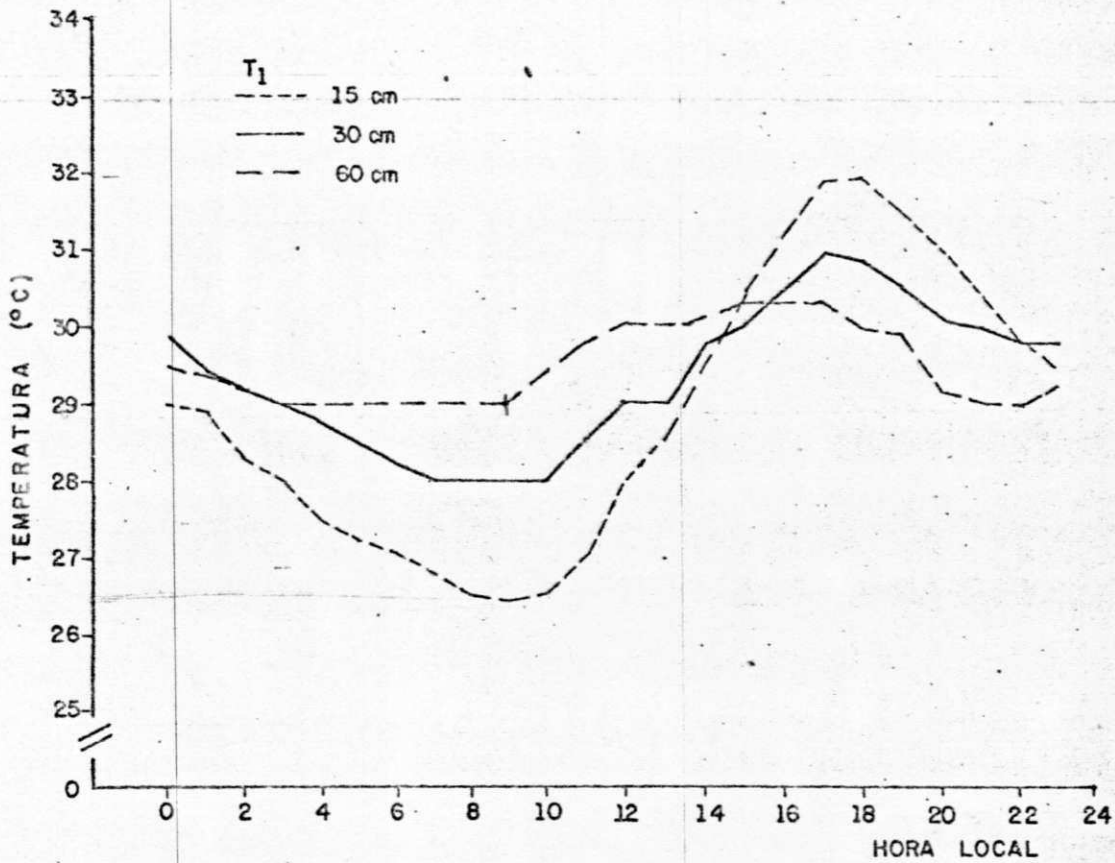


FIG. 15 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 23/09/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

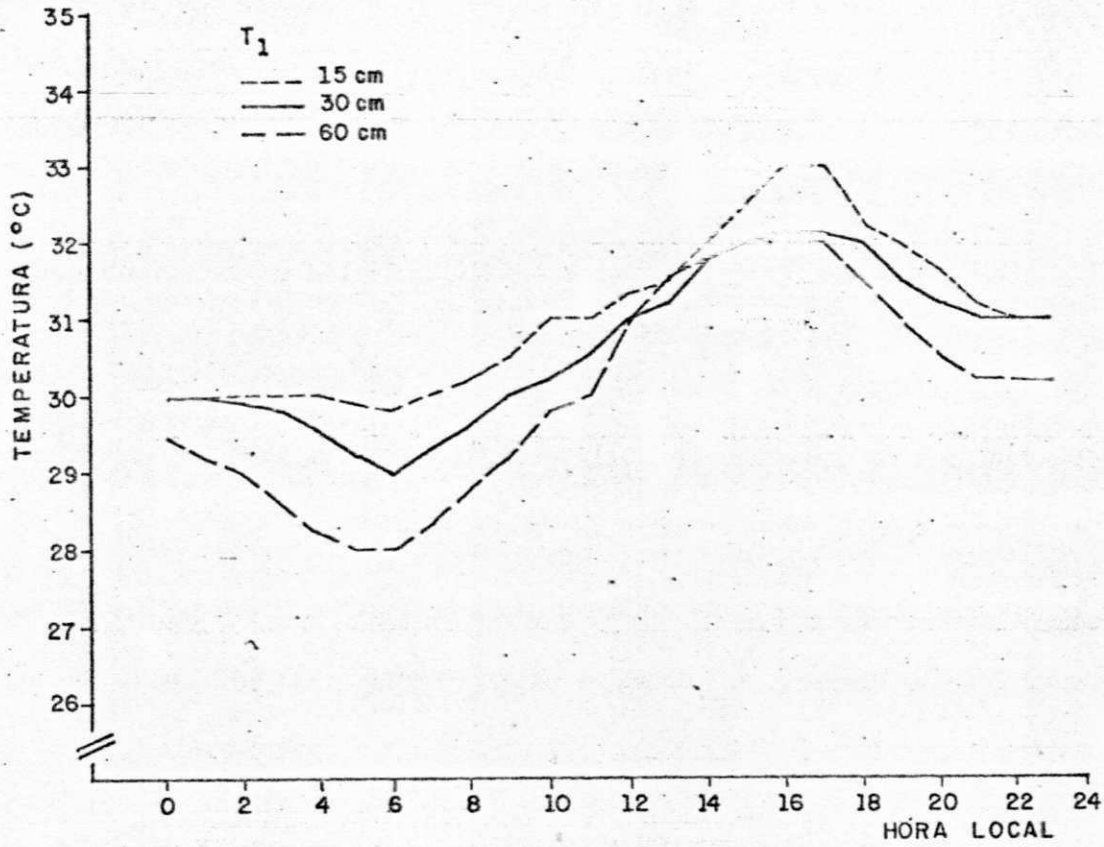


FIG. 16 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática,  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 09/10/79, profundidades 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.



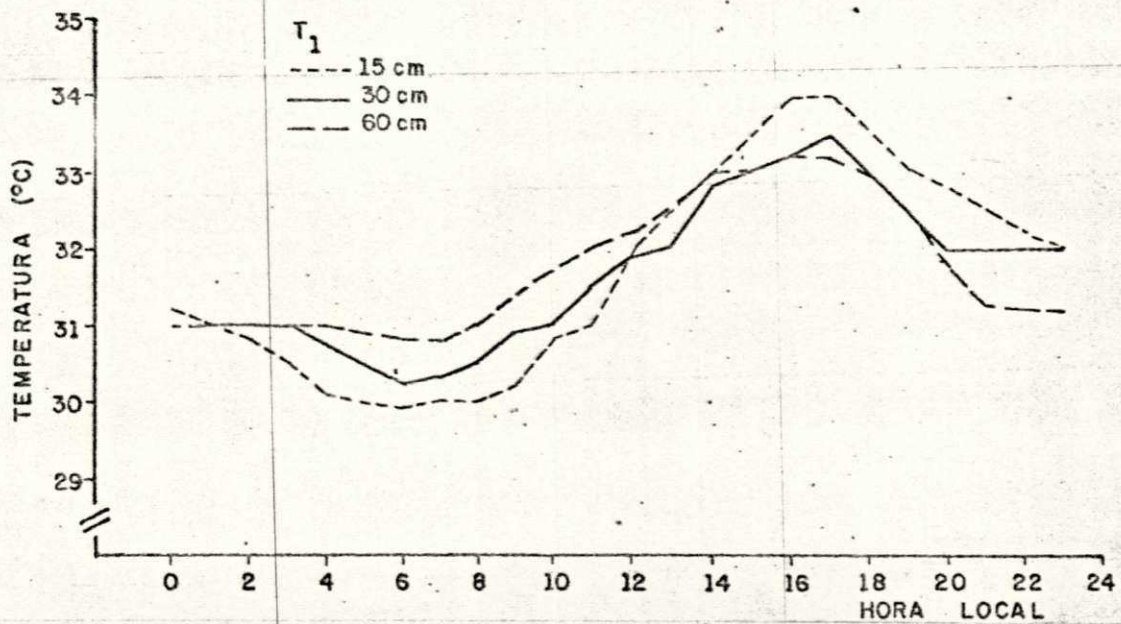


FIG. 17 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 27/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

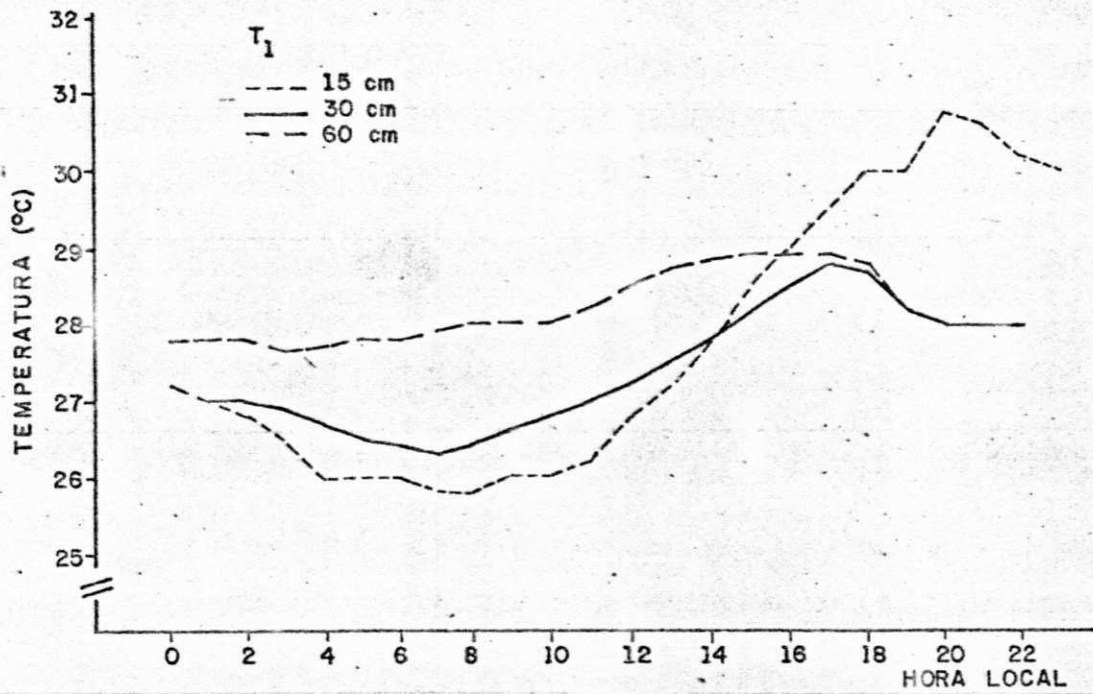


FIG. 18 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 16/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

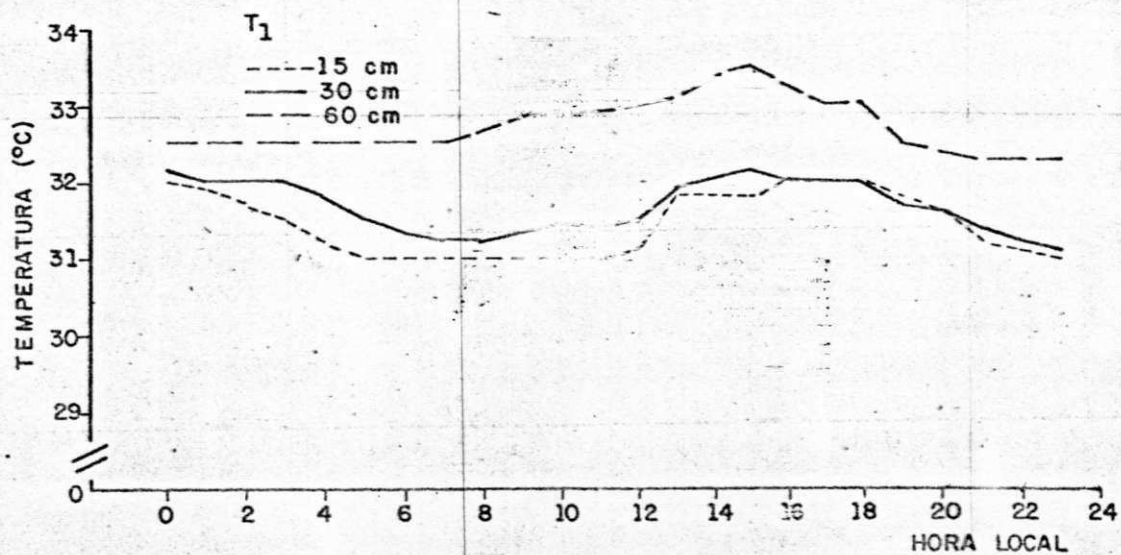


FIG. 19 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por cápsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

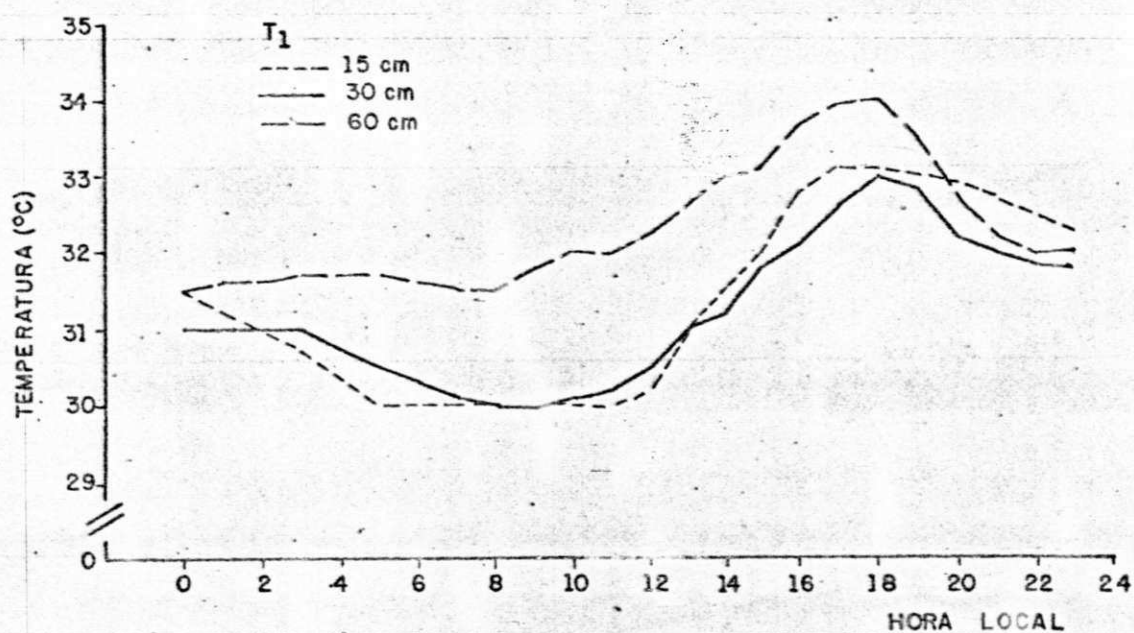


FIG. 20 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35$  m, período de 00 às 23 horas de 02/12/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

solo, mas sim ao consumo de calor pela evaporação.

Com uma pressão hidrostática de 0,75 m exercida nas cápsulas porosas no tratamento T2, Figuras 21 a 26, houve uma maior liberação de água por parte destas em relação ao tratamento T1, causando a diminuição nas temperaturas extremas em todas as profundidades nas fases fenológicas da cultura no período considerado, mas havendo, entretanto, um acréscimo na amplitude térmica, principalmente, na profundidade de 15 cm, em relação ao tratamento T1. Aos 72 dias após o plantio (Figura 24) a profundidade de 15 cm ficou menos aquecida que as demais durante o período diurno, causado, provavelmente, pela umidade do solo nas camadas superficiais e o sombreamento por parte das plantas. Aos 83 dias (Figura 25) o solo quase não recebeu radiação solar direta, havendo apenas uma insolação de 2,4 horas, a temperatura na profundidade de 15 cm ficou menos aquecida durante o período diurno e noturno, ficando as profundidades de 30 e 60 cm mais aquecidas neste período. Aos 88 dias (Figura 26) com o solo recebendo radiação solar direta, já que neste dia houve uma insolação de 10,0 horas, a profundidade de 15 cm aqueceu-se mais que aos 83 dias, mas permaneceu sempre menos aquecida que as demais.

#### 4. 6 - Análise da amplitude, da fase e da variância acumulada das ondas diárias da temperatura do solo.

Os dados de temperatura do solo, observados nos períodos em estudo, foram submetidos a uma análise harmônica, com

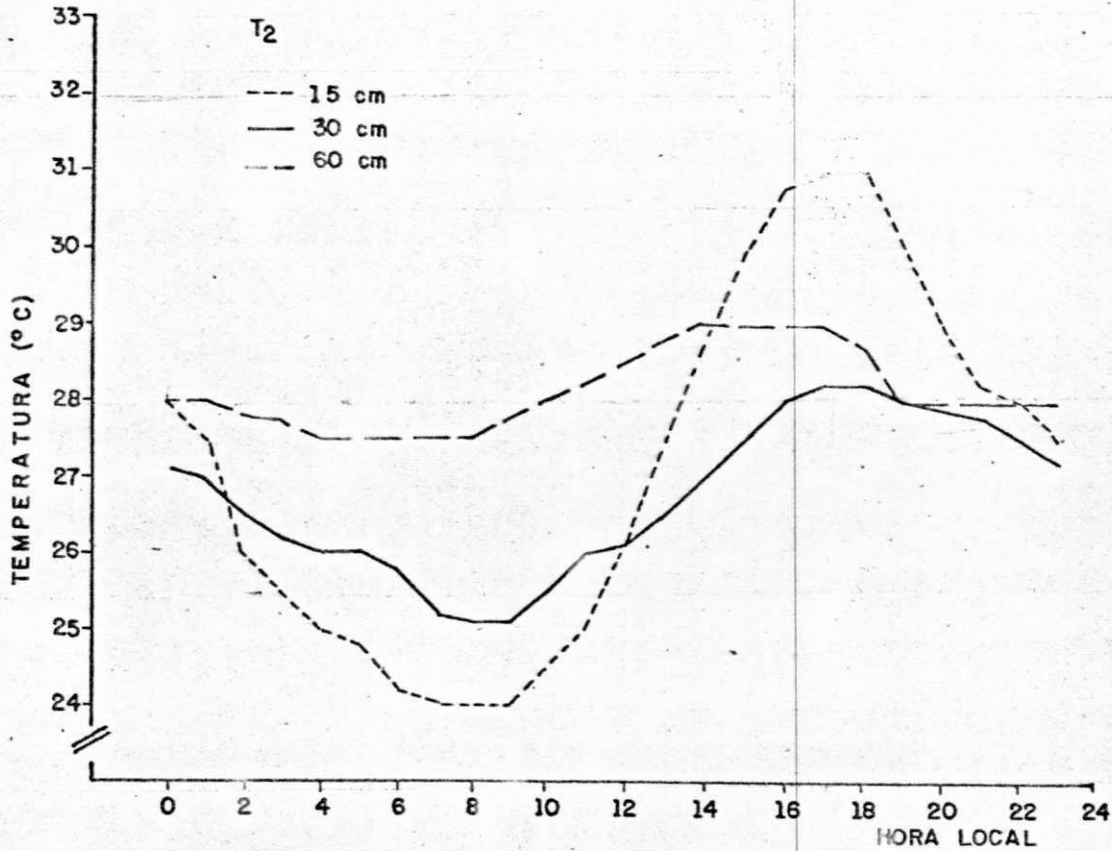


FIG.21- Marcha diária da temperatura do solo,, sob' cobertura de milho irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $H \approx 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 23/09/79, profundidades 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

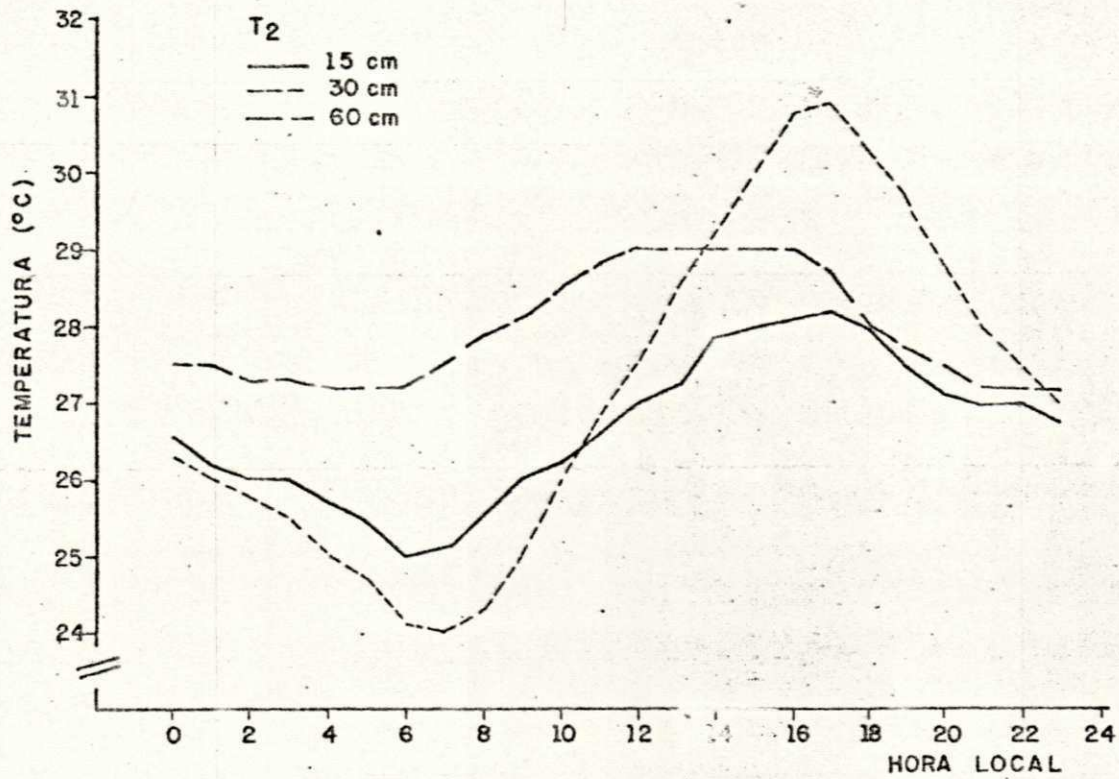


FIG. 22 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 09/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

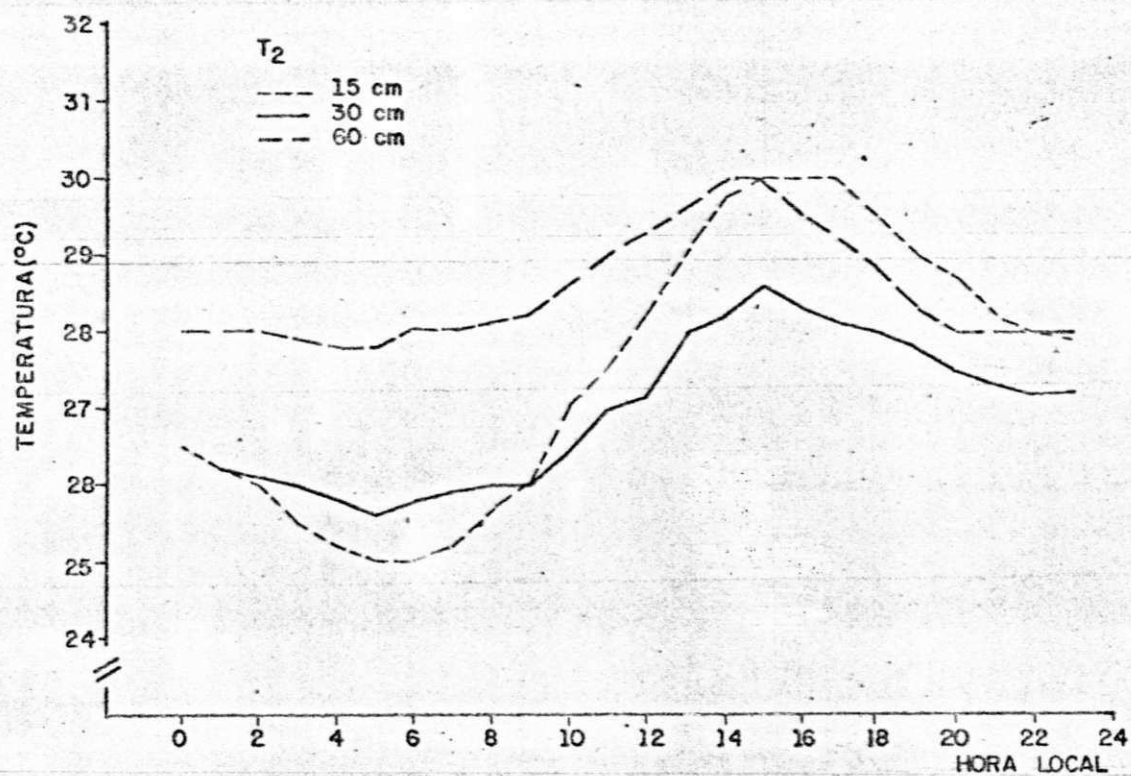


FIG. 23 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 27/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bobedouro, PE.



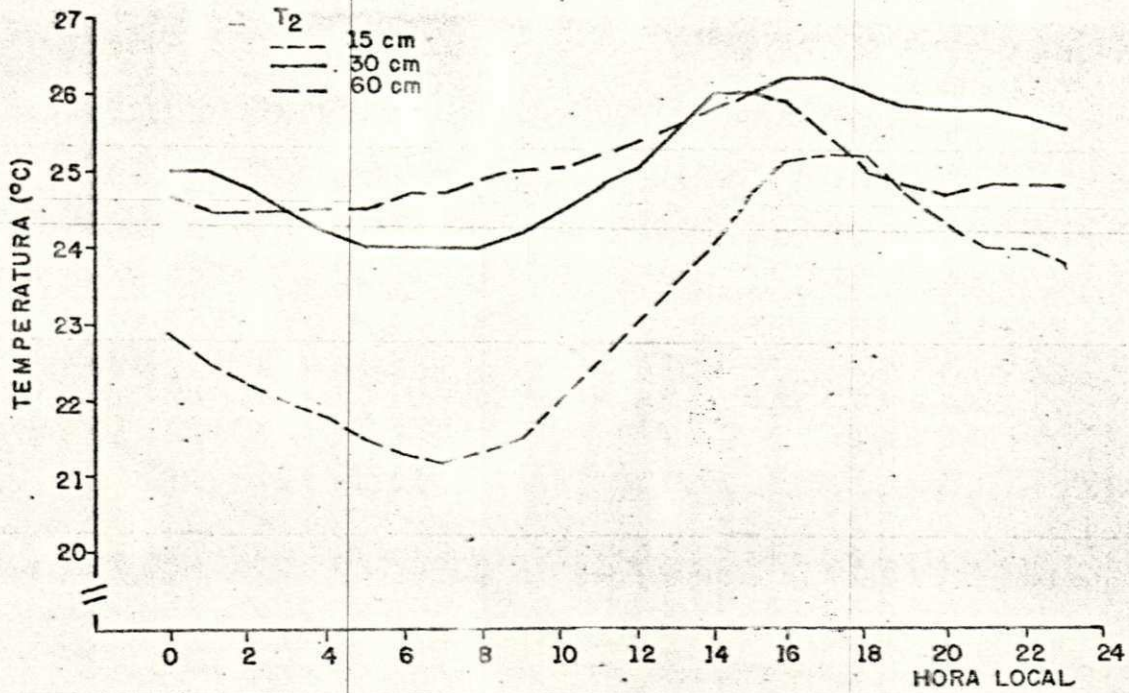


FIG. 24 - Marcha diária da temperatura do solo sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas percolares, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 27/10/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

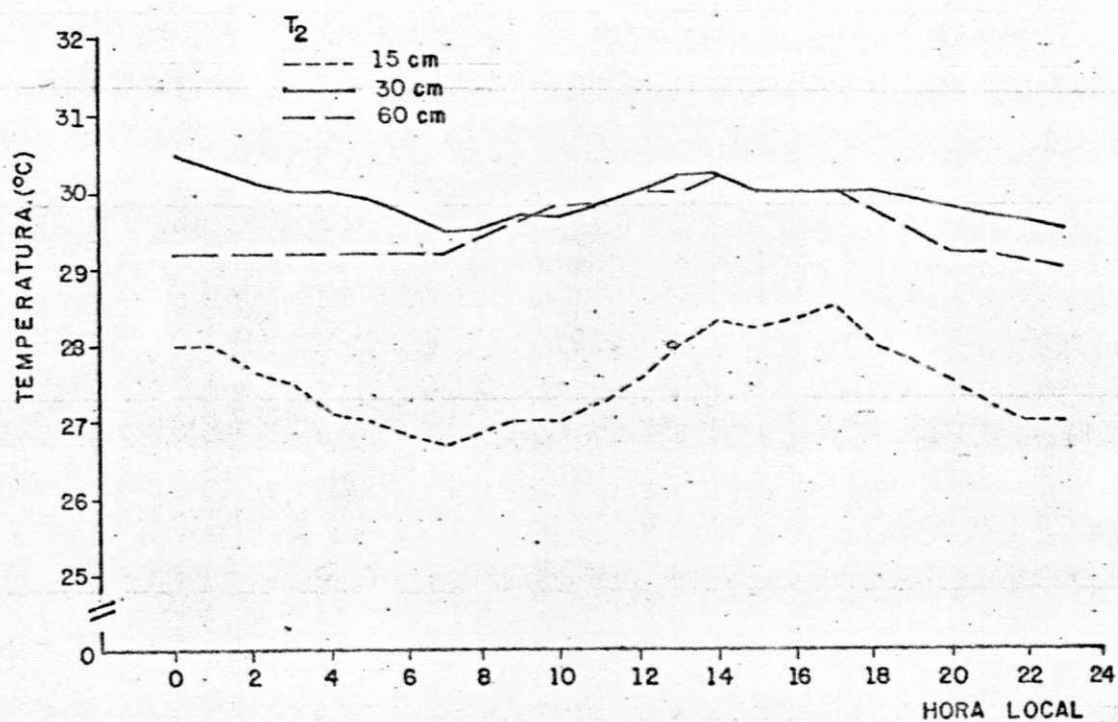


FIG. 25 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 28/11/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

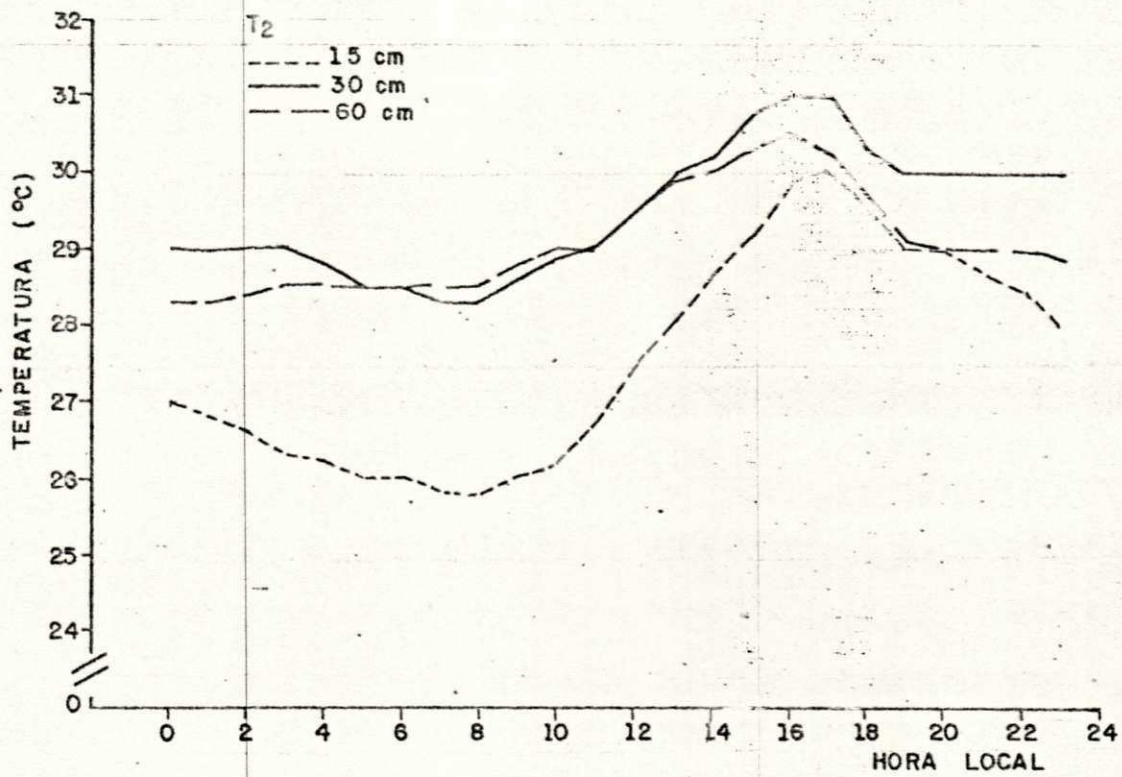


FIG. 26 - Marcha diária da temperatura do solo, sob cobertura de milho, irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, período de 00 às 23 horas de 02/12/79, profundidades de 15, 30 e 60 cm, na estação experimental de Bebedouro, PE.

a finalidade de se obter a quantificação dos diversos harmônicos nas ondas de temperatura do solo nas diversas profundidades para o solo nu e condições de cobertura vegetal nos tratamentos T1 e T2. A amplitude e a variância acumulada dos 11 harmônicos da série de Fourier, relativas as fases fenológicas da cultura são apresentadas no anexo A. O decréscimo da amplitude com a profundidade e o predomínio do primeiro harmônico, pode ser visto nos diversos tratamentos da cobertura vegetal e solo nu. Quanto à fase, cuja origem foi tomada às 00 hora, observa-se, para todas as condições de tratamentos T1 e T2 e solo nu, um aumento com a profundidade, até o nível de 30 cm. Para a profundidade de 60 cm, o mesmo não se registra, como seria esperado. Entretanto, a pequena variação da temperatura, nesse nível, 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. Destaca-se também o fato de os 11 harmônicos representarem pelo menos 98% da variância dos dados observados.

#### 4.7 - Estimativa da difusividade térmica do solo.

A difusividade térmica do solo foi determinada, usando a temperatura do solo em diferentes profundidades, pela amplitude e pela fase do primeiro harmônico da série de Fourier, para o solo nu e cobertura vegetal com dois tratamentos diferenciados de irrigação. Como se observa, para o solo nu (Figura 27) a difusividade térmica na camada entre 15 e 30 cm foi inferior à camada entre 30 e 60 cm, ficando a última camada com

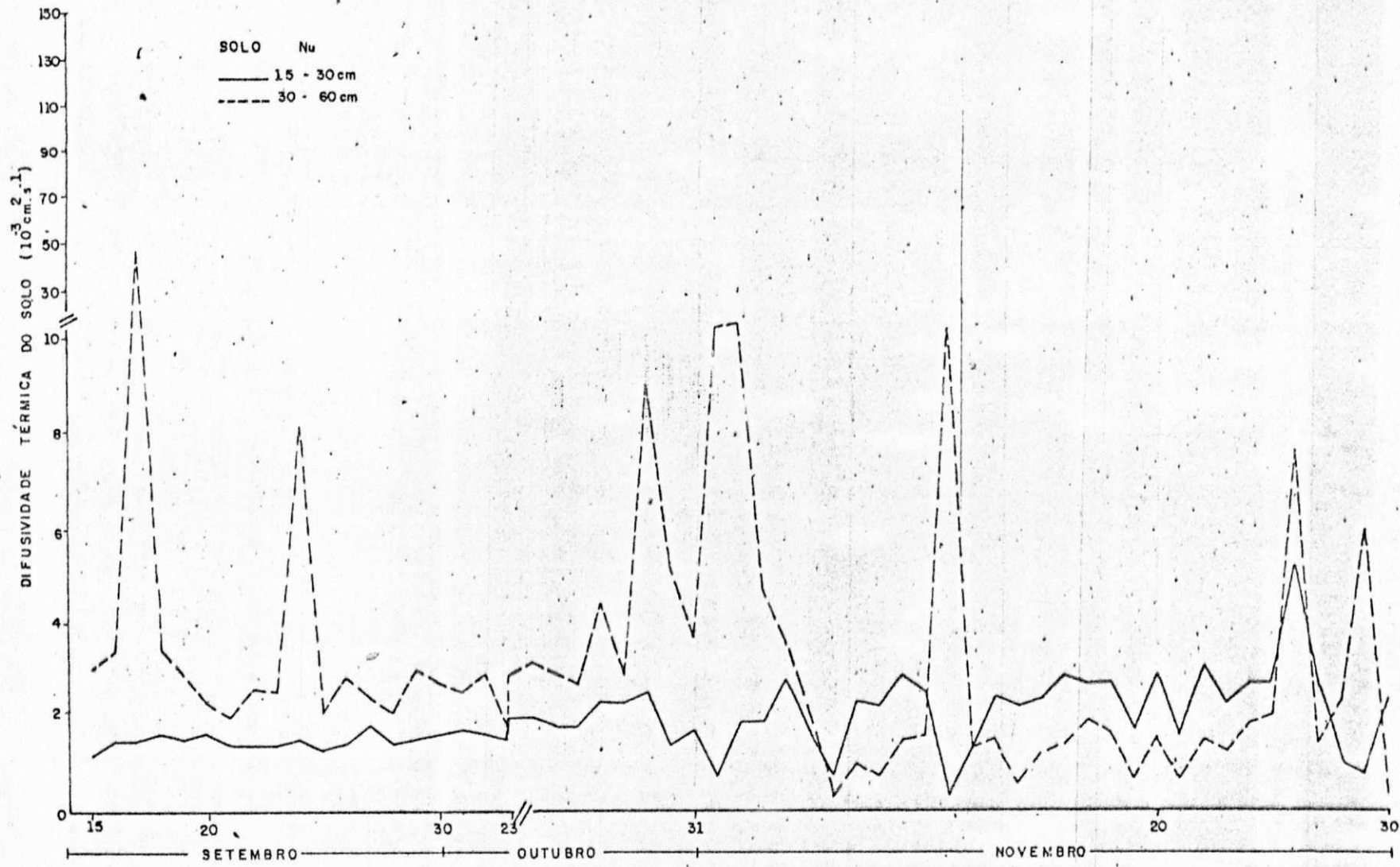


FIG. 27 - Difusividade térmica diária, calculada pelo método da amplitude, nas camadas do solo entre 15-30 cm e 30-60 cm, sob solo nu, na estação experimental de Bebedouro. PE.

piques mais elevados, devido, provavelmente, por ter a camada mais profunda um solo com maior teor de umidade. Para o tratamento T1 (Figura 28) com o solo umido, houve variações durante todo o período nas duas camadas, ficando a camada entre 30 e 60 cm com piques mais elevados. O mesmo acontece com o tratamento T2 (Figura 29) com maior liberação de água por parte das cápsulas porosas, a difusividade térmica foi superior em relação ao tratamento T1 e solo nu, visto que o solo nu ficou fora dos bulbos molhados. As variações da difusividade térmica, principalmente nos tratamentos T1 e T2, são causados, provavelmente, pelo teor de umidade no solo. Outros pesquisadores afirmam que a difusividade térmica aumenta rapidamente com o aumento da umidade até um máximo e depois decresce (ROSE, 1966; Patten citado por BAVER et alii, 1972 e RESENDE, 1986). Como podemos verificar nas figuras anteriormente citadas, houve interrupções nos registros de temperatura em alguns dias, durante o período de observação. Nota-se, maior coerência entre os valores estimados pelas amplitudes, enquanto aqueles valores obtidos pelas fases, apresentam-se muito inferiores (Figura 30).

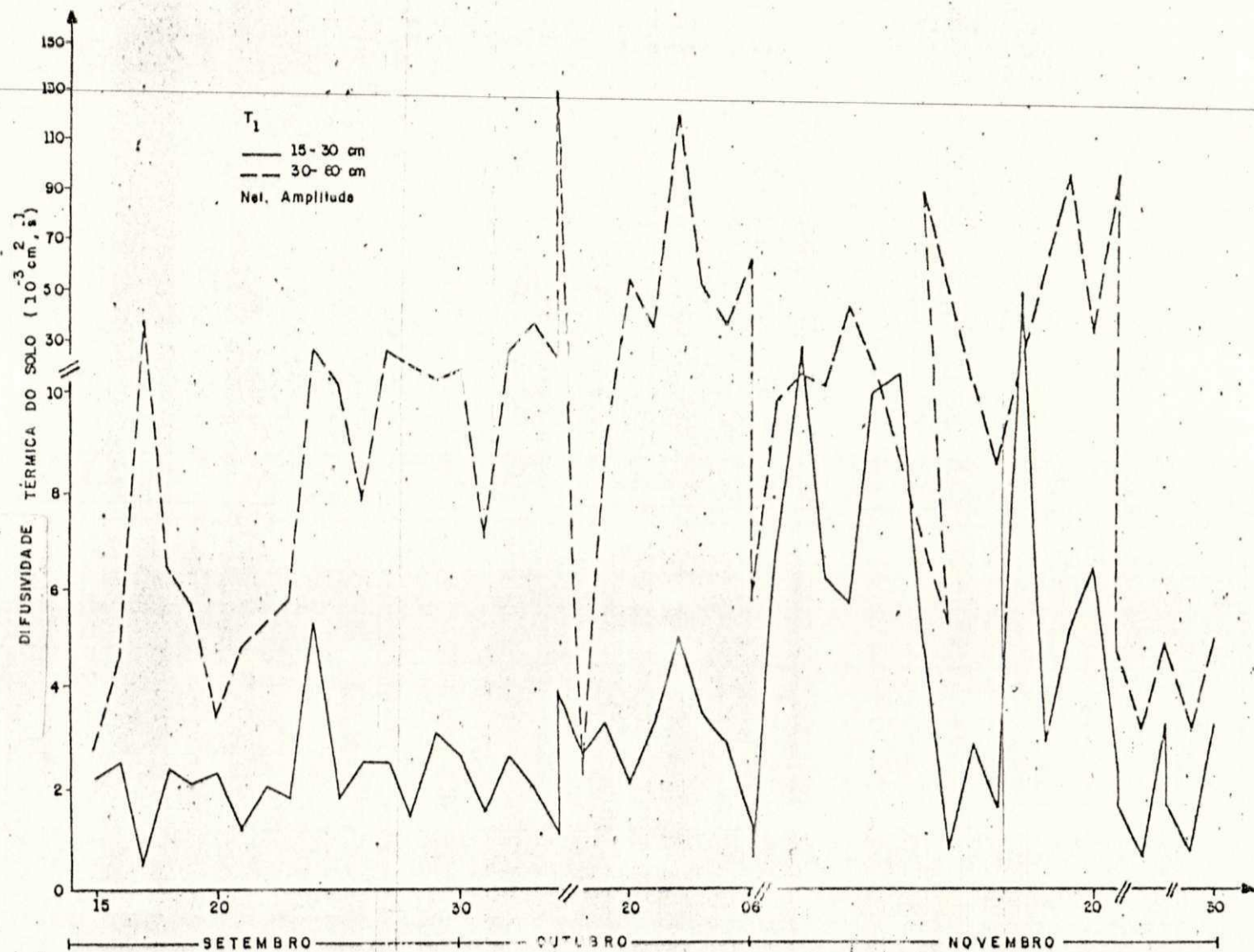


FIG. 28 - Difusividade térmica da água, calculada pelo método da amplitude, nas camadas do solo entre 15-30 cm e 30-60 cm, sob cobertura de milho irrigado por câpsulas porosas com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,35 \text{ m}$ , na estação experimental de Bebedouro, PE.

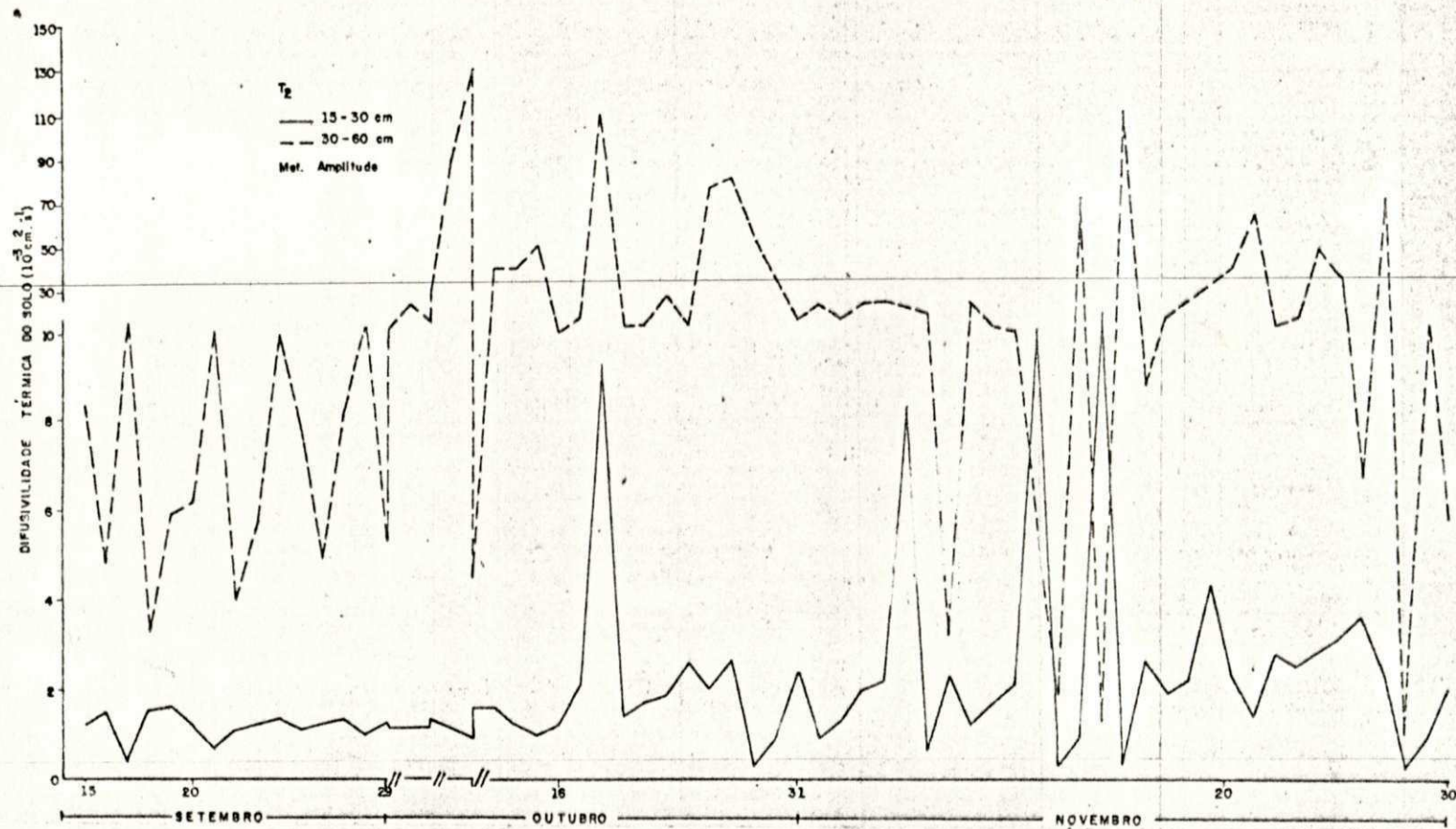


FIG.29 - Difusividade térmica diária, calculada pelo método da amplitude, nas camadas do solo entre 15-30 cm e 30-60 cm, sob cobertura de milho irrigado por câpsulas porosas, com pressão hidrostática  $\Delta H = 0,75$  m, na estação experimental de Bebedouro, PE.



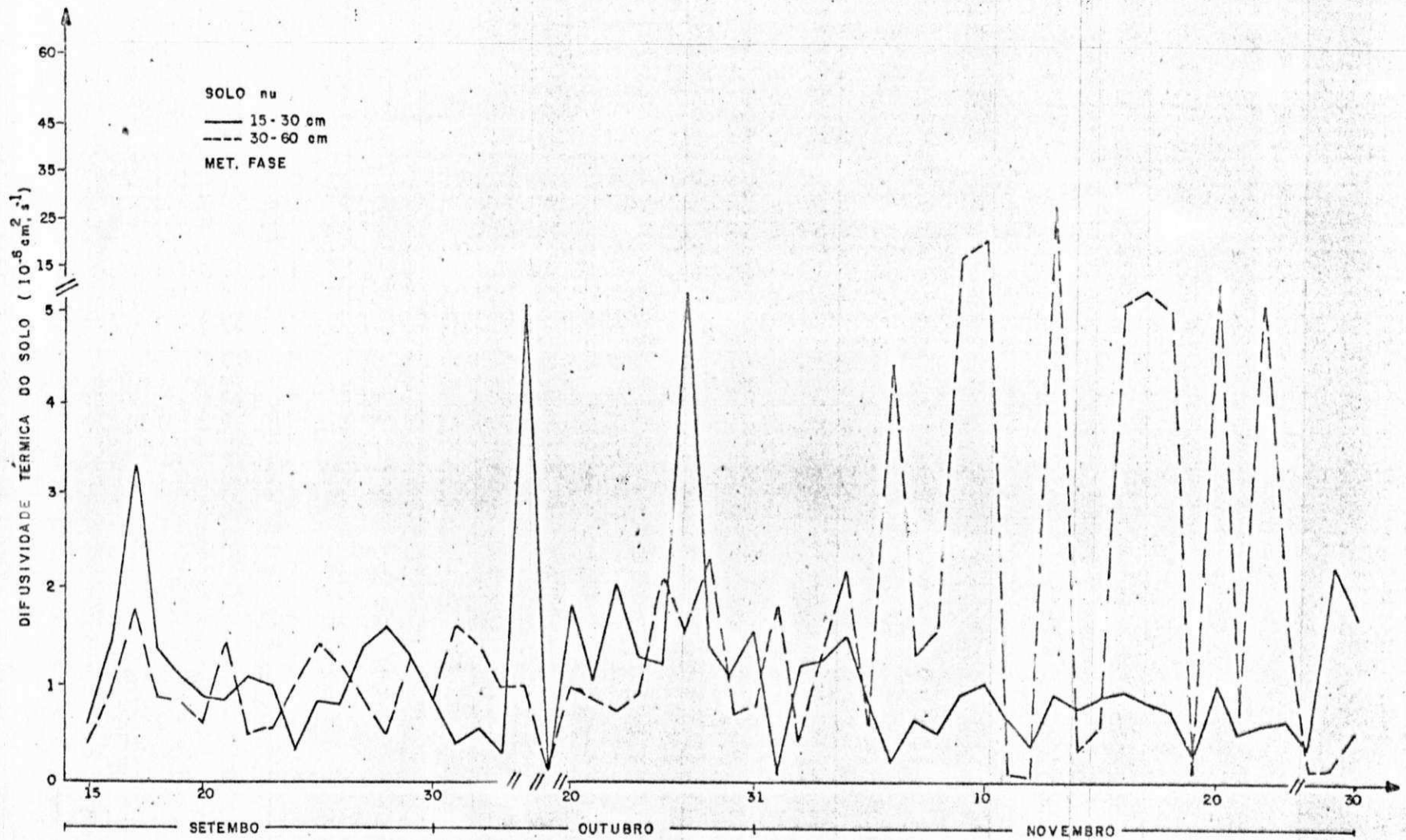


FIG. 30 - Difusividade térmica diária, calculada pelo método da fase, nas camadas do solo entre 15-30 cm e 30-60 cm, sob solo nu, na estação experimental de Bebedouro, PE.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As ondas diária e anual de temperatura do solo mostrou uma diminuição da amplitude e um aumento da fase com a profundidade, para o solo nu e cobertura vegetal; sendo que a cobertura vegetal destacou-se pelo papel de suavização das ondas. Também a nebulosidade apresentou sensível influência sobre as ondas de temperatura, principalmente em condições de solo nu e nas primeiras camadas do solo. Os gradientes verticais, mais precisamente no solo nu, invertem-se de sinal ao longo do período.

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 2 primeiros harmônicos para o ciclo anual, atinge valores acima de 90% e diminui quando se analisa o ciclo diário, com o solo irrigado e coberto por vegetação.

A difusividade térmica, calculada pelo método da amplitude do primeiro harmônico, apresentou valores relativamente consistentes, comparados com aqueles calculado pelo método da fase.

Face aos resultados encontrados, sugerem-se, para pesquisas futuras:

a - a obtenção de registros contínuos da temperatura do solo à superfície, possibilitará o cálculo da difusividade térmica e sua inclusão nos modelos de circulação atmosférica;

b - embora muitos cientistas tenham encontrado boa concordância entre os valores das propriedades térmicas, estimadas a partir de registros de temperatura do solo, o ideal seria avaliar experimentalmente os métodos discutidos para determinar qual é o mais consistente para medidas diretas da difusividade térmica;

c - fazer este trabalho para o Nordeste do Brasil com um período de dados maior;

d - a realização de pesquisas semelhantes para diversificadas condições de inclinação e exposição do solo, visando a fornecer subsídio mais detalhado para o melhor entendimento do fenômeno e para finalidades agrícolas;

e - a realização de pesquisas simultâneas para solo cobertos por florestas e por pastagens naturais, com vistas ao melhor entendimento dos efeitos dos desmatamentos sobre o clima.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R. R.; PEREIRA JUNIOR, M. J.; VILA NOVA, N. A. & PEREIRA, A.R. Estimativa da temperatura média diária do solo através das observações convencionais em postos meteorológicos. *Ciência do solo*, 5: 150-2, 1981.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, R. W. *Soil Physics*. 4. ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498 p.
- BISCOE, P. V.; SAFFEL, R. A. & SMITH, P. D. An apparatus for calibrating soil heat flux plates. *Agricultural Meteorology* 18: 49-54, 1977.
- BOCCK, K. L.; JEFFERS, J. N. R.; LINDLEY, D. K.; ADAMSON, J. K. & GILL, C. A. Estimating woodland soil temperature from air temperature and other climatic variables. *Agricultural Meteorology*, 18: 351-72, 1977.
- CARSON, J. E. Analysis of soil and air temperature by Fourier techniques. *Journal of Geophysical Research*, 68(8): 2217-32, 1963.
- 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.
- COCHRANE, J. & BAKER, C. R. Annual and diurnal variations in soil temperatures at Kew, Great Britain. *Agricultural and Forest*

Meteorology, 34: 235-240, 1985.

DECICO, A. Velocidade de propagação e camada de extinção da onda de temperatura no solo, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV, Campinas, SP, 1975. Anais, Campinas, 1976. p. 51-4.

DECICO, A. & SANTOS, J. M. Comportamento térmico do solo sob diferentes condições de cobertura, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XV, Campinas, SP, 1975. Anais, Campinas, 1976. p. 55-62.

GEIGER, R. The climate near the ground. 4. ed. Cambridge. Harvard University Press, 1973. 611 p.

GHUMAN, B. S. & LAL, R. Temperature regime of a tropical soil in relation to surface condition and air temperature and its Fourier analysis. Soil Science, 134(4): 133-40.

GURNAH, A. M. & MUTEA, J. Effects of mulches on soil temperature under arabica coffee at Kabete, Kenya. Agricultural Meteorology, 25: 237-44, 1982.

HORTON, R. & WIEREGA, P. J. Determination of the mean soil temperature for evaluation of heat flux in soil. Agricultural Meteorology, 28: 309-19, 1983.

MOTA, F. S. Meteorologia agrícola. São Paulo, Nobel, 1977. 376 p

NIKITA-MARTZOPOULOU, C. Effect of solar radiation on soil temperature in pots housed in cold frames. Agricultural Meteorology, 24: 263-74, 1981.

- OLOVEIRA, F. R.; SEDIYAMA, G. C.; VIEIRA, M. & COELHO, D. T. Temperatura do solo como uma resposta ao estímulo da radiação solar, Viçosa, MG, Revista Ceres, 27(153): 513-25, 1980.
- PEARCE, D. C. & GOLD, L. W. Observations of ground temperature and heat flux at Ottawa, Canada, Journal of Geophysical, 65(9): 1293-5, 1959.
- RAO T. V. R. & VIANELLO, R. L. Características térmicas do solo de Cachoeira Paulista - SP, São José dos Campos, INPE, 21 p. (Relatório - INPE - 1106 - PE/080), 1977.
- RESEND, M. Clima do solo suas relações com o ambiente agrícola. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 12(138): 46-59, 1986.
- ROSE, C. W. Agricultural physics. Oxford, Pergamon Press, 1966. 230 p.
- ROSEMBERG, N. J. Microclimate: the biological environment. New York, John Wiley & Sons, 1974. 315 p.
- SEDIYAMA, G. C. & PRATES, J. E. O microclima: possibilidades de modificação. Inf. Agropec., Belo Horizonte, 12(138): 36-42, 1986.
- SELLERS, W. D. Physical Climatology. Chicago, University of Chicago Press, 1965. 272 p.
- VIANELLO, R. L.; RAO, T. V. R. & NOGUEIRA, J. M. Comportamento térmico do solo de Viçosa - MG - Ciclo Anual, 1971. Juiz de Fora, MG, Imprensa da Universidade Federal de Juiz de Fora, 22

p. 1977.

VIANELLO, R. L.; ANDRE, R. G. B. & MARQUES, V. S. Comportamento térmico do solo de Jaboticabal - SP, sob três diferentes coberturas. Revista Ceres, 29(161): 73-88, 1982.

VIEIRA, L. S. Manual da ciência do solo. São Paulo, Agronômica Ceres, 1975. 464 p. (CERES, 13).

VISWANADHAM, Y. & RAD, N. J. M. The thermal diffusivity of soil at tropical stations in southern hemisphere. Pure & Applied Geophysics, 101(9): 247-60, 1972.

APENDICE - A



TABELA A.1 - Amplitude da onda diária da temperatura ( $^{\circ}$ C) do solo nu e cobertura vegetal, com dois tratamentos de irrigação T1 e T2, das zero hora às 23 horas de 24/10, na Estação Experimental de Bebedouro, PE, nas profundidades de 15, 30 e 50 cm, harmônicos de 1 a 11.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	2.83	1.46	0.52	1.36	0.80	0.60	1.65	0.83	0.52
2	0.68	0.30	0.23	0.41	0.23	0.27	0.28	0.16	0.27
3	0.24	0.10	0.03	0.21	0.04	0.04	0.09	0.05	0.05
4	0.15	0.05	0.03	0.17	0.05	0.07	0.08	0.09	0.07
5	0.04	0.01	0.06	0.20	0.17	0.05	0.04	0.01	0.08
6	0.04	0.04	0.03	0.14	0.07	0.02	0.06	0.04	0.03
7	0.03	0.08	0.04	0.16	0.08	0.05	0.08	0.02	0.04
8	0.02	0.02	0.01	0.12	0.07	0.06	0.02	0.04	0.02
9	0.03	0.03	0.01	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
10	0.03	0.02	0.01	0.07	0.06	0.02	0.02	0.04	0.01
11	0.07	0.02	0.02	0.09	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03

TABELA A.1 (continuação).

Dia 03/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	3.10	1.57	0.68	1.58	1.12	0.53	1.66	0.87	0.61
2	0.78	0.30	0.17	0.41	0.29	0.29	0.29	0.19	0.25
3	0.14	0.17	0.19	0.22	0.13	0.14	0.13	0.23	0.05
4	0.04	0.05	0.06	0.11	0.07	0.05	0.07	0.19	0.08
5	0.01	0.01	0.05	0.03	0.06	0.10	0.04	0.06	0.09
6	0.06	0.03	0.05	0.06	0.04	0.02	0.07	0.07	0.03
7	0.05	0.04	0.01	0.21	0.07	0.03	0.06	0.08	0.03
8	0.03	0.04	0.01	0.05	0.05	0.02	0.04	0.04	0.04
9	0.03	0.03	0.01	0.11	0.03	0.01	0.02	0.10	0.02
10	0.08	0.03	0.02	0.07	0.01	0.04	0.04	0.06	0.02
11	0.05	0.03	0.03	0.09	0.04	0.01	0.06	0.06	0.02

TABELA A.1 (continuação).

Dia 08/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	3.55	1.89	0.23	0.54	0.46	0.30	1.26	0.54	0.38
2	1.26	0.68	0.31	0.44	0.31	0.25	0.38	0.16	0.23
3	0.19	0.05	0.06	0.21	0.06	0.07	0.02	0.04	0.05
4	0.31	0.17	0.06	0.20	0.12	0.09	0.12	0.07	0.07
5	0.18	0.02	0.01	0.12	0.08	0.04	0.10	0.06	0.02
6	0.09	0.08	0.05	0.11	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05
7	0.08	0.04	0.04	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02
8	0.11	0.07	0.03	0.08	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
9	0.10	0.05	0.03	0.11	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
10	0.02	0.05	0.01	0.06	0.04	0.01	0.02	0.04	0.01
11	0.05	0.05	0.04	0.08	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03

TABELA A.1 (continuação).

Dia 16/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	5.84	3.20	0.65	2.14	1.05	0.57	1.87	1.07	0.58
2	1.22	0.61	0.16	0.73	0.14	0.20	0.24	0.18	0.19
3	0.28	0.25	0.07	0.43	0.07	0.12	0.06	0.08	0.18
4	0.19	0.14	0.10	0.09	0.13	0.05	0.16	0.06	0.08
5	0.16	0.11	0.04	0.35	0.10	0.07	0.07	0.04	0.02
6	0.12	0.03	0.02	0.30	0.05	0.03	0.06	0.07	0.03
7	0.09	0.08	0.02	0.14	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02
8	0.05	0.06	0.04	0.17	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02
9	0.07	0.12	0.05	0.39	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02
10	0.05	0.06	0.02	0.13	0.04	0.02	0.04	0.04	0.01
11	0.10	0.09	0.02	0.25	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02

TABELA A.1 (continuação).

Dia 27/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade (cm)			Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	4.51	2.55	0.51	1.51	1.06	0.93	1.85	1.01	0.82
2	1.43	0.75	0.30	0.22	0.23	0.24	0.38	0.26	0.24
3	0.21	0.10	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.06	0.02
4	0.25	0.02	0.03	0.09	0.14	0.18	0.15	0.22	0.15
5	0.17	0.12	0.07	0.12	0.11	0.07	0.14	0.08	0.06
6	0.04	0.07	0.02	0.03	0.08	0.03	0.02	0.08	0.03
7	0.07	0.02	0.04	0.04	0.08	0.03	0.07	0.04	0.05
8	0.10	0.03	0.02	0.03	0.08	0.04	0.05	0.04	0.05
9	0.02	0.05	0.02	0.02	0.06	0.04	0.03	0.01	0.02
10	0.04	0.05	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
11	0.02	0.02	0.03	0.00	0.03	0.06	0.02	0.03	0.01

TABELA A.2 - Percentagem acumulada da variância total (%) da onda diária de temperatura (oC) do solo nu e cobertura vegetal, com dois tratamentos de irrigação T1 e T2 das zero hora às 23 horas de 24/10/79, na Estação Experimental de Bebedouro, PE, nas profundidades de 15, 30, e 60 cm, harmônicos de 1 a 11.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profndidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	93.4	94.9	81.3	83.5	85.7	80.0	96.1	94.2	74.3
2	98.7	98.7	97.2	91.0	92.7	96.2	98.7	97.7	94.3
3	99.3	99.2	97.4	93.0	92.9	96.5	98.9	98.0	94.9
4	99.5	99.3	97.6	94.3	93.2	97.5	99.1	99.1	96.2
5	99.5	99.3	98.6	96.1	97.0	98.0	99.2	99.1	97.9
6	99.5	99.4	98.8	96.9	97.6	98.1	99.3	99.3	98.1
7	99.5	99.4	99.2	98.0	98.4	98.6	99.5	99.4	98.5
8	99.5	99.4	99.2	98.6	99.0	99.4	99.6	99.6	98.6
9	99.5	99.4	99.3	98.7	99.1	99.5	99.7	99.6	99.0
10	99.5	99.4	99.3	98.9	99.5	99.6	99.8	99.8	99.0
11	99.6	99.5	99.5	99.2	99.6	99.7	99.9	99.8	99.2

TABELA A.2 (continuação).

Dia 03/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	93.6	95.0	85.8	88.8	91.0	76.8	95.6	82.3	81.4
2	99.5	98.4	91.1	94.7	97.1	93.0	98.5	86.2	95.0
3	99.7	99.5	87.8	96.4	98.3	78.7	99.0	91.9	95.5
4	99.7	99.6	98.4	96.8	98.6	97.1	99.1	95.8	96.9
5	99.7	99.6	98.8	96.8	98.8	99.0	99.1	96.1	98.6
6	99.7	99.6	99.2	96.9	98.9	99.1	99.2	96.6	98.7
7	99.7	99.6	99.2	98.5	99.2	99.1	99.3	97.2	98.8
8	99.7	99.7	99.2	98.5	99.3	99.2	99.4	97.3	99.1
9	99.8	99.7	99.2	98.9	99.3	99.2	99.4	98.3	99.1
10	99.8	99.8	99.3	99.1	99.3	99.5	99.4	98.6	99.2
11	99.8	99.8	99.5	99.3	99.4	99.5	99.5	98.9	99.3

TABELA A.2 (continuação).

Dia 08/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	87.5	87.3	31.9	46.1	62.8	53.1	90.1	87.1	68.3
2	98.5	98.6	89.9	76.7	91.3	89.9	98.2	94.7	93.3
3	98.7	98.6	92.0	83.6	92.3	92.7	98.2	95.1	94.4
4	99.3	99.3	94.1	89.9	96.5	97.6	99.0	96.5	96.7
5	99.5	99.3	94.1	92.1	98.3	98.3	99.5	97.5	96.8
6	99.5	99.4	95.6	94.1	98.5	98.3	99.5	97.9	97.9
7	99.6	99.5	96.5	94.2	98.5	98.8	99.6	97.9	98.0
8	99.7	99.5	97.0	95.2	98.6	98.9	99.6	98.0	98.4
9	99.8	99.5	97.5	97.1	99.0	99.4	99.6	98.1	98.5
10	99.8	99.6	97.6	97.6	99.4	99.4	99.6	98.5	98.5
11	99.8	99.7	98.5	98.6	99.4	99.5	99.7	98.9	98.9



TABELA A.2 (continuação).

Dia 16/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	95.3	95.2	89.7	78.1	94.3	83.1	97.2	95.3	81.1
2	99.4	98.6	95.1	87.1	95.9	94.3	98.8	97.9	89.8
3	99.6	99.1	96.1	90.1	96.3	96.9	98.9	98.4	97.6
4	99.7	99.2	98.1	90.2	98.2	97.5	99.6	98.6	99.1
5	99.7	99.3	98.4	92.2	99.0	98.7	99.7	98.7	99.1
6	99.8	99.3	98.4	93.7	99.3	98.9	99.8	99.1	99.3
7	99.8	99.3	98.5	94.0	99.3	99.1	99.8	99.1	99.4
8	99.8	99.3	98.8	94.4	99.4	99.3	99.8	99.3	99.5
9	99.8	99.4	99.4	96.9	99.5	99.5	99.8	99.4	99.6
10	99.8	99.4	99.5	97.1	99.6	99.6	99.9	99.5	99.6
11	99.8	99.5	99.6	98.0	99.6	99.6	99.9	99.5	99.7

TABELA A.2 (continuação).

Dia 27/11/79.

Harmô- nicos	Solo nu			Cob. Vegetal T1			Cob. Vegetal T2		
	Profundidade(cm)			Profundidade(cm)			Profundidade(cm)		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
1	90.2	91.5	71.1	96.6	91.2	88.7	94.5	88.0	88.1
2	99.2	99.4	95.7	98.6	95.4	94.6	98.4	93.8	95.6
3	99.3	99.5	97.0	98.7	95.4	94.7	98.4	94.1	95.6
4	99.5	99.5	97.2	99.0	96.9	98.0	99.0	98.2	98.5
5	99.6	99.7	98.5	99.6	97.8	98.5	99.5	98.7	98.9
6	99.6	99.7	98.6	99.6	98.3	98.5	99.5	99.2	99.0
7	99.6	99.7	99.0	99.6	98.8	98.6	99.6	99.3	99.3
8	99.6	99.7	99.1	99.7	99.3	98.7	99.6	99.4	99.6
9	99.6	99.8	99.2	99.7	99.5	98.8	99.7	99.4	99.7
10	99.6	99.8	99.2	99.7	99.6	98.9	99.7	99.4	99.7
11	99.7	99.8	99.4	99.8	99.7	99.0	99.7	99.5	99.7