

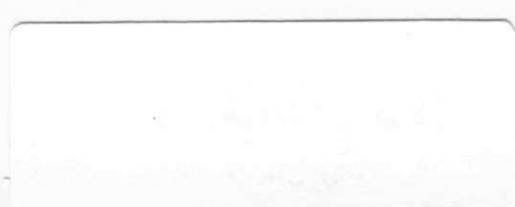
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SOLOS NO
ESTADO DA BAHIA

ATÍLIO AGUILERA MOREIRA

CAMPINA GRANDE PB
JULHO-1994

CDU
621.435.7(113)
119350

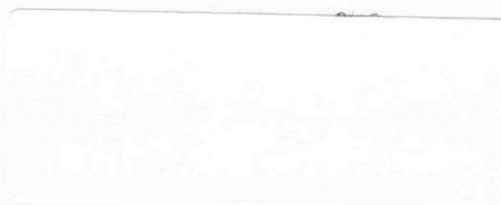


ATÍLIO AGUILERA MOREIRA

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SOLOS NO
NO ESTADO DA BAHIA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Meteorologia da Universidade Federal da
Paraíba em cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CLIMATOLOGIA



TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO
Orientador

BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Co-orientador

CAMPINA GRANDE PB

JULHO-1994



M835c

Moreira, Atílio Aguilera.

Comportamento térmico de solos no Estado da Bahia /
Atílio Aguilera Moreira. - Campina Grande, 1994.
90 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1994.
Referências.

"Orientação : Prof. Tantravahi Venkata Ramana Rao, Prof.
Bernardo Barbosa da Silva".

1. Determinação Térmica do Solo. 2. Solo - Temperatura.
3. Climatologia. 4. Meteorologia. 5. Dissertação -
Meteorologia. I. Rao, Tantravahi Venkata Ramana. II. Silva,
Bernardo Barbosa da. III. Universidade Federal da Paraíba -
Campina Grande (PB)

CDU 551.5:631.425.5(814.2)(043)

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SOLOS
NO ESTADO DA BAHIA

ATÍLIO AGUILERA MOREIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/07/1994


TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO
Orientador


BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Co-orientador


MALAQUIAS DA SILVA AMORIM NETO
Componente da Banca


PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Componente da Banca

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ary e Maria Casilda, por terem me ensinado o caminho do saber, meu reconhecimento.

À Célia, esposa e companheira, por ter me concedido parte de sua vida para a realização destes estudos, dedico-lhe.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. T. V. Ramana Rao, pela valiosa orientação, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Dr. Bernardo Barbosa da Silva, pela co-orientação e revisão eficiente dos originais.

Ao Dr. Jesus Mardem dos Santos, pelas sugestões e indicações bibliográficas.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia, por ter-me integrado ao seu Programa de Pós-Graduação, bem como pelo apoio e fornecimento dos dados.

Aos colegas do Instituto Nacional de Meteorologia, especialmente do IV Distrito, Salvador-BA, pelo apoio e compreensão durante toda fase de elaboração do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da Bolsa de Estudos, que possibilitou a realização do trabalho e a Universidade Federal da Paraíba pelas facilidades.

RESUMO

Estudou-se o comportamento térmico do solo em diferentes localidades no Estado da Bahia usando dados de temperatura do solo. Foram utilizadas as estações climatológicas de Santa Rita de Cássia, Senhor do Bonfim, Jacobina, Lençóis, Salvador, Caetité e Caravelas. As medidas foram realizadas nos horários de 12, 18 e 24 UTC para o período de 1978 a 1985, em solo nu e nas profundidades de 2, 5, 10, 20, 30, 50 e 100 cm. Para a localidade de Salvador utilizou-se dados diários, com intervalos de vinte minutos, para diferentes épocas e condições de tempo para estudar o ciclo diário. A partir dos dados obtidos determinou-se a amplitude e fase das ondas de temperatura do solo a diferentes profundidades para os cinco primeiros harmônicos da Série de Fourier dos ciclos anual e diário. Também foram determinadas a difusividade térmica, profundidade de amortecimento e velocidade de propagação da onda de temperatura. Para a localidade de Salvador estudou-se a difusividade térmica aparente utilizando cinco diferentes métodos de cálculo. O método numérico foi mais consistente para a determinação da difusividade térmica aparente para diferentes camadas de solo.

ABSTRACT

The thermal behavior of the soils at different locations in the State of Bahia was studied using the soil temperature data obtained at different depths. The data collected at the climatological stations of Santa Rita de Cássia, Senhor do Bonfim, Jacobina, Lençóis, Salvador, Caetité and Caravelas were used in this study. The bare soil temperature data for the depths of 02, 05, 10, 20, 30, 50 and 100 cm were observed at 12, 18 and 24 UTC during the period from 1978 to 1985. In the case of Salvador, the daily soil temperature data obtained at 20-minute intervals for several days under varying weather conditions were utilized to study the diurnal cycle. The soil temperature data were subjected to Fourier Analysis and the amplitudes and phases were obtained for the first five harmonics in the case of the annual cycle and for the first six harmonics in the case of the diurnal cycle. The thermal diffusivity, damping depth and the velocity of propagation of the temperature wave were determined. The thermal diffusivity of the soil at the climatological station of Salvador-BA was calculated using five different methods. The numerical method was found to be consistent in determining the thermal diffusivity for different soil layers.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Símbolos.....	xiii
1 Introdução.....	01
2 Revisão Bibliográfica.....	03
3 Material e Métodos.....	10
3.1 Material.....	10
3.2 Considerações Teóricas.....	13
3.3 Metodologia.....	23
3.3.1 Ciclo Anual.....	23
3.3.2 Ciclo Diário.....	23
4 Resultados e Discussões.....	25
4.1 Comparação de temperatura do solo entre Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA (ciclo anual).....	33
4.2 Difusividade térmica aparente (ciclo anual).....	43
4.2.1 Difusividade térmica de Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA. (ciclo anual).....	46
4.3 Prof. de amortecimento (ciclo anual).....	51
4.3.1 Prof. de amortecimento de Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA. (ciclo anual).....	52
4.4 Velocidade de propagação (ciclo anual).....	53
4.4.1 Velocidade de propagação de Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA (ciclo anual).....	54
4.5 Amplitude e fase (ciclo anual).....	55
4.5.1 Amplitude e fase de Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA..... (ciclo anual).....	59
4.6 Variância e variância acumulada (ciclo anual).....	64

4.6.1 Variância e variância acumulada de Salvador-BA e Sr. Bonfim-BA (ciclo anual).....	67
4.7 Análise dos dados (ciclo diário).....	72
4.7.1 Difusividade térmica (ciclo diário).....	78
4.7.2 Prof. de amort. e veloc. propagação (ciclo diário).....	81
4.7.3 Amplitude e fase (ciclo diário).....	82
4.7.4 Variância e variância acumulada (ciclo diário).....	84
5 Conclusões.....	86
6 Bibliografia.....	88
Apêndice A	A.1
Apêndice B.....	B.1

LISTA DE FIGURAS

	Página
3.1 - Mapa dos Estados da Bahia, Sergipe e Alagoas	12
4.1.a - Temperatura do Solo de S.R. de Cássia BA.....	26
4.1.b - Perfil da Temperatura do Solo de S.R. de Cássia BA.....	26
4.2.a - Temperatura do Solo de Caetité BA.....	27
4.2.b - Perfil da Temperatura do Solo de Caetité BA.....	28
4.3.a - Temperatura do Solo de Caravelas BA.....	29
4.3.b - Perfil da Temperatura do Solo de Caravelas BA.....	29
4.4.a - Temperatura do Solo de Jacobina BA.....	31
4.4.b - Perfil da Temperatura do Solo de Jacobina BA.....	31
4.5.a - Temperatura do Solo de Lençóis BA.....	32
4.5.b - Perfil da Temperatura do Solo de Lençóis BA.....	32
4.6.a - Temperatura do Solo de Salvador BA - 12 UTC.....	34
4.6.b - Temperatura do Solo de Salvador BA - 18 UTC.....	34
4.6.c - Temperatura do Solo de Salvador BA - 24 UTC.....	35
4.6.d - Temperatura do Solo de Salvador BA - Média.....	35
4.6.e - Perfil da Temperatura do Solo de Salvador BA.....	36
4.7.a - Temperatura do Solo de Sr. do Bonfim BA - 12 UTC.....	36
4.7.b - Temperatura do Solo de Sr. do Bonfim BA - 18 UTC.....	37
4.7.c - Temperatura do Solo de Sr. do Bonfim BA - 24 UTC.....	37
4.7.d - Temperatura do Solo de Sr. do Bonfim BA - Média.....	38
4.7.e - Perfil da Temperatura do Solo de Sr. do Bonfim BA.....	38
4.8.a - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (2 cm).....	39
4.8.b - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (5 cm).....	40
4.8.c - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (10 cm).....	40
4.8.d - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (20 cm).....	41
4.8.e - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (30 cm).....	41
4.8.f - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (50 cm).....	42
4.8.g - Temperatura do Solo Salvador e Sr do Bonfim (100 cm).....	42
4.9.a - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 08/07/92 (20 minutos)	74
4.9.b - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 08/07/92 (horário)	74
4.9.c - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 10/08/92 (20 minutos)	75
4.9.d - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 10/08/92 (horário)	75
4.9.e - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 11/08/92 (20 minutos)	76
4.9.f - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 11/08/92 (horário)	76
4.9.g - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 06/02/93 (20 minutos)	77
4.9.h - Temperatura do Ar e Solo de Salvador dia 06/02/93 (horário)	77
A.1 - Temperatura do Ar (1.6 m) Salvador dia 08/07/92.....	A.1
A.2 - Temperatura do Ar (1.6 m) Salvador dia 10/08/92.....	A.1
A.3 - Temperatura do Ar (1.6 m) Salvador dia 11/08/92.....	A.2
A.4 - Temperatura do Ar (1.6 m) Salvador dia 06/02/93.....	A.2
A.5 - Radiação Solar de Salvador dia 08/07/92.....	A.3
A.6 - Radiação Solar de Salvador dia 10/08/92.....	A.3
A.7 - Radiação Solar de Salvador dia 11/08/92.....	A.4
A.8 - Radiação Solar de Salvador dia 06/02/93.....	A.4
A.9 - Precipitação em Salvador no dia 10/08/92	A.5

LISTA DE TABELAS

	Página
3.1 - Relação das Estações Climatológicas estudadas no presente trabalho.....	11
4.1.a - Difusividade Térmica Aparente Média de S. R. de Cássia BA,.....	43
4.1.b - Difusividade Térmica Aparente Média de Caetité BA	44
4.1.c - Difusividade Térmica Aparente Média de Caravelas BA	44
4.1.d - Difusividade Térmica Aparente Média de Jacobina BA	45
4.1.e - Difusividade Térmica Aparente Média de Lençóis BA	45
4.2.a - Difusividade Térmica Aparente, 12 UTC, de Salvador BA	47
4.2.b - Difusividade Térmica Aparente, 18 UTC, de Salvador BA	47
4.2.c - Difusividade Térmica Aparente, 24 UTC, de Salvador BA	48
4.2.d - Difusividade Térmica Aparente Média de Salvador BA	48
4.2.e - Difusividade Térmica Aparente, 12 UTC, de Sr. do Bonfim BA	48
4.2.f - Difusividade Térmica Aparente, 18 UTC, de Sr. do Bonfim BA	49
4.2.g - Difusividade Térmica Aparente, 24 UTC, de Sr. do Bonfim BA	49
4.2.h - Difusividade Térmica Aparente Média Sr. do Bonfim BA.....	49
4.2.i - Difusividade Térmica Aparente de outros pesquisadores	50
4.3.a - Profundidade de Amortecimento de S.R. de Cássia BA, Caetité Ba, Caravelas BA, Jacobina Ba, Lençóis BA	51
4.3.b - Profundidade de Amortecimento de Salvador BA, 12 UTC, 18 UTC, 24 UTC e Média.....	52
4.3.c - Profundidade de Amortecimento de Sr. do Bonfim BA, 12 UTC, 18 UTC, 24 UTC e Média.....	52
4.4.a - Velocidade de Propagação de S.R. de Cássia BA, Caetité BA, Caravelas BA, Jacobina BA, Lençóis BA	53
4.4.b - Velocidade de Propagação de Salvador BA, 12 UTC, 18 UTC, 24 UTC e Média... ..	54
4.4.c - Velocidade de Propagação de Sr. do Bonfim BA, 12 UTC, 18 UTC, 24 UTC e Média.....	55
4.5.a - Amplitude e Fase, Média, S.R. de Cássia BA	56
4.5.b - Amplitude e Fase, Média, Caetité BA	57
4.5.c - Amplitude e Fase, Média, Caravelas BA	58
4.5.d - Amplitude e Fase, Média, Jacobina BA	58
4.5.e - Amplitude e Fase, Média, Lençóis BA	59
4.6.a - Amplitude e Fase, 12 UTC, Salvador BA	60
4.6.b - Amplitude e Fase, 18 UTC, Salvador BA	61
4.6.c - Amplitude e Fase, 24 UTC, Salvador BA	61
4.6.d - Amplitude e Fase, Média, Salvador BA.....	62
4.6.e - Amplitude e Fase, 12 UTC, Sr. do Bonfim BA	62
4.6.f - Amplitude e Fase, 18 UTC, Sr. do Bonfim BA.....	63
4.6.g - Amplitude e Fase, 24 UTC, Sr. do Bonfim BA.....	63
4.6.h - Amplitude e Fase, Média, Sr. do Bonfim BA	64
4.7.a - Variância e Variância Acumulada Média de S.R. de Cássia BA.....	65
4.7.b - Variância e Variância Acumulada Média de Caetité BA.....	65
4.7.c - Variância e Variância Acumulada Média de Caravelas BA	66
4.7.d - Variância e Variância Acumulada Média de Jacobina BA.....	66
4.7.e - Variância e Variância Acumulada Média de Lençóis BA	67
4.8.a - Variância e Variância Acumulada, 12 UTC, Salvador BA	68
4.8.b - Variância e Variância Acumulada, 18 UTC, Salvador BA.....	68
4.8.c - Variância e Variância Acumulada, 24 UTC, Salvador BA.....	69

4.8.d -	Variância e Variância Acumulada Média de Salvador BA.....	69
4.8.e -	Variância e Variância Acumulada, 12 UTC, Sr. do Bonfim BA.....	70
4.8.f -	Variância e Variância Acumulada, 18 UTC, Sr. do Bonfim BA.....	70
4.8.g -	Variância e Variância Acumulada, 24 UTC, Sr. do Bonfim BA.....	71
4.8.h -	Variância e Variância Acumulada Média de Sr. do Bonfim BA.....	71
4.9.a -	Difusividade Térmica Aparente do dia 08/07/92 de Salvador BA.....	78
4.9.b -	Difusividade Térmica Aparente do dia 10/08/92 de Salvador BA.....	79
4.9.c -	Difusividade Térmica Aparente do dia 11/08/92 de Salvador BA.....	80
4.9.d -	Difusividade Térmica Aparente do dia 06/02/93 de Salvador BA.....	80
4.10.a -	Prof. de amortecimento e veloc. de propagação no dia 08/07/92.....	81
4.10.b -	Prof. de amortecimento e veloc. de propagação no dia 10/08/92.....	81
4.10.c -	Prof. de amortecimento e veloc. de propagação no dia 11/08/92.....	81
4.10.d -	Prof. de amortecimento e veloc. de propagação no dia 06/02/93.....	82
4.11.a -	Amplitude e fase do dia 08/07/92.....	83
4.11.b -	Amplitude e fase do dia 10/08/92.....	83
4.11.c -	Amplitude e fase do dia 11/08/92.....	83
4.11.d -	Amplitude e fase do dia 06/02/93.....	84
4.12.a -	Porc. da Variância e variância acumulada no dia 08/07/92.....	84
4.12.b -	Porc. da Variância e variância acumulada no dia 10/08/92.....	85
4.12.c -	Porc. da Variância e variância acumulada no dia 11/08/92.....	85
4.12.d -	Porc. da Variância e variância acumulada no dia 06/02/93.....	85
A.1 -	Temperatura do ar e solo de Salvador-BA no dia 08/07/92.....	A.6
A.2 -	Temperatura do ar e solo de Salvador-BA no dia 10/08/92.....	A.7
A.3 -	Temperatura do ar e solo de Salvador-BA no dia 11/08/92.....	A.8
A.4 -	Temperatura do ar e solo de Salvador-BA no dia 06/02/93.....	A.9
B.1 -	Tipos de solo das localidades estudadas.....	B.1

LISTA DE SÍMBOLOS

a_n	coeficiente de Fourier
A_n	amplitude
A_0	amplitude na superfície
b_n	coeficiente de Fourier
C	capacidade calorífica volumétrica ($\text{cal cm}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
D	profundidade de amortecimento
H	fluxo de calor ($\text{cal cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
K	difusividade térmica aparente ($\text{cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
i	índice
j	índice
n	número de harmônico
N	número de observações
P	período
t	tempo (s)
T	temperatura ($^\circ\text{C}$)
T_0	temperatura média ($^\circ\text{C}$)
V	velocidade de penetração (cm s^{-1})
z	profundidade (cm)
ω	velocidade angular (rad s^{-1})
ϕ_z	constante de fase
ϕ_n	fase
λ	condutividade térmica ($\text{cal cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
UTC	unidade constante de tempo

1. INTRODUÇÃO

As propriedades térmicas do solo têm sido objeto de estudos de vários pesquisadores, com o propósito de conhecer, diagnosticar e prognosticar fenômenos locais, tais como geadas, temperaturas máxima e mínima, balanço energético e outros, uma vez que há uma estreita interação dos fluxos de calor com o ar atmosférico próximo à superfície do solo.

A temperatura do solo é um dos parâmetros que controlam a taxa e duração do crescimento e desenvolvimento das plantas, estando dependente a germinação de sementes, a absorção de nutrientes e a difusão da água e gases. A variação do perfil da temperatura do solo constitui-se num dos eventos de grande importância na caracterização do microclima de um determinado local. Desta forma, torna-se de suma importância conhecer a sua variação para uma melhor compreensão do balanço energético.

Considerando a condução de calor como mecanismo primário responsável pela transferência de calor no solo, se faz necessário a estimativa da difusividade térmica aparente e vários métodos têm sido utilizados com o objetivo de quantificá-la, e para tanto são usados dados de temperatura do solo em diferentes profundidades.

A temperatura do solo varia num padrão bastante regular, refletindo os ciclos diário e anual da radiação solar. As condições do tempo, como nebulosidade, precipitação, aquecimento e resfriamento do ar se superpõem aos referidos ciclos. Entretanto, estas flutuações podem ser removidas e os ciclos regulares isolados através de dados médios em um intervalo de tempo conveniente. Desta maneira, os dados podem ser trabalhados por meio da análise de Fourier, reduzindo as curvas de tempo versus temperatura, a uma série

matemática, cujos coeficientes são os de Fourier. Estes coeficientes dão uma descrição objetiva da variação da amplitude da onda de temperatura com a profundidade. Além disto, um estudo da variação dos coeficientes de Fourier com a profundidade, fornece informações sobre os processos de transferência de calor e as propriedades térmicas do solo.

O presente trabalho objetiva estudar o comportamento da temperatura do solo de diferentes localidades da Bahia, analisando o seu ciclo anual e, para a localidade de Salvador-BA, os ciclos anual e diário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo do comportamento térmico do solo é de grande importância, tanto no aspecto climatológico, como para fins agrícolas, a ponto de levar a Organização Meteorológica Mundial (OMM) em sua Nota Técnica No. 20 (BLANC, 1958), a recomendar que na impossibilidade de registros contínuos da temperatura do solo, fossem realizadas leituras em horários fixos, preferencialmente em intervalos de, no máximo, seis horas.

CARSON (1963) submeteu a análise de série de Fourier dados de temperatura do ar (obtidos a 1,50 m acima da superfície) e do solo, nas profundidades de 1cm, 10cm, 100cm, 205cm e 884cm, para o período de 1953 a 1955, em Argonne, Illinois-USA, com o objetivo de estudar as propriedades térmicas do solo. Os coeficientes obtidos forneceram medidas objetivas das variações da amplitude e fase, com as profundidades, para os ciclos diário e anual da temperatura do solo, utilizando o primeiro harmônico da onda de temperatura. Os valores encontrados pelos métodos de amplitude e fase estão em concordância com os resultados de outros pesquisadores com solos de características semelhantes. Usando as relações de amplitude e fase, determinaram a difusividade térmica nos primeiros 50cm de solo, a partir do primeiro harmônico do ciclo diário de temperatura, para cada mês. Os resultados encontrados para os meses de verão concordaram com os valores do ciclo anual, divergindo para a camada de 1cm a 10cm. Já durante a estação de inverno, os valores encontrados não apresentaram boa concordância, principalmente para a camada de 1cm a 10cm.

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

$$G = -C \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right) \quad (2.1)$$

onde G é o fluxo de calor no nível considerado e na direção vertical, positivo para baixo, quando a temperatura decresce com a profundidade; C é a condutividade térmica do solo, que é função da composição, teor de umidade e temperatura do solo; ΔT representa a variação da temperatura do solo entre o topo e base da camada; e ΔZ corresponde a espessura da mesma.

O comportamento térmico do solo da Estação Climatológica de Waltair, na Índia, foi estudado por RAMANA RAO (1966) com base em observações realizadas em diferentes profundidades, quando determinou a condutividade e difusividade térmicas do solo.

DECICO (1976) relacionou a condutividade térmica de três tipos de solo, com características físicas e químicas diferentes, como função de suas densidades e umidades, utilizando-se de um fluxo radial de calor em equilíbrio estacionário.

VIANELLO et al. (1977) estudaram o comportamento térmico do solo de Viçosa-MG, ciclo anual, usando análise harmônica, ocasião em que obtiveram resultados satisfatórios, quando comparados com os dados observados em outras regiões. A difusividade térmica calculada, também apresentou resultados compatíveis com o tipo de solo da região e sugeriram que a formulação proposta tem a mesma validade para o estudo do comportamento térmico de solos tropicais.

O ciclo diário da temperatura do solo de Cachoeira Paulista-SP, medida à superfície e em várias profundidades, foi estudado por RAMANA RAO e VIANELLO (1977). Realizaram

leituras a cada meia hora para estudar o ciclo diário e usando registros contínuos estudaram o ciclo anual. Para isto, aplicaram o tratamento clássico da condução de calor em um meio homogêneo, cuja solução foi expandida em Série de Fourier, a qual permitiu conhecer a amplitude e fase dos cinco primeiros harmônicos. A difusividade térmica foi calculada pela amplitude e fase do primeiro harmônico do ciclo anual.

RAMANA RAO (1978) avaliou a estrutura térmica do solo de Campina Grande-PB, ocasião em que determinou a sua difusividade térmica através do método da amplitude e fase do primeiro harmônico do ciclo anual da temperatura do solo, em diferentes profundidades.

HORTON et al. (1983) determinaram a difusividade térmica aparente, segundo seis diferentes métodos. As limitações dos seis métodos foram analisadas em termos dos resultados encontrados, da quantidade e da qualidade dos dados necessários aos cálculos. Quatro dos seis métodos, a saber: amplitude, fase, arcotangente e logarítmico, provêm de equações explícitas da condutividade térmica. Estes métodos requerem somente poucas medidas da temperatura do solo, e os cálculos simples de realizar; contudo, os resultados encontrados podem ser imprecisos, o que se constata ao se comparar valores estimados com valores conhecidos, ou com estimativas mais confiáveis da difusividade térmica aparente. Dois métodos, o numérico e o harmônico, as quais se utilizam de grande número de medidas da temperatura do solo e oferecem uma estimativa implícita da difusividade térmica aparente do solo, geralmente apresentam estimativas mais confiáveis. Valores da difusividade térmica aparente, obtidas por ambos os métodos, foram usados na previsão da temperatura do solo para posterior comparação com os dados medidos. Sob condições de tempo com céu parcialmente nublado, ambos os métodos se comportaram muito bem. Em geral, os dados necessários para o método numérico foram de 12 a 24 medidas de temperatura do solo, por dia e em três profundidades, enquanto que o método harmônico requer de 8 a 12 medidas de temperatura do solo por dia, em duas profundidades.

VIANELLO e SANDANIELO (1984) estudaram o comportamento térmico do solo em Viçosa-MG, baseando-se em medições diárias obtidas a intervalos de uma hora e sob três

diferentes tipos de cobertura: solo nu, cobertura morta e relva natural. Foram instalados os sensores de temperatura entre 02cm e 100cm. As características físicas e o teor de umidade do solo, foram também estimadas com base em análises laboratoriais. Dentre as principais propriedades estudadas destacam-se a amplitude e a fase da onda de temperatura para os cinco primeiros harmônicos da Série de Fourier, marcha diária do fluxo de calor a 7,5 cm, difusividade e condutividade térmicas do solo, profundidade de amortecimento, velocidade de penetração da onda de temperatura no solo, capacidade calorífica e calor específico, com resultados dentro da faixa de valores encontrados na literatura.

POTTER et al. (1985) analisaram os efeitos do sistema de aragem sobre as características térmicas do solo. Concluíram que estas podem ser alteradas pela cobertura, mas poucos estudos têm comparado as propriedades térmicas para fins de conservação e gerenciamento de sistemas não lavrados. Propriedades térmicas do sistema superfície-solo, foram determinados para três tipos de métodos de arar: terras aradas convencionalmente, aradas em cinzel e sem arar. A difusividade térmica aparente foi determinada com auxílio de análise harmônica de valores da temperatura do solo e a capacidade volumétrica de calor, a partir do método das sondagens em linha, da fonte de calor. A capacidade volumétrica de calor do solo foi determinada do mesmo modo para todas as maneiras de arar. A difusividade térmica aparente dos sistemas não arados, foi significativamente maior do que aquelas dos sistemas arados convencionalmente e em cinzel, indicando que a condutividade térmica também foi maior em sistemas não arados. A determinação direta da condutividade térmica pelo método de sondagens em linha das fontes de calor, em um lugar indicado em áreas não aradas, foi vinte por cento maior do que as utilizadas a partir do método convencional. Verificaram que a porcentagem de cobertura de resíduos tem maior influência no comportamento da temperatura e no fluxo de calor do solo.

O comportamento diurno do fluxo de calor e da temperatura do solo com cobertura e em solo nu, em diferentes profundidades, foi estudado por OLIVER et al. (1987). Para tanto, realizaram medições da radiação solar e da temperatura do solo, em diferentes localidades da

Inglaterra e Síria. Obtiveram a variação diurna do fluxo de calor para vários tipos de cobertura com vegetação em florestas coníferas densas e solo nu. Mostraram que o fluxo de calor é um dos mais importantes componentes do balanço de energia à superfície, especialmente onde a cobertura do solo não é completa, como se observa em regiões semi-áridas. A medida direta do fluxo de calor do solo tem dificuldades práticas e depende do saldo de radiação que, por sua vez, depende da vegetação.

NASSAR e HORTON (1990) apresentaram um método novo, que combina o harmônico individual pelo valor do harmônico da difusividade térmica obtida por análise multiharmônica da temperatura do solo, por simples combinação de valores da difusividade térmica para cada camada do solo. O novo método utiliza análise de Fourier, variando e fracionando as observações da temperatura do solo. Primeiro, as observações são descritas em série de Fourier. Posteriormente, calcula-se a difusividade térmica aparente para cada harmônico, por análise de transferência de calor não-uniforme. A média ponderada da difusividade térmica aparente é determinada, por valor individual, com peso de acordo com a fração da variância das temperaturas observadas, descritas pelo harmônico associado. A variância da fração observada da temperatura do solo, descrita por dado harmônico, pode ser colocado como a razão da metade do quadrado da amplitude (o quadrado da amplitude pelo último harmônico) para a variância total.

THUNHOLM (1990) comparou medições com simulações da temperatura do solo, com o balanço de energia na superfície como condição de contorno. Nesse estudo, a temperatura da superfície do solo e o fluxo de calor, foram estimados a partir da temperatura do solo e do balanço de energia à superfície, usando um modelo numérico. Valores simulados de temperatura do solo, profundidade da camada de neve, profundidade de resfriamento em determinada área da Suécia, foram comparados com dados medidos num período de 22 anos. A temperatura do ar na camada limite sobreestimou a temperatura do solo durante o verão e a subestimou durante o outono. Estas discrepâncias foram reduzidas quando se negligenciou, em alguns níveis, a resistência adicional do fluxo de calor do solo correspondente a 4cm, por

exemplo, quando se introduziu a camada de solo com húmus. O fluxo de calor nas condições de contorno baseado no balanço de energia da superfície superestimou os valores da temperatura do solo durante o outono. Testes de sensibilidade indicam que esta superestimação foi ocasionada pelo uso constante do fator de extinção da cultura, para a radiação líquida. Os resultados de ambos os métodos, apontam que entre os anos do experimento houve desenvolvimento diferenciado da cobertura da grama. Valores simulados para o nível de profundidade da neve concordam com os valores medidos. Contudo, a previsão do nível de profundidade de resfriamento foi superestimada, provavelmente por que a condutividade térmica da neve foi superestimada. O autor testou o uso da temperatura da superfície do solo como condição de contorno, estimado pela temperatura do ar e pela equação do balanço de energia do ar e pela equação do balanço de energia do solo, respectivamente. Isto foi realizado usando o modelo SOIL (JANSSON e HADLIN, 1980).

ACS et al. (1991) realizaram um estudo com modelo de previsão acoplado da umidade do solo e da temperatura da superfície. Tal estudo consiste num modelo de previsão de umidade e temperatura, em solo nu. Foram admitidas como possíveis, avaliar a taxa de evaporação, estrutura do solo e umidade. Para a previsão da umidade do solo utilizou-se o método de SELLERS(1965). As propriedades hidráulicas foram determinadas, utilizando valores conhecidos para um dado tipo de solo e as equações empíricas de CLAPP e HORNBERGER (1978). Na previsão da temperatura da superfície do solo, foi utilizado o método de "force-restore". Os fluxos de calor latente e sensível foram determinados, levando-se em conta a estabilidade atmosférica. Os resultados do modelo foram comparados com algumas medidas de campo de temperatura do solo e fluxos de calor sensível e latente. A concordância entre os resultados do modelo e as observações dos fluxos de calor latente e sensível, foi muito boa. Quanto à previsão da umidade e temperatura do solo, foram satisfatórias, apesar da excessiva seca ocorrida no início dos cinco dias do período de simulação. Algumas análises de sensibilidade foram realizadas. A formulação do modelo do fluxo de calor latente foi comparado com a proposição de PHILIP (1957). Diferentes testes foram realizados com valores de

temperatura média no termo de armazenamento. O modelo é aplicável para o cálculo dos fluxos de calor sensível e latente provenientes do saldo de radiação, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento, a várias altitudes.

Atualmente, as pesquisas estão sendo dirigidas no sentido de uma correta determinação da temperatura na superfície que, por sua vez, é muito importante nos modelos de Circulação Atmosférica (MCA's), visto que as principais forças dirigentes originam-se na superfície. Sendo assim, os esforços concentram-se em resolver a camada limite com mais níveis do que o resto da Troposfera. Alguns autores apresentam a formulação onde se únem a temperatura da superfície do solo e o fluxo de calor.

Na maioria das situações, a superfície do solo é a parte ativa principal para a troca da energia na baixa atmosfera. A energia absorvida pela superfície contribui para o aquecimento do ar e do solo, e para a evaporação da água próximo à interface solo-ar. É assim que as camadas superiores do solo atuam como um reservatório de calor, absorvendo calor durante o dia e liberando-o durante à noite (CARSON e MOSES, 1963). Como uma parte da energia incidente é transmitida para camadas mais profundas, as características térmicas do solo são importantes nos estudos de balanço de energia. A distribuição vertical da temperatura do solo depende da quantidade da energia absorvida ou liberada. O perfil da temperatura no solo, sofre variações regulares diurnas e anuais. CARSON (1963) mostrou que as flutuações regulares na temperatura do solo são tratáveis com as técnicas de Fourier, um recurso que está sendo utilizado nesta pesquisa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

Os dados de temperatura do solo foram obtidos nas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, cujas localidades estão apresentadas na Tabela 3.1 e se distribuem geograficamente conforme a Figura 3.1. As temperaturas do solo foram extraídas dos registros do INMET, nas profundidades de 2cm, 5cm, 10cm, 20cm, 30cm, 50cm e 100cm, para análise e cálculo relativo a variação anual, a intervalos de 6 horas, sob condições de solo nu. O período de estudo abrange os anos de 1976 a 1985.

Para o estudo de variação diária, foram utilizados dados obtidos numa estação automática de observações meteorológicas, de fabricação da empresa alemã Lambrecht Klimatologiche Mésstechnik. O sistema era composto de estação remota e sensores, modems, estação de alimentação e transmissão de dados, computador tipo PC-386 e impressora, instalada na estação meteorológica de Salvador-BA. Para a obtenção dos dados de temperatura do solo, utilizou-se o sensor modelo 828, composto de um resistor de platina (Pt100), encapsulado (cápsula de vidro temperado com recobrimento de material condutor de calor). O mesmo opera numa faixa de medição de -50°C a $+50^{\circ}\text{C}$, com precisão de 0.1°C , sendo instalado a 5cm, 20cm e 50cm de profundidade, com leitura contínua, utilizando-se de médias a cada 20 minutos e uma hora. Os dias selecionados para o estudo do ciclo diário foram 08/07/1992, 11/08/92 e 06/02/1993, sem ocorrência de precipitação e 10/08/1992, com precipitação de 45.0 mm.

Tabela 3.1 - Estações meteorológicas incluídas na pesquisa, com os respectivos códigos, coordenadas geográficas e período de observações.

N° da Estação	Localidade	Latitude	Longitude	Alt. (m)	Período
83076	Santa Rita de Cássia-BA	11° 01' S	44° 31' W	550,30	1976-85
83088	Senhor do Bonfim-BA	10° 28' S	40° 11' W	558,24	1976-85
83186	Jacobina-BA	11° 11' S	40° 28' W	484,74	1976-85
83242	Lençóis-BA	12° 34' S	41° 23' W	438,74	1976-85
83229	Salvador-BA	13° 01' S	38° 31' W	51,41	1976-85
83339	Caetité-BA	14° 03' S	42° 37' W	882,47	1976-85
83498	Caravelas-BA	17° 44' S	39° 15' W	2,88	1976-85

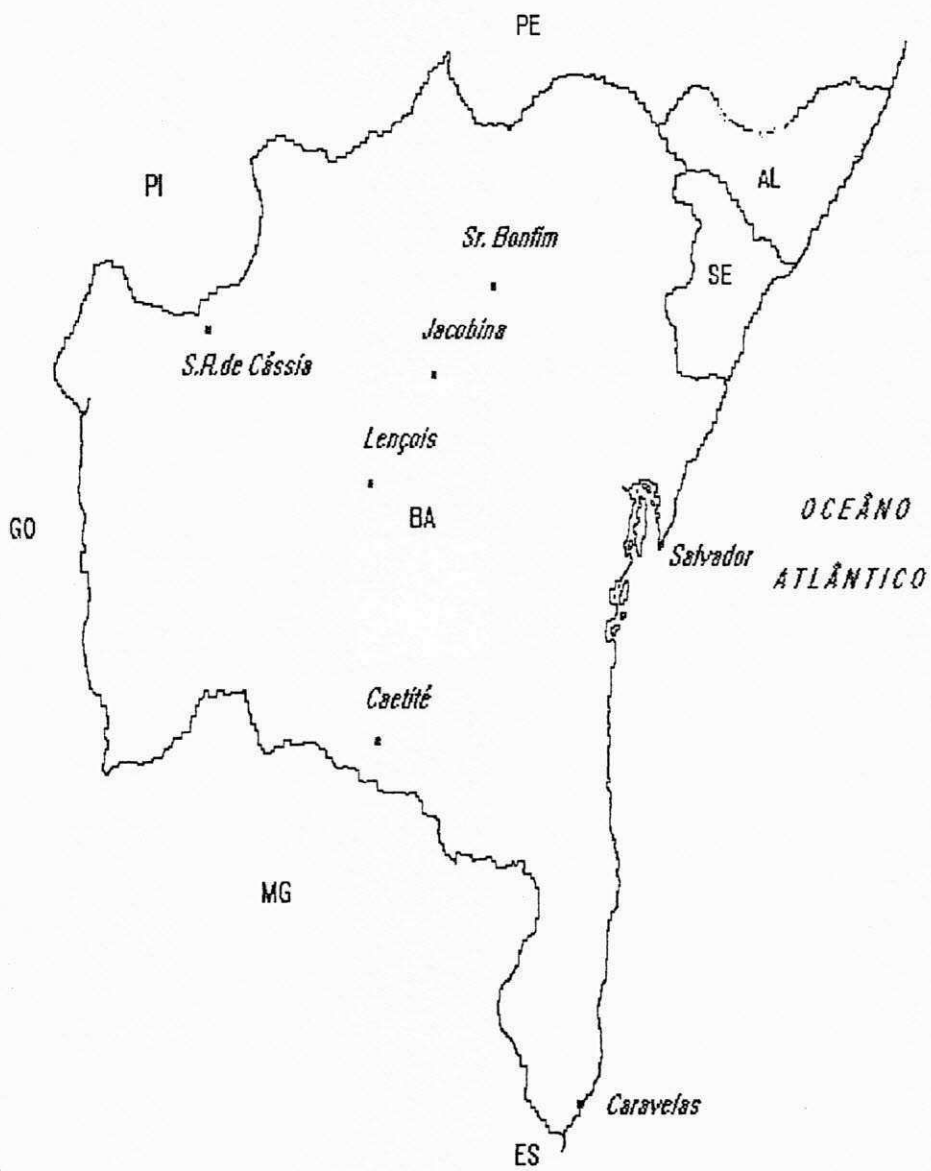


FIGURA 3.1 - Localização das estações incluídas na pesquisa.

3.2 - Considerações Teóricas

O tratamento matemático que objetiva descrever quantitativamente a transferência de calor num meio material (no solo, para o caso específico), pressupõe algumas hipóteses, quais sejam: a) que o solo (ou, pelo menos, cada uma de suas camadas) é homogêneo; b) que a transferência de calor é unidimensional e ocorre apenas por condução; c) a não existência de fontes ou sumidouros de energia, em cada camada estudada; d) que o fluxo de calor é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura.

Considere-se uma camada de solo homogêneo, com espessura Δz , cujas faces se encontram às temperaturas T_1 e T_2 . O fluxo vertical de calor através da face superior (H_1), positivo quando a temperatura diminui com a profundidade, pode ser obtido por (SELLERS, 1965):

$$H_1 = -\lambda \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_1 \quad (3.1)$$

e o fluxo vertical do calor na face inferior (H_2), por sua vez, por

$$H_2 = -\lambda \left(\frac{\Delta T}{\Delta z} \right)_2 \quad (3.2)$$

onde a constante de proporcionalidade, λ , depende da composição, umidade e temperatura do solo (SELLERS, 1965; VAN WIJK, 1963) e é denominada de condutividade térmica do solo

($\text{cal cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$); o termo seguinte representa o gradiente de temperatura nas faces superior e inferior da camada em questão.

Para se obter o saldo de fluxo de calor, que proporcionaria o aquecimento da camada (ou o seu resfriamento), é suficiente subtrair H_2 de H_1 , ou seja:

$$\Delta H = H_2 - H_1 = \lambda \left[\left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_2 - \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_1 \right] \quad (3.3)$$

que é diretamente proporcional à taxa de variação da temperatura entre as faces superior e inferior da camada (SELLERS, 1965):

$$\Delta H = -C \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) \Delta Z \quad (3.4)$$

onde C é capacidade calorífica volumétrica do solo ($\text{cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), que é igual ao produto da densidade do solo ρ (g cm^{-3}) pelo calor específico C_p ($\text{cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), e Δt é o intervalo de tempo (s).

Ao se considerar uma camada do solo de espessura infinitesimal, pode-se obter a expressão (3.4) na forma diferencial:

$$\frac{\partial H}{\partial z} = -C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.5)$$

e

$$\frac{\partial H}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3.6)$$

Considerando-se que em solo homogêneo a condutividade térmica não varia com a profundidade z , tem-se:

$$\frac{\partial H}{\partial z} = -\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = -C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.7)$$

Desta forma, pode-se obter a variação da temperatura do solo, em função do tempo e profundidade, ou seja:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\lambda}{C} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.8)$$

que é a Equação de Fourier para a condução de calor num meio homogêneo e unidirecional. A razão λ/C pode ser representada por K , que é denominada difusividade térmica do solo.

No caso mais simples a se considerar é o da onda de temperatura na superfície do solo ($z=0$) que pode ser obtida segundo a expressão (VAN WIJK, 1963):

$$T(0,t) = T_0 + A_0 \text{ Sen}(\omega t + \phi_z) \quad (3.9)$$

onde T_0 é a temperatura média do solo à superfície (considerada constante), t é o tempo, A_0 é a amplitude da onda de temperatura, ω é a frequência radial e ϕ_z é o ângulo de fase à profundidade z . A frequência radial para o ciclo diário é igual a $2\pi/86400$ (rad s^{-1}), enquanto que no caso anual vale $2\pi/365 \times 86400$ (rad s^{-1}).

A equação geral associada à Equação de Fourier, possibilita a determinação da temperatura do solo para qualquer profundidade z , no instante t , e tem a seguinte expressão (VAN WIJK, 1963; SELLERS, 1965):

$$T(z,t) = T_0 + A_0 \text{ Exp}(-z/D) \text{ Sen}(\omega t + \phi_z - z/D) \quad (3.10)$$

onde A_0 é a amplitude da onda de temperatura à superfície, que corresponde à metade da diferença entre as temperatura máxima e mínima; D é a profundidade de amortecimento, que é dada por:

$$D = \left(\frac{2\lambda}{C\omega} \right)^{1/2} = \left(\frac{2K}{\omega} \right)^{1/2} \quad (3.11)$$

que pode ser representada em centímetro e depende das propriedades térmicas do solo e do período de oscilação da onda de temperatura. A profundidade de amortecimento corresponde à profundidade na qual a amplitude da onda de temperatura é reduzida a $1/e$ de seu valor à superfície ($e=2,71828$). A difusividade térmica aparente (K) será tratada mais adiante. Já a

velocidade de propagação da onda de temperatura, para o ciclo diário e anual, é dada pela expressão:

$$V = (2\omega K)^{\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

A expressão geral de $T(z,t)$ pode ser apresentada na forma da expansão de Fourier, qual seja:

$$T(z,t) = T_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \text{Cos}(n\omega t) + b_n (\text{Sen}(n\omega t))] \quad (3.13)$$

ou, ainda na forma senoidal:

$$T(z,t) = T_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \text{Sen}(n\omega t + \phi_n) \quad (3.14)$$

onde

$$A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.15)$$

e

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{a_n}{b_n}\right) \quad (3.16)$$

Nas expressões acima, n é o número do harmônico; a_0 , a_n e b_n são os coeficientes de Fourier, que são utilizados no cálculo da amplitude A_n e fase ϕ_n de cada um dos harmônicos, e podem ser obtidos por:

$$a_0 = (1/\pi) \int_{-\pi}^{\pi} f(T) dT \quad (3.17)$$

$$a_n = (1/\pi) \int_{-\pi}^{\pi} f(T) \text{Cos}(nT) dT \quad (3.18)$$

$$b_n = (1/\pi) \int_{-\pi}^{\pi} f(T) \text{Sen}(nT) dT \quad (3.19)$$

Nas expressões acima (Eq. 3.17 a 3.19) os coeficientes de Fourier são usados para representar uma função matemática contínua e conhecida, num dado domínio de validade. Para o caso real, a função $f(T)$ não é conhecida e muito menos contínua, salvo em caso de registros gráficos semelhantes aos termohigrógrafos, por exemplo. Nessas circunstâncias, deve-se determinar os coeficientes de Fourier para o caso discreto. E de acordo com VAN WIJK (1963), WEVODOU e SHULMAN (1968), OLIVEIRA (1978) e SANTOS (1987), os coeficientes discretos podem ser obtidos através das expressões:

$$a_0 = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} T_i \quad (3.20)$$

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} T_i \text{Cos}(n \omega t_i) \quad (3.21)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} T_i \text{Sen}(n \omega t_i) \quad (3.22)$$

onde N corresponde ao número de observações (para o ciclo anual, por exemplo, N=12) no período considerado, T_i é a temperatura do solo e t_i o instante correspondente.

Considerando a equação (3.11) e as amplitudes $A(z_1)$ e $A(z_2)$, relativas às profundidades z_1 e z_2 respectivamente, pode-se obter o quociente entre estas amplitudes, através da expressão:

$$\frac{A(z_2)}{A(z_1)} = \frac{\text{Exp}(z_1 - z_2)}{D} = \text{Exp}(z_1 - z_2) \left(\frac{\omega}{2K} \right)^{1/2} \quad (3.23)$$

A solução para K permite estimar-se a *difusividade térmica aparente* entre os níveis z_1 e z_2 , que resulta na equação da *Amplitude*:

$$K = \frac{\omega}{2} \left[\frac{z_2 - z_1}{\text{Ln}(A_1/A_2)} \right]^2 \quad (3.24)$$

Ao considerar-se $\delta t = (t_2 - t_1)$ como o intervalo de tempo correspondente à ocorrência das temperaturas máximas das profundidades z_1 e z_2 , pode-se obter uma outras expressão para K , baseada na equação de fase, que partindo da Equação 3.10 resulta em:

$$K = \frac{1}{2\omega} \frac{(z_2 - z_1)^2}{\delta t} \quad (3.25)$$

A difusividade térmica aparente do solo pode ser obtida com base nas temperaturas T_i e T'_i , obtidas a cada seis horas nas profundidades z_1 e z_2 respectivamente, e segundo a expressão (NERPIN e CHUDNOVSKII, 1967):

$$K = \frac{\omega (z_2 - z_1)^2}{2 \left\{ \arctan \left[\frac{(T_1 - T_3)(T'_2 - T'_4) - (T_2 - T_4) - (T'_1 - T'_3)}{(T_1 - T_3)(T'_1 - T'_3) + (T_2 - T_4) - (T'_2 - T'_4)} \right] \right\}^2} \quad (3.26)$$

A Equação 3.26 é denominada equação arcotangente, e pode ser aplicada, por exemplo, ao se realizar medições nos horários das 3h, 9h, 15 h e 21h, com os valores T_1, T_2, T_3 e T_4 para os nível z_1 , e T'_1, T'_2, T'_3 e T'_4 , respectivamente para a profundidade z_2 .

SEEMANN (1979) mostrou que a difusividade térmica aparente pode ser obtida, ainda, segundo a equação denominada de *logarítmica*, qual seja :

$$K = \left[\frac{0,0121 (Z_2 - Z_1)^2}{\text{Ln} \left[\frac{(T_1 - T_3)^2 + (T_2 - T_4)^2}{(T_1 - T_3) + (T_2 - T_4)} \right]} \right]^2 \quad (3.27)$$

Para solos homogêneos com a difusividade térmica aparente constante a equação (3.8) pode ser aproximada pela equação das diferenças finitas, de acordo com RICHTMEYER e MORTON (1967):

$$\frac{T_j^{i+1} - T_j^i}{K \Delta t} = \frac{T_{j+1}^i - 2T_j^i + T_{j-1}^i}{(\Delta z)^2} \quad (3.28)$$

onde j é o intervalo de profundidade e i o de tempo. A Equação (3.28) pode ser utilizada para calcular a difusividade térmica aparente, a partir de dados de temperatura de vários níveis. A estabilidade na solução numérica é assegurada se:

$$\frac{K \Delta t}{(\Delta z)^2} < 0,5 \quad (3.29)$$

Este método de determinação de K é denominado de *método numérico*, e necessita de três níveis de profundidades para o cálculo de K , enquanto que os outros métodos, apenas dois.

O método associado à Equação 3.24 foi utilizada para o cálculo da difusividade térmica aparente para o ciclo anual de todas as localidades estudadas e para o ciclo diário de Salvador-BA, foram usadas as Equações 3.24, 3.25, 3.26, 3.27 e 3.28.

O número de harmônicos suficientes para representar a onda da temperatura do solo observada, foi determinado pela análise da variância de cada harmônico, apresentada em porcentagem da variância total de cada série de dados. A contribuição oferecida pela n -ésimo harmônico à variância total de cada série de dados é dada pela expressão:

$$S_n^2 = 0,5 A_n^2 \quad (3.30)$$

onde n é o número de observações e A_n é a amplitude do n -ésimo harmônico. A variância total, ou acumulada, é o resultado do somatório das variâncias de todos os harmônicos, e pode ser obtida segundo a equação:

$$S^2 = \sum_{n=1}^{N/2} S_n^2 \quad (3.31)$$

3.3 - Metodologia

Como o comportamento da temperatura do solo é periódico, utilizou-se a análise harmônica para descrever o ciclo anual e o ciclo diário da temperatura do solo. No que concerne as propriedades térmicas do solo das localidades selecionadas, foram utilizados diferentes métodos de cálculo, conforme sejam os ciclos anual ou diário.

3.3.1 - Ciclo Anual

Para o ciclo anual foi usada a série de Fourier descrita pela equação 3.13, para o caso discreto, com os instantes de observação do ciclo anual variando de $t=1$ a $t=12$, correspondendo aos meses do ano nos horários de 12, 18 e 24 UTC, e a média destes três horários. Para o cálculo dos coeficientes de Fourier, foram usadas as equações 3.20, 3.21 e 3.22. No presente estudo, considerou-se os cinco primeiros harmônicos para o ciclo anual, haja vista a contribuição à variância, oferecida pelo quinto e/ou sexto harmônico, ser desprezível. A difusividade térmica aparente para o ciclo anual foi obtida com base na equação da *amplitude* (3.24), para os horários de 12, 18 e 24 UTC e a média dos três horários. Com os valores obtidos, calculou-se a *profundidade de amortecimento* de acordo com a equação 3.11 e a *velocidade de propagação* foi obtida pela equação 3.12.

3.3.2 - Ciclo Diário

Para o ciclo diário utilizou-se o mesmo procedimento para o ciclo anual, onde N corresponde ao número de horas do dia. Para o cálculo da *difusividade térmica aparente* também foi utilizada a Equação 3.24. No método *da equação da fase*, determinou-se os máximos de temperatura em cada profundidade e, posteriormente, os intervalos de tempo entre eles, nos níveis de 5cm, 20cm e 50cm. Outro método empregado, denominado de *equação arcotangente*, é dada pela Equação 3.26, iniciando os cálculos à partir da temperatura lida na primeira hora e, como prevê o método, a intervalos de tempo de seis horas entre as temperaturas e

posteriormente a segunda hora, assim sucessivamente até completar o número de casos possíveis de cálculo. E o resultado final é o obtido com a média dos valores dos ciclos. O mesmo critério foi usado para calcular a *difusividade térmica aparente* pelo método da *equação logarítmica* (Equação 3.27). O último procedimento é chamado de *método numérico*, Equação 3.28, onde $T_j^{i+1} - T_j^i$ representa a diferença de temperatura entre os intervalos de tempo, que no caso foram iguais a 20 minutos, ou 1200 segundos, para uma mesma profundidade j . Por sua vez, $T_{j+1}^i - 2T_j^i + T_{j-1}^i$ corresponde ao instante i e o índice $j+1$, à profundidade de 50cm, j , à de 20cm, e $j-1$, à profundidade de 5cm. Δt é o intervalo de tempo e Δz as diferenças entre as profundidades. Calculou-se cerca de setenta valores e o resultado final foi a média destes valores. A Equação 3.29 representa a estabilidade na solução numérica e é utilizada para limitar os valores dos resultados encontrados na forma indicada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados utilizados, referentes às estações meteorológicas constantes da Tabela 3.1, referem-se às médias dos horários de 12, 18 e 24 UTC. De uma maneira geral, os valores mais elevados ocorrem nos meses de verão e os menores nos meses de inverno. Uma outra característica que se observa, é que no período dos meses de maio, junho e julho a temperatura das profundidades de 50cm e 100cm atingem valores mais elevados, mas ao longo do ano suas temperaturas máximas são as mais baixas em relação às das outras profundidades.

Na figura 4.1.a da estação meteorológica de Santa Rita de Cássia, os valores máximos são atingidos no mês de outubro. A temperatura para a profundidade de 100cm, nos meses de março a julho, permanecem ligeiramente maiores do que as das outras profundidades.. O perfil de S. R. de Cássia, figura 4.1.b, apresenta-se com grande irregularidade em comparação com o de outras estações. Os valores mínimos ocorrem no mês de julho, com a temperatura entre 27°C e 28°C, concentrados na camada entre as profundidades de 2cm e 50cm. O máximo ocorreu no mês de outubro, com temperaturas entre 31°C e 32°C, na camada entre as profundidades de 2cm e 5cm. Nos meses de novembro a maio, a variação da temperatura da camada entre as profundidades de 2cm a 100cm, predominou no perfil a faixa de 29°C e 30°C, e que a diferença entre a maior e a menor temperatura, não alcança 5°C. A temperatura do solo foi de 27 °C, à 30cm de profundidade no mês de julho, à 32 °C, para a profundidade de 2cm no mês de outubro.

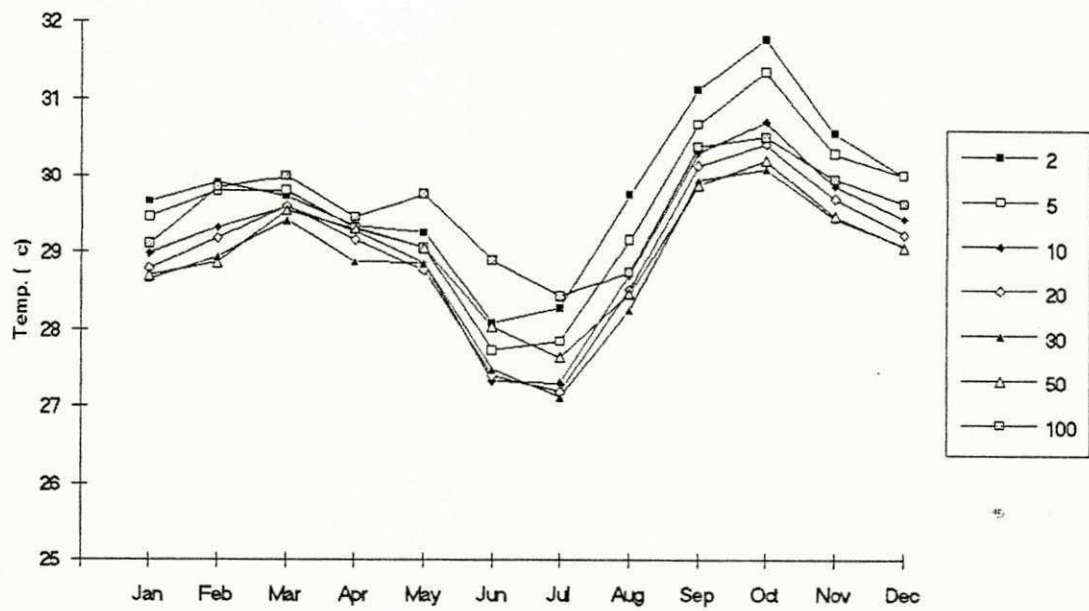


Figura 4.1.a - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Santa Rita de Cássia-Ba. nas profundidades de 2cm a 100cm.

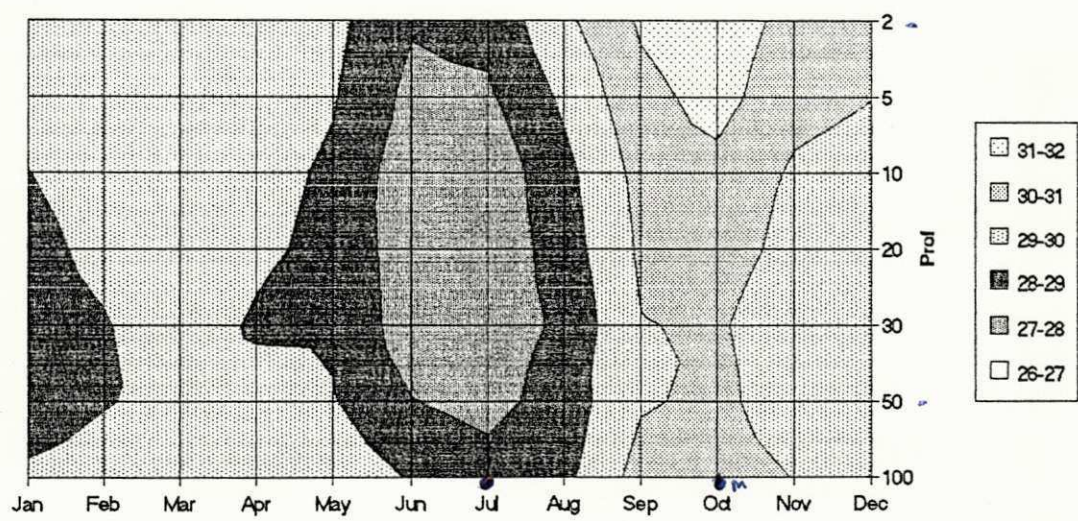


Figura 4.1.b - Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de S.R. de Cássia-Ba.

Na figura 4.2.a, apresenta-se o perfil da temperatura do solo para a localidade de Caetité, que segue, em linhas gerais, o perfil de outras localidades. As menores temperaturas são atingidas no mês de julho, com 22°C para a profundidade de 5cm. A maior temperatura do solo registrada foi em janeiro na profundidade de 2 cm e valor de 28.5 °C. Na análise do perfil da temperatura do solo versus profundidade, apresentado na figura 4.2.b, observa-se que o mês mais frio foi julho, com temperaturas entre 22°C e 23°C nas profundidade de 2cm a 50cm. O período de temperatura mais elevada foi observada no mês de janeiro, com as temperaturas de 28°C a 29°C entre 2cm e 5cm.

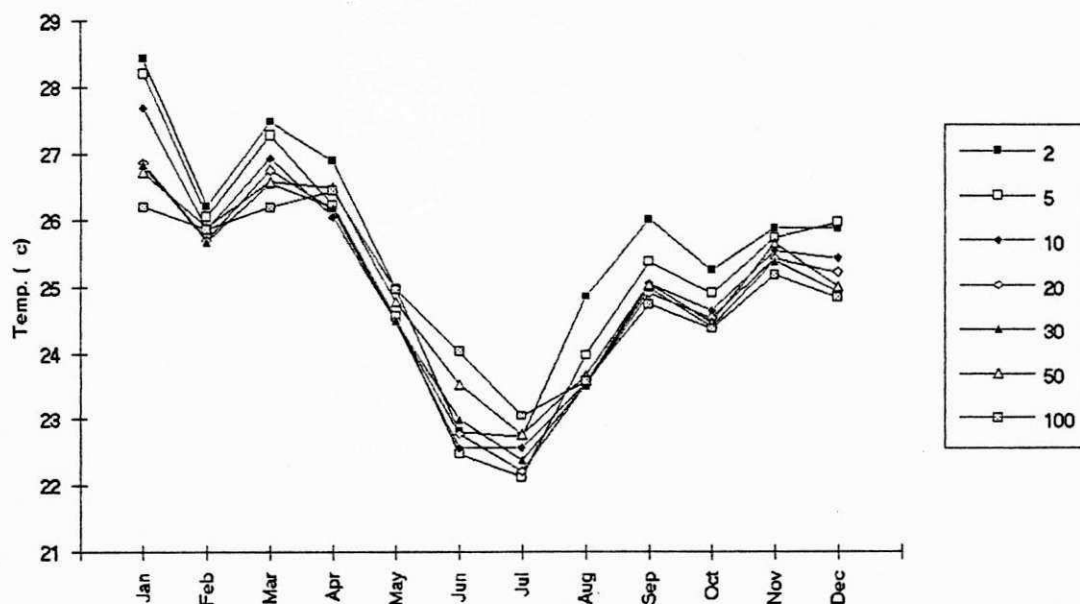


Figura 4.2.a - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Caetité-BA nas profundidades de 2cm a 100cm.

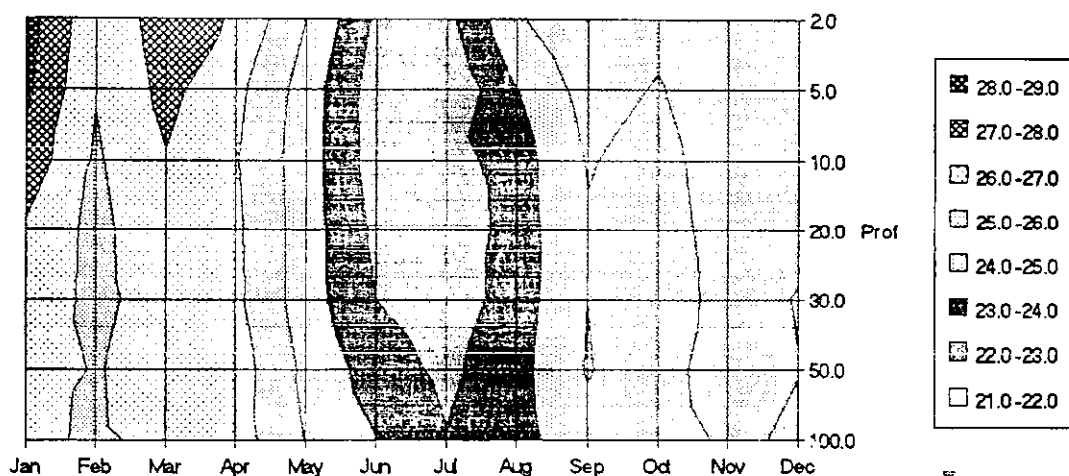


Figura 4.2.b - Perfil da temperatura média do solo, nos horários de 12, 18 e 24 UTC para a localidade de Caetitê-BA. .

No perfil da temperatura do solo mostrado na figura 4.3.a, vê-se uma configuração que se enquadra na análise geral descrita para as estações, com uma variação de temperatura entre 24°C e 31°C. Nos meses de maio à agosto, as maiores temperaturas são encontradas nas profundidades de 50cm e 100cm. A maior temperatura ocorreu no mês de janeiro, na profundidade de 2 cm e a menor no mês de julho na profundidade de 20 cm. Na estação de Caravelas, figura 4.3.b, os perfis das temperaturas do solo apresentam-se bastante definidos, sendo os valores mais baixos situam-se entre 23°C e 24°C, ocorreram no mês de julho desde 2cm até 50cm e as de temperaturas mais elevadas nos meses de janeiro e fevereiro entre as profundidades de 2cm e 5cm.

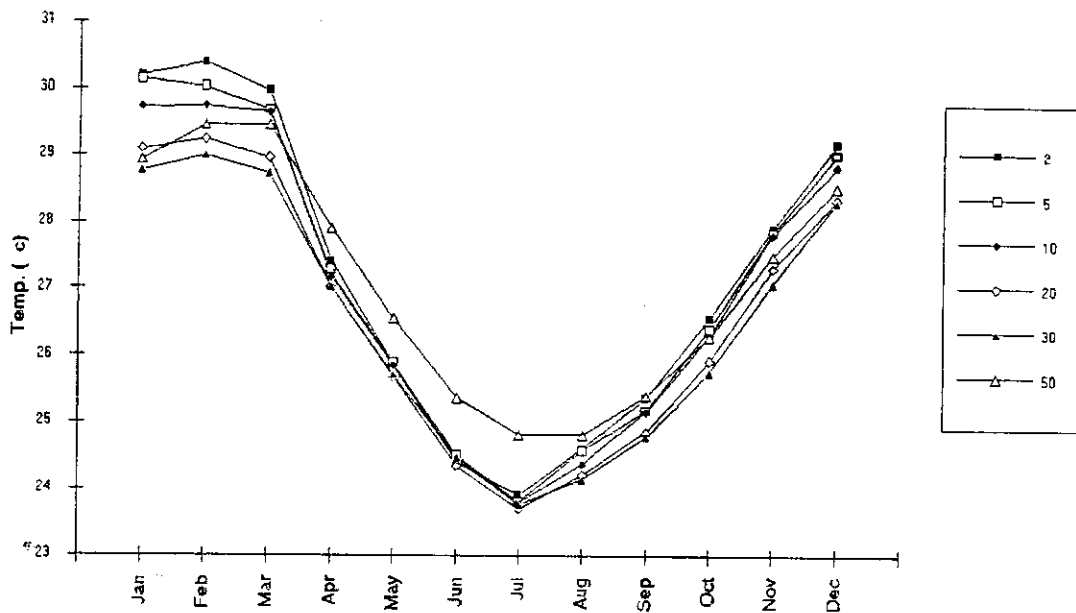


Figura 4.3.a - Temperatura média do solo dos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Caravelas-BA nas profundidades de 2cm a 50cm.

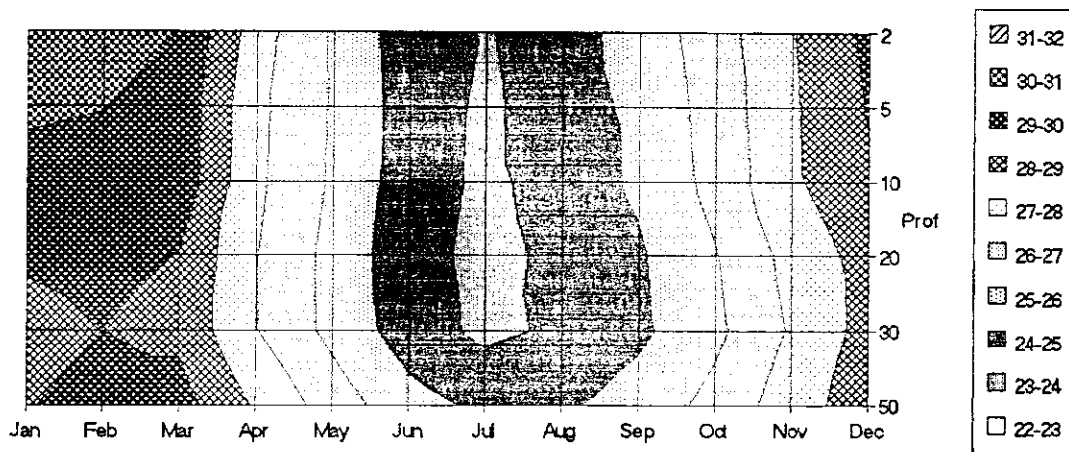


Figura 4.3.b - Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC, para a localidade de Caravelas-BA.

Na figura 4.4.a, observa-se o perfil da temperatura do solo da estação meteorológica de Jacobina, o seu perfil também está enquadrado no descrito na configuração geral. Nos meses de março a agosto a temperatura do nível de 100cm é a mais elevada dentre as outras profundidades. A maior temperatura situa-se na profundidade de 2cm, no mês de dezembro. A menor na profundidade de 20cm no mês de julho. Na estação de Jacobina., figura 4.4.b, os perfis também apresentaram-se bem definidos, com os valores de temperatura mais baixos entre 22°C e 23°C, numa faixa centralizada no mês de julho nas profundidades de 5cm e 30 cm. As mais elevadas entre 32°C e 33°C, entre as profundidade de 2cm e 5cm, no mês de dezembro com uma distribuição bem definida.

Na figura 4.5.a, observa-se o perfil da temperatura do solo para a localidade de Lençóis, que também está dentro do quadro geral descrito para as outras localidades, diferindo um pouco quanto aos valores máximos encontrados nos meses de verão e inverno, quando as temperaturas no inverno mantêm uma menor variação do que no verão. Nos meses abril a agosto, nas profundidades de 30cm, 50cm e 100cm, registraram-se valores de temperatura superiores às das outras profundidades. A maior temperatura foi registrada na profundidade de 2cm, que ocorreu no mês de dezembro, de 30 °C. A menor foi registrada em julho nas profundidades de 5cm e 10cm. O perfil da temperatura do solo na estação de Lençóis., figura 4.5.b, no mês mais frio, julho, apresenta-se numa faixa centrada em 5cm até 20cm com temperaturas entre 22°C e 23°C. A mais quente nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro entre 29°C e 30°C de 2cm até 100cm.

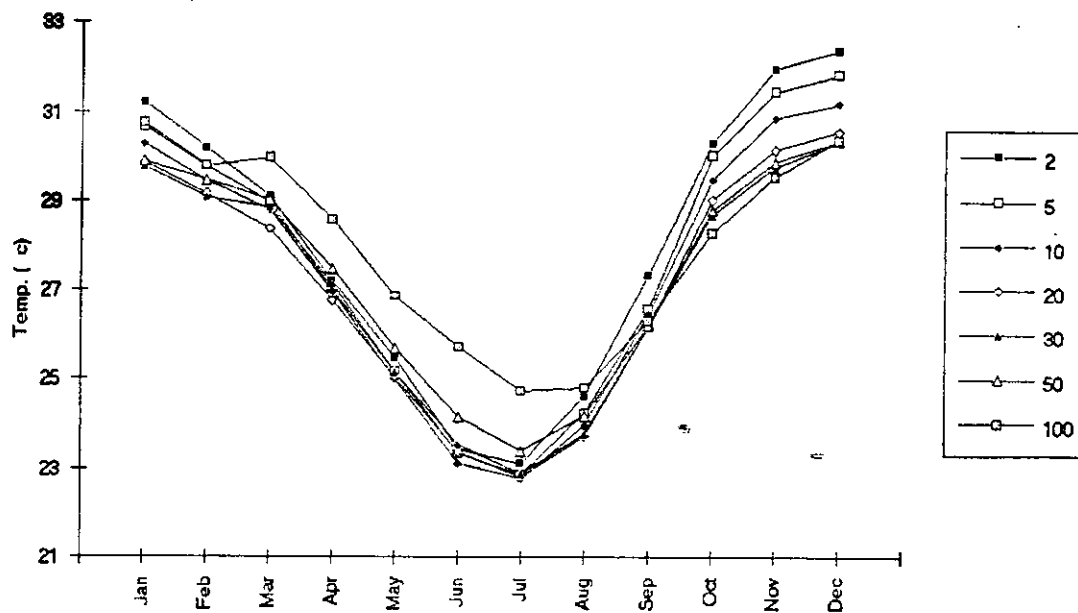


Figura 4.4.a - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Jacobina-BA. nas profundidades de 2cm a 100cm.

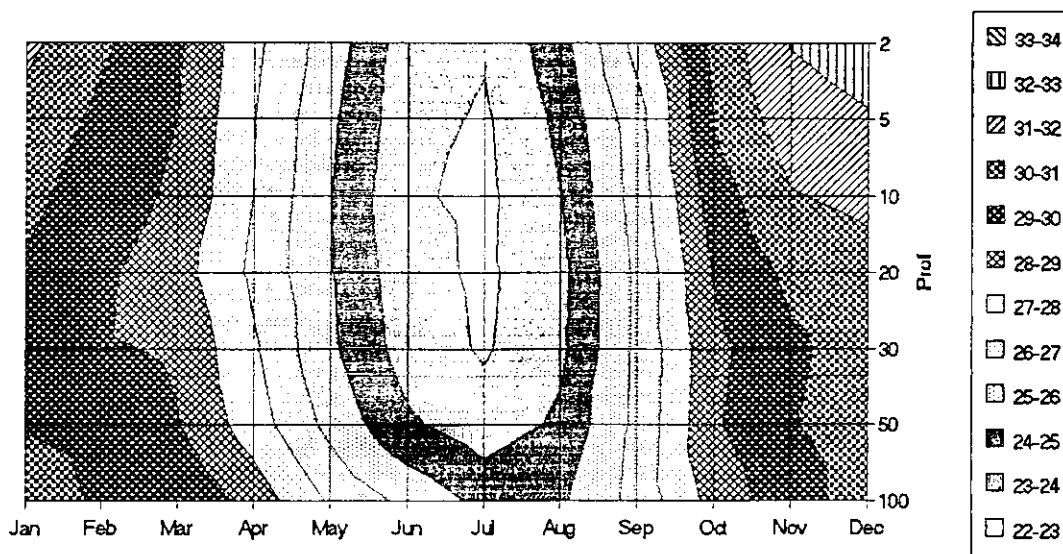


Figura 4.4.b - Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Jacobina-BA.

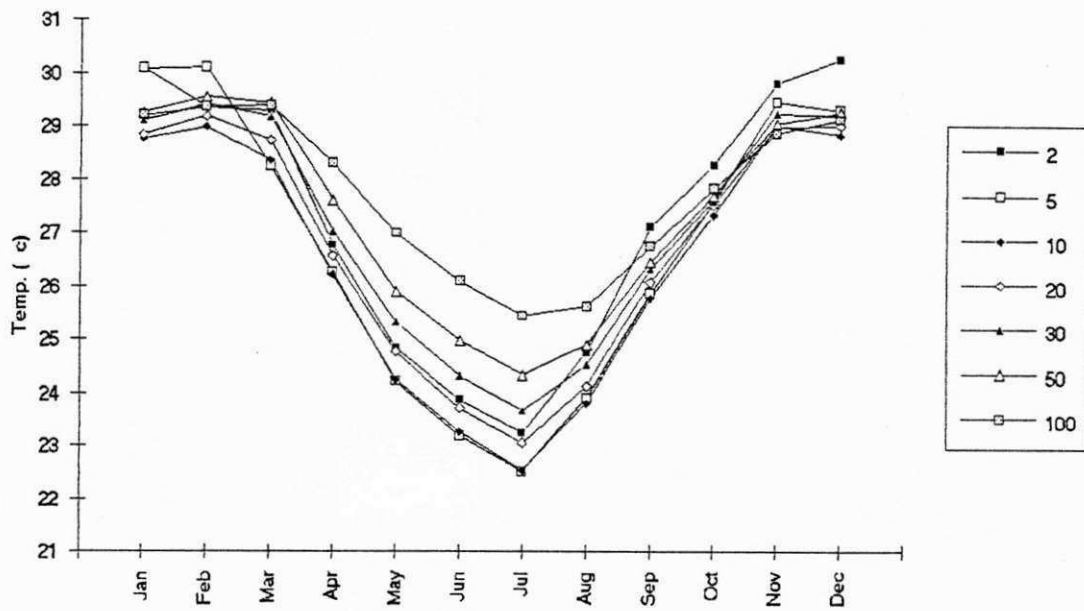


Figura 4.5.a - Temperatura média do solo, nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Lençóis-BA. nas profundidades de 2cm a 100cm.

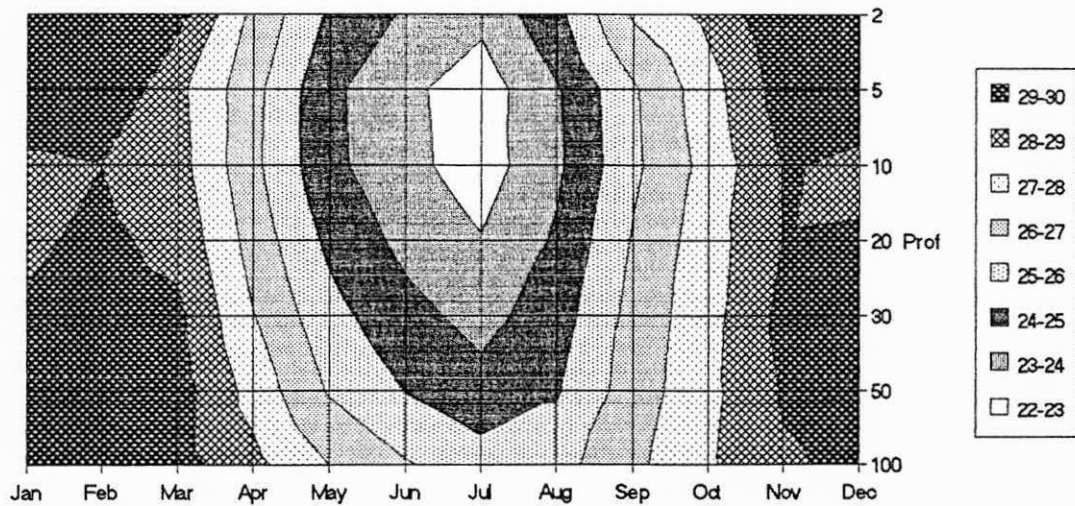


Figura 4.5.b - Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Lençóis-BA.

4.1 Comparação de temperatura do solo entre Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (Ciclo Anual)

Foram realizados comparações entre duas estações distintas, quanto ao aspecto de precipitação. Sr. do Bonfim e Salvador, uma no litoral e outra no interior do Estado da Bahia. O perfil da temperatura do solo da estação meteorológica de Sr. do Bonfim, apresentou uma maior amplitude no horário das 12 UTC do que a localizada em Salvador, 22°C a 32°C e 23°C a 30°C respectivamente. Quanto ao perfil das temperaturas do solo em seus respectivos níveis, podemos salientar que são bastantes semelhantes. As temperaturas do nível de 10cm apresentou com uma das temperaturas mais baixas em relação aos outros níveis de profundidade, isto acontece em ambas as estações. Em relação ao perfil do horário das 18 UTC para a localidade de Salvador a maior temperatura ocorreu no nível de profundidade de 2cm, a mesma para Sr. do Bonfim, alcançando 34°C e 41 °C respectivamente e as menores a 20cm em Salvador e 100cm em Sr. do Bonfim. Para o horário de 24 UTC, o perfil das duas estações mantém uma certa semelhança na distribuição da temperatura nos níveis de profundidade. As maiores temperaturas ocorreram nos níveis mais profundos e os mais baixos nas profundidades próximas da superfície, indicando que houve transferência de calor para os níveis 20,30, 50 e 100 cm. Analisando o perfil da temperatura do solo versus profundidade, entre a estação de Salvador e Sr. do Bonfim, média diária, figuras 4.6.e e 4.7.e respectivamente, elas apresentaram diferenças na configuração do perfil da temperatura em relação a profundidade. Nos meses de outubro a dezembro, em Sr. do Bonfim, tendeu a ser mais horizontal ao contrário de Salvador, que teve o perfil numa posição vertical. A primeira, nos meses mais frios, a temperatura atinge 24°C a 25°C em julho, de 2cm até a profundidade de 50cm. Nos meses mais quente, a temperatura atinge 30°C e 31°C nos meses de dezembro e janeiro, na profundidade de 2cm. Na localidade de Sr. do Bonfim, nos meses mais frio alcançou 24°C e 25°C entre 2cm e 100cm. Nos meses quentes, a temperatura alcançou 30°C e 31°C no mês de dezembro, na profundidade de 2 cm.

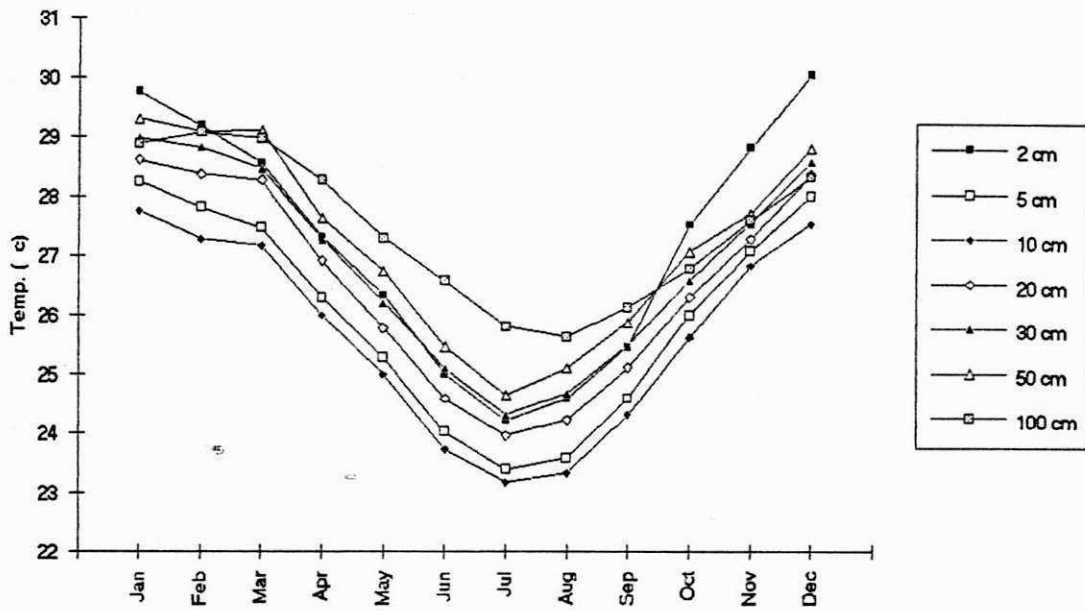


Figura 4.6.a - Temperatura média do solo no horário de 12 UTC para a localidade de Salvador-BA. nas profundidades de 2 a 100cm.

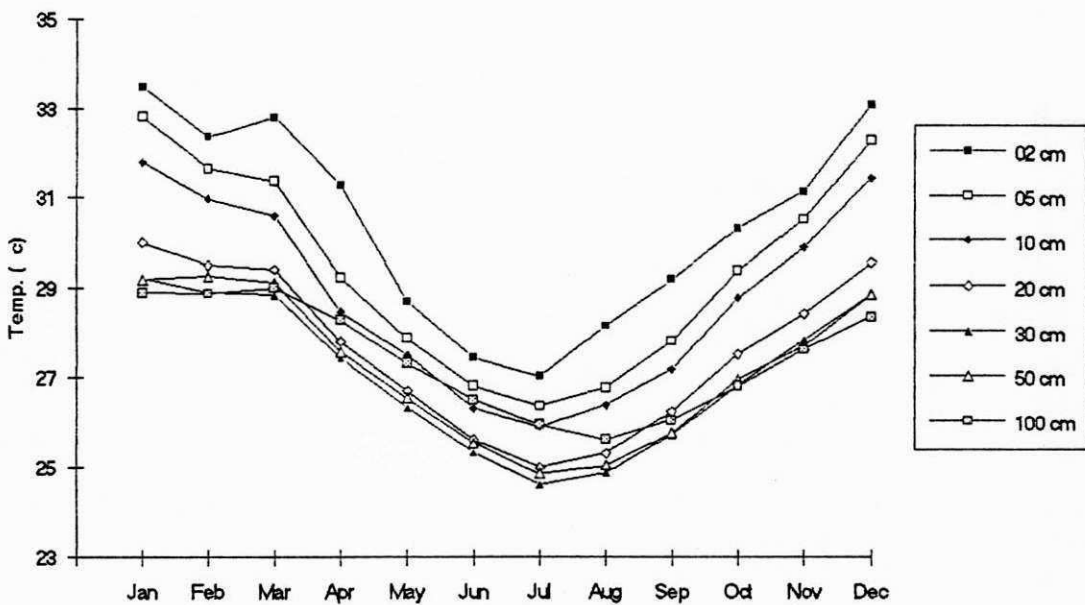


Figura 4.6.b - Temperatura média do solo no horário de 18 UTC para a localidade de Salvador-BA. nas profundidades de 2 a 100cm.

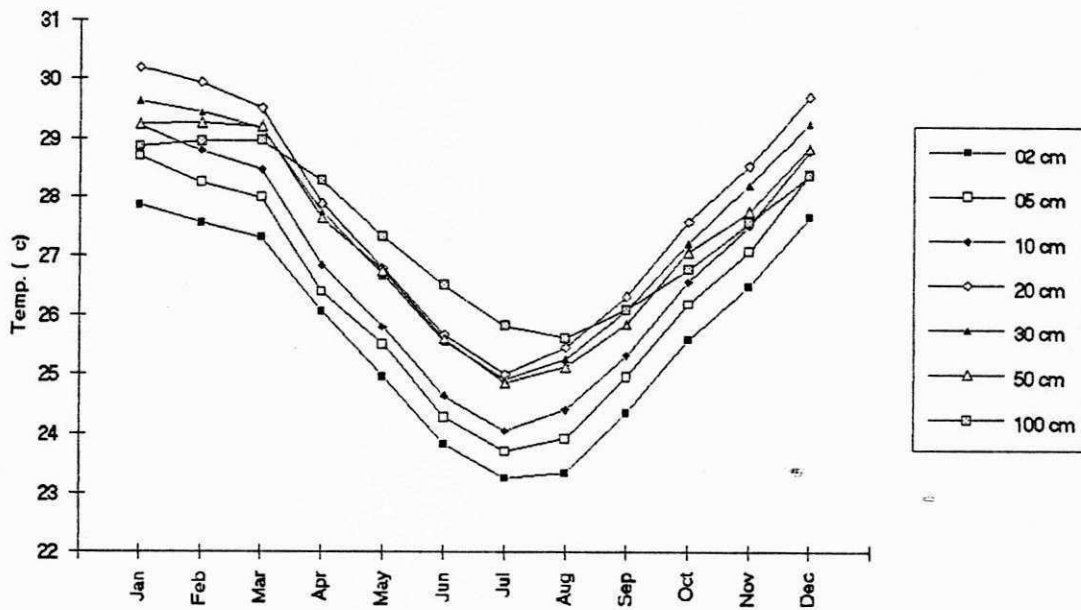


Figura 4.6.c - Temperatura média do solo no horário de 24 UTC para a localidade de Salvador-BA, nas profundidades de 2 a 100cm.

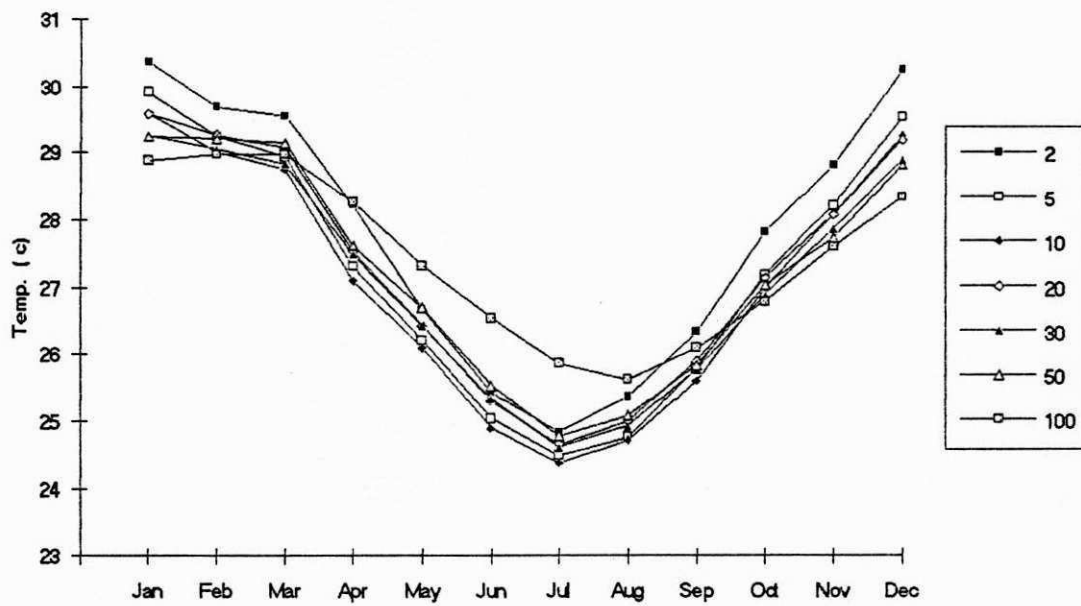


Figura 4.6.d - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Salvador-BA, nas profundidades de 2 a 100cm.

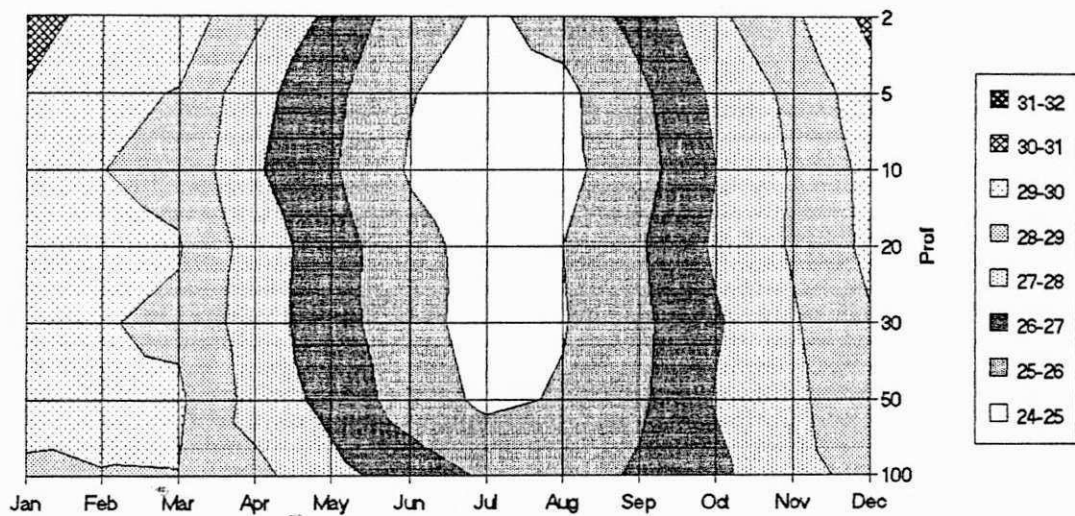


Figura 4.6.e -Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Salvador-BA.

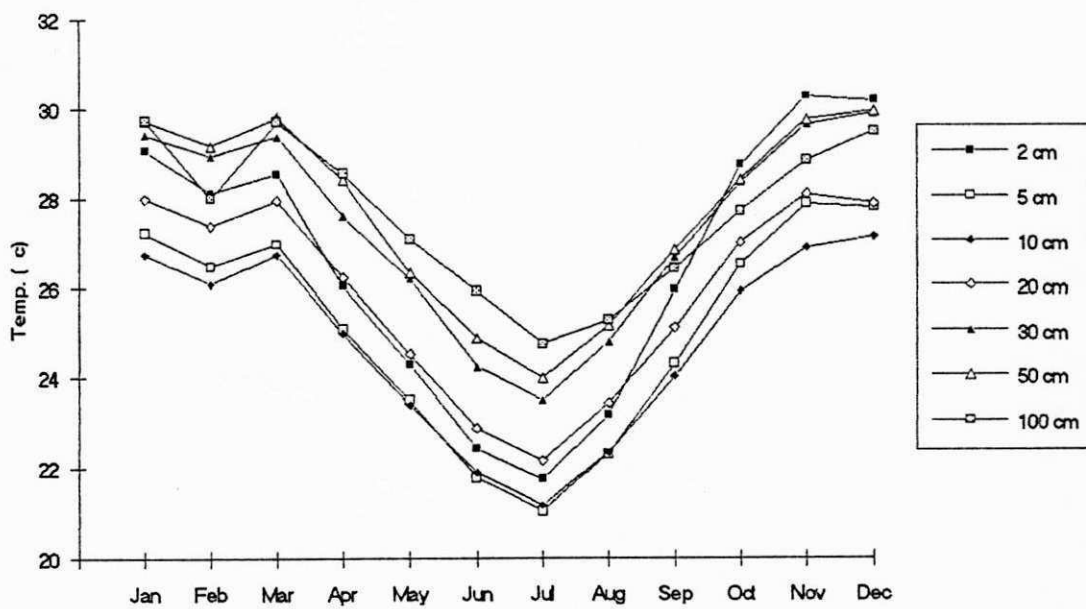


Figura 4.7.a - Temperatura média do solo no horário de 12 UTC para a localidade de Sr. do Bonfim-BA, nas profundidades de 2 a 100cm.

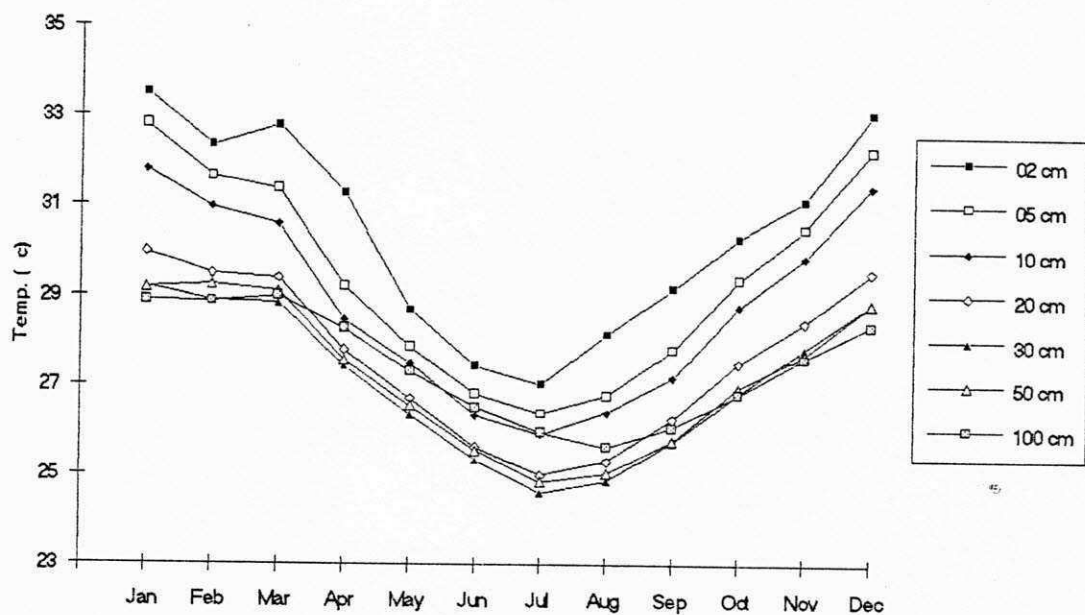


Figura 4.7.b - Temperatura média do solo no horário de 18 UTC para a localidade de Sr. do Bonfim-BA. nas profundidades de 2 a 100cm.

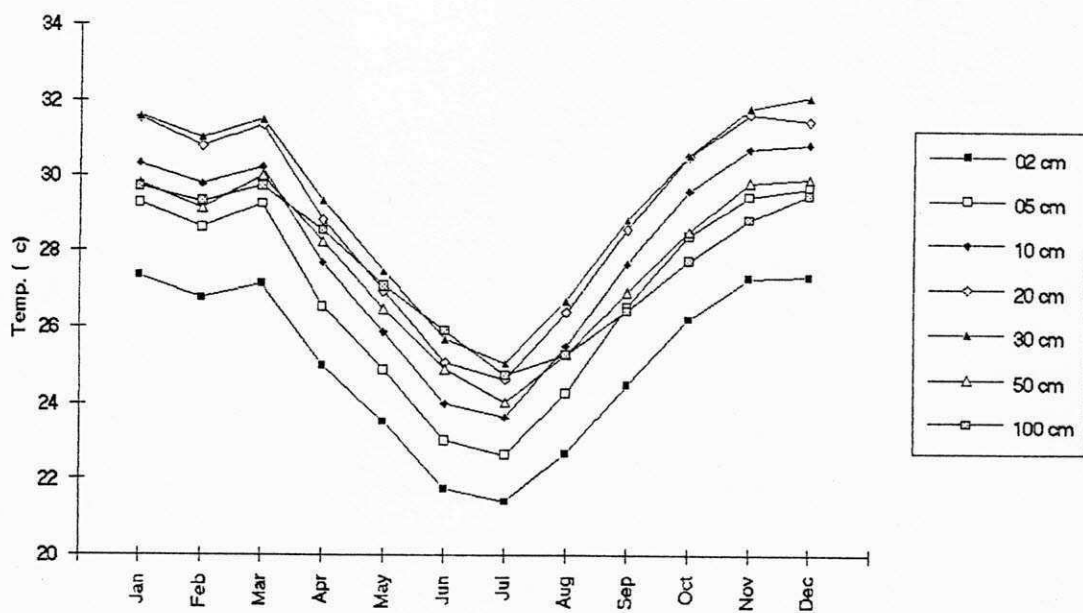


Figura 4.7.c - Temperatura média do solo no horário de 24 UTC para a localidade de Sr. do Bonfim-BA. nas profundidades de 2 a 100cm.

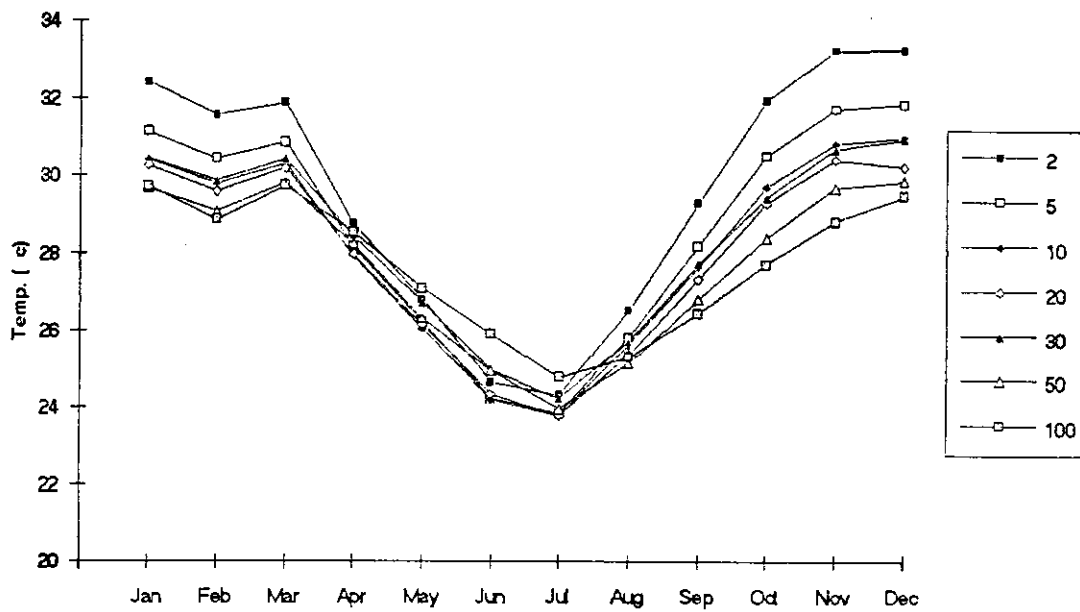


Figura 4.7.d - Temperatura média do solo no horário de 12,18 e 24 UTC para a localidade de Sr. do Bonfim-BA, nas profundidades de 2 a 100cm.

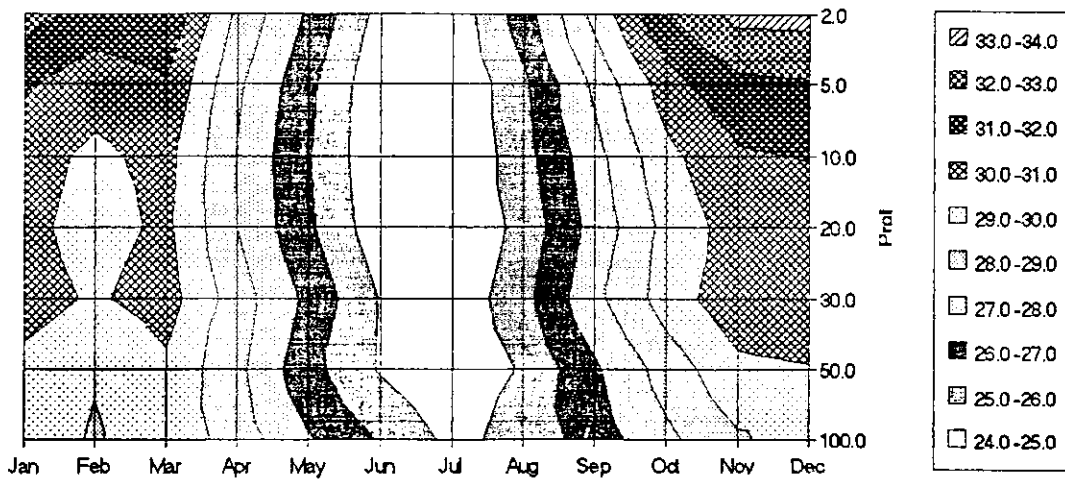


Figura 4.7.e - Perfil da temperatura média do solo nos horários de 12, 18 e 24 UTC para a localidade de Sr. do Bonfim-BA.

Analisou-se as figuras 4.8.a a 4.8.g, onde comparou-se as de temperaturas do solo média diária, para as localidades de Salvador e Sr. do Bonfim, dos níveis de profundidade de 2 a 100cm. Na figura 4.8.a, notou-se claramente que as temperaturas de Sr. do Bonfim (Sdb) permaneceu maior que as de Salvador (Sal) ao longo do ano, exceto para os meses de maio, junho e julho. Nas outras figuras, nos meses do período de verão, os níveis de profundidade próximos à superfície as diferenças são maiores, tenderam a diminuir a medida que se aumentou a profundidade, sendo inclusive bem próximas no nível de 100cm de profundidade.

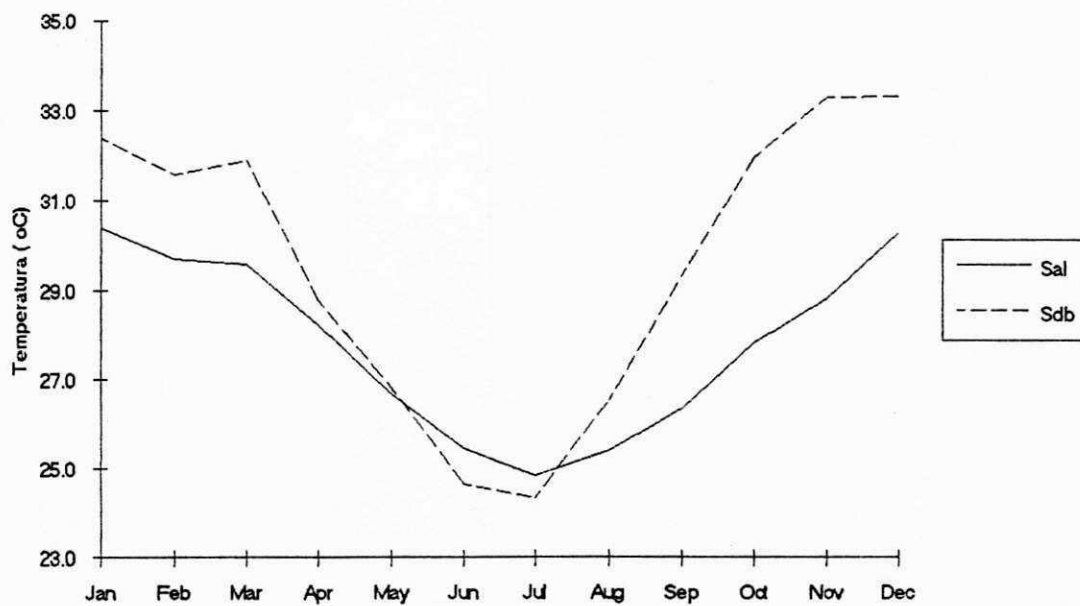


Figura 4.8.a - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 2cm.

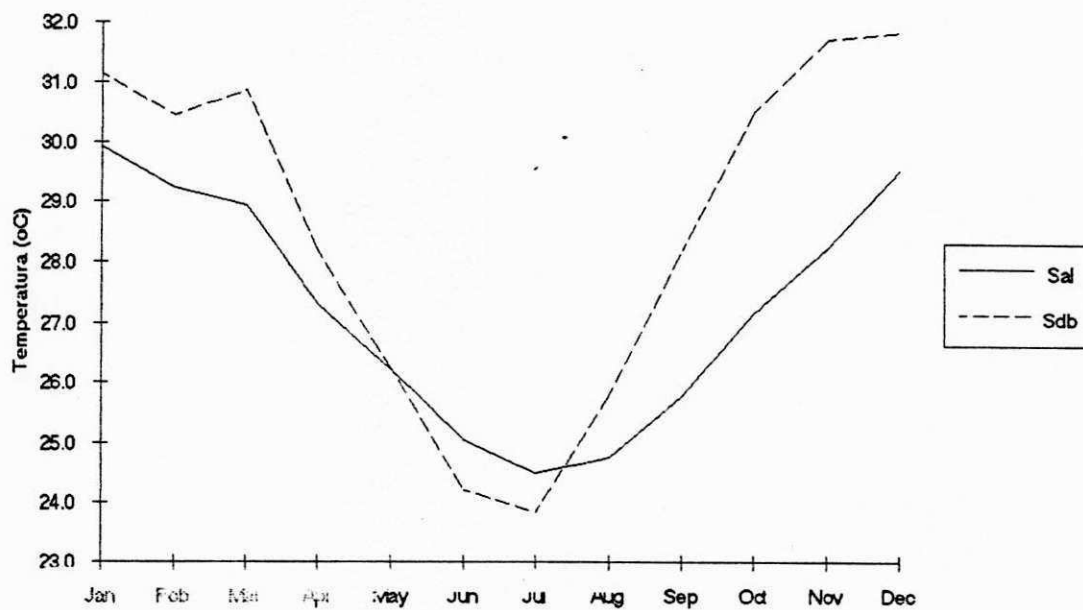


Figura 4.8.b - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 5cm.

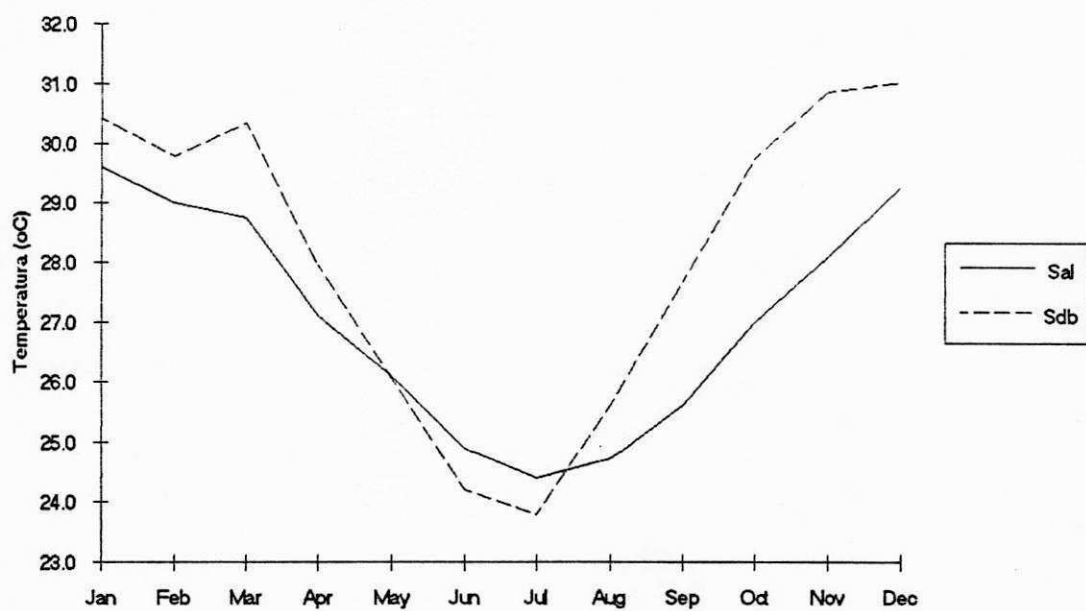


Figura 4.8.c - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 10cm.

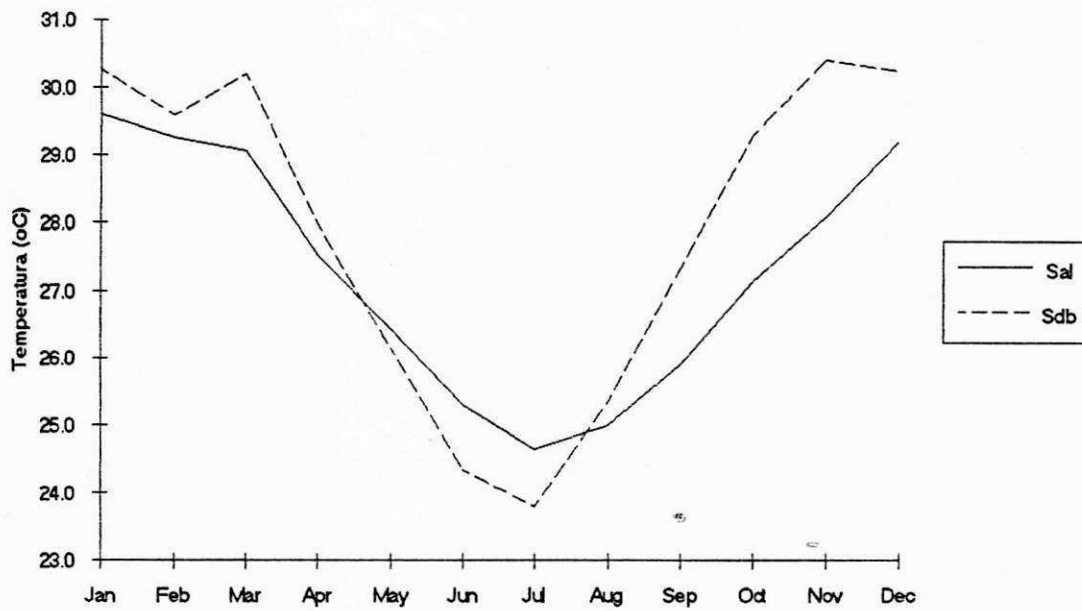


Figura 4.8.d - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 20cm.

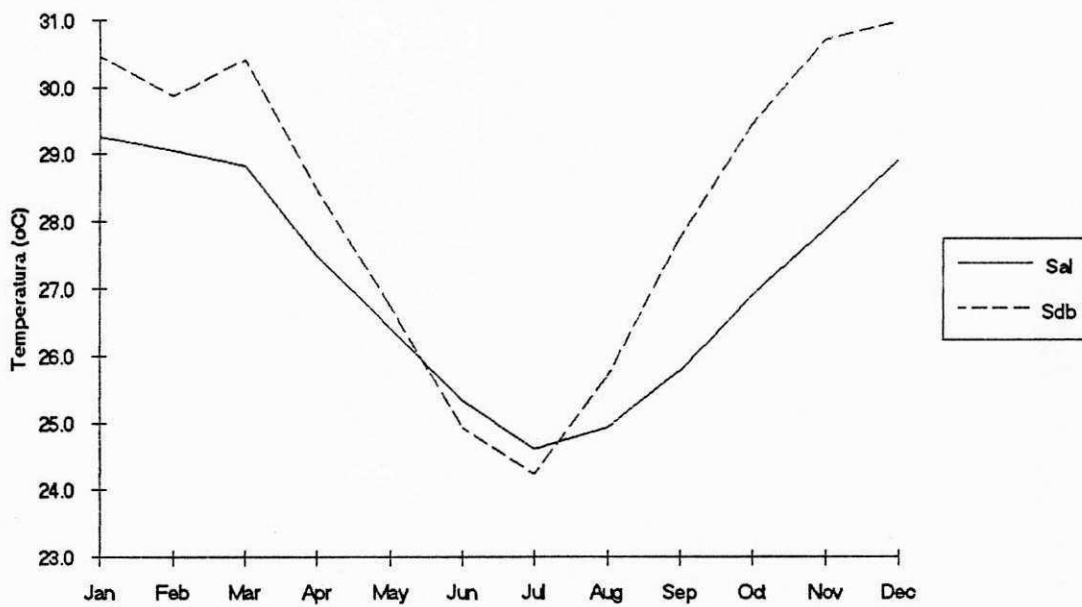


Figura 4.8.e - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 30cm.

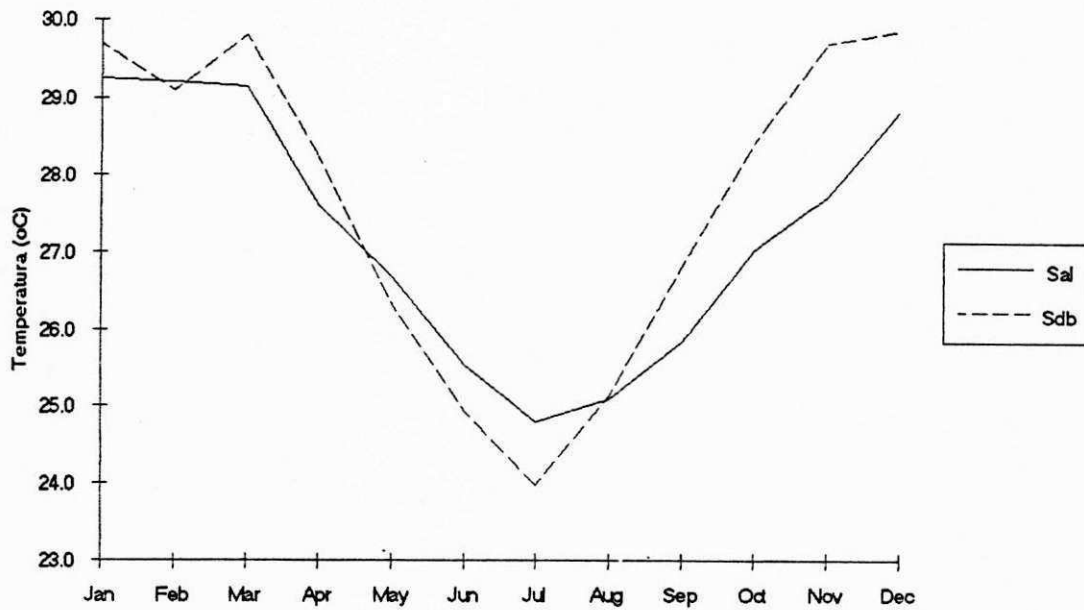


Figura 4.8.f - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 50cm.

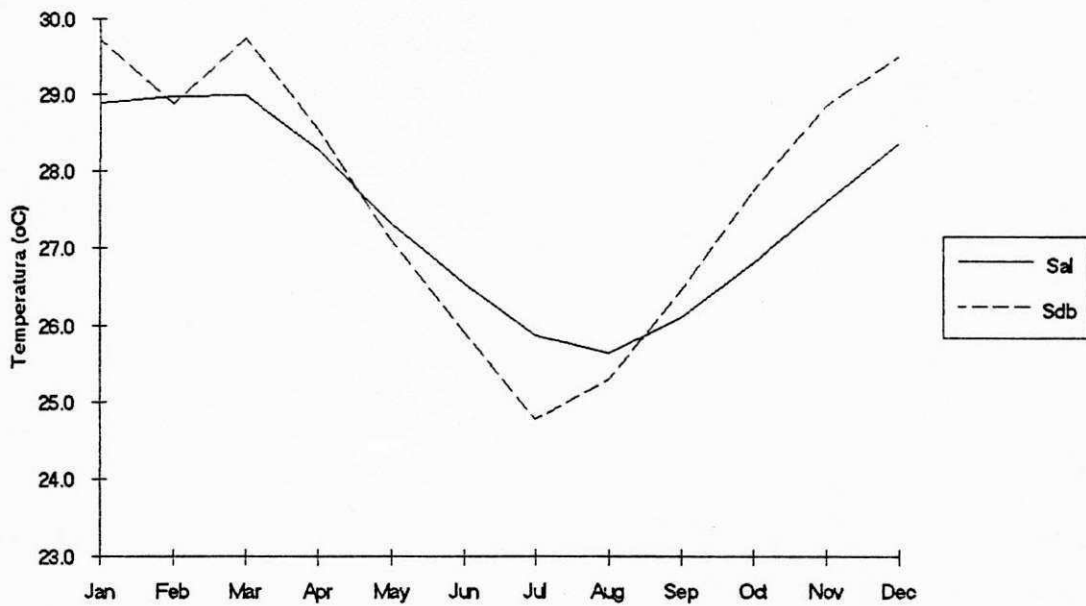


Figura 4.8.g - Temperatura média do solo nos horários de 12,18 e 24 UTC para as localidades de Salvador-BA (Sal) e Sr. do Bonfim-BA (Sdb) a profundidade de 100cm.

4.2 Difusividade Térmica Aparente (ciclo anual)

Nas tabelas 4.1.a a 4.1.h são apresentadas os valores da difusividade térmica aparente, em diversas profundidades, com a finalidade de mostrar todas as possibilidades possíveis de relacionamento entre elas. Os valores da difusividade térmica situam-se entre $0,04 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ e $16,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Para as camadas superficiais, situadas entre as profundidades de 2cm e 20cm, os valores da difusividade térmica variam entre $0,04 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ e $8,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. O valor médio situa-se próximo de $3,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 4.1.a - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade S.R. de Cássia-BA

	5	10	20	30	50	100
2	0.00060	0.00022	0.00049	0.00053	0.00038	0.00113
5		0.00015	0.00047	0.00052	0.00037	0.00116
10			0.00131	0.00021	0.00044	0.00143
20				0.00060	0.00034	0.00144
30					0.00026	0.00170
50						0.01147

Para a localidade de Santa Rita de Cássia, figura 4.1.a, obteve-se um valor médio da difusividade térmica de $1,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, e nas camadas superficiais os valores foram bem abaixo da média. Entre 2cm e 100cm de profundidade o valor é de $1,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 4.1.b - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Caetité-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00004	0.00489	0.00810	0.00363	0.00547	0.00885
5		0.00019	0.00049	0.00071	0.00160	0.00392
10			0.00101	0.00030	0.00275	0.00606
20				0.00143	0.00447	0.00903
30					0.01177	0.01470
50						0.01618

O valor médio para a localidade de Caetité, tabela 4.1.b, foi de $9.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, sendo que nas camadas superficiais os valores são bem menores do que os das camadas mais profundas. A difusividade térmica, para a camada entre 2 e 100 cm de profundidade, foi de $8,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. O maior valor de difusividade térmica encontrada foi para a camada entre as profundidades de 50 e 100cm de $16.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 4.1.c - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Caravelas-BA.

	5	10	20	30	50
2	0.00100	0.00160	0.00138	0.00174	0.00282
5		0.00226	0.00148	0.00189	0.00309
10			0.00124	0.00045	0.00322
20				0.00289	0.00510
30					0.00729
50					

Em Caravelas, a média da difusividade térmica esteve em torno de $1,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, tabela 4.1.c, e entre a profundidade de 2 e 50cm o valor calculado foi de $2,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. O maior valor calculado foi entre as profundidades de 20 e 50cm, de $5,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 4.1.d - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Jacobina-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00066	0.00075	0.00097	0.00175	0.00332	0.00619
5		0.00081	0.00106	0.00204	0.00395	0.00707
10			0.00123	0.00070	0.00546	0.00889
20				0.01155	0.01374	0.01430
30					0.01508	0.01477
50						0.01465

A média da difusividade térmica aparente para a localidade de Jacobina, tabela 4.1.d, situou-se em torno de $7,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Os menores valores calculados foram encontrados nas camadas superficiais e o maiores nas camadas mais profundas. Entre 2 e 100cm, o valor calculado foi de $6,1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, e o maior valor calculado situou-se entre as profundidades de 50 e 100cm, no valor de $14,6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

Tabela 4.1.e - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Lençóis-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00009	0.00465	0.00385	0.00386	0.00415	0.00357
5		0.00013	0.00060	0.00105	0.00178	0.00235
10			0.00335	0.00090	0.00407	0.00349
20				0.00388	0.00435	0.00351
30					0.00462	0.00346
50						0.00312

Na tabela 4.1.e, observa-se os valores calculados para a localidade de Lençóis-BA, onde a média ficou em torno de $2,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Entre a camada mais superficial e a mais profunda, 2 e 100cm, o valor calculado foi de $3,5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Entre as camadas, o maior valor encontrado foi entre as profundidades de 30 e 50 cm, de $4,6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$.

4.2.1 - Difusividade térmica aparente de Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (ciclo anual)

Os valores da difusividade térmica aparente para diferentes camadas, pelo método da amplitude, no horário de 12 UTC, foram ligeiramente maiores para a localidade de Salvador. Valores semelhantes foram observados para a camada de 50 e 100cm de profundidade; o mesmo se observou para o horário das 18 UTC. No horário das 24 UTC, observou-se valores maiores para a estação de Salvador para as camadas superficiais. Os maiores valores calculados, para Sr. do Bonfim foram para as camadas mais profundas.

Os valores calculados da difusividade térmica aparente do horário de 12 UTC, para Salvador, são apresentados na tabela 4.2.a. O valor encontrado para a camada entre a profundidade de 2 e 100cm, foi de $3,9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Para a localidade de Senhor do Bonfim, tabela 4.2.e, encontrou-se as mesmas características, ou seja, nas camadas superficiais pequenos valores e os maiores nas camadas mais profundas. Entre as profundidades de 2 e 100cm, o valor calculado foi de $2,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Os valores encontrado em Salvador foram ligeiramente superiores, verifica-se o mesmo para as outras profundidades neste horário. Para o horário das 18 UTC houve uma diminuição dos valores da difusividade em relação aos calculados para o horário das 12 UTC. Entre as profundidades de 2 e 100cm, encontramos para Salvador, tabela 4.2.b, o valor de $2,7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, em Senhor do Bonfim, encontramos para esta mesma camada, tabela 4.2.f, o valor de $1,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$. Nas camadas mais profundas os valores de Senhor do Bonfim são maiores, por exemplo, entre as profundidades de 30 e 100cm encontramos o valor de $6,8 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, e para esta mesma camada na localidade de Salvador

obtivemos o valor de $5,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Para o horário de 24 UTC, notamos um aumento no valor da difusividade térmica aparente em relação ao horário das 18 UTC, embora para as camadas superficiais os valores estejam bem próximos. Entre 2 e 100cm em Salvador, tabela 4.2.c, o valor calculado foi da ordem de $10,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, e para Senhor do Bonfim, tabela 4.2.g, de $22,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, cerca de duas vezes maior. Para a camada entre as profundidades de 2 e 50cm, encontramos em Salvador o valor de $6,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ e para Senhor do Bonfim o valor de $8,4 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Tabela 4.2.a - Difusividade térmica aparente ($\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 12 UTC do 1º harmônico. Localidade Salvador-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00004	0.00016	0.00094	0.00168	0.00397	0.00391
5		0.00105	0.01705	0.01399	0.02426	0.00753
10			0.06464	0.03059	0.08816	0.00915
20				0.01074	0.02971	0.00666
30					0.06653	0.00627
50						0.00385

Tabela 4.2.b - Difusividade térmica aparente ($\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 18 UTC do 1º harmônico. Localidade Salvador-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00152	0.00271	0.00017	0.00092	0.00229	0.00274
5		0.00047	0.00011	0.00062	0.00173	0.00238
10			0.00007	0.00017	0.00221	0.00275
20				0.00051	0.00681	0.02527
30					0.06415	0.00548
50						0.00333

Tabela 4.2.c - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Salvador-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00029	0.00094	0.00435	3.41202	0.06250	0.01010
5		0.00351	0.02432	0.02391	0.01489	0.00680
10			0.72420	0.00165	0.00779	0.00530
20				0.00150	0.00416	0.00411
30					0.00932	0.00499
50						0.00407

Tabela 4.2.d - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Salvador-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00178	0.00200	0.00259	0.00259	0.00511	0.00431
5		0.00216	0.00282	0.00272	0.00561	0.00447
10			0.00327	0.00072	0.00658	0.00469
20				0.00259	0.00890	0.00493
30					0.02708	0.00552
50						0.00371

Tabela 4.2.e - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 12 UTC do 1º harmônico. Localidade Sr. do Bonfim-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00002	0.00006	0.00032	0.00099	0.00225	0.00285
5		0.00018	0.00226	0.01559	0.01930	0.00686
10			0.02609	0.00319	0.56024	0.01368
20				0.00753	12.54374	0.00926
30					0.02615	0.00547
50						0.00369

Tabela 4.2.f - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 18 UTC do 1º harmônico. Localidade Sr. do Bonfim-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00002	0.00003	0.00008	0.00017	0.00036	0.00106
5		0.00006	0.00012	0.00029	0.00061	0.00168
10			0.00020	0.00015	0.00119	0.00295
20				0.00785	0.00427	0.00698
30					0.00334	0.00686
50						0.01005

Tabela 4.2.g - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média do horário de 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Sr. do Bonfim-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00006	0.00037	0.00189	0.00813	0.08497	0.02239
5		0.02586	0.29677	0.10700	0.00666	0.00831
10			7.88858	0.00865	0.00471	0.00704
20				0.00925	0.00268	0.00560
30					0.00177	0.00526
50						0.01040

Tabela 4.2.h - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), método da amplitude. Calculado para a temperatura média dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Localidade Sr. do Bonfim-BA.

	5	10	20	30	50	100
2	0.00005	0.00011	0.00036	0.00075	0.00128	0.00250
5		0.00020	0.00081	0.00170	0.00237	0.00381
10			0.00337	0.00160	0.00497	0.00579
20				0.01658	0.00576	0.00626
30					0.00396	0.00563
50						0.00660

Tabela 4.2.i - Valores de difusividade térmica aparente ($10^{-3}\text{cm}^2\text{s}^{-1}$), obtidas por diferentes pesquisadores para diferentes localidades.

profundidade	valor	localidade	tipo solo	autor(res)
5-10cm	0,9	Cachoeira Paulista -SP		(Ramana Rao, 1977)
10-15cm	0,5	Cachoeira Paulista -SP		(Ramana Rao, 1977)
2-5cm	1,7	Viçosa-MG		(Vianello et. al. 1977)
5-10cm	4,0	Viçosa-MG		(Vianello et. al. 1977)
10-20cm	1,9	Viçosa-MG		(Vianello et. al. 1977)
20-30cm	1,2	Viçosa-MG		(Vianello et. al. 1977)
	4,48 - 4,91	Piracicaba-SP		(Decico,1976)
	6,0-16,0		Argila úmida	(R. Geiger, 1972)
	0,5-2,0		Argila seca	(R. Geiger, 1972)
	2,0-5,0		Areia seca	(R. Geiger, 1972)
1-10cm	11,50-24,43		Areia Quartz	(Horton et. al. ,1983)
1-10cm	0,86-1,95		Peat Soil	(Horton et. al. ,1983)

Como observar-se na Tabela 4.2.i, os valores da difusividade térmica, obtidas por diferentes pesquisadores, estão de acordo com os obtidos para as localidades da Bahia, apresentados em tabelas anteriores. Os tipos de solo predominantes nas localidades estudadas no presente trabalho, de acordo com os dados publicados em APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS DA BAHIA (1979), são apresentadas na tabela B.1 no apêndice B.

4.3 Profundidade de Amortecimento (ciclo anual).

Na tabela 4.3.a, são apresentados os valores calculados para a profundidade de amortecimento, tendo em conta que o nível de referência a profundidade de 2 cm. Os valores calculados mostram que para a localidade de Caravelas, na camada entre 2 e 5cm o maior valor de profundidade de amortecimento em relação as das outras estações. E para as camadas entre os níveis de 30,50 e 100cm, os maiores valores calculados são de Caetité e Lençóis. Em Santa Rita de Cássia os valores calculados, entre as camadas, são valores quase que constantes.

Tabela 4.3.a - Profundidade de amortecimento (cm). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC do 1º harmônico. Nível de referência 2 cm de profundidade.

	5	10	20	30	50	100
Caetité-BA	20	222	285	191	234	298
Caravelas-BA	100	127	118	132	168	
Jacobina-BA	82	87	99	132	183	249
Lençóis-BA	30	216	197	197	204	189
S.R. de Cássia-BA	78	47	70	73	62	106

4.3.1 Profundidade de Amortecimento de Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (ciclo anual)

De uma maneira geral, nas tabelas 4.3.b e 4.3.c, observa-se que os valores calculados para Salvador apresentam os maiores valores. No horário das 18 UTC em ambas estações encontramos os valores mais altos e em alguns casos no horário das 24 UTC para as camadas mais profundas.

Tabela 4.3.b - Profundidade de amortecimento (cm). Calculado a partir dos dados médios do horário de 12, 18 e 24UTC do 1º harmônico. Nível de referência 2 cm de profundidade. Localidade Salvador-BA. Média refere-se os valores da média dos horários citado acima.

	5	10	20	30	50	100
12 UTC	20	40	97	130	200	198
18 UTC	123	165	42	96	152	166
24 UTC	54	97	209	*	792	318
MÉDIA	134	142	161	161	226	208

Tabela 4.3.c - Profundidade de amortecimento (cm). Calculado a partir dos dados médios do horário de 12, 18 e 24UTC do 1º harmônico. Nível de referência 2 cm de profundidade. Localidade Sr. do Bonfim-BA. Média refere-se os valores da média dos horários citado acima.

	5	10	20	30	50	100
12 UTC	14	24	57	100	150	169
18 UTC	14	19	28	41	60	103
24 UTC	25	61	138	286	924	474
MÉDIA	23	33	60	87	113	159

4.4 Velocidade de Propagação (ciclo anual)

Os resultados da velocidade de propagação das diversas localidades estudadas no presente trabalho, são mostrados na Tabela 4.4.a. Para a estação localizada em Lençóis, os resultados obtidos são constantes, com exceção da camada superficial, em torno de $0,15 \text{ cmh}^{-1}$. Os menores valores foram encontrados para a localidade de Santa Rita de Cássia, da ordem de $0,050 \text{ cmh}^{-1}$. Valores mais altos foram obtidos para a estação localizada em Caetité, entre 2 e 20cm, e 2 e 100cm da ordem de $0,20 \text{ cmh}^{-1}$. Para as outras localidades os valores situam em média em torno de $0,10 \text{ cmh}^{-1}$.

Tabela 4.4.a - Velocidade de propagação (cmh^{-1}). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC do 1º harmônico. Nível de referência 2cm de profundidade.

	5	10	20	30	50	100
Caetité-BA	0.014	0.159	0.204	0.137	0.168	0.214
Caravelas-BA	0.072	0.091	0.084	0.095	0.121	0.058
Jacobina-BA	0.058	0.062	0.071	0.095	0.131	0.179
Lençóis-BA	0.021	0.155	0.141	0.141	0.146	0.136
S.R. de Cássia-BA	0.056	0.034	0.050	0.052	0.044	0.076

4.4.1 Velocidade de Propagação de Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (ciclo anual)

Os valores obtidos para a estação de Salvador são superiores aos da estação de Senhor do Bonfim, com exceção aos dos níveis de 2 e 50 cm e 2 e 100 cm para o horário das 24 UTC. Outro ponto importante que se notou, foi que os valores obtidos para o horário de 24 UTC são superiores aos dos outros horários, 12 e 18 UTC. Portanto, na média os valores registrados para a estação de Salvador-BA são ligeiramente superiores aos calculados para Sr. do Bonfim. Sabemos que, quanto mais úmido o solo maior a velocidade de propagação da temperatura. Para a localidade de Salvador o número médio de dias com chuva para o período estudado, 1976-1985, foi de 206 dias contra 148 dias de Sr. do Bonfim. O total de chuva anual médio para o período foi de 1949,5 mm para Salvador e 821,0 mm para Sr. do Bonfim. Como mostram estes dados, o solo em Salvador permaneceu com maior tempo e quantidade de umidade.

Tabela 4.4.b - Velocidade de propagação (cmh^{-1}). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24UTC do 1º harmônico. Nível de referência 2cm de profundidade. Localidade: Salvador-BA. Média refere-se os valores da média dos horários citado acima.

	5	10	20	30	50	100
12 UTC	0.014	0.029	0.070	0.093	0.143	0.142
18 UTC	0.089	0.118	0.030	0.069	0.109	0.119
24 UTC	0.039	0.070	0.150	4.196	0.568	0.228
MÉDIA	0.096	0.102	0.116	0.116	0.162	0.149

Tabela 4.4.c - Velocidade de propagação (cmh^{-1}). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 TC do 1º harmônico. Nível de referência 2cm de profundidade. Localidade: Sr. do Bonfim-BA. Média refere-se os valores da média dos horários citados acima.

	5	10	20	30	50	100
12 UTC	0.010	0.017	0.041	0.072	0.108	0.121
18 UTC	0.010	0.013	0.020	0.029	0.043	0.074
24 UTC	0.018	0.043	0.099	0.205	0.662	0.340
MÉDIA	0.016	0.023	0.043	0.062	0.081	0.114

4.5 Amplitude e Fase (Ciclo Anual)

Nas tabelas 4.5.a até 4.5.e observa-se que a amplitude das temperaturas, média diária, onde nota-se que há uma redução com o aumento da profundidade. Em alguns casos estas atingem $3,2^{\circ}\text{C}$, no 1º harmônico na profundidade de 2cm, como em Caravelas, tabela 4.5.c, e em Caetité, tabela 4.5.b, na mesma profundidade e harmônico, não atinge $2,0^{\circ}\text{C}$. Em Jacobina, tabela 4.5.d, observa-se que nos primeiros harmônicos, em todas as profundidades possuem valores entre $3,0^{\circ}\text{C}$ e $4,4^{\circ}\text{C}$. Em Lençóis, tabela 4.5.e, os valores da amplitude variam de $2,0^{\circ}\text{C}$ a $3,4^{\circ}\text{C}$.

Os valores de amplitude e fase do 1º harmônico para a localidade de Santa Rita de Cássia, conforme observa-se na tabela 4.5.a, as amplitudes são bem inferiores as alcançadas em Jacobina, por exemplo, a amplitude alcança $1,1^{\circ}\text{C}$.

Tabela 4.5.a - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: S.R. de Cássia-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	1.08	0.86	0.27	0.08	0.18
	Fase	239	236	24	221	56
5 cm	Amplitude	1.06	0.89	0.22	0.05	0.21
	Fase	252	232	16	197	66
10 cm	Amplitude	0.93	1.00	0.23	0.08	0.15
	Fase	258	230	4	201	68
20 cm	Amplitude	0.84	0.98	0.20	0.13	0.11
	Fase	262	230	3	226	64
30 cm	Amplitude	0.74	0.89	0.25	0.18	0.14
	Fase	263	226	10	231	63
50 cm	Amplitude	0.50	0.84	0.17	0.11	0.10
	Fase	261	221	15	268	46
100 cm	Amplitude	0.43	0.66	0.27	0.21	0.18
	Fase	266	219	59	236	259

Em Caetité (tabela 4.5.b), observa-se que as amplitudes não têm valores elevados, por exemplo no 1º harmônico para a profundidade de 2cm, tem o valor da amplitude de 1,8°C e o seu ângulo de fase tem valor 53°. Observa-se também, que os valores das amplitudes para as profundidades de 5 a 100cm no 1º harmônico, diminuem com a profundidade e a mesma observação se faz com relação ao ângulo de fase.

Tabela 4.5.b - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Caetité -BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	1.80	0.91	0.79	0.21	0.51
	Fase	53	263	45	20	65
5 cm	Amplitude	2.09	0.76	0.68	0.17	0.46
	Fase	54	258	42	13	60
10 cm	Amplitude	1.88	0.67	0.49	0.22	0.35
	Fase	51	256	42	8	72
20 cm	Amplitude	1.72	0.76	0.44	0.10	0.36
	Fase	47	243	46	22	79
30 cm	Amplitude	1.60	0.73	0.42	0.10	0.42
	Fase	45	245	38	3	268
50 cm	Amplitude	1.48	0.66	0.33	0.06	0.45
	Fase	41	239	40	368	257
100 cm	Amplitude	1.29	0.53	0.27	0.07	0.36
	Fase	30	231	22	362	246

Para a localidade de Caravelas (tabela 4.5.c) os resultados apresentados estão na faixa dos valores esperados. No primeiro harmônico, à 2 cm, a amplitude foi de 3,2°C, com ângulo de fase de 49°. Para a profundidade de 50cm, primeiro harmônico, a amplitude foi de 2,4°C e o ângulo de fase de 39°. Para a estação de Jacobina (tabela 4.5.d.) no primeiro harmônico a 2 cm de profundidade, a amplitude foi de 4,4°C e o ângulo de 80°. Para a profundidade de 100cm, a amplitude foi de 2,9°C e o ângulo de fase de 56°. Para a localidade de Lençóis, cujos resultados da amplitude para o 1º harmônico e o ângulo de fase são mostrados na tabela 4.5.e. No primeiro harmônico, a 2 cm de profundidade, a amplitude foi de 3,4 °C e o ângulo de fase de 74°. Para a profundidade de 100cm, mesmas condições, a amplitude foi de 2.0°C e o ângulo de fase de 53°.

Tabela 4.5.c - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$) e fase ($^{\circ}$). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC, do 1 $^{\circ}$ harmônico. Localidade: Caravelas-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	3.2	0.4	0.1	0.1	0.2
	Fase	49	63	204	221	3
5 cm	Amplitude	3.1	0.3	0.0	0.1	0.2
	Fase	49	57	218	215	14
10 cm	Amplitude	3.0	0.3	0.1	0.2	0.2
	Fase	49	77	188	226	9
20 cm	Amplitude	2.8	0.2	0.1	0.1	0.1
	Fase	47	80	192	216	8
30 cm	Amplitude	2.6	0.2	0.1	0.1	0.1
	Fase	45	86	220	233	16
50 cm	Amplitude	2.4	0.2	0.2	0.1	0.1
	Fase	39	260	189	242	58
100 cm	Amplitude					
	Fase					

Tabela 4.5.d - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$) e fase ($^{\circ}$). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC, do 1 $^{\circ}$ harmônico. Localidade: Jacobi-na-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	4.4	0.9	0.1	0.1	0.1
	Fase	80	189	238	220	57
5 cm	Amplitude	4.3	0.9	0.2	0.0	0.2
	Fase	78	188	183	255	32
10 cm	Amplitude	4.1	0.9	0.1	0.0	0.1
	Fase	77	195	187	52	42
20 cm	Amplitude	3.7	0.8	0.1	0.1	0.1
	Fase	75	192	241	38	51
30 cm	Amplitude	3.6	0.8	0.1	0.2	0.1
	Fase	71	200	194	54	27
50 cm	Amplitude	3.4	0.8	0.1	0.1	0.1
	Fase	69	196	218	49	28
100 cm	Amplitude	2.9	0.5	0.1	0.2	0.2
	Fase	56	181	190	31	395

Tabela 4.5.e - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$) e fase ($^{\circ}$). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC, do 1 $^{\circ}$ harmônico. Localidade: Lençóis-BA.

Lençóis Ba

MÉDIA 12-18-24 TMG

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	3.4	0.6	0.1	0.3	0.2
	Fase	74	235	223	261	73
5 cm	Amplitude	3.7	0.4	0.2	0.2	0.2
	Fase	70	250	266	201	239
10 cm	Amplitude	3.3	0.6	0.2	0.2	0.1
	Fase	70	230	212	217	254
20 cm	Amplitude	3.1	0.6	0.2	0.2	0.1
	Fase	68	231	213	227	252
30 cm	Amplitude	2.9	0.6	0.3	0.2	0.1
	Fase	65	229	203	228	258
50 cm	Amplitude	2.6	0.5	0.2	0.2	0.1
	Fase	60	229	199	246	253
100 cm	Amplitude	2.0	0.4	0.1	0.1	0.0
	Fase	53	210	196	264	257

4.5.1 Amplitude e Fase de Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (ciclo anual)

Comparando as amplitudes calculadas, nota-se claramente que os maiores valores estão em Sr. do Bonfim, menores diferenças ocorreram no horário de 24 UTC entre os valores da amplitude para estas duas localidades. A amplitude de Sr. do Bonfim (*tabela 4.6.e*), para o horário das 12 UTC, são maiores em todas as profundidades, de 2 a 100cm, quando comparado as observadas em Salvador (*tabela 4.6.a*). Em Sr. do Bonfim-BA variou de 3,95 $^{\circ}\text{C}$ a 2,18 $^{\circ}\text{C}$ e em Salvador de 2,78 $^{\circ}\text{C}$ a 1,70 $^{\circ}\text{C}$ para o 1 $^{\circ}$ harmônico para as profundidades de 2 a 100cm. Em relação ao ângulo de fase, não se observou grandes diferenças. Para o horário de 18 UTC, verificou-se que o valor da amplitude em Sr. do Bonfim (*tabela 4.6.f*) à 2 cm de profundidade no 1 $^{\circ}$ harmônico, atinge o valor de 6,12 $^{\circ}\text{C}$, enquanto que em Salvador (*tabela 4.6.b*) na mesma posição teve o valor de 3,01 $^{\circ}\text{C}$. Para a profundidade de 100 cm no 1 $^{\circ}$

harmônico, temos os valores de 2,39cm e 1,67cm respectivamente. Os ângulos de fase observados em Sr. do Bonfim, para a camada de 2cm e 1º harmônico foi de 85 graus e em Salvador de 56 graus. Para a profundidade de 100cm temos 50 graus para Sr. do Bonfim, e 33 graus para Salvador. Para o horário de 24 UTC, em Salvador, tabela 4.6.c, a amplitude para a profundidade de 2 cm no 1º harmônico foi de 2,32 °C e para a profundidade de 100cm de 1,69 cm. Em Sr. do Bonfim (tabela 4.6.g) para a profundidade de 2cm no 1º harmônico, o valor encontrado foi de 2,96°C e para 100cm de 2,38°C; observa-se que entre a camada de 2 e 100cm, que há uma maior variação na localidade de Salvador para este horário. Em relação ao ângulo de fase, calculamos para a camada de 2cm no 1º harmônico, para a localidade de Salvador (tabela 4.6.c) 52 graus e para a profundidade de 100 cm 33 graus, e para Sr. do Bonfim, tabela 4.6.g, 69 graus para a profundidade de 2 cm no 1º harmônico e 50 graus para a profundidade de 100 cm.

Tabela 4.6.a - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	2.78	0.40	0.04	0.04	0.16
	Fase	60	214	261	243	30
5 cm	Amplitude	2.41	0.24	0.03	0.05	0.08
	Fase	55	185	13	57	68
10 cm	Amplitude	2.29	0.28	0.05	0.05	0.08
	Fase	55	182	242	73	7
20 cm	Amplitude	2.34	0.18	0.04	0.11	0.11
	Fase	51	207	259	81	20
30 cm	Amplitude	2.28	0.14	0.05	0.07	0.08
	Fase	50	208	7	258	3
50 cm	Amplitude	2.24	0.22	0.07	0.10	0.19
	Fase	48	226	10	270	9
100 cm	Amplitude	1.70	0.10	0.04	0.06	0.03
	Fase	34	207	249	69	256

Tabela 4.6.b - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 18 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	3.01	0.39	0.41	0.33	0.21
	Fase	56	261	80	39	21
5 cm	Amplitude	3.08	0.10	0.08	0.21	0.23
	Fase	31	71	26	49	4
10 cm	Amplitude	2.86	0.07	0.04	0.12	0.26
	Fase	59	32	73	77	15
20 cm	Amplitude	2.43	0.13	0.02	0.13	0.15
	Fase	53	218	2	66	5
30 cm	Amplitude	2.27	0.15	0.02	0.13	0.11
	Fase	50	206	267	82	3
50 cm	Amplitude	2.24	0.15	0.05	0.12	0.14
	Fase	47	238	244	88	25
100 cm	Amplitude	1.67	0.10	0.05	0.08	0.03
	Fase	34	187	193	31	21

Tabela 4.6.c - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Salvador-BA

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	2.32	0.16	0.02	0.12	0.09
	Fase	52	189	46	62	44
5 cm	Amplitude	2.45	0.09	0.06	0.13	0.16
	Fase	54	195	2	75	31
10 cm	Amplitude	2.51	0.07	0.05	0.10	0.15
	Fase	54	235	14	77	17
20 cm	Amplitude	2.52	0.11	0.05	0.09	0.13
	Fase	54	249	386	265	10
30 cm	Amplitude	2.34	0.13	0.02	0.10	0.11
	Fase	52	223	39	261	13
50 cm	Amplitude	2.22	0.18	0.05	0.11	0.18
	Fase	47	233	84	263	22
100 cm	Amplitude	1.69	0.11	0.01	0.07	0.02
	Fase	34	197	199	57	39

Tabela 4.6.d - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	2.70	0.20	0.16	0.15	0.14
	Fase	56	199	80	50	10
5 cm	Amplitude	2.64	0.08	0.05	0.13	0.15
	Fase	56	187	34	59	16
10 cm	Amplitude	2.55	0.09	0.03	0.09	0.16
	Fase	56	182	68	76	14
20 cm	Amplitude	2.43	0.13	0.02	0.11	0.13
	Fase	53	221	20	79	10
30 cm	Amplitude	2.30	0.14	0.02	0.10	0.10
	Fase	51	212	27	268	4
50 cm	Amplitude	2.23	0.18	0.04	0.11	0.17
	Fase	47	232	65	268	18
100 cm	Amplitude	1.69	0.10	0.03	0.07	0.02
	Fase	34	197	197	50	57

Tabela 4.6.e - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Sr. do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	3.95	1.12	0.21	0.23	0.22
	Fase	77	199	185	259	2
5 cm	Amplitude	3.16	0.93	0.16	0.15	0.21
	Fase	72	202	206	256	75
10 cm	Amplitude	2.78	0.80	0.14	0.18	0.22
	Fase	68	208	223	85	12
20 cm	Amplitude	2.82	0.87	0.11	0.07	0.24
	Fase	67	215	203	264	32
30 cm	Amplitude	2.93	0.85	0.13	0.19	0.16
	Fase	67	208	253	239	2
50 cm	Amplitude	2.80	0.82	0.20	0.17	0.18
	Fase	63	211	239	85	54
100 cm	Amplitude	2.18	0.64	0.28	0.34	0.37
	Fase	52	184	269	49	35

Tabela 4.6.f - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 18 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Sr do Bonfim-BA

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	6.12	1.60	0.26	0.42	0.47
	Fase	85	231	222	236	14
5 cm	Amplitude	4.96	1.32	0.26	0.28	0.34
	Fase	9	222	226	236	13
10 cm	Amplitude	4.07	1.13	0.29	0.23	0.31
	Fase	78	226	231	239	360
20 cm	Amplitude	3.36	0.99	0.16	0.16	0.27
	Fase	71	222	215	257	18
30 cm	Amplitude	3.12	0.91	0.21	0.25	0.19
	Fase	70	213	242	270	22
50 cm	Amplitude	2.76	0.78	0.14	0.23	0.20
	Fase	64	206	217	84	46
100 cm	Amplitude	2.39	0.49	0.08	0.16	0.16
	Fase	51	201	263	78	40

Tabela 4.6.g - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	2.96	0.75	0.09	0.11	0.20
	Fase	70	223	205	247	6
5 cm	Amplitude	3.39	0.92	0.14	0.24	0.26
	Fase	73	225	218	258	2
10 cm	Amplitude	3.45	0.96	0.17	0.22	0.24
	Fase	75	225	221	246	2
20 cm	Amplitude	3.41	0.97	0.12	0.15	0.28
	Fase	73	226	208	255	21
30 cm	Amplitude	3.28	0.90	0.17	0.24	0.18
	Fase	71	218	241	253	12
50 cm	Amplitude	2.78	0.82	0.19	0.19	0.24
	Fase	64	212	235	264	34
100 cm	Amplitude	2.38	0.49	0.07	0.16	0.15
	Fase	51	200	255	81	39

Tabela 4.6.h - Amplitude (°C) e fase (°). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC, do 1º harmônico. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	Amplitude	4.32	1.12	0.18	0.25	0.30
	Fase	79	219	205	244	7
5 cm	Amplitude	3.83	1.04	0.19	0.22	0.27
	Fase	76	220	218	248	3
10 cm	Amplitude	3.42	0.96	0.20	0.20	0.25
	Fase	74	221	227	251	4
20 cm	Amplitude	3.20	0.94	0.13	0.12	0.26
	Fase	70	221	210	257	23
30 cm	Amplitude	3.11	0.88	0.17	0.22	0.18
	Fase	69	213	244	255	13
50 cm	Amplitude	2.78	0.81	0.18	0.19	0.20
	Fase	64	209	232	88	44
100 cm	Amplitude	2.31	0.54	0.14	0.22	0.23
	Fase	51	194	265	64	37

4.6 Variância e Variância Acumulada (Ciclo Anual)

A variância e variância acumulada, numa análise geral, os primeiros harmônicos representam a onda de temperatura do solo, embora haja algumas exceções. Em Santa Rita de Cássia (tabela 4.7.a) o primeiro harmônico representa cerca de 50% da onda e somente atingindo a 98% no 4º harmônico, isto se verifica para todas as profundidades. Para a localidade de Caetité (tabela 4.7.b) o 1º harmônico está em torno de 70%, atingindo a 90% somente no terceiro harmônico. Em Caravelas (tabela 4.7.c) o primeiro harmônico representa cerca de 98% da onda de temperatura do solo, o mesmo se verifica para Jacobina (tabela 4.7.d) onde no primeiro harmônico atinge cerca de 95%. Em Lençóis (tabela 4.7.e) o primeiro harmônico atinge 95%, e no segundo quase 100%.

Tabela 4.7.a - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: S.R. de Cássia-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	57.96	36.52	3.58	0.30	1.64
	% Var Ac		94.48	98.05	98.36	100.00
5 cm	% Var	56.04	39.24	2.39	0.12	2.21
	% Var Ac		95.28	97.67	97.79	100.00
10 cm	% Var	44.53	51.25	2.80	0.30	1.12
	% Var Ac		95.78	98.58	98.88	100.00
20 cm	% Var	40.94	55.06	2.37	0.90	0.73
	% Var Ac		96.01	98.37	99.27	100.00
30 cm	% Var	37.52	54.71	4.32	2.15	1.30
	% Var Ac		92.23	96.55	98.70	100.00
50 cm	% Var	25.34	69.70	2.78	1.26	0.93
	% Var Ac		95.04	97.81	99.07	100.00
100 cm	% Var	24.09	56.46	9.55	5.58	4.33
	% Var Ac		80.55	90.10	95.67	100.00

Tabela 4.7.b - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: Caetité-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	64.9	16.5	12.5	0.9	5.2
	% Var Ac		81.4	93.9	94.8	100.0
5 cm	% Var	77.2	10.3	8.2	0.5	3.8
	% Var Ac		87.5	95.7	96.2	100.0
10 cm	% Var	80.5	10.2	5.4	1.1	2.9
	% Var Ac		90.6	96.0	97.1	100.0
20 cm	% Var	76.3	15.1	5.1	0.2	3.3
	% Var Ac		91.4	96.5	96.7	100.0
30 cm	% Var	74.0	15.4	5.2	0.3	5.2
	% Var Ac		89.3	94.5	94.8	100.0
50 cm	% Var	74.6	14.8	3.8	0.1	6.7
	% Var Ac		89.4	93.1	93.3	100.0
100 cm	% Var	77.2	13.1	3.4	0.2	6.1
	% Var Ac		90.3	93.6	93.9	100.0

Tabela 4.7.c - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: Caravelas-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	97.8	1.7	0.0	0.2	0.3
	% Var Ac		99.5	99.5	99.7	100.0
5 cm	% Var	98.3	1.0	0.0	0.2	0.5
	% Var Ac		99.3	99.3	99.5	100.0
10 cm	% Var	98.3	0.9	0.1	0.3	0.3
	% Var Ac		99.3	99.4	99.7	100.0
20 cm	% Var	98.8	0.7	0.0	0.2	0.2
	% Var Ac		99.6	99.6	99.8	100.0
30 cm	% Var	99.1	0.4	0.1	0.3	0.1
	% Var Ac		99.5	99.6	99.9	100.0
50 cm	% Var	98.5	0.8	0.4	0.3	0.1
	% Var Ac		99.3	99.7	99.9	100.0
100 cm	% Var					
	% Var Ac					

Tabela 4.7.d - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: Jacobina-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	96.1	3.7	0.0	0.0	0.1
	% Var Ac		99.9	99.9	99.9	100.0
5 cm	% Var	95.3	4.3	0.1	0.0	0.2
	% Var Ac		99.7	99.8	99.8	100.0
10 cm	% Var	95.3	4.5	0.1	0.0	0.1
	% Var Ac		99.8	99.9	99.9	100.0
20 cm	% Var	95.3	4.5	0.1	0.0	0.1
	% Var Ac		99.8	99.9	99.9	100.0
30 cm	% Var	94.7	4.9	0.0	0.2	0.1
	% Var Ac		99.7	99.7	99.9	100.0
50 cm	% Var	95.0	4.7	0.1	0.1	0.1
	% Var Ac		99.8	99.9	99.9	100.0
100 cm	% Var	96.5	2.6	0.0	0.6	0.3
	% Var Ac		99.1	99.2	99.7	100.0

Tabela 4.7.e - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: Lençóis-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	96.1	2.7	0.0	0.9	0.2
	% Var Ac		98.8	98.9	99.8	100.0
5 cm	% Var	97.8	1.2	0.4	0.3	0.4
	% Var Ac		99.0	99.3	99.6	100.0
10 cm	% Var	95.4	3.6	0.4	0.4	0.2
	% Var Ac		99.0	99.4	99.8	100.0
20 cm	% Var	94.9	4.0	0.5	0.5	0.0
	% Var Ac		98.9	99.4	100.0	100.0
30 cm	% Var	94.9	3.7	0.7	0.7	0.1
	% Var Ac		98.6	99.3	99.9	100.0
50 cm	% Var	95.3	3.5	0.7	0.5	0.0
	% Var Ac		98.8	99.5	100.0	100.0
100 cm	% Var	95.5	3.8	0.4	0.2	0.0
	% Var Ac		99.3	99.8	100.0	100.0

4.6.1 - Variância e Variância Acumulada de Salvador-BA e Sr. do Bonfim-BA (ciclo anual)

Em relação a porcentagem da variância e variância acumulada, a resposta para os dados de temperatura do solo, para Salvador, atinge valores da ordem de 95%, conforme se observa nas tabelas 4.8.a a 4.8.d, no primeiro harmônico. Para Sr. do Bonfim, a porcentagem da variância e variância acumulada, como se observa nas tabelas 4.8.e a 4.8.h, situa-se em torno de 90% no primeiro harmônico.

Tabela 4.8.a - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12 UTC. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	97.65	1.97	0.02	0.02	0.33
	% Var Ac		99.63	99.65	99.67	100.00
5 cm	% Var	98.84	0.98	0.01	0.05	0.12
	% Var Ac		99.82	99.83	99.88	100.00
10 cm	% Var	98.36	1.44	0.04	0.04	0.12
	% Var Ac		99.80	99.84	99.88	100.00
20 cm	% Var	98.95	0.61	0.03	0.20	0.21
	% Var Ac		99.56	99.59	99.79	100.00
30 cm	% Var	99.36	0.38	0.06	0.10	0.11
	% Var Ac		99.74	99.79	99.89	100.00
50 cm	% Var	98.08	0.91	0.11	0.19	0.71
	% Var Ac		98.99	99.10	99.29	100.00
100 cm	% Var	99.46	0.33	0.05	0.13	0.03
	% Var Ac		99.79	99.84	99.97	100.00

Tabela 4.8.b - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 18 UTC. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	94.99	1.61	1.76	1.17	0.47
	% Var Ac		96.61	98.36	99.53	100.00
5 cm	% Var	98.83	0.10	0.07	0.46	0.54
	% Var Ac		98.92	99.00	99.46	100.00
10 cm	% Var	98.93	0.06	0.02	0.18	0.80
	% Var Ac		98.99	99.02	99.20	100.00
20 cm	% Var	99.02	0.29	0.01	0.29	0.39
	% Var Ac		99.31	99.32	99.61	100.00
30 cm	% Var	99.01	0.45	0.00	0.31	0.22
	% Var Ac		99.46	99.47	99.78	100.00
50 cm	% Var	98.85	0.43	0.06	0.28	0.38
	% Var Ac		99.28	99.34	99.62	100.00
100 cm	% Var	99.28	0.37	0.09	0.24	0.03
	% Var Ac		99.65	99.73	99.97	100.00

Tabela 4.8.c - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 24 UTC. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	99.07	0.50	0.01	0.26	0.16
	% Var Ac		99.57	99.58	99.84	100.00
5 cm	% Var	99.11	0.15	0.07	0.28	0.40
	% Var Ac		99.26	99.32	99.60	100.00
10 cm	% Var	99.37	0.08	0.04	0.17	0.35
	% Var Ac		99.44	99.48	99.65	100.00
20 cm	% Var	99.41	0.18	0.03	0.12	0.25
	% Var Ac		99.59	99.62	99.75	100.00
30 cm	% Var	99.30	0.32	0.01	0.18	0.20
	% Var Ac		99.62	99.62	99.80	100.00
50 cm	% Var	98.47	0.62	0.06	0.24	0.61
	% Var Ac		99.09	99.15	99.39	100.00
100 cm	% Var	99.42	0.40	0.00	0.17	0.01
	% Var Ac		99.82	99.82	99.99	100.00

Tabela 4.8.d - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12,18 e 24 UTC. Localidade: Salvador-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	98.58	0.52	0.33	0.32	0.25
	% Var Ac		99.10	99.43	99.75	100.00
5 cm	% Var	99.31	0.09	0.04	0.23	0.33
	% Var Ac		99.40	99.44	99.67	100.00
10 cm	% Var	99.34	0.11	0.02	0.13	0.40
	% Var Ac		99.46	99.47	99.60	100.00
20 cm	% Var	99.22	0.30	0.01	0.19	0.28
	% Var Ac		99.53	99.53	99.72	100.00
30 cm	% Var	99.26	0.37	0.01	0.18	0.17
	% Var Ac		99.64	99.65	99.83	100.00
50 cm	% Var	98.55	0.63	0.04	0.24	0.55
	% Var Ac		99.18	99.22	99.45	100.00
100 cm	% Var	99.45	0.36	0.02	0.16	0.01
	% Var Ac		99.80	99.83	99.99	100.00

Tabela 4.8.e- Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12 UTC. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	91.80	7.34	0.25	0.32	0.29
	% Var Ac		99.14	99.39	99.71	100.00
5 cm	% Var	91.24	7.93	0.23	0.21	0.39
	% Var Ac		99.17	99.40	99.61	100.00
10 cm	% Var	91.16	7.64	0.24	0.37	0.59
	% Var Ac		98.80	99.04	99.41	100.00
20 cm	% Var	90.61	8.55	0.13	0.05	0.66
	% Var Ac		99.16	99.29	99.34	100.00
30 cm	% Var	91.46	7.68	0.19	0.39	0.29
	% Var Ac		99.13	99.32	99.71	100.00
50 cm	% Var	91.03	7.80	0.48	0.33	0.36
	% Var Ac		98.83	99.31	99.64	100.00
100 cm	% Var	86.38	7.59	1.41	2.13	2.50
	% Var Ac		93.96	95.37	97.50	100.00

Tabela 4.8.f - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 18 UTC. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	92.55	6.30	0.16	0.43	0.55
	% Var Ac		98.85	99.01	99.45	100.00
5 cm	% Var	92.40	6.59	0.26	0.30	0.45
	% Var Ac		99.00	99.26	99.55	100.00
10 cm	% Var	91.59	7.13	0.48	0.28	0.52
	% Var Ac		98.72	99.20	99.48	100.00
20 cm	% Var	91.09	7.93	0.21	0.20	0.57
	% Var Ac		99.02	99.23	99.43	100.00
30 cm	% Var	90.93	7.75	0.40	0.59	0.33
	% Var Ac		98.68	99.07	99.67	100.00
50 cm	% Var	91.41	7.27	0.24	0.62	0.47
	% Var Ac		98.67	98.91	99.53	100.00
100 cm	% Var	95.06	3.97	0.10	0.45	0.42
	% Var Ac		99.04	99.13	99.58	100.00

Tabela 4.8.g- Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 24 UTC. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	93.33	6.02	0.09	0.13	0.43
	% Var Ac		99.35	99.44	99.57	100.00
5 cm	% Var	92.05	6.77	0.15	0.48	0.56
	% Var Ac		98.82	98.97	99.44	100.00
10 cm	% Var	91.91	7.06	0.22	0.38	0.43
	% Var Ac		98.97	99.19	99.57	100.00
20 cm	% Var	91.67	7.45	0.11	0.18	0.60
	% Var Ac		99.11	99.22	99.40	100.00
30 cm	% Var	92.06	6.89	0.26	0.51	0.28
	% Var Ac		98.95	99.21	99.72	100.00
50 cm	% Var	90.54	7.96	0.43	0.41	0.66
	% Var Ac		98.50	98.93	99.34	100.00
100 cm	% Var	95.03	4.04	0.07	0.46	0.40
	% Var Ac		99.07	99.14	99.60	100.00

Tabela 4.8.h - Porcentagem da Variância (%Var) e Porcentagem da Variância Acumulada (%Var Ac). Calculado a partir dos dados médios dos horários de 12, 18 e 24 UTC. Localidade: Sr do Bonfim-BA.

Prof./Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.
2 cm	% Var	92.84	6.26	0.16	0.31	0.43
	% Var Ac		99.10	99.26	99.57	100.00
5 cm	% Var	92.24	6.13	0.22	0.31	0.45
	% Var Ac		99.03	99.24	99.55	100.00
10 cm	% Var	91.70	7.16	0.32	0.32	0.50
	% Var Ac		98.86	99.18	99.50	100.00
20 cm	% Var	91.21	7.91	0.14	0.14	0.60
	% Var Ac		99.11	99.26	99.40	100.00
30 cm	% Var	91.57	7.39	0.28	0.47	0.29
	% Var Ac		98.96	99.23	99.71	100.00
50 cm	% Var	91.05	7.67	0.37	0.44	0.48
	% Var Ac		98.71	99.08	99.52	100.00
100 cm	% Var	92.97	4.98	0.34	0.81	0.90
	% Var Ac		97.95	98.29	99.10	100.00

4.7 - Análise dos Dados (ciclo diário)

Os resultados do ciclo diário demonstraram as diferenças entre o comportamento das temperaturas do solo em dias com parâmetros meteorológicos contrastantes. No dia 08 de julho de 1992, dia com céu claro e sem precipitação, portanto com o solo com menos umidade (ver fig. A.1 e A.5) tem marcante diferença para o dia 10 de agosto de 1992, dia com precipitação (ver fig. A.2, A.7 e A.9). Para o dia 06 de fevereiro de 1993, época de bastante insolação neste hemisfério (ver fig. A.4 e A.8), fica evidente a influência de vários parâmetros meteorológicos, no comportamento do ciclo da temperatura do solo. O primeiro aspecto que se nota, são os perfis da temperatura do solo nos dias selecionados para análise, bastante diferenciados entre si. Verificou-se que no dia 10 de agosto, as maiores amplitudes, por exemplo, na profundidade de 5cm, não atingiu 1,0°C (tab. 4.11.b), mas no dia 06 de fevereiro (tab. 4.11.d) as maiores ultrapassaram 4,0°C. As diferenças dos dias relatados acima, no que se refere aos parâmetros meteorológicos, se verificou na difusividade térmica aparente, em todos os métodos calculados no presente trabalho. Outro aspecto que se notou para a camada de 5 a 50cm, foi quanto à velocidade de propagação, que no dia com precipitação apresentou valores superiores aos dias secos, independente do dia ser do período de inverno ou verão. Em relação a profundidade de amortecimento, apresentou valores um pouco superiores no dia com precipitação. Na análise de variância, nos dias úmidos, são necessários mais harmônicos para representar a curva da temperatura do solo.

Nas figuras 4.9.a até 4.9.h, foram mostrados os gráficos dos dias escolhidos para fazer a análise do ciclo diário do comportamento térmico do solo, com dois dias sem precipitação e um com precipitação, e um dia sem precipitação logo após o dia com precipitação. Nota-se claramente que no inverno num dia sem precipitação, os valores da temperatura do ar a 5 cm acima do solo atinge 30,0°C no dia 08 de julho de 1992 e 43,0° C no dia 06 de fevereiro de 1993, no verão. No dia com precipitação não alcança 26,0°C, observando que neste dia ocorre

uma aproximação da temperatura do ar com a do solo à 5cm de profundidade, fato este que não se observa nos outros dias.

Observa-se nos gráficos, fig. 4.9.a a 4.9.h, onde mostrou-se a temperatura do ar à 5cm acima do solo e as temperaturas do solo nas profundidades de 5, 20 e 50cm, nos intervalos de 20 em 20 minutos e hora em hora. Na figura 4.9.a, do dia 08 de julho de 1992 que a temperatura do ar à 5cm acima do solo, foi máxima logo após às 10:00 h, no valor de 29,6°C, a profundidade do solo mais próxima da superfície, 5cm, a temperatura máxima atingiu 28,9 °C às 15:10 h, resultando numa variação de 0,7°C com a defasagem de 5 horas. Na profundidade seguinte, temos a temperatura do solo à 20cm, com o máximo atingindo 26,7°C às 17:30 h, numa diferença de 2,3°C em 2 h e 30 minutos e a camada de 50cm onde a temperatura quase não oscilou, permanecendo em torno de 25,6°C. Para o dia 10 de agosto de 1992 (figura 4.9.c) dia com precipitação, os valores máximos nas diversas posições quase não tiveram diferença, por exemplo, à 5cm acima da superfície do solo a temperatura esteve a 26,2°C às 12:30 h, na profundidade de 5cm do solo em 26,0°C às 14:10 h, à 20 cm em 25,1°C às 15:10 h e à 50cm a temperatura do solo permaneceu em torno de 25,1°C. No dia 11 de agosto de 1992 (figura 4.9.e) dia posterior ao dia com precipitação, as temperaturas estiveram ligeiramente superiores, na altura de 5cm acima do solo em 27,9°C ao meio-dia, na profundidade de 5cm do solo em 27,6°C às 14:30 h, à 20cm a temperatura máxima atingiu 25,6°C às 17:30 h e a 50cm a temperatura ficou em torno de 24,7°C. No dia 06 de fevereiro de 1993 (figura 4.9.g) portanto no período de verão no hemisfério sul, a temperatura do ar à 5 cm acima do solo atingiu 44.4 °C às 12: 50 h, à 5cm de profundidade no solo à 39,8 °C às 15:30 h, à 20cm o máximo atingiu 35,1°C às 19:30 h e a 50cm a temperatura ficou em torno de 31,8 °C.

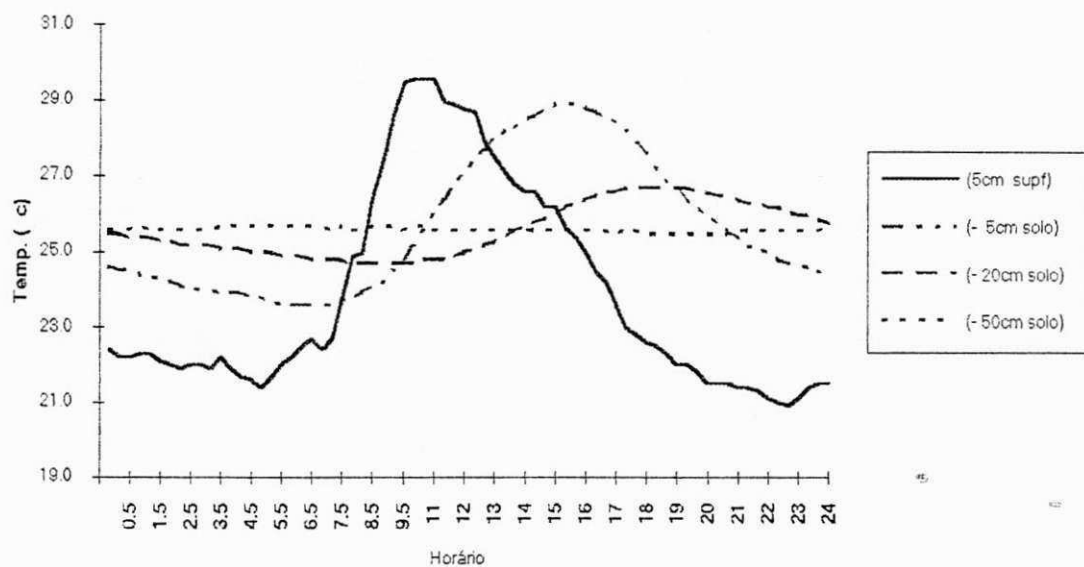


Figura 4.9.a- Temperatura do ar e do solo ($^{\circ}$ C) de Salvador-BA, do dia 08/07/92, de 20 em 20 minutos. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

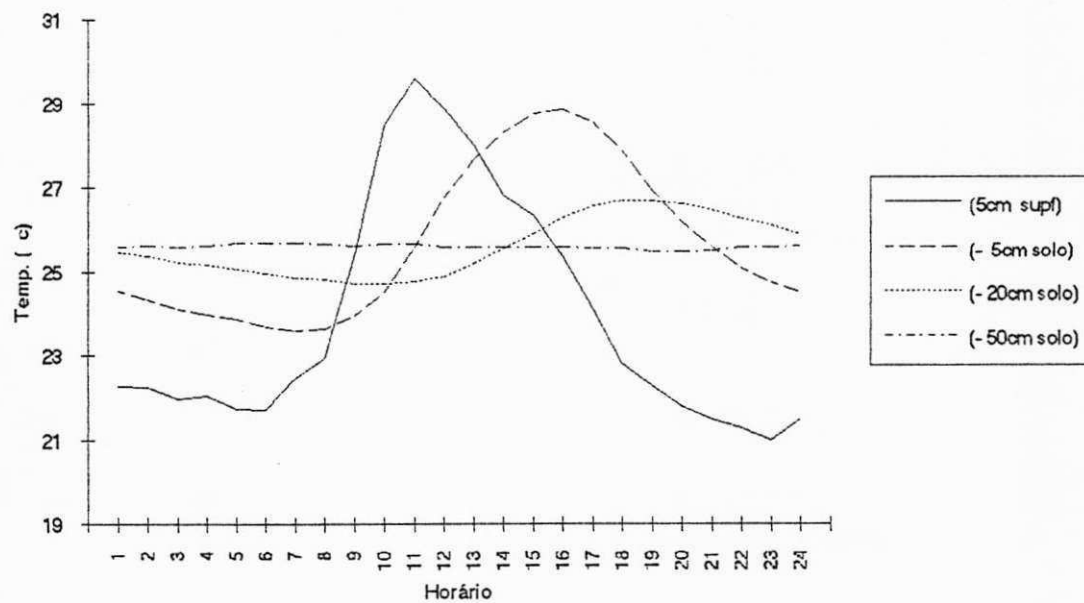


Figura 4.9.b- Temperatura do ar e do solo ($^{\circ}$ C) de Salvador-BA, do dia 08/07/92, de hora em hora. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

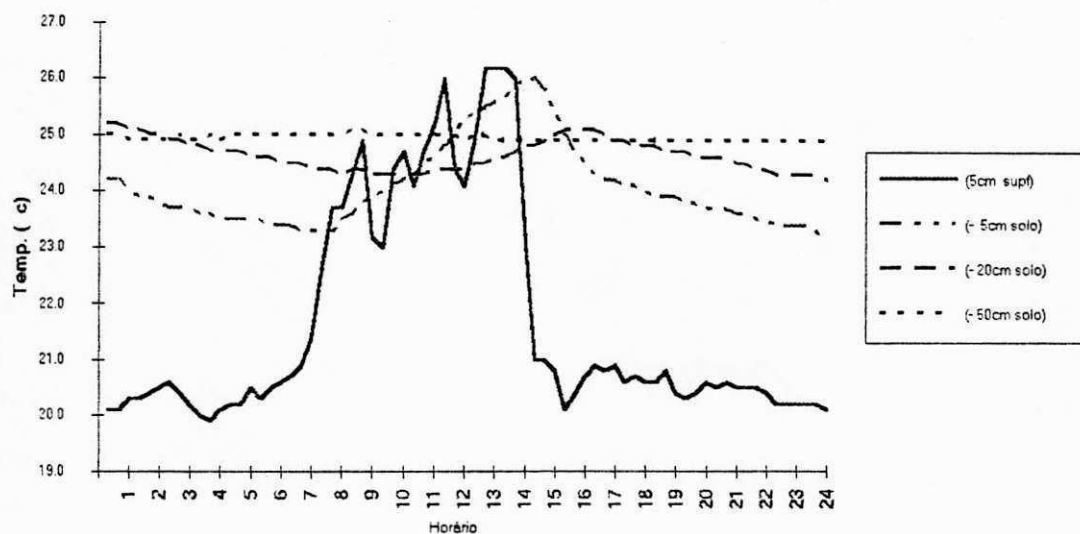


Figura 4.9.c- Temperatura do ar e do solo (° C) de Salvador-BA, do dia 10/08/92, de 20 em 20 minutos. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

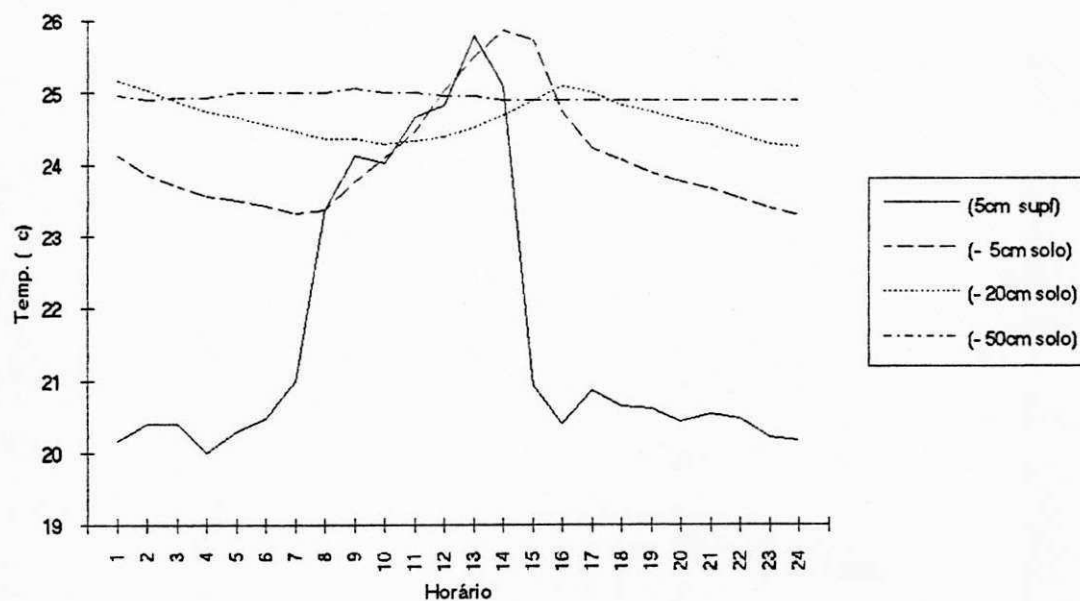


Figura 4.9.d- Temperatura do ar e do solo (° C) de Salvador-BA, do dia 10/08/92, de hora em hora. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

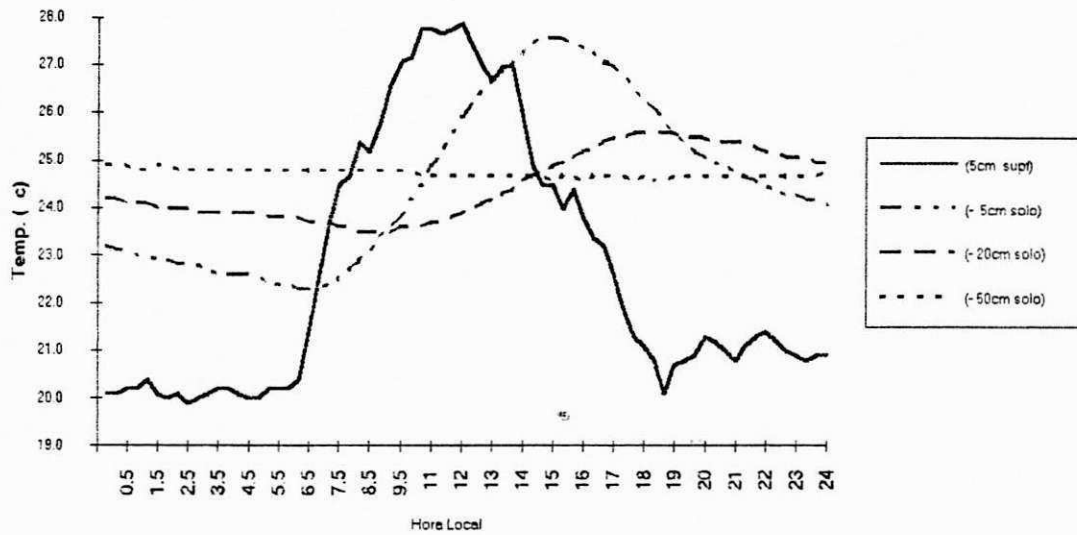


Figura 4.9.e - Temperatura do ar e do solo (° C) de Salvador-BA, do dia 11/08/92, de 20 em 20 minutos. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

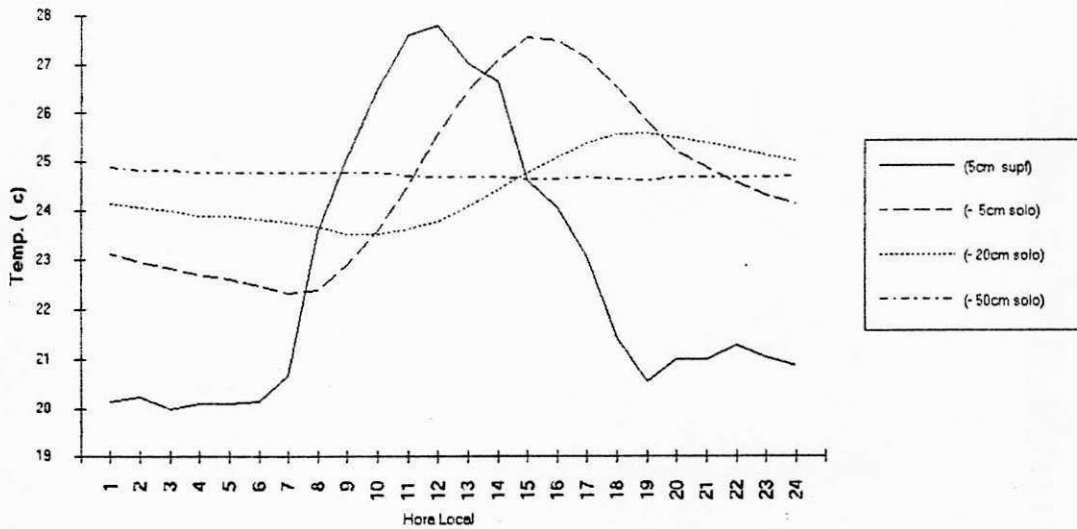


Figura 4.9.f - Temperatura do ar e do solo (° C) de Salvador-BA, do dia 11/08/92, de hora em hora. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

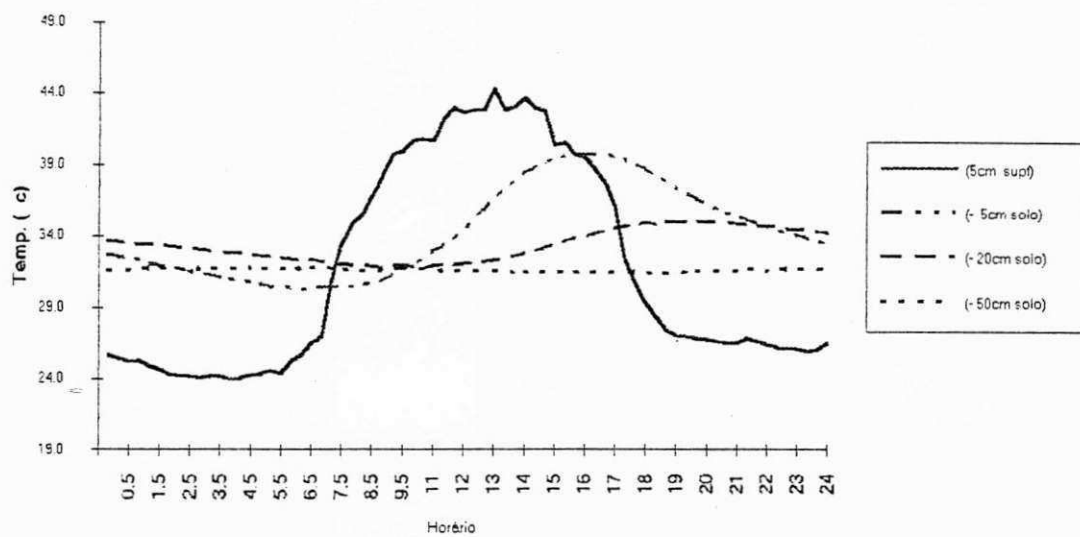


Figura 4.9.g- Temperatura do ar e do solo ($^{\circ}$ C) de Salvador-BA, do dia 06/02/93, de 20 em 20 minutos. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

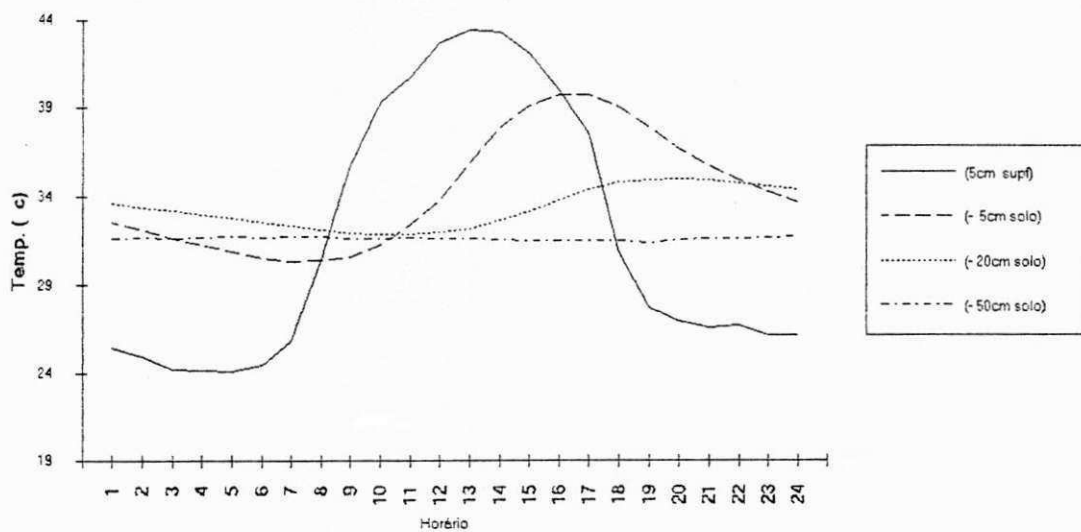


Figura 4.9.h- Temperatura do ar e do solo ($^{\circ}$ C) de Salvador-BA, do dia 06/02/93, de hora em hora. Do lado direito está indicado a altura e as profundidades.

4.7.1 Difusividade Térmica Aparente (ciclo diário)

Os valores calculados são resultados da média do dia, obedecendo os critérios de cada método, a partir dos dados obtidos em intervalos de vinte em vinte minutos. Os métodos não são idênticos, mas guardam uma certa semelhança, como por exemplo, o método da amplitude com o da fase, onde a razão entre as amplitudes é substituída pelo intervalo de tempo entre as temperaturas máximas. Entre o método da equação logarítmica e arcotangente as semelhanças são evidentes, inclusive no tocante ao intervalo de tempo utilizado entre as diversas profundidades.

No dia 08/07/92, dia sem precipitação, a difusividade térmica aparente, está representada na tabela 4.9.a, para os diversos métodos calculados. Notamos que os métodos da amplitude, arcotangente e logarítmica entre os níveis de 5 e 20cm, tiveram valores de K aproximadamente iguais ($0,01\text{cm}^2\text{s}^{-1}$). Enquanto que, pela equação da fase o valor de K foi 30% maior. Entre os níveis de 20 e 50cm, somente os métodos da equação da amplitude e equação logarítmica, resultaram em valores aproximados. A equação da fase resultou num valor três vezes maior do que aquele obtido pela equação da amplitude e o valor obtido pelo método do arcotangente, podendo ser considerado como inconsistente. Para a camada entre 5 e 50cm, novamente a equação da amplitude e equação logarítmica, obtiveram resultados coincidentes e o método numérico um resultado ligeiramente superior. O valor apresentado pela equação arcotangente mostra-se inconsistente.

Tabela 4.9.a - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), diversos métodos de cálculo, de Salvador-BA, do dia 08/07/92.

	5-20	20-50	5-50
Eq. da Amplitude	0.0098	0.0046	0.0057
Eq. da Fase	0.0133	0.0149	0.0143
Eq. Arcotangente	0.0102	0.2259	0.1884
Eq. Logarítmica	0.0091	0.0044	0.0055
Método Numérico	-	-	0.0074

No dia 10/08/92, a precipitação ocorrida foi de 45,0 mm, sendo registrados os maiores valores no período entre 13 e 16 horas (fig. A.9). Na tabela 4.9.b, apresenta-se os resultados para este dia. Os resultados obtidos em função deste fenômeno, indicam que alterou consideravelmente os valores obtidos e não houve concordância entre eles na camada entre 5 e 20cm. Os métodos da equação logarítmica e arcotangente, na camada entre 20 e 50cm, obtiveram valores aproximados e a equação da fase valor bem reduzidos, se comparada aos outros métodos e o método da amplitude superior a todos os outros. Para a camada entre 5 e 50cm, os resultados calculados tiveram resultados semelhante, a exceção da equação arcotangente.

Tabela 4.9.b - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), diversos métodos de cálculo, de Salvador-BA, do dia 10/08/92.

	5-20	20-50	5-50
Eq. da Amplitude	0.0024	0.0559	0.0109
Eq. da Fase	0.1194	0.0089	0.0155
Eq. Arcotangente	0.0114	0.0410	0.0465
Eq. Logarítmica	0.0228	0.0375	0.0116
Método Numérico	-	-	0.0128

Para o dia 11/08/92, um dia após a precipitação, com o solo indicando que ainda estivesse úmido, os cálculos foram realizados e os resultados foram semelhantes em todos os métodos para a camada de 5 e 20cm em torno de $10,0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$, conforme observa-se na tabela 4.9.c. Para a camada entre 20 e 50cm, os resultados são semelhantes para o método da amplitude e equação logarítmica, e os outros métodos os resultados foram inconsistentes. Para a o nível entre 5 e 50cm os resultados das equações da amplitude, logarítmica e numérico são semelhantes, e da fase o dobro destes e o arcotangente pode ser considerado inconsistente.

Tabela 4.9.c - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), diversos métodos de cálculo, de Salvador-BA, do dia 11/08/92.

	5-20	20-50	5-50
Eq. da Amplitude	0.0109	0.0053	0.0065
Eq. da Fase	0.0133	0.1326	0.0133
Eq. Arcotangente	0.0126	0.0578	0.3394
Eq. Logaritmica	0.0108	0.0056	0.0067
Método Numérico	-	-	0.0088

Para o dia 06/02/93, sem precipitação há vários dias e também um mês de período de verão, os resultados são apresentados na tabela 4.9.d. Os valores da difusividade térmica aparente foram bem aproximados e com valor 50% menor para o método da equação logarítmica, para a camada entre as profundidades de 5 e 20cm. Para a camada entre 20 e 50cm obtive-se dois pares de resultados coincidentes: nos métodos da equação da amplitude e logarítmica e entre as equações da fase e arcotangente. Entretanto, os resultados são bastante distintos, sendo os primeiros cinco vezes menor que os últimos. Para a camada entre as profundidades de 5 e 50cm, o fato observado na camada anterior se repete entre os métodos relatados e o método numérico. Substituindo a equação do arcotangente no par pelo método numérico, o primeiro foi bem diferente dos calculados pelos outros métodos. Os valores obtidos nos primeiros pares relatados foram cerca de três vezes menores que o outro par.

Tabela 4.9.d - Difusividade térmica aparente (cm^2s^{-1}), diversos métodos de cálculo, de Salvador-BA, do dia 06/02/93.

	5-20	20-50	5-50
Eq. da Amplitude	0.0075	0.0047	0.0054
Eq. da Fase	0.0089	0.0254	0.0168
Eq. Arcotangente	0.0103	0.0237	0.2268
Eq. Logaritmica	0.0039	0.0048	0.0055
Método Numérico	-	-	0.0144

4.7.2 - Profundidade de amortecimento e velocidade de propagação (ciclo diário)

Para os dias sem precipitação, os valores calculados para a profundidade de amortecimento foram bastante próximos um do outro, tanto para a camada de 5-20cm quanto para a de 5-50cm. Nos dias com precipitação, obteve-se um valor de 50% menor para a camada de 5-20 cm em relação aos dias sem precipitação. Para a camada entre 5 e 50cm o valor para o dia com precipitação foi de 17,0cm e nos outros dias uma média foi de 13,0cm.

Em relação à velocidade de propagação, observou-se nas tabelas 4.10.a, 4.10.b, 4.10.c e 4.10.d, que os valores nos dias sem precipitação para a camada entre 5 e 20cm são muito semelhantes e para o dia 10/08/92, com precipitação, os valores foram 50% menor.

Tabela 4.10.a - Profundidade de amortecimento (cm) e velocidade de propagação (cmh⁻¹), de Salvador-BA, do dia 08/07/92.

	5-20	5-50
Prof. de Amortecimento (cm)	16	13
Veloc. de Propagação (cm/h)	4.3	3.3

Tabela 4.10.b - Profundidade de amortecimento (cm) e velocidade de propagação (cmh⁻¹), de Salvador-BA, do dia 10/08/92.

	5-20	5-50
Prof. de Amortecimento (cm)	8	17
Veloc. de Propagação (cm/h)	2.1	4.5

Tabela 4.10.c - Profundidade de amortecimento (cm) e velocidade de propagação (cmh⁻¹), de Salvador-BA, do dia 11/08/92.

	5-20	5-50
Prof. de Amortecimento (cm)	17	13
Veloc. de Propagação (cm/h)	4.5	3.5

Tabela 4.10.d - Profundidade de amortecimento (cm) e velocidade de propagação (cmh⁻¹), de Salvador-BA, do dia 06/02/93.

	5-20	5-50
Prof. de Amortecimento (cm)	14	12
Veloc. de Propagação (cm/h)	3.8	3.2

4.7.3 - Amplitude e Fase (ciclo diário)

Como se observa nas tabelas 4.11.a, 4.11.b, 4.11.c e 4.11.d, os valores da amplitude para os dias sem precipitação para o 1º harmônico na camada de 5cm no dia 08/07/92 foram de 2,40°C, no dia 11/08/92 de 2,39°C, no dia 06/02/93 de 4,38 e no dia com precipitação dia 10/08/92 de 0,8°C. Deduzi-se que houve uma forte influência da umidade na temperatura do solo, como mostra a amplitude desta profundidade. Nas outras profundidades, os valores para os dias sem precipitação foram semelhantes e do mesmo modo proporcionalmente refletiu a análise acima. Para a profundidade de 50cm, a influência foi bem menor e em todos os dias os valores foram bem reduzidos. A fase do primeiro harmônico para o dia 08/07/92, na profundidade de 5cm, foi de 206 graus, para o dia 10/08/92 foi de 247 graus, dia 11/08/92 de 202 graus e 06/02/93 de 187 graus. Nota-se que para o dia com precipitação, a fase no primeiro harmônico foi maior do que a observada no outros dias.

Tabela 4.11.a - Amplitude (° C) e fase (°), de Salvador-BA, do dia 08/07/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	Amplitude	2.40	0.88	0.07	0.06	0.06	0.04
	Fase	206.30	4.80	200.14	85.69	78.87	8.13
20 cm	Amplitude	0.96	0.23	0.04	0.03	0.02	0.01
	Fase	205.42	267.96	250.11	204.79	209.56	233.13
50 cm	Amplitude	0.07	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
	Fase	15.64	15.00	237.51	216.59	9.70	255.96

Tabela 4.11.b - Amplitude (° C) e fase (°), de Salvador-BA, do dia 10/08/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	Amplitude	0.82	0.60	0.15	0.19	0.09	0.09
	Fase	236.73	33.82	216.01	32.20	47.78	76.37
20 cm	Amplitude	0.13	0.29	0.10	0.08	0.10	0.07
	Fase	214.99	23.39	14.97	45.82	30.68	27.65
50 cm	Amplitude	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
	Fase	31.09	184.63	18.43	90.00	52.99	0.00

Tabela 4.11.c - Amplitude (° C) e fase (°), de Salvador-BA, do dia 11/08/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof.).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	Amplitude	2.39	0.64	0.21	0.12	0.04	0.04
	Fase	202	11	197	207	224	225
20 cm	Amplitude	1.00	0.21	0.10	0.07	0.05	0.04
	Fase	205	250	217	229	210	212
50 cm	Amplitude	0.08	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
	Fase	16	37	24	39	17	23

Tabela 4.11.d - Amplitude (° C) e fase (°), de Salvador-BA, do dia 06/02/93. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	Amplitude	4.38	1.22	0.35	0.05	0.09	0.03
	Fase	187.19	25.20	241.23	193.00	216.51	204.44
20 cm	Amplitude	1.55	0.33	0.04	0.07	0.03	0.04
	Fase	224.53	242.54	86.17	219.28	190.79	228.01
50 cm	Amplitude	0.11	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
	Fase	13.83	232.91	200.98	202.41	266.87	225.00

4.7.4 Variância e Variância Acumulada (ciclo diário)

Para as profundidades de 5cm e 20cm, nos dias sem precipitação, a variância mostra que o primeiro harmônico representa mais de 90% da onda da temperatura no solo, e que para representar a camada mais profunda, no caso de 50cm, são necessários até o quarto harmônico para representar este mesmo percentual. Para o dia com precipitação, são necessários vários harmônicos para representar a onda da temperatura no solo, somente no quarto ou quinto harmônico se alcança o percentual registrado nos outros dias, conforme se observa nas tabelas 4.12.a a 4.12.d.

Tabela 4.12.a - Porcentagem da variância (% Var) e Porcentagem da variância acumulada (% Var Ac), de Salvador-BA, do dia 08/07/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	% Var	88.00	11.77	0.08	0.06	0.06	0.02
	% Var Ac		99.77	99.85	99.92	99.98	100.00
20 cm	% Var	94.11	5.61	0.14	0.07	0.05	0.02
	% Var Ac		99.72	99.86	99.93	99.98	100.00
50 cm	% Var	78.46	0.51	9.81	7.84	1.03	2.34
	% Var Ac		78.97	88.78	96.63	97.66	100.00

Tabela 4.12.b - Porcentagem da variância (% Var) e Porcentagem da variância acumulada (% Var Ac), de Salvador-BA, do dia 10/08/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	% Var	60.9	32.3	2.0	3.2	0.8	0.8
	% Var Ac		93.2	95.2	98.4	99.2	100.0
20 cm	% Var	13.0	63.3	8.1	4.8	7.6	3.3
	% Var Ac		76.3	84.3	89.1	96.7	100.0
50 cm	% Var	82.8	10.6	0.9	0.7	0.7	4.3
	% Var Ac		93.4	94.3	95.0	95.7	100.0

Tabela 4.12.c - Porcentagem da variância (% Var) e Porcentagem da variância acumulada (% Var Ac), de Salvador-BA, do dia 11/08/92. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Har.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	% Var	92.3	6.7	0.7	0.2	0.0	0.0
	% Var Ac		99.0	99.7	100.0	100.0	100.0
20 cm	% Var	94.1	4.2	0.9	0.4	0.2	0.2
	% Var Ac		98.3	99.2	99.6	99.8	100.0
50 cm	% Var	81.2	1.7	6.9	2.8	2.1	5.3
	% Var Ac		82.9	89.8	92.6	94.7	100.0

Tabela 4.12.d - Porcentagem da variância (% Var) e Porcentagem da variância acumulada (% Var Ac), de Salvador-BA, do dia 06/02/93. Harmônico (Har) e profundidade (Prof).

Prof/Ha.		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
5 cm	% Var	92.2	7.2	0.6	0.0	0.0	0.0
	% Var Ac		99.4	99.9	100.0	100.0	100.0
20 cm	% Var	95.2	4.4	0.1	0.2	0.0	0.1
	% Var Ac		99.6	99.7	99.9	99.9	100.0
50 cm	% Var	79.4	7.5	7.3	2.2	2.8	0.9
	% Var Ac		86.9	94.2	96.3	99.1	100.0

5. CONCLUSÕES

- O perfil da temperatura dos solo para as diversas localidades estudadas tem comportamento semelhante ao longo do ano. Na localidade de S.R. de Cássia, observou-se um perfil um pouco diferente das demais localidades do presente estudo. Isto refletiu na difusividade térmica, amplitude e fase; por exemplo, à 2 cm, a variância e variância acumulada no primeiro harmônico atingiu 57% e no segundo 36%, enquanto que nas demais no primeiro harmônico alcançava 95%. Uma outra estação que teve um perfil ligeiramente diferente foi Caetité, a variância e variância acumulada atingiu 70%, 10% e 5%, respectivamente, no primeiro, segundo e terceiro harmônicos.

- Observa-se que a diminuição da temperatura do solo provoca um aumento do ângulo de fase.

- Na comparação entre uma localidade no interior e outra no litoral, as amplitudes de Sr. do Bonfim foram maiores do que as observadas em Salvador. Para exemplificar, às 18 UTC, a 2 cm em Sr. do Bonfim, atingiu 6.0 °C, enquanto que em Salvador a amplitude foi de 3.0 °C. O ângulo de fase, nas mesmas condições citadas, Sr. do Bonfim obteve 85°, e Salvador o valor de 60°. Quanto à porcentagem da variância e variância acumulada, no primeiro harmônico, Sr. do Bonfim-BA atingiu em média em todas as profundidades à 92% e Salvador à 96%.

- Na análise de Fourier, ciclo anual, as amplitudes mais destacáveis estão nos primeiros harmônicos e para a variância acumulada no segundo harmônico.. Para o ciclo diário são necessário mais harmônicos para representar a onda, principalmente nos níveis mais profundos.

- Os resultados dos cálculos da difusividade térmica aparente para o ciclo diário, obtidos por diferentes métodos são compatíveis entre si. Entretanto, o método que parece ser mais consistente é o numérico, certamente por utilizar um maior número de dados.

Sugestões

- Calcular a difusividade térmica aparente com dados diários de temperatura do solo, por um período de tempo maior e contínuo, com a finalidade de estudar, através dos diferentes métodos apresentados no presente trabalho, quais os que refletirão melhor as condições de solo e clima da região.

- Recomenda-se aos órgãos responsáveis, que sejam realizadas análise granulométrica e mineralógica dos solos nas estações climatológicas da rede básica, a fim de ampliar os estudos relacionados como no tema apresentado neste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

- ÁCS, F., MIHALOVIC, D.T., RAJKOVIC, B. A coupled soil moisture and surface temperature prediction model. *Journal of Applied Meteorology* 30(6):812-822, 1991.
- BLANC, M.L. *The climatological investigation of soil temperature*. Geneve: WMO, Technical Note N° 20, 1957. 17 p.
- CARSON, J.S. Analysis of soil and air temperature by Fourier techniques. *Journal of Geophysical Research*, 68(8), 2217-2223, 1963.
- CARSON, J.S., MOSES, H. The annual and diurnal heat-exchange cycles in upper layers of soil. *Journal of Applied Meteorology*, 2:397-406, 1963.
- CLAPP, R.B., HORNBERGER, G.M. Empirical equations for some hydraulic properties. *Water Resour. Res.*, 14:601-604, 1978.
- DECICO, A., REICHARDT, K. Determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo. *Ciência e Cultura*, 28:359-362, 1976.
- GEIGER, R. *The Climate near the ground*. 4. Ed., Cambridge, Harvard University Press. 1972. 319 p.
- HORTON, R., WIERENGA, P.J., NIELSEN, D.R. Evaluation of methods for determining the apparent thermal diffusivity of soil near the surface. *Soil Science Society American Journal* 47:25-32, 1983.
- JANSSON, P.E.; HADLIN, S. *SOIL*. Water and heat model - technical description. 81 p.,
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (Brasil). *Aptidão agrícola das terras da Bahia*. Brasília, 1979. p.140.

NASSAR, I.N., HORTON, R. Determination of soil apparent thermal diffusivity from multiharmonic temperature analysis for nonuniform soils. *Soil Science* 149(3):125-130, 1990.

NERPIN, S.V., CHUDNOVSKII, A.F. *Physics of the Soil*. Israel Program for Science Translations. Jerusalem:Keter Express, 1967.

OLIVEIRA, F.R. *Análise do comportamento térmico do solo em função da temperatura do ar*. Dissertação (Mestrado). Viçosa-MG: UFV, 1978.

OLIVER, S.A., OLIVER, H., WALLACE, J.S., ROBERTS, A.M. Soil heat flux and temperature variation with vegetation, soil type and climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 39 (2-3):257-269. 1987.

PHILIP, J.R. Evaporation and moisture and heat fields in the soil. *Journal Meteorology*, 14: 354-366, 1957.

POTTER, K.N., CRUSE, R.M., HORTON, R. Tillage effects on soil thermal properties. *Soil Science Society American Journal*, 49:968-973, 1985.

RAMANA RAO, T.V. *Heat flow into the soil*. Dissertation (Msc. Tech). Waltair, India: Andhra University, 1966.

_____. A determinação de difusividade térmica e a estrutura térmica do solo de Campina Grande-PB. In: 30º REUNIÃO ANUAL DA SBPC. São Paulo SP, 1978.

RAMANA RAO, T.V., VIANELLO, R.L. *Características térmicas do solo de Cachoeira Paulista-SP*. S.J. dos Campos: INPE. (Relatório-INPE-1106-PE 1080), 1977. 21 p.

RICHTMEYER, R.D., MORTON, K.W. *Difference methods for Initial-value problems*. 2.ed. New York USA: Interscience Publishers, 1967.

SANTOS, R.C. *Propriedades térmicas do solo: um estudo de casos*. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). S.J. dos Campos-SP: INPE, 1987.

SEEMANN, J. Measuring Technology, p. 40-45, In J. Seemann et. al. (ed) *Agrometeorology*. Berlin: Springer-Verlag, 1979.

SELLERS, W.D. *Physical Climatology*. Chicago: University of Chicago Press, 1965. 272 p.

THUNHOLM, B. A comparison of measured and simulated soil temperature using air temperature and soil surface energy balance as boundary conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 53(1-2): 57-72, 1990.

VAN WIJK, W.R. *Physics of plant environment*. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1963. 182 p

VIANELLO, R.L., RAMANA RAO, T.V., NOGUEIRA, J.M. *Comportamento térmico do solo de Viçosa-MG - ciclo anual, 1971*, Juiz de Fora: Imprensa da Universidade Federal de Juiz de Fora, 1977. 22 p.

VIANELLO, R.L., SANDANIELO, A. Ciclo diário do regime térmico do solo de Viçosa, sob três tipos de cobertura. *Anais III Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Belo Horizonte: 1984. p.13-21.

WEVODAU Jr., R.I., SHULMAN, M.D. Comparison of the observed and theoretical diurnal temperature variations in the soil. *The Bulletin, New Jersey Academy Science* New Jersey, USA, 13(2): 22-27, 1968.

APÊNDICE A

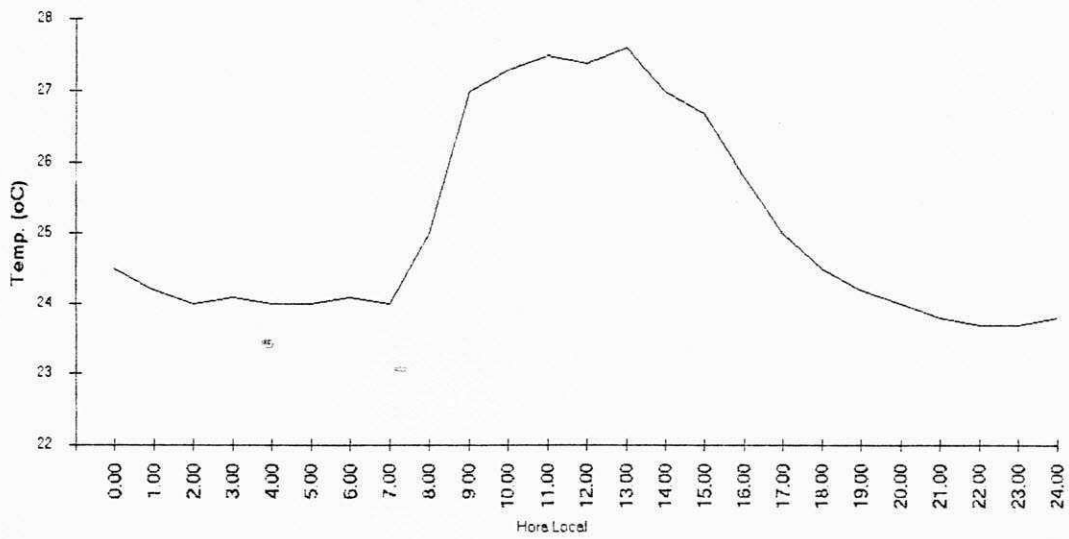


Figura A.1 - Temperatura do Ar (°C) à 1.6 m acima do solo. Localidade: Salvador-BA no dia 08/07/92

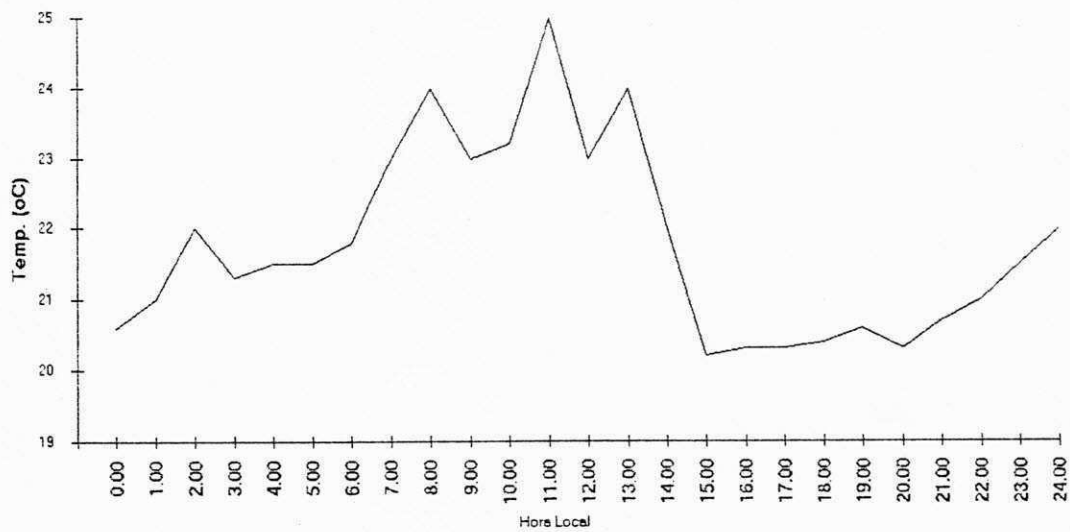


Figura A.2 - Temperatura do Ar (°C) à 1.6 m acima do solo. Localidade: Salvador-BA no dia 10/08/92

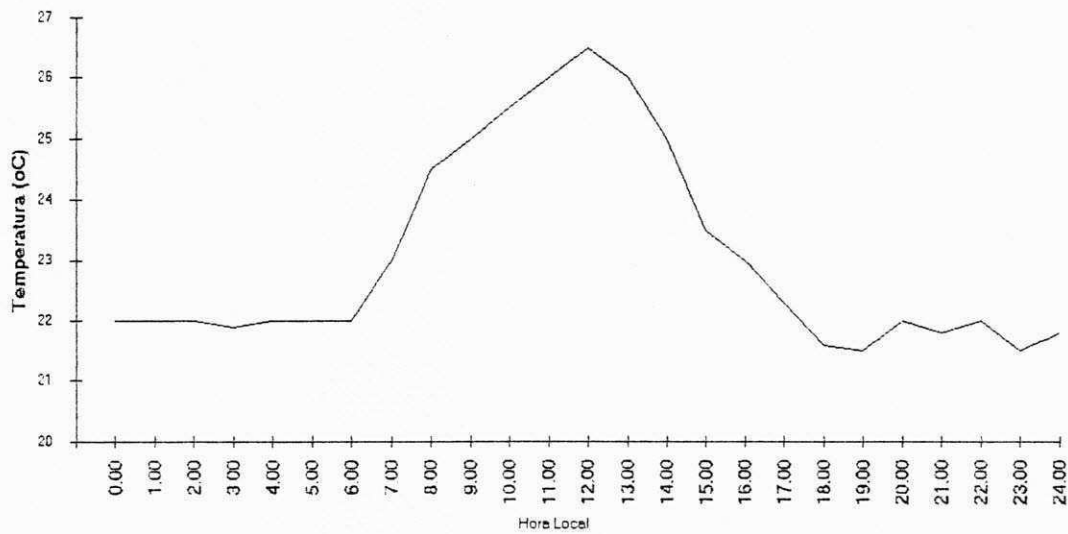


Figura A3 - Temperatura do Ar (°C) à 1.6 m acima do solo. Localidade: Salvador-BA no dia 11/08/92

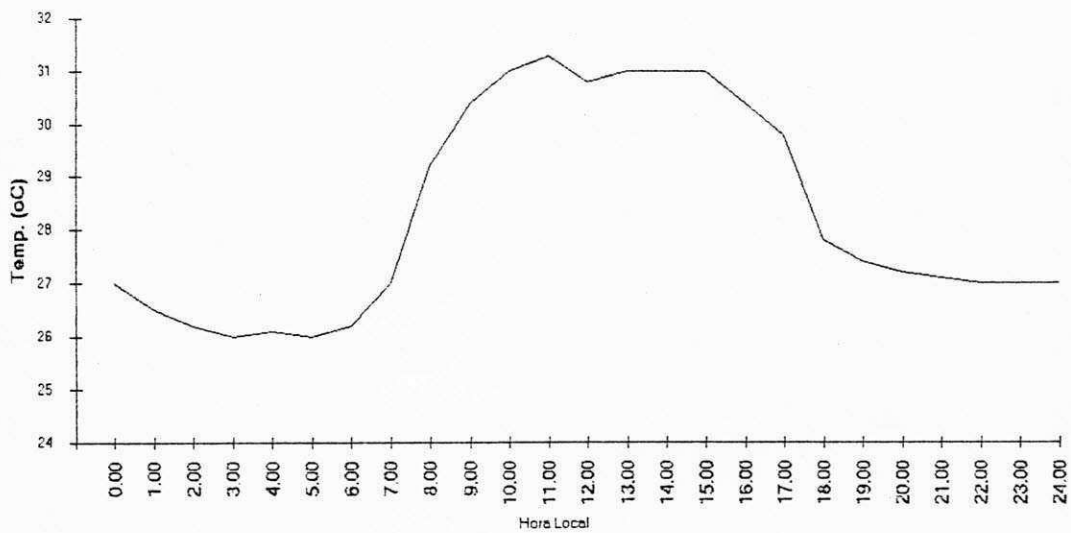


Figura A.4 - Temperatura do Ar (°C) à 1.6 m acima do solo. Localidade: Salvador-BA no dia 06/02/93

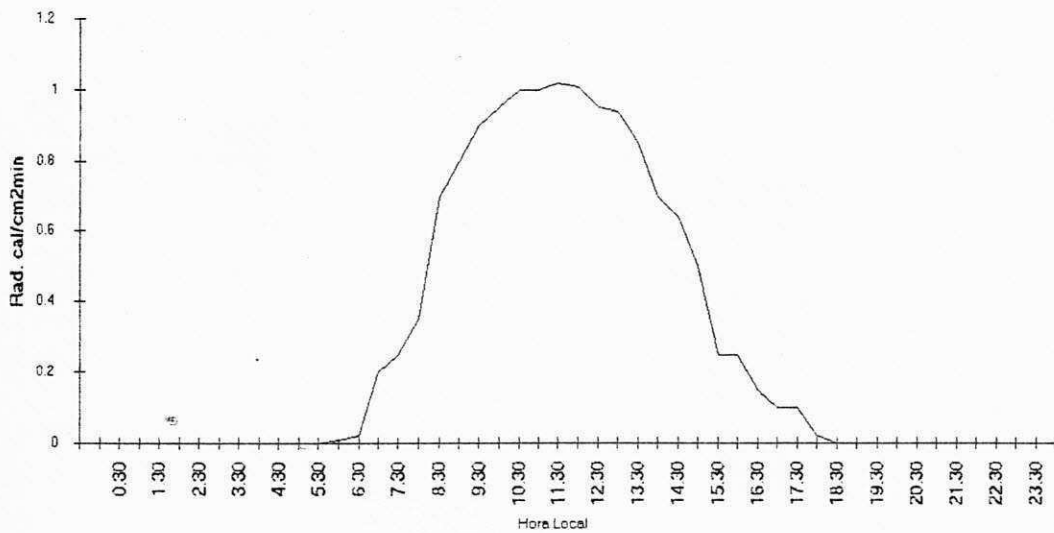


Figura A.5 - Radiação solar (cal/cm².min). Localidade: Salvador-BA no dia 08/07/92.

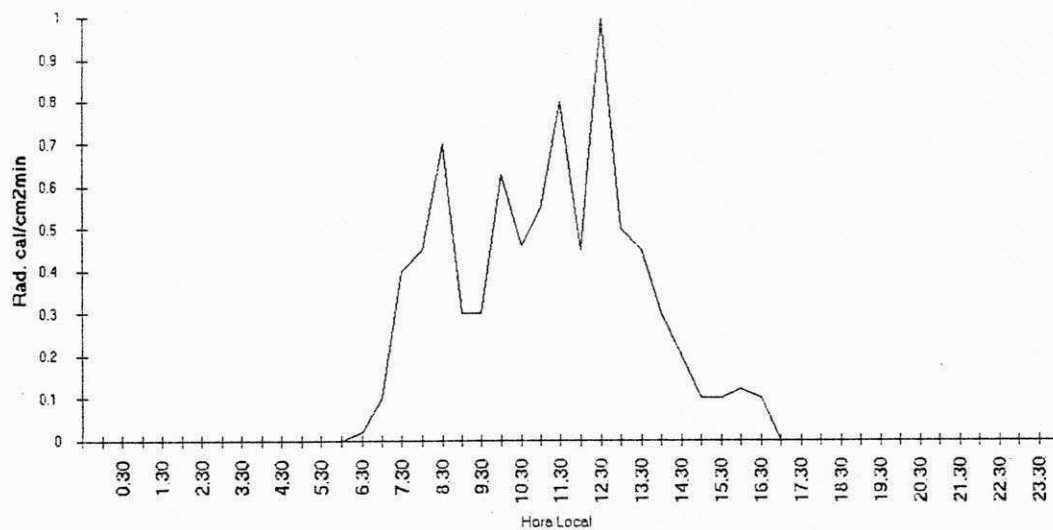


Figura A.6 - Radiação solar (cal/cm².min). Localidade: Salvador-BA no dia 10/08/92

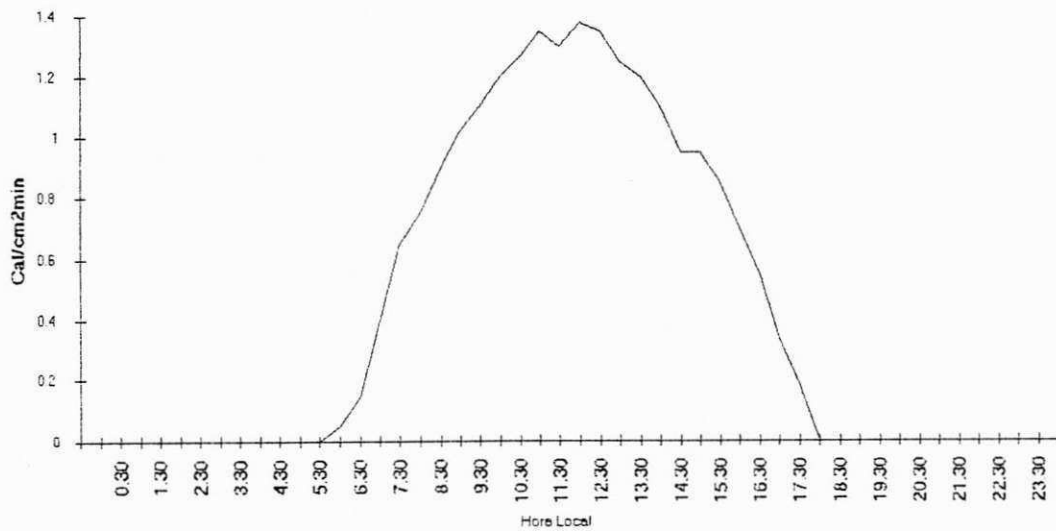


Figura A.7 - Radiação solar (cal/cm².min). Localidade: Salvador-BA no dia 11/08/92

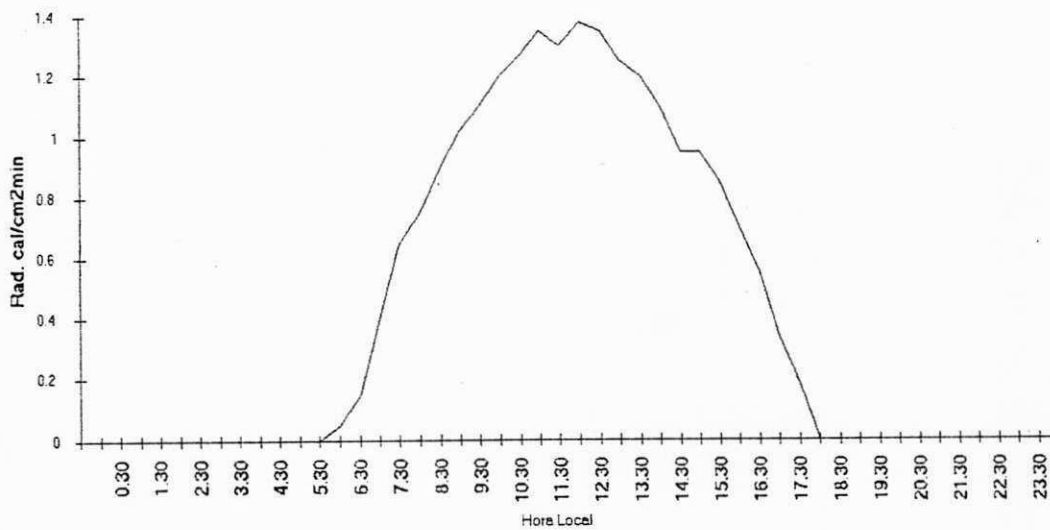


Figura A.8 - Radiação solar (cal/cm².min). Localidade: Salvador-BA no dia 06/02/93.

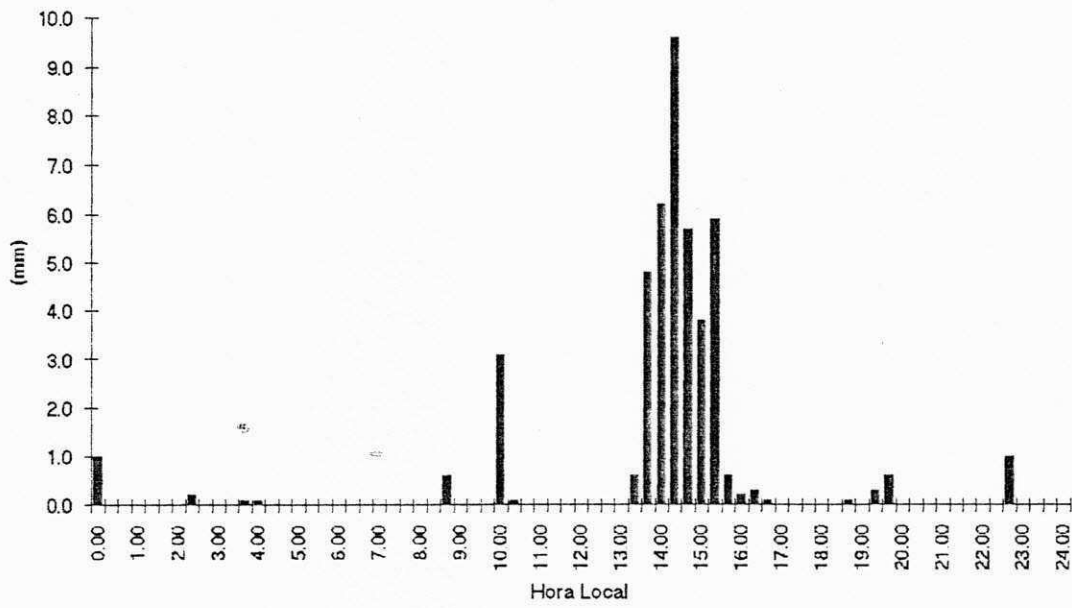


Figura A.9 - Precipitação (mm). Localidade: Salvador-BA no dia 10/08/92.

Tabela A.1- Temperatura do ar e do solo de Salvador-BA ,no dia 08/07/92, dados de vinte em vinte minutos.

Tempo (min)	T. Supf	T. Solo	T. Solo	T. Solo	Tempo (min)	T. Solo	T. Solo	T. Solo	T. Solo
	0.05 m	-0.05 m	-0.20 m	-0.50 m		0.05 m	-0.05 m	-0.20 m	-0.50 m
0.1	22.4	24.6	25.5	25.6	12.1	28.7	27.4	25.1	25.6
0.3	22.2	24.5	25.5	25.6	12.3	27.9	27.7	25.2	25.6
0.5	22.2	24.5	25.4	25.6	12.5	27.5	28.0	25.3	25.6
1.1	22.3	24.4	25.4	25.7	13.1	27.1	28.2	25.4	25.6
1.3	22.3	24.3	25.4	25.6	13.3	26.8	28.3	25.6	25.6
1.5	22.1	24.3	25.3	25.6	13.5	26.6	28.5	25.7	25.6
2.1	22.0	24.2	25.3	25.6	14.1	26.6	28.6	25.8	25.6
2.3	21.9	24.1	25.2	25.6	14.3	26.2	28.8	25.9	25.6
2.5	22.0	24.0	25.2	25.6	14.5	26.2	28.9	26.0	25.6
3.1	22.0	24.0	25.2	25.6	15.1	25.7	28.9	26.2	25.6
3.3	21.9	24.0	25.2	25.6	15.3	25.4	28.9	26.3	25.6
3.5	22.2	23.9	25.1	25.7	15.5	25.0	28.8	26.4	25.6
4.1	21.9	23.9	25.1	25.7	16.1	24.5	28.7	26.5	25.6
4.3	21.7	23.9	25.1	25.7	16.3	24.2	28.6	26.6	25.6
4.5	21.6	23.8	25.0	25.7	16.5	23.6	28.4	26.6	25.5
5.1	21.4	23.8	25.0	25.7	17.1	23.0	28.2	26.7	25.6
5.3	21.7	23.7	25.0	25.7	17.3	22.8	27.9	26.7	25.6
5.5	22.0	23.6	24.9	25.7	17.5	22.6	27.6	26.7	25.5
6.1	22.2	23.6	24.9	25.7	18.1	22.5	27.2	26.7	25.5
6.3	22.5	23.6	24.9	25.7	18.3	22.3	26.9	26.7	25.5
6.5	22.7	23.6	24.8	25.7	18.5	22.0	26.7	26.7	25.5
7.1	22.4	23.6	24.8	25.7	19.1	22.0	26.4	26.7	25.5
7.3	22.7	23.6	24.8	25.6	19.3	21.8	26.2	26.6	25.5
7.5	23.7	23.7	24.8	25.7	19.5	21.5	26.0	26.6	25.5
8.1	24.9	23.8	24.7	25.6	20.1	21.5	25.8	26.5	25.5
8.3	25.0	23.9	24.7	25.6	20.3	21.5	25.6	26.5	25.5
8.5	26.4	24.1	24.7	25.7	20.5	21.4	25.4	26.4	25.6
9.1	27.4	24.2	24.7	25.7	21.1	21.4	25.2	26.3	25.6
9.3	28.6	24.5	24.7	25.7	21.3	21.3	25.1	26.3	25.6
9.5	29.5	24.8	24.7	25.6	21.5	21.1	25.0	26.2	25.6
10.1	29.6	25.2	24.7	25.7	22.1	21.0	24.8	26.2	25.6
10.3	29.6	25.6	24.8	25.7	22.3	20.9	24.7	26.1	25.6
10.5	29.6	26.0	24.8	25.6	22.5	21.1	24.7	26.0	25.6
11.1	29.0	26.4	24.8	25.6	23.1	21.4	24.6	26.0	25.6
11.3	28.9	26.8	24.9	25.6	23.3	21.5	24.5	25.9	25.6
11.5	28.8	27.1	25.0	25.6	23.5	21.5	24.4	25.8	25.7

Tabela A.2 Temperatura do ar e do solo de Salvador-BA do dia 10/08/92, dados de vinte em vinte minutos.

Tempo (min)	T				Tempo (min)	T			
	Supf 0.05 m	Solo -0.05 m	Solo -0.20 m	Solo -0.50 m		Supf 0.05 m	Supf -0.05 m	Supf -0.20 m	Supf -0.50 m
0.1	20.1	24.2	25.2	25.0	12.1	25.0	25.4	24.5	25.0
0.3	20.1	24.2	25.2	25.0	12.3	26.2	25.5	24.5	25.0
0.5	20.3	24.0	25.1	24.9	12.5	26.2	25.6	24.6	24.9
1.1	20.3	23.9	25.1	24.9	13.1	26.2	25.7	24.6	24.9
1.3	20.4	23.9	25.0	24.9	13.3	26.0	25.9	24.7	24.9
1.5	20.5	23.8	25.0	24.9	13.5	23.1	26.0	24.8	24.9
2.1	20.6	23.7	24.9	24.9	14.1	21.0	26.0	24.8	24.9
2.3	20.4	23.7	24.9	25.0	14.3	21.0	25.8	24.9	24.9
2.5	20.2	23.7	24.8	24.9	14.5	20.8	25.4	25.0	24.9
3.1	20.0	23.6	24.8	24.9	15.1	20.1	25.0	25.1	24.9
3.3	19.9	23.6	24.7	25.0	15.3	20.4	24.7	25.1	24.9
3.5	20.1	23.5	24.7	24.9	15.5	20.7	24.5	25.1	24.9
4.1	20.2	23.5	24.7	25.0	16.1	20.9	24.3	25.1	24.9
4.3	20.2	23.5	24.7	25.0	16.3	20.8	24.2	25.0	24.9
4.5	20.5	23.5	24.6	25.0	16.5	20.9	24.2	24.9	24.9
5.1	20.3	23.5	24.6	25.0	17.1	20.6	24.1	24.9	24.9
5.3	20.5	23.4	24.6	25.0	17.3	20.7	24.1	24.8	24.9
5.5	20.6	23.4	24.5	25.0	17.5	20.6	24.0	24.8	24.9
6.1	20.7	23.4	24.5	25.0	18.1	20.6	23.9	24.8	24.9
6.3	20.9	23.3	24.5	25.0	18.3	20.8	23.9	24.7	24.9
6.5	21.4	23.3	24.4	25.0	18.5	20.4	23.9	24.7	24.9
7.1	22.7	23.3	24.4	25.0	19.1	20.3	23.8	24.7	24.9
7.3	23.7	23.3	24.4	25.0	19.3	20.4	23.8	24.6	24.9
7.5	23.7	23.5	24.3	25.0	19.5	20.6	23.7	24.6	24.9
8.1	24.3	23.6	24.4	25.1	20.1	20.5	23.7	24.6	24.9
8.3	24.9	23.8	24.4	25.1	20.3	20.6	23.7	24.6	24.9
8.5	23.2	23.9	24.3	25.0	20.5	20.5	23.6	24.5	24.9
9.1	23.0	24.0	24.3	25.0	21.1	20.5	23.6	24.5	24.9
9.3	24.4	24.1	24.3	25.0	21.3	20.5	23.5	24.4	24.9
9.5	24.7	24.2	24.3	25.0	21.5	20.4	23.5	24.4	24.9
10.1	24.1	24.3	24.3	25.0	22.1	20.2	23.4	24.3	24.9
10.3	24.7	24.5	24.3	25.0	22.3	20.2	23.4	24.3	24.9
10.5	25.2	24.6	24.4	25.0	22.5	20.2	23.4	24.3	24.9
11.1	26.0	24.8	24.4	25.0	23.1	20.2	23.4	24.3	24.9
11.3	24.4	25.0	24.4	25.0	23.3	20.2	23.3	24.3	24.9
11.5	24.1	25.3	24.4	24.9	23.5	20.1	23.2	24.2	24.9

Tabela A.3 Temperatura do ar e do solo de Salvador-BA do dia 11/08/92, dados de vinte em vinte minutos.

Tempo (min)	T Solo				Tempo (min)	T Solo			
	T Supf 0.05 m	-0.05 m	-0.20 m	-0.50 m		T Supf 0.05 m	-0.05 m	-0.20 m	-0.50 m
0.1	20.1	23.2	24.2	24.9	12.1	27.4	26.2	24.0	24.7
0.3	20.1	23.1	24.2	24.9	12.3	27.0	26.5	24.1	24.7
0.5	20.2	23.1	24.1	24.9	12.5	26.7	26.7	24.2	24.7
1.1	20.2	23.0	24.1	24.8	13.1	27.0	26.9	24.3	24.7
1.3	20.4	23.0	24.1	24.8	13.3	27.0	27.1	24.4	24.7
1.5	20.1	22.9	24.0	24.9	13.5	25.9	27.3	24.6	24.7
2.1	20.0	22.9	24.0	24.9	14.1	24.9	27.5	24.7	24.7
2.3	20.1	22.8	24.0	24.8	14.3	24.5	27.6	24.8	24.7
2.5	19.9	22.8	24.0	24.8	14.5	24.5	27.6	24.9	24.6
3.1	20.0	22.8	23.9	24.8	15.1	24.0	27.6	25.0	24.7
3.3	20.1	22.7	23.9	24.8	15.3	24.4	27.5	25.1	24.7
3.5	20.2	22.6	23.9	24.8	15.5	23.8	27.4	25.2	24.6
4.1	20.2	22.6	23.9	24.8	16.1	23.4	27.3	25.3	24.7
4.3	20.1	22.6	23.9	24.8	16.3	23.2	27.1	25.4	24.7
4.5	20.0	22.6	23.9	24.8	16.5	22.6	27.0	25.5	24.7
5.1	20.0	22.6	23.9	24.8	17.1	21.9	26.8	25.5	24.7
5.3	20.2	22.4	23.8	24.8	17.3	21.3	26.5	25.6	24.6
5.5	20.2	22.4	23.8	24.8	17.5	21.1	26.3	25.6	24.7
6.1	20.2	22.4	23.8	24.8	18.1	20.8	26.1	25.6	24.6
6.3	20.4	22.3	23.8	24.8	18.3	20.1	25.8	25.6	24.6
6.5	21.4	22.3	23.7	24.8	18.5	20.7	25.6	25.6	24.7
7.1	22.6	22.3	23.7	24.8	19.1	20.8	25.4	25.5	24.7
7.3	23.7	22.4	23.7	24.8	19.3	20.9	25.2	25.5	24.7
7.5	24.5	22.5	23.6	24.8	19.5	21.3	25.1	25.5	24.7
8.1	24.7	22.7	23.6	24.8	20.1	21.2	25.0	25.4	24.7
8.3	25.4	22.9	23.5	24.8	20.3	21.0	24.9	25.4	24.7
8.5	25.2	23.1	23.5	24.8	20.5	20.8	24.8	25.4	24.7
9.1	25.8	23.4	23.5	24.8	21.1	21.1	24.7	25.4	24.7
9.3	26.6	23.6	23.5	24.8	21.3	21.3	24.6	25.3	24.7
9.5	27.1	23.8	23.6	24.8	21.5	21.4	24.5	25.2	24.7
10.1	27.2	24.2	23.6	24.8	22.1	21.2	24.4	25.2	24.7
10.3	27.8	24.5	23.6	24.7	22.3	21.0	24.3	25.1	24.7
10.5	27.8	24.9	23.7	24.7	22.5	20.9	24.3	25.1	24.7
11.1	27.7	25.2	23.7	24.7	23.1	20.8	24.2	25.1	24.7
11.3	27.8	25.6	23.8	24.7	23.3	20.9	24.2	25.0	24.7
11.5	27.9	25.9	23.9	24.7	23.5	20.9	24.1	25.0	24.8

Tabela A.4 Temperatura do ar e do solo de Salvador-BA, do dia 06/02/93, dados de vinte em vinte minutos.

Tempo (min)	Tempo				Tempo (min)	Tempo			
	T Supf 0.05 m	T Solo -0.05 m	T Solo -0.20 m	T Solo -0.50 m		T Supf 0.05 m	T Solo -0.05 m	T Solo -0.20 m	T Solo -0.50 m
0.1	25.7	32.7	33.7	31.6	12.1	43.0	35.2	32.1	31.6
0.3	25.4	32.6	33.6	31.6	12.3	43.0	35.9	32.2	31.6
0.5	25.2	32.4	33.5	31.6	12.5	44.4	36.7	32.3	31.6
1.1	25.3	32.3	33.4	31.7	13.1	43.0	37.4	32.5	31.6
1.3	24.9	32.1	33.4	31.7	13.3	43.2	37.9	32.6	31.5
1.5	24.7	31.9	33.3	31.7	13.5	43.8	38.5	32.8	31.6
2.1	24.4	31.8	33.3	31.7	14.1	43.1	38.8	32.9	31.5
2.3	24.2	31.7	33.2	31.7	14.3	42.9	39.2	33.2	31.5
2.5	24.2	31.5	33.1	31.6	14.5	40.4	39.5	33.4	31.5
3.1	24.1	31.4	33.1	31.7	15.1	40.6	39.7	33.6	31.5
3.3	24.2	31.3	32.9	31.7	15.3	39.8	39.8	33.9	31.6
3.5	24.2	31.1	32.9	31.7	15.5	39.6	39.8	34.0	31.5
4.1	24.0	31.0	32.8	31.7	16.1	38.8	39.8	34.2	31.5
4.3	24.1	30.9	32.8	31.7	16.3	37.8	39.8	34.4	31.5
4.5	24.3	30.8	32.7	31.8	16.5	36.1	39.6	34.6	31.5
5.1	24.4	30.7	32.6	31.7	17.1	32.4	39.4	34.7	31.5
5.3	24.6	30.5	32.5	31.7	17.3	30.7	39.1	34.8	31.5
5.5	24.4	30.4	32.5	31.7	17.5	29.4	38.8	35.0	31.5
6.1	25.2	30.4	32.4	31.8	18.1	28.4	38.3	34.9	31.4
6.3	25.7	30.3	32.3	31.7	18.3	27.5	37.9	35.0	31.4
6.5	26.5	30.4	32.4	31.8	18.5	27.1	37.5	35.0	31.4
7.1	27.0	30.4	32.2	31.8	19.1	27.0	37.1	35.0	31.5
7.3	31.0	30.4	32.2	31.8	19.3	26.9	36.7	35.1	31.6
7.5	33.4	30.5	32.0	31.7	19.5	26.8	36.3	35.0	31.6
8.1	34.9	30.5	32.0	31.6	20.1	26.6	36.0	35.0	31.6
8.3	35.5	30.6	31.9	31.6	20.3	26.5	35.7	35.0	31.6
8.5	36.8	30.7	31.9	31.6	20.5	26.5	35.5	34.9	31.6
9.1	38.3	30.9	31.8	31.6	21.1	26.9	35.2	34.9	31.7
9.3	39.7	31.3	31.9	31.7	21.3	26.6	34.9	34.8	31.7
9.5	40.0	31.6	31.9	31.7	21.5	26.4	34.7	34.7	31.6
10.1	40.7	32.0	31.9	31.7	22.1	26.2	34.5	34.7	31.7
10.3	40.9	32.4	31.8	31.7	22.3	26.1	34.3	34.6	31.7
10.5	40.7	32.9	31.9	31.7	22.5	26.1	34.1	34.5	31.7
11.1	42.3	33.3	31.9	31.6	23.1	25.9	33.9	34.5	31.7
11.3	43.1	33.8	32.0	31.6	23.3	26.0	33.7	34.4	31.7
11.5	42.7	34.4	32.1	31.6	23.5	26.5	33.5	34.3	31.8

APÊNDICE B

Tabela B.1 Tipos de solos encontrados nas localidades estudadas no presente trabalho

Senhor do Bonfim-BA	- Latosol vermelho - amarelo distrófico média
Santa Rita de Cássia-BA	- Latosol vermelho distrófico textura argilosa e média
Jacobina-BA	- Latosol vermelho-amarelo distrófico média arenosa/média e média/argilosa
Lençóis-BA	- Solos litólicos distróficos, afloramentos de rocha, arenosa/média
Salvador-BA	- Latosol amarelo distrófico
Caetité-BA	- Latosol vermelho amarelo distrófico
Caravelas-BA	- Podzólico vermelho amarelo

Fonte: Aptidão Agrícola das Terras da Bahia-Ministério da Agricultura, 1979.