



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DÉBORAH DA SILVA PAMPLONA

**VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA TEMPERATURA
MEDIDA E ESTIMADA NO INTERIOR DO SOLO, EM SUPERFÍCIE
COM E SEM VEGETAÇÃO (ESTUDO DE CASO).**

Nº 286

**BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2010**

DÉBORAH DA SILVA PAMPLONA

**VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA TEMPERATURA
MEDIDA E ESTIMADA NO INTERIOR DO SOLO, EM SUPERFÍCIE
COM E SEM VEGETAÇÃO (ESTUDO DE CASO).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.
Orientador: Prof. Dr. José de Paulo Rocha da Costa

**BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

P195v Pamplona, Déborah da Silva

Varição da temperatura do ar e da temperatura medida e estimada no interior do solo, em superfície com e sem vegetação (estudo de caso) / Déborah da Silva Pamplona; Orientador: José de Paulo Rocha da Costa – 2010

33f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Solo. 2. Temperatura. 3. Microclima. 4. Cultivo agrícola. 5. Pomar. I. Costa, José de Paulo Rocha da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 631.45098115

DÉBORAH DA SILVA PAMPLONA

**VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA TEMPERATURA
MEDIDA E ESTIMADA NO INTERIOR DO SOLO, EM SUPERFÍCIE
COM E SEM VEGETAÇÃO (ESTUDO DE CASO).**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

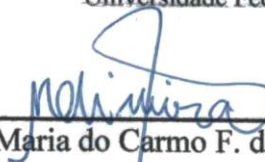
Data de aprovação: 20/12/2010

Conceito: EXCELENTE

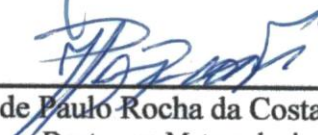
Banca examinadora:



Prof. Dimitrie Nechet - Membro
Especialista em Meteorologia Tropical
Universidade Federal do Pará.



Prof. Maria do Carmo F. de Oliveira - Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. José de Paulo Rocha da Costa - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico a meus pais, Amarildo Monteiro Pamplona e Rosimeire da Silva Pamplona.
A meus avos Idinis Pamplona da Silva e Esmelina Pamplona da Silva.
A meu fiel companheiro Giovane Diniz da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por todas as minhas conquistas, pela família maravilhosa que tenho, pelos amigos que colocou no meu caminho, pelo companheiro fiel e dedicado que colocou na minha vida e por estar sempre atento as minhas orações e por responde-lás.

À minha querida e amada mãe Rosimeire da Silva Pamplona, que não se encontra mais entre nós, mas dedicou sua atenção, carinho, cuidados e esforços pra que eu chegasse até aqui, ao meu pai Amarildo Monteiro Pamplona, que na ausência de minha mãe se fez muito presente na minha vida. Obrigada pelos exemplos de dedicação, humildade, honestidade, persistência e Fé, que me fizeram construir sonhos em bases sólidas, e que por muitas vezes se sacrificaram para que eu não desistisse dos meus objetivos.

A minha avó Esmelina Pamplona, por está sempre ao meu lado cuidando de mim incondicionalmente.

A meu avô Idiniz Pamplona, as minhas Tias Mariana Pamplona e Darimar Pamplona e ao meu irmão Diego Pamplona, que sempre me apoiaram, me fazendo acreditar quando eu achava que seria impossível.

A meu companheiro Giovane Diniz da Silva, que sempre esteve ao meu lado, acreditando e apoiando minhas decisões, meus sonhos e objetivos, apesar das dificuldades.

Às amigas conquistadas na UFPA, que me ajudaram direta ou indiretamente a alcançar os meus objetivos nessa árdua jornada acadêmica.

A todos os professores da Meteorologia.

A meu orientador José de Paulo Rocha da Costa, pela paciência, e por tornar possível o desenvolvimento deste trabalho, apesar do curto período de tempo.

RESUMO

Teve como foco principal o estudo da variação vertical da temperatura no perfil do solo em duas superfícies com e sem vegetação com vista a sua importância nas características do microclima local. O estudo foi realizado no período de 26 a 29 de junho de 2010, na Estação de Ecossistemas Costeiro “Modesto Rodrigues”, que pertence a Universidade Federal do Pará, na vila Cuiarana, no município de Salinópolis-PA, em uma área que consiste no cultivo de mangueiras. Os dados de temperatura do solo foram medidas na base horária através de geotermômetros instalados nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10 metros, e de temperatura do ar, na altura de 0,10m acima da superfície nas duas condições de solo citadas acima, e no abrigo meteorológico. Os resultados mostraram que o solo vegetado não apresentou temperaturas muito elevadas durante o dia e durante a noite foi percebido que armazena o calor e as amplitudes térmicas entre as três profundidades não mostram diferença significativa. O contrário foi observado em solo sem vegetação, que apresentou elevado aquecimento durante o dia e à noite mostrou acentuado decaimento de temperatura, mostrando amplitude térmica maior, quando comparado com os valores observados no solo vegetado. Também foi observado que os valores da temperatura do ar a 0,10 m acima da superfície vegetada foram mais elevados em relação aos da superfície sem vegetação e em termos médios, apresentaram maior amplitude térmica. Os valores medidos e estimados da temperatura do solo nos níveis considerados acima apresentaram coeficiente de determinação bastante expressivos.

Palavras-chave: Solo. Temperatura. Microclima. Cultivo Agrícola. Pomar.

ABSTRACT

The main objective of the study was to examine the vertical variation of temperature in the soil profile into two areas with and without vegetation to its importance in the characteristics of the local microclimate. The study was conducted from 26 to 29 June 2010, at Station Coastal Ecosystems "Modesto Rodriguez", which belongs to the Federal University of Pará, in the village Cuiarana in the city of Salisbury, PA, in an area that consists of cultivation of mango trees. Data on soil temperature were measured on an hourly basis through geothermometers installed at depths of 0.02, 0.05 and 0.10 meters, and air temperature at height of 0.10 m above the surface in the two conditions ground mentioned above, and the weather station. The results showed that the non-vegetated soil had very high temperatures during the day and at night it was realized that stores heat and temperature fluctuations between the three depths show no significant difference. The reverse was observed in bare soil, which showed high heat during the day and at night was associated with increased decay of temperature, showing higher temperature range compared with the values observed in vegetated soil. It was also observed that the values of air temperature at 0.10 m above the vegetated surface were higher in relation to the surface without vegetation and on average had higher thermal amplitude. The measured and calculated values of soil temperature levels considered above showed a coefficient of determination very expressive.

Keywords: Soil. Temperature. Microclimate. Agricultural Cultivation. Orchard.

ISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Vista aérea e em superfície da área de estudo.....	17
Figura 02 -	Fotografia dos geotermômetros instalados em solo vegetado.....	18
Figura 03 -	Fotografia dos geotermômetros instalados em solo sem vegetação.....	18
Figura 04 -	Fotografia do Abrigo meteorológico.....	18
Figura 05 -	Flutuação da temperatura em solo vegetado.....	23
Figura 06 -	Flutuação da temperatura em solo sem vegetação.....	24
Figura 07 -	Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,02m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.....	25
Figura 08 -	Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,05m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.....	26
Figura 09 -	Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,02m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.....	27
Figura 10 -	Variação da Temperatura média horária, medidas no solo (0,02m de profundidade), no ar (0,10m acima da superfície) e no abrigo, para as duas condições de solo.....	28

LISTA DE SÍMBOLOS

A_o	- amplitude diária da temperatura no solo ($^{\circ}\text{C}$)
D	- profundidade de amortecimento (metros)
H	- horário de leitura da temperatura, horas (0 à 23)
S	- fluxo de calor saindo ou entrando no solo (W/m^{-2})
$T_{\text{méd.}}$	- temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$)
T_s	- temperatura ao nível da superfície ($^{\circ}\text{C}$)
T_z	- temperatura à uma profundidade z abaixo do nível do solo ($^{\circ}\text{C}$)
K	- condutividade térmica ($\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
Z	- profundidade do solo (metros)
W	- velocidade angular de rotação da terra ($\pi / 24$)
π	- constante (3,1416)
ΔT	- variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
ΔZ	- variação da profundidade do solo (metros)
λ	- comprimento de onda
ρ	- densidade do solo
μm	- micrometro = milionésima parte de 1 metro (10^{-6} m)
ROL	- radiação de onda longa
m	- metro
$^{\circ}\text{C}$	- grau Celsius
cm	- centímetro
s	- segundo
$-z/D$	- mudança de fase da onda de temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	AQUECIMENTO NO SOLO.....	13
2.2	COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA NO SOLO.....	14
2.3	PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO.....	15
2.3.1	Condutividade térmica.....	15
2.3.2	Difusividade térmica.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO.....	17
3.2	DADOS.....	17
3.3	METODOLOGIA.....	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30
	GLOSSÁRIO.....	32

1 INTRODUÇÃO

A superfície do solo com ou sem cobertura vegetal é a principal fonte de armazenamento e troca de energia térmica nos ecossistemas terrestres, sua interação com a atmosfera é de suma importância na manutenção da vida em nosso planeta, já que a radiação infravermelha de ondas longas (ROL) emanada pela superfície terrestre é a responsável pelo aquecimento do ar adjacente. Esse mecanismo tem um papel fundamental no efeito estufa natural, que é desejável, sem o qual a temperatura média da terra seria muito baixa, de tal modo que a vida seria impossível neste planeta.

O transporte de calor no solo ocorre através de dois processos físicos de transferência: a radiação e a condução. O processo de radiação se dá através da incidência dos raios solares na superfície terrestre, provocando um aquecimento apenas na camada superficial do solo, sendo pouco eficiente no transporte de calor da superfície às camadas mais profundas do solo. Já o processo de transferência de energia por condução é o dominante neste caso, pois ocorre pelo contato direto das partículas do solo, ou seja, de molécula para molécula, sem que haja a necessidade do deslocamento de sua posição original. Normalmente, solos compactados ou densos apresentam maior facilidade para conduzir energia, o mesmo se dá em solos umedecidos, pois se substitui o ar (quase um isolante térmico) pela água que conduz melhor o calor. A composição, a densidade, a umidade e o tipo de cobertura no solo são os principais fatores que influenciam nas suas propriedades térmicas, tais como: calor específico, capacidade térmica, condutividade térmica, difusividade térmica, emissividade e também o albedo, tais aspectos permitem analisar o comportamento térmico de cada tipo de solo no decorrer do dia.

De acordo com Schoffel e Mendes (2005a) temperatura do solo é um elemento meteorológico de grande importância agrícola, pela função que desempenha nas interações entre solo e plantas. A temperatura do solo depende, em grande parte, da densidade de fluxo, da duração da radiação solar e das condições do solo, especialmente cobertura superficial e teor de água (DERPSCH et al., 1985). A superfície do solo com ou sem cobertura vegetal é o principal trocador e armazenador de energia nos ecossistemas terrestres. É a partir do balanço de radiação na superfície que o solo se aquece e se resfria no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas adjacentes. Pelo fato da absorção e da perda de energia se derem na superfície, aliado a baixa propagação de calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais (BERGAMACHI; GUADAGNIN, 1993).

O solo sem qualquer tipo de cobertura vegetal fica exposto a flutuações bruscas de temperatura e umidade. Com prejuízos ao próprio solo e ao estabelecimento de culturas, acarretando sérios problemas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990).

Por outro lado o solo com cobertura vegetal ou até mesmo cobertura morta, dissipa por reflexão e absorve parte da energia incidente, impedindo que esta atinja diretamente a superfície do solo, evitando maiores perdas de água por evaporação e aumento de temperatura a níveis prejudiciais a germinação de sementes (FANCELLI, 1985).

A temperatura no interior do solo varia exponencialmente com a profundidade e senoidalmente com o tempo. O modelo senoidal mostra que a variação diária da temperatura do solo segue, aproximadamente, um movimento periódico no qual a amplitude térmica é amortecida exponencialmente com a profundidade e os valores em cada profundidade oscilam senoidalmente com o tempo em torno de um valor médio.

Este estudo foi desenvolvido numa área de cultivo de mangueiras localizada na vila Cuiarana, município de Salinópolis-PA, no período de 26 a 29 de junho de 2010. O objetivo do estudo foi avaliar o comportamento vertical da temperatura do solo em duas situações, solo vegetado e solo sem vegetação, nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10m e analisar também as temperaturas do ar para 0,10m acima da superfície, nas duas situações de solo e a temperatura do abrigo meteorológico, a fim de mostrar sua importância na caracterização do microclima local.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AQUECIMENTO DO SOLO

A superfície da terra absorve e emite radiação infravermelha como um corpo cinza e quando aquecida pela absorção da radiação solar, ela se torna uma fonte de radiação de ondas longas, isso acontece porque a terra tem uma temperatura superficial menor que a do sol, o que dá à radiação terrestre comprimentos de onda maiores que a radiação solar, situados no intervalo infravermelho (entre 1 e $30\mu m$).

Parte da radiação solar que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície da terra. Como a atmosfera é transparente para a radiação solar de ondas curtas, ela acaba absorvendo mais a radiação terrestre de ondas longas, com isso, conclui-se que a superfície é a maior fonte de calor para a atmosfera, ou seja, a atmosfera é aquecida a partir da superfície, (PIGOZZO ; JUSTI, 1998).

De acordo com Kaiser et al. (2001), uma fração da radiação solar que atinge a superfície da terra é refletida e o restante é transferido para as camadas inferiores por condução e convecção. O processo de transferência de calor por condução é predominante no solo, pois ocorre pelo contato direto entre as partículas.

Durante o dia a superfície da terra se aquece absorvendo mais energia do sol, durante a noite o solo se resfria irradiando mais energia do que absorve do ambiente, (PIGOZZO ; JUSTI, 1998).

Segundo Ayoade (1983) a radiação terrestre é também chamada de radiação noturna, uma vez que ela é a principal fonte de energia durante a noite. É importante lembrar que a radiação infravermelha não é somente de origem terrestre, já que os constituintes atmosféricos também irradiam energia no comprimento infravermelho. É válido ressaltar também que a radiação infravermelha ocorre tanto de dia quanto de noite, sendo dominante à noite já que a radiação solar é interrompida.

2.2 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA NO SOLO

A temperatura do solo é um fator variável no tempo e no espaço, assumindo grande importância para o desenvolvimento das plantas. O solo, além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor. A capacidade do solo de armazenar e transferir calor são determinados pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo.

A temperatura varia de horizonte para horizonte e oscila de acordo com a hora, oscilação esta que pode ser menor abaixo da superfície e ampla na superfície, dependendo do ambiente (VIEIRA, 1975).

Segundo afirmam Ramana.; Silva e Srinivasan (1967), a temperatura do solo é ainda uma das variáveis mais importantes na determinação do microclima e do solo, servindo de base para estudos como o balanço de radiação na superfície, processos de evaporação e condensação e outros, exercendo o papel de modificador das condições da camada de ar em contato com o solo. Em muitos casos a temperatura do solo tem maior relevância na vida vegetal do que a temperatura do ar.

O significado ecológico da temperatura do solo é obviamente muito importante para a agricultura, pois se ela for desfavorável durante a época de crescimento de determinado cultivo, pode retardar ou mesmo arruinar as colheitas.

Segundo Vieira (1975), a germinação de sementes de muitas plantas tropicais, requer uma temperatura de solo de aproximadamente 24°C ou mais. Cada planta tem a sua exigência de temperatura do solo, as quais são encontradas nos solos de seu ambiente nativo, da mesma maneira acontece com a fauna.

A temperatura do solo se comporta de maneira diferente em superfícies vegetadas e não vegetadas (nu). O solo nu absorve muito mais calor durante o dia e é mais eficiente no transporte de energia da superfície até as camadas inferiores, em contra partida, durante a noite, a superfície desprotegida em contato direto com o ar, perde calor mais rapidamente e suas camadas mais profundas também resfriam, já que as camadas inferiores transportam sua energia até a superfície para compensar a perda da mesma, parte dessa energia transportada é perdida para a atmosfera para que o sistema solo-atmosfera fique o mais próximo possível do equilíbrio térmico.

De acordo com Menezes et al. (1973 apud GASPARIM et al., 2005), as geotemperaturas aumentam conforme o grau de desnudamento do solo.

O solo com cobertura vegetal absorve menos energia durante o dia, pois a radiação solar não incide diretamente sobre ele e sim na vegetação que se comporta como uma barreira de proteção, no entanto, durante a noite, existe menos perda de radiação para a atmosfera, já que a superfície do solo não fica em contato direto com a camada de ar superficial a ele, ou seja, durante a noite, os valores de temperatura de um solo vegetado são maiores do que em solo nu.

As coberturas no solo são capazes de modificar o comportamento térmico do solo, tanto no aumento quanto na diminuição da temperatura, e esses materiais podem ser de diferentes espessuras e propriedades térmicas.

Segundo Vieira (1975), os processos biológicos no solo são em larga escala controlados pela temperatura e umidade deste, por isso, a temperatura do solo tem uma importante influência nos processos biológicos, físicos e químicos que aí se processam e na adaptação de plantas introduzidas.

2.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO

As propriedades térmicas do solo são resultantes de um conjunto de fatores nos quais se incluem a sua textura e composição química. De acordo com Ramana; Silva e Moreira (2005), as observações regulares da temperatura do solo em diferentes profundidades possibilitam identificar o seu comportamento térmico e o conhecimento de importantes propriedades, tais como a difusividade e condutividade térmica.

2.3.1 Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma medida da capacidade térmica que o solo tem de transferir energia. A condutividade térmica de uma substância é definida como a quantidade de calor que flui por unidade de tempo, através de uma camada de solo de espessura unitária quando é mantida uma diferença de temperatura unitária entre as duas faces opostas dessa superfície. A condutividade térmica do solo pode ser determinada com precisão por qualquer instrumento de fluxo de calor.

A velocidade do fluxo de calor no solo é determinada pelo seu gradiente de temperatura e condutividade térmica. Enquanto que a razão na qual o calor é transferido num

corpo depende da condutividade térmica da substância, o aumento de temperatura que este calor produzirá, variará com sua capacidade calorífica, que é outra propriedade térmica do solo. Quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura na superfície e maior será seu armazenamento de calor. A condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da umidade. Por isso ela varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com seu teor de umidade.

Para Schoffel (2009) o teor de umidade afeta drasticamente as propriedades térmicas do solo, no sentido de acréscimos na condutividade térmica e no calor específico à medida que aumenta o teor de umidade no solo.

2.3.2 Difusividade térmica

A difusividade térmica e a habilidade do solo em difundir calor, isto é uma medida de tempo necessário para as variações de temperatura se propaguem. Em outras palavras, é a mudança em graus centígrados que ocorre em um segundo, quando o gradiente de temperatura muda 1°C por cm³. A difusividade térmica de um solo pode ser determinada tanto por medida direta de amostras ou pela computação a partir da amplitude ou do retardamento de fase em diferentes profundidades do solo.

A difusividade térmica do solo aumenta na mesma proporção que o conteúdo de umidade atingindo um máximo, e em seguida diminui, isso acontece porque a condutividade térmica do solo aumenta mais que a capacidade térmica por unidade de volume. Uma pequena quantidade de água no solo, entre as partículas, quebra o isolamento do ar. Conforme mais água é adicionada, a capacidade calorífica do solo sobe rapidamente, diminuindo o aumento de temperatura produzido por uma dada quantidade de calor.

A matéria orgânica baixa a difusividade térmica enquanto que a compactação do solo a aumenta. A difusividade térmica dos solos está entre 10^{-2} e $10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Keen (1932 apud MOTA, 1983), sugeriu que o valor médio de difusividade térmica dos solos, em regiões temperadas úmidas, pode ser considerado como sendo $0,004 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

De acordo com Prevedelo (1996 apud GASPARIM et al., 2005), a capacidade que um solo tem de armazenar e transferir calor é determinada pela suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas locais, que influenciam por sua vez em todos os processos físicos, químicos e biológicos do solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na Estação Experimental de Ecossistemas Costeiros “Modesto Rodrigues”, da Universidade Federal do Pará (UFPA), que consiste em uma área de pomar de mangueiras, localizada na vila Cuiarana, no município de Salinópolis-PA (Figura 1), com coordenadas geográficas (Lat. de 00°39'14" S e Long. de 47°16'07"W) e altitude de 21 metros. O município de Salinópolis está situado na microrregião do salgado e na mesorregião do nordeste do estado do Pará. Segundo a classificação de Köppen, o município possui um clima tropical chuvoso Aw. A região é caracterizada como possuindo alta precipitação, com média anual oscilando em torno dos 2100 mm. A temperatura média anual oscila em torno dos 26°C, com máxima média de 32°C e mínima de 22°C.

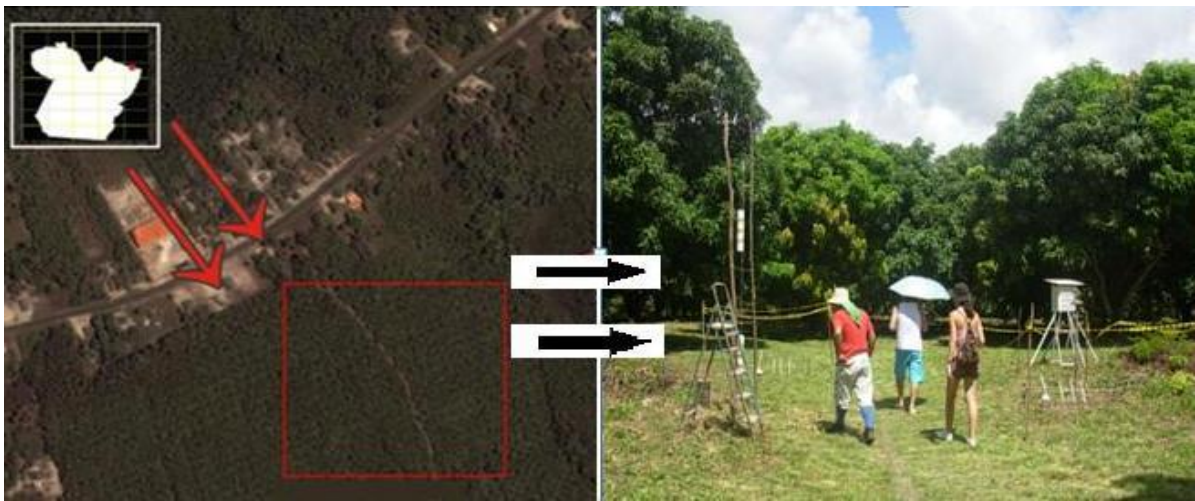


Figura 1. Vista aérea e em superfície da área de estudo.

3.2 FONTE DOS DADOS

Os dados utilizados na elaboração desse estudo foram coletados durante a atividade de campo da disciplina de micrometeorologia, realizada no período de 26 a 29 de junho de 2010 e constaram de medidas da temperatura no solo nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10m e temperatura do ar a 0,10 m acima da superfície do solo e também no interior do abrigo meteorológico.

3.3 METODOLOGIA

Para obtermos a temperatura no interior do solo foram instalados geotermômetros nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10 m, para duas áreas distintas, uma com vegetação (Figura 2) e outra sem vegetação (Figura 3). Nessas duas áreas foram instalados termômetros a 0,10m acima da superfície para coletar dados de temperatura do ar. A temperatura do ar também foi medida no interior do abrigo meteorológico (Figura 4), em um nível de aproximadamente 1,5m de altura. As temperaturas do ar e no interior do solo foram medidas na base horária durante o período citado anteriormente.

A partir dos valores horários de temperatura medido no solo, nos três níveis citados acima, estimou-se os valores horários da temperatura para esses mesmos níveis acima referidos, utilizando-se da planilha Excel.

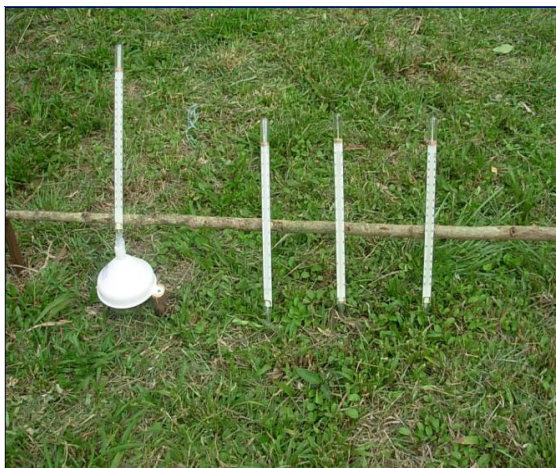


Figura 2. Geotermômetros em solo vegetado.



Figura 3. Geotermômetros em solo sem vegetação.



Figura 4. Abrigo meteorológico

Posteriormente estimou-se os valores de temperatura para cada profundidade do solo e tipo de cobertura levando-se em consideração a seguinte metodologia:

A propagação da temperatura em uma camada de solo homogênea segundo a lei de Fourier é diretamente proporcional ao gradiente vertical de temperatura, sendo descrita pela expressão:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial T^2}{\partial z^2} \quad (01)$$

Em que T é a temperatura do solo, a qual é função da profundidade z e do tempo t e K é o coeficiente de difusividade térmica do solo que é definido por:

$$K = \frac{\lambda}{\rho c} = \frac{\lambda}{C} \quad (02)$$

Em que λ é a condutividade térmica, ρ a densidade do solo, c o calor específico (por unidade de massa) do solo e C a capacidade de calor ou calor específico volumétrico (por unidade de volume).

Assumindo-se um perfil de solo homogêneo e profundidade infinita, a temperatura nessa camada varia senoidalmente com o tempo (modelo senoidal). A temperatura na superfície da camada pode ser descrita pela equação:

$$T(z = 0, t) = T_{med} + A_o \cdot \text{sen}(Wt) \quad (03)$$

Em que T_{med} é a temperatura média em torno da qual a temperatura varia senoidalmente, A_o é a amplitude diária da onda de temperatura à superfície, t é o tempo e W é a velocidade angular de rotação da terra, definida por:

$$W = \frac{2\pi}{P} \quad (04)$$

Em que P é o período da onda de temperatura. Se ciclo diário $P = 86400$ segundos (um dia).

Em outro nível qualquer no interior do solo, pode ser mostrado que a temperatura varia exponencialmente com a profundidade e senoidalmente com o tempo através da equação:

$$T(z, t) = T_{med} + A_o \cdot \text{Exp}(-z/D) \cdot \text{sen}(Wt - z/D) \quad (05)$$

Em que $A_o \cdot \text{Exp}(-z/D)$ é a amplitude da onda diária de temperatura que decresce exponencialmente com a profundidade, $(-z/D)$ é a mudança de fase com a profundidade em relação a onda da superfície e D é a profundidade de amortecimento da temperatura com a profundidade definida por:

$$D = \sqrt{\frac{2K}{W}} \quad (06)$$

Neste estudo a profundidade de amortecimento foi determinada a partir da equação (05) através do método das amplitudes das curvas diárias da temperatura, utilizando-se os dados medidos com a equação:

$$D = \frac{z_1 - z_2}{\ln \delta A} \quad (07)$$

Em que δA é a razão entre as amplitudes da onda de temperatura diária entre dois níveis no interior do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos através da análise dos dados coletados referentes às temperaturas do solo medida nas profundidades de 0,02, 0,05, 0,10m, e temperatura do ar medida a 0,10m acima da superfície, ambas para as duas condições de solo (vegetado e sem vegetação), e ainda temperatura do ar medida no abrigo meteorológico, todas para os quatro dias de observação.

A Tabela 1 mostra os valores da temperatura máxima, mínima e média do ar, medidas ao nível do abrigo meteorológico, referente aos quatro dias de observação, bem como a amplitude térmica diária. Foi observado que a temperatura média do ar apresentou pouca variação durante o período analisado, porém a amplitude térmica diária apresentou variação próxima de 3°C.

Tabela 1. Temperatura máxima, mínima, média e a amplitude térmica diária do ar no abrigo meteorológico.

TEMPERATURA DO AR (°C)				
Dias	Máxima	Mínima	Média	Amplitude
25	32,2	23,2	27,0	9,0
26	33,0	21,8	27,3	11,2
27	32,6	23,0	26,0	9,6
28	32,9	24,0	27,4	8,9

Na Tabela 2 mostra os valores de temperatura máxima, mínima e a amplitude térmica diária do solo nas de profundidades 0,02, 0,05 e 0,10m durante os quatro dias de observação, para condições de solo vegetado. Foi visto que os valores mais elevados de temperatura foram observados na profundidade de 0,02m, e decresceu até a profundidade de 0,10m. A explicação para tal fato é que nos horários mais quentes do dia, a camada do solo próxima a superfície se aquece mais rapidamente, e parte dessa energia é absorvida na superfície é transferida lentamente para as camadas inferiores do solo por condução. Foi constatado que a temperatura do ar a 0,10m apresentou valores mais elevados quando comparados com os valores medidos a 0,02m de profundidade do solo vegetado, isso mostra que nos primeiros

centímetros acima do solo a temperatura do ar assume valores mais elevados do que aquela que ocorre imediatamente abaixo da superfície. Outra constatação é a diminuição da amplitude térmica com a profundidade.

Tabela 2. Valores de temperatura do ar a 0,10m acima do solo, temperatura máxima e mínima no interior do solo e amplitude térmica diária, para condição de solo vegetado.

Dia	Temperatura (°C) 0,10m acima do solo			Temperatura (°C) 0,02m abaixo do solo			Temperatura (°C) 0,05m abaixo do solo			Temperatura (°C) 0,10m abaixo do solo		
	Máx	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp
25	35,8	22,0	13,8	31,8	25,4	6,4	31,7	25,6	6,1	30,7	26,7	4,0
26	39,6	22,0	17,6	33,2	25,9	7,3	32,3	27,2	5,1	31,5	26,6	4,9
27	37,7	22,2	15,5	32,5	26,9	5,6	31,8	27,0	4,8	31,2	27,4	3,8
28	38,6	22,8	15,8	32,8	28,0	4,8	31,9	27,8	4,1	31,7	28,0	3,7

A Tabela 3 mostra os valores de temperatura máxima e mínima do solo nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10 m e temperatura do ar a 0,10m acima da superfície, além da amplitude térmica diária dessas temperaturas para a condição de solo sem vegetação. Os valores de temperatura máxima, assim como a amplitude térmica nas três profundidades, apresentaram valores bem mais elevados do que em solo vegetado. Isso acontece porque no solo sem vegetação a radiação solar incide diretamente na superfície pela ausência de cobertura vegetal, isso explica o maior aquecimento nos horários mais quentes do dia, que normalmente ocorrem por volta das 14 horas, principalmente a 0,02m de profundidade, essa mesma ausência de vegetação explica a perda rápida de energia durante a noite, pois o solo fica diretamente em contato com a camada de ar adjacente. As temperaturas máximas e mínimas do ar observada a 0,10m acima da superfície, no geral apresentam valores um pouco menores quando comparados aos valores medidos na profundidade de 0,02m. Na condição de solo sem vegetação, a amplitude térmica também diminuiu com a profundidade, entretanto, com valores mais elevados.

Tabela 3. Valores de temperatura do ar a 0,10m acima do solo, temperatura máxima e mínima no interior do solo e amplitude térmica diária, para condição de solo sem vegetação.

Dia	Temperatura (°C) 0,10m acima do solo			Temperatura (°C) 0,02m abaixo do solo			Temperatura (°C) 0,05m abaixo do solo			Temperatura (°C) 0,10m abaixo do solo		
	Max	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp	Máx	Mín	Amp
25	34,9	22,3	12,6	35,4	24,8	10,6	34,2	23,3	10,9	32,4	25,3	7,1
26	36,8	21,2	15,5	36,2	23,8	12,4	35,0	24,2	10,8	34,0	25,6	8,4
27	35,5	22,0	13,5	36,4	25,0	11,4	34,4	25,2	9,2	33,1	25,8	7,3
28	35,4	23,6	11,8	38,8	25,6	13,2	37,4	26,0	11,4	36,6	26,2	10,4

A avaliação horária da temperatura no interior do solo vegetado, nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10m, e das temperaturas do ar na altura de 0,10m e no abrigo, são mostradas na Figura 5. Nota-se que os picos máximos de temperatura ocorreram no horário entre 12h e 16h, decrescendo a partir daí até as temperaturas mínimas, entre as 4 e 8 da manhã. As diferenças de temperatura entre as três profundidades do solo vegetado não apresentaram variações expressivas, assim como as amplitudes térmicas entre os níveis. Ao contrário da temperatura do ar a 0,10m que apresentou valores muito elevados nos horários de maior incidência de radiação e muito abaixo no período noturno.

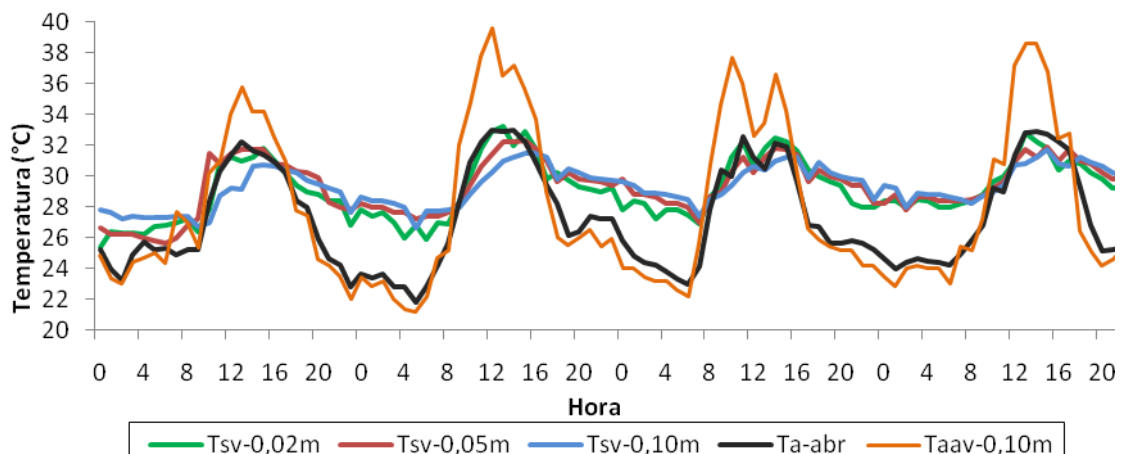


Figura 5. Variação horária da temperatura no solo vegetado nas profundidades de 0,02, 0,05, e 0,10 m, da temperatura do ar a 0,10m e no abrigo meteorológico.

A Figura 6 mostra o comportamento horário de temperatura no perfil do solo sem vegetação nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10m e as temperaturas do ar observadas na altura de 0,10m e no abrigo meteorológico. Foi observado que as temperaturas no solo sem vegetação são mais acentuadas se comparadas com as de solo vegetado, o mesmo acontece com as amplitudes térmicas (como mostra a Tabela 2). Isso acontece na ausência da cobertura vegetal, que em condições naturais funcionaria como uma espécie de isolante térmico. Em solo alterado os valores de temperaturas do ar, tanto a 0,10m como no nível do abrigo, apresentam valores muito próximos, e quando comparados com os valores de temperatura do solo na profundidade de 0,02m, não apresentam diferenças acentuadas. Os picos máximos aconteceram entre os horários de 12h e 16h e os mínimos entre 4h e 8h como no solo vegetado.

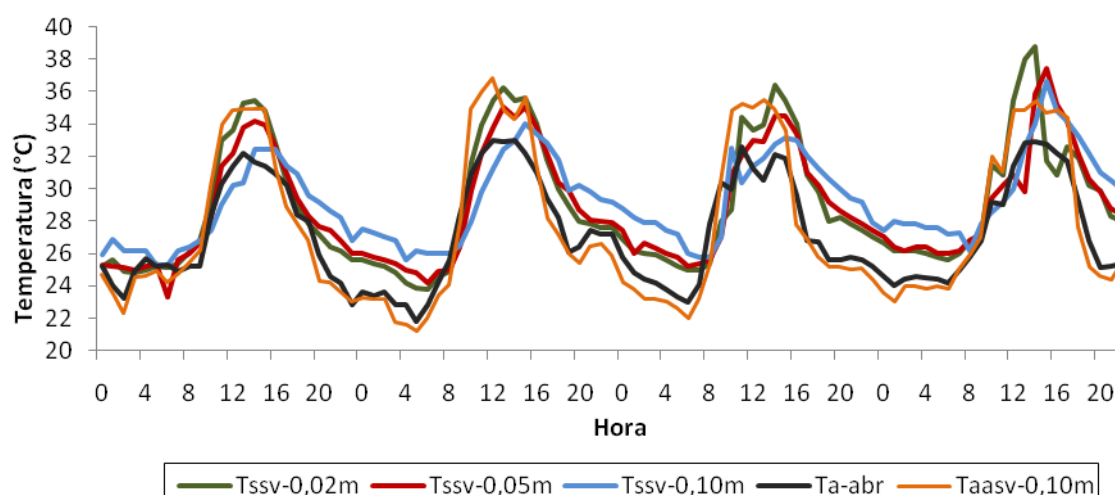


Figura 6. Variação horária da temperatura no solo sem vegetação nas profundidades de 0,02, 0,05 e 0,10m, da temperatura do ar a 0,10m e no abrigo meteorológico.

A Figura 7 mostra a variação da média horária de temperatura medida e estimada a 0,02m de profundidade nas condições de solo sem vegetado (Figura 7a) e de solo natural (Figura 7b), juntamente com o gráfico de dispersão, para a condição de solo sem vegetação (Figura 7c) e de solo vegetado (Figura 7d). Na figura 7a observa-se que os valores medidos são ligeiramente superiores aos valores estimados em todos os horários. Já na Figura 7b as temperaturas medidas mostraram-se acima das estimadas durante o período de 12 às 22h e abaixo nos demais horários. Para as condições de solo sem vegetação (Figura 7c) a dispersão das temperaturas medidas e estimadas apresentou-se com um coeficiente de ajustamento muito significativo, onde $R^2 = 0,99$,

já em condições de solo vegetado (Figura 7d) esse coeficiente de ajustamento foi um pouco menor $R^2 = 0,88$, porém continua sendo um valor estatisticamente significativo.

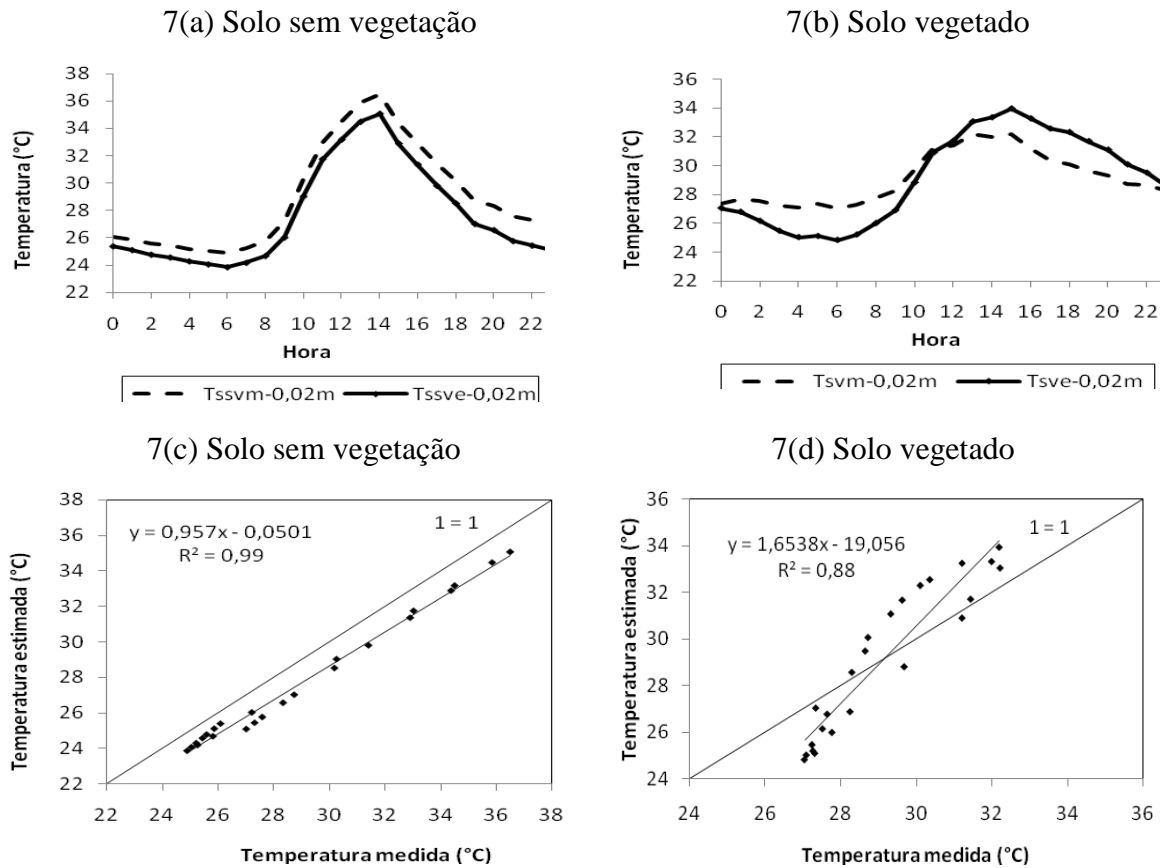


Figura 7. Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,02m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.

A Figura 8 mostra a variação da temperatura medida e estimada a 0,05m de profundidade nas condições de solo sem vegetação (Figura 8a) e vegetado (Figura 8b), e os gráficos de dispersão para as duas condições de solo (sem vegetação Figura 8c e vegetado Figura 8d). Nota-se na Figura 8a que os valores medidos nessa profundidade mostraram-se maiores que os valores estimados em quase todos os horários, exceto no intervalo de 12 às 14 horas, onde verifica-se também, que os valores máximos estimados ficaram próximos dos medidos, porém ocorreram em horários distintos. Já na Figura 8b os valores medidos estão bem próximos aos valores estimados, porém levemente superiores. Os valores máximos e mínimos ocorreram no mesmo horário tanto para os valores medidos como para os estimados. Os gráficos de dispersão mostram a comparação entre os valores de temperatura medida e

estimada, em solo sem vegetação (Figura 8c), onde o coeficiente de ajustamento foi de $R^2=0,92$, e em solo vegetado (Figura 8d) onde o coeficiente foi de $R^2=0,94$, ambos os valores modelados apresentaram um ajustamento expressivo.

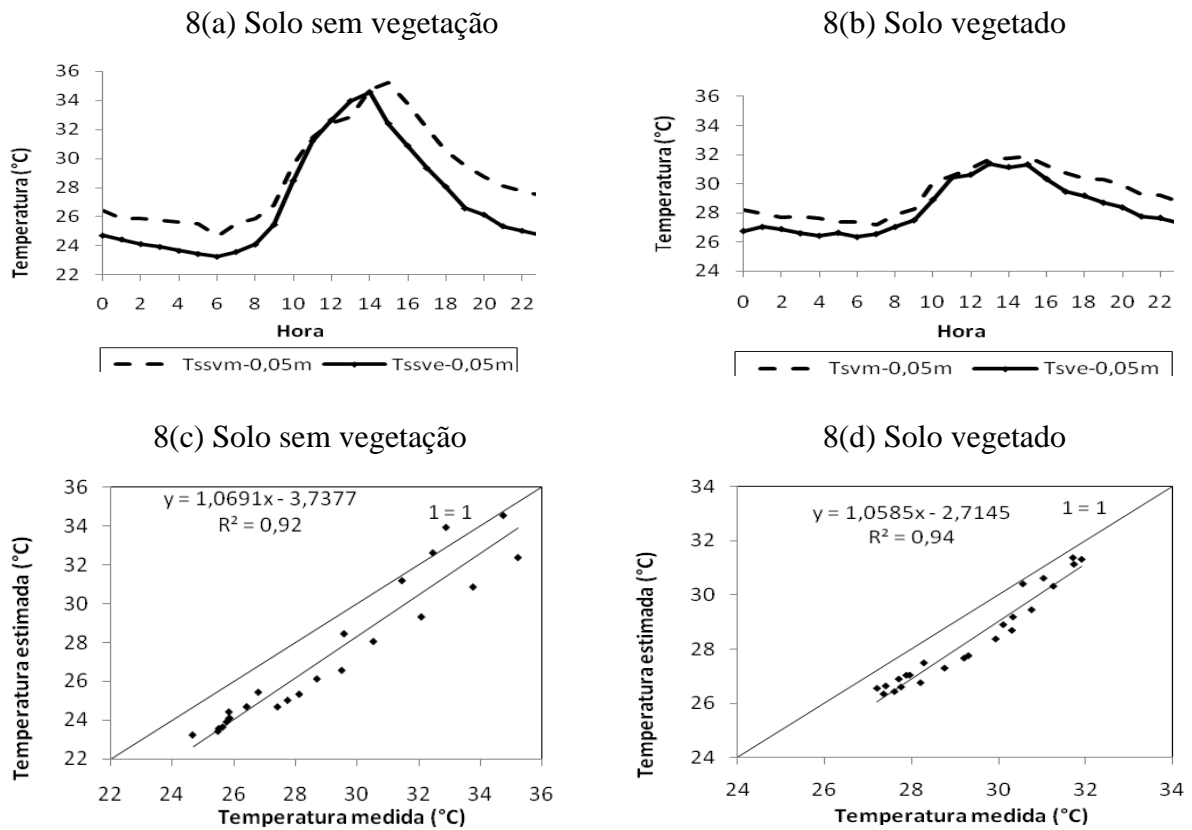


Figura 8. Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,05m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.

A Figura 9 mostra a variação das temperaturas medidas e estimadas no solo sem vegetação (Figura 9a) e vegetado (Figura 9b), na profundidade de 0,10m e os gráficos de dispersão para as duas condições de solo (sem vegetação Figura 9c e vegetado Figura 9d). Nota-se que na Figura 9a as temperaturas medidas apresentam superiores as estimadas na maior parte dos horários, exceto entre 10 e 15 horas. Os valores máximos medidos e estimados estão bem próximos, no entanto ocorreram em horários diferentes. A Figura 9b possui as mesmas características da Figura 9a, a diferença está nos valores das temperaturas máximas que são menores e as mínimas que são maiores em solo vegetado, gerando um valor de amplitude térmica menor se comparamos com a Figura 9a. Nos gráficos de dispersão para a profundidade de 0,10m, observa-se que nas duas figura (Figura 9c e Figura 9d) o coeficiente de ajustamento sofreu uma

diminuição nos seus valores em relação aos valores das outras profundidades, em solo sem vegetação (Figura 9c) o coeficiente foi de $R^2 = 0,75$ e em solo vegetado (Figura 9d) o valor do coeficiente foi de $R^2 = 0,74$. Apesar da alteração sofrida os valores registrados ainda são considerados expressivos.

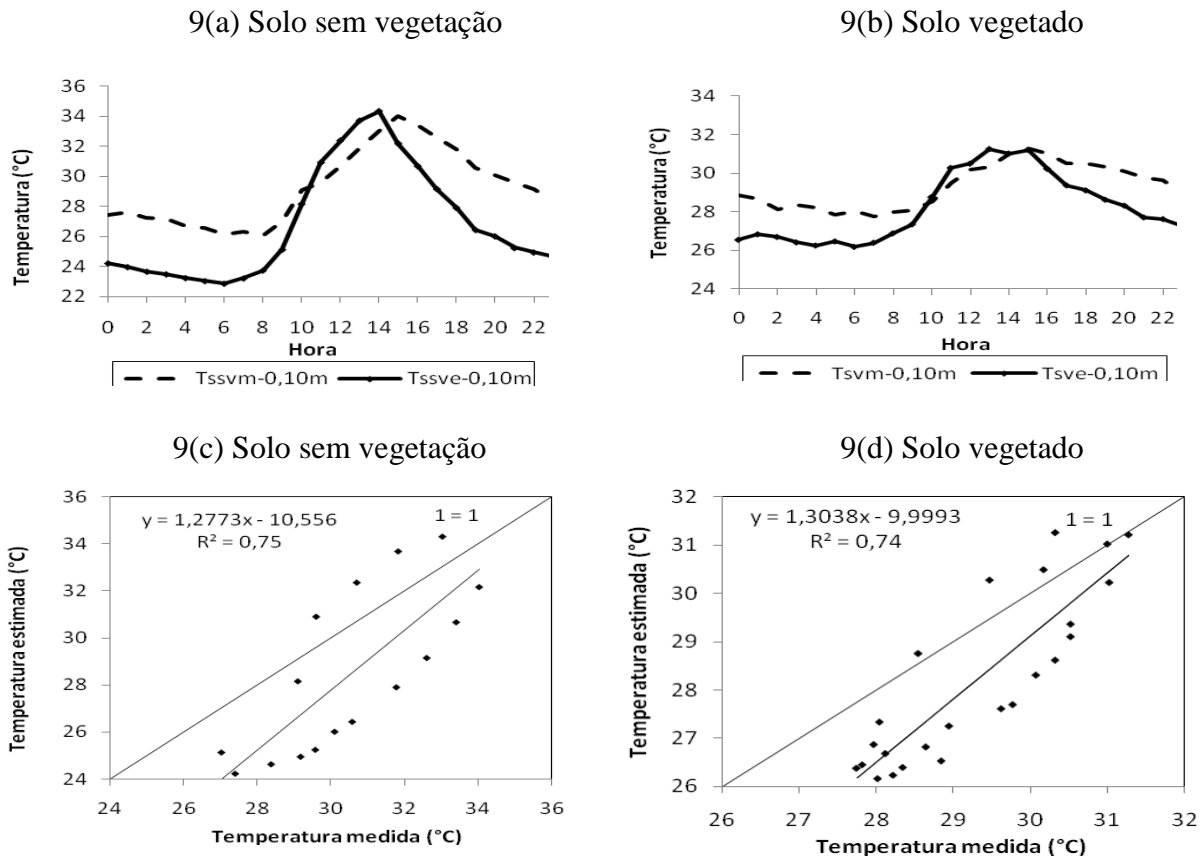


Figura 9. Variação média horária da Temperatura medida e estimada e os gráficos de dispersão a 0,10m de profundidade, para as duas condições de solo, sem vegetação e com vegetação.

Na Figura 10 são analisados os valores médios horários da temperatura do solo (0,02m de profundidade), da superfície (0,10m acima do solo) e da temperatura do ar medida no abrigo nas condições de solo sem vegetação (Figura 10a) e vegetado (Figura 10b). Na Figura 10a observa-se que os valores de temperatura do ar foram inferiores aos observados no solo e na superfície, essas duas ultimas citadas apresentam picos de máxima bem elevados, isso acontece durante o maior período de insolação, pois é quando o solo recebe mais radiação de onda curta e portanto eleva a temperatura. Já a Figura 10b o que se observa é que a temperatura da superfície (0,10m) apresenta-se bem mais elevada do que as demais durante o

período diurno (incidência de radiação solar), período este onde acontece a intensificação do fluxo de calor latente.

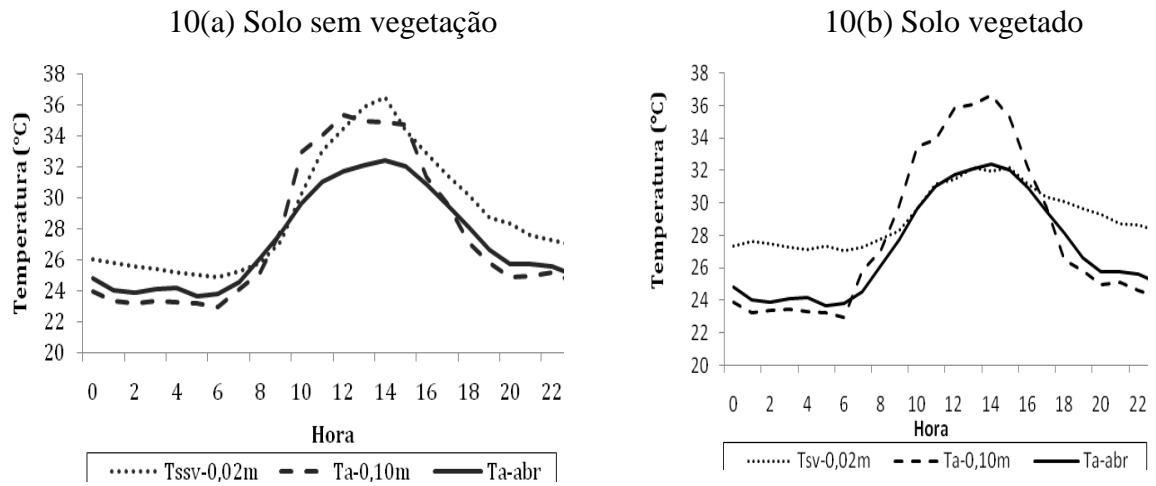


Figura 10. Variação da Temperatura média horária, medidas no solo (0,02m de profundidade), no ar (0,10m acima da superfície) e no abrigo, para as duas condições de solo.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se o que o comportamento da temperatura no solo vegetado é diferente da temperatura em solo sem vegetação, pois em solo vegetado as temperaturas são mais amenas, as amplitudes térmicas são menores, o mesmo pode-se dizer para a variação de temperatura no solo entre as camadas. Isso porque a cobertura vegetal bloqueia e impede que o solo seja atingido diretamente pela radiação solar, e a noite retendo o calor, evitando o contato direto do solo com a camada de ar adjacente, funcionando como uma superfície isolante do solo, tornando as trocas de energia entre solo-atmosfera mais lentas. Já em condições de solo sem vegetação temperaturas são mais elevadas, a variação térmica entre as camadas é maior e as amplitudes também são maiores. Tal fato acontece porque falta de uma cobertura expõem o solo à radiação direta, fazendo com que absorva mais energia e conseqüentemente aqueça mais durante o dia, e durante a noite se resfrie rapidamente por está em contato direto com a camada de ar acima. Observou-se também que as temperaturas máximas e mínimas em solo alterado apresentam valores que se aproximam aos valores de temperatura do ar. As duas características de solo apresentaram valores de temperaturas máximas nos mesmos horários, entre 12 e 16 horas, assim como as mínima entre 4 e 8 horas, acompanhando o ciclo do sol.

Analisando os gráficos de dispersão foi observado que os valores medidos e estimados da temperatura no perfil do solo mostraram melhor ajustamento para as profundidades de 0,02 e 0,05m nas duas condições de solo (sem vegetação e vegetado). Apesar dos valores serem menores o ajustamento feito para a profundidade de 0,10m ainda podem ser considerados bastante expressivos.

Concluiu-se também que fisicamente o modelo senoidal estudado mostra que o ciclo diário da temperatura no perfil do solo segue aproximadamente um movimento periódico no qual a amplitude da onda dessa temperatura é amortecida exponencialmente com a profundidade, os valores da temperatura em cada profundidade oscilam senoidalmente com o tempo em torno de um valor médio determinado à superfície. Analisando os gráficos da temperatura do solo nas três profundidades, verifica-se que em cada profundidade, ocorre a existência de um “momento” de máxima e de mínima temperatura, e que elas mostram uma defasagem, porque o aquecimento começa partir da superfície do solo e ocorre um atraso nos horários da ocorrência das temperaturas máxima e mínima e esse atraso aumenta com a profundidade.

REFERÊNCIAS

- AYOADE, J.O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 332 p.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. Modelos de ajuste para medida de temperatura do solo, em diferentes profundidades. *Revista Brasileira Agrometeorologia*. Santa Maria, v.1, n 1, p. 95-99. 1993.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZIUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito sequências de alturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do solo*. Campinas, v.14, p. 91-98. 1990.
- DERPSCH, R. et al. Manejo do solo com cobertura verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, DF, v.20, n 7, p.761-773. 1985.
- FANCELLI, A.L. (Coord) *Atualização em plantio direto*. Brasília,DF: Fundação Cargill 1985. 342p.
- GASPARIM, E. et al. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum*. Maringá, 27 v., n.1, p. 107-115, Jan/mar, 2005.
- KAISER, D. R. et al. *Temperatura do solo afetada por diferentes estados de compactação*. Santa Maria. 2001. Disponível em <www.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIV_Reuni%20E30.../18.pdf>. Acesso em: 22/11/2010.
- MENEZES, D. M. et al. Estudo da temperature do solo com e sem cobertura à diversas profundidades. *Pequisas Agropecuária Brasileira*, Brasília (DF), v. 8 n. 6. p. 39-51. 1973.
- MOTA, F. S. da *Meteorologia agrícola*. Método de medida e registro. 7 Ed. Belém: Nobel S.A.,1989. 376 p.
- PIGOZZO, D.; JUSTI, M. G. Á. da S. *O Aquecimento da terra e da atmosfera*.1998. 22 p. (Notas de aula).
- PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. *Salesward-Discovery*. Curitiba (PR): 1996
- RAMANA RAO, T.V.; SILVA, B. de; MOREIRA, A.A. Características térmicas do solo em Salvador-BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande (PB), DEAg, UFCG, 9 v., n.4, p. 554-559. Out. 2005b.

RAMANA RAO, T.V.; SILVA, A.R.; SRINIVASAN, V.S. Determinação da difusividade térmica do solo em São João do Cariri-PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, Campina Grande (PB), 1967, DEAg, UFCG. Disponível em < www.cbmet.com/cbm-files/13-87bda4e6693399f9cc1b82542c5b44ea.pdf> Acessado em 22/11/2010

SCHORFFEL, E. R. *Influência da temperatura sobre os processos que ocorrem no solo*. 2009. 10 f. Disponível em <www.ufpel.edu.br/faem/agrometeorologia/Tsolo.pdf>. Acessado em 22/11/2010. (Notas de Aula).

SCHOFFEL, E.R.; MENDES, M.E.G. Influencia da cobertura sobre o perfil vertical de e temperatura do solo. *XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - Piracicaba (SP)*, 2005. Disponível em <www.ufpel.edu.br/faem/agrometeorologia/temp_solo.pdf> Acessado em 22/11/2010.

VIEIRA, L. S. *Manual da ciência do solo*. São Paulo: Ceres, 1975.

GLOSSÁRIO

ABSORÇÃO: Retirada de radiação de um feixe de radiação solar ou terrestre, convertendo-a em outra forma de energia (elétrica, química ou térmica).

BALAÇO DE ENERGIA: Equação que relaciona o fluxo de radiação em uma parte da superfície da terra, ao calor perdido ou ganho por condução para/ou de uma camada abaixo, ou ainda por difusão molecular para a atmosfera, e também por evaporação ou condensação para a superfície.

CONDUÇÃO: É a transferência de energia térmica entre átomos e/ou moléculas vizinhas em uma substância devido a um gradiente de temperatura. em outras palavras é a propagação de calor que ocorre por meio do contato de moléculas de duas ou mais substâncias com temperaturas diferentes.

CALOR ESPECÍFICO: É uma grandeza física que define a variação térmica de determinada substância ao receber determinada quantidade de calor. É constante para cada substância em cada estado físico. A unidade no sistema internacional (SI) é J/kg (Joule por quilograma Kelvin). Uma outra unidade mais usual para o calor específico é cal/g °C (caloria por grama grau Celsius).

CAPACIDADE TÉRMICA: Também chamada de capacidade calorífica é a grandeza física que determina a variação térmica de um corpo ao receber determinada quantidade de calor. O valor da capacidade térmica é correspondente a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura do corpo em uma unidade de variação de temperatura. A unidade no sistema internacional (SI) é J/K (Joule por Kelvin).

ECOSSISTEMAS: designa o conjunto formado por todas as comunidades que vivem e interagem em determinada região e pelos fatores abióticos que atuam sobre essas comunidades.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO: Perda combinada de água de uma dada área, por evaporação através da superfície do solo e pela transpiração de alguns organismos, expressa em mm por unidade de tempo.

GEOTERMÔMETRO: Termômetro destinado a medir a temperatura no perfil do solo em diversas profundidades.

INSOLAÇÃO: Exposição a radiação solar. A quantidade de radiação recebida varia com a constante solar, isto é, varia com a energia real emitida pelo sol; porém a porcentagem de variação dessa constante é na maioria das vezes pequena.

MICROCLIMA: Variação local de parâmetros climáticos, considerando-se pequenas áreas.

RADIAÇÃO: *de ondas longas (ROL)*. É a radiação emanada por uma superfície. Todo corpo com temperatura maior que 0°K emite radiação de ondas longa. A radiação infravermelha de onda longa emitida pela superfície da terra e pelas nuvens tem a capacidade de aquecer o ar ao redor, causando o efeito estufa natural, sem o qual a vida humana e de outras espécies não existiriam em nosso planeta.