



LCE 306 – Meteorologia Agrícola

Prof. Paulo Cesar Sentelhas

Prof. Luiz Roberto Angelocci

Aula # 6

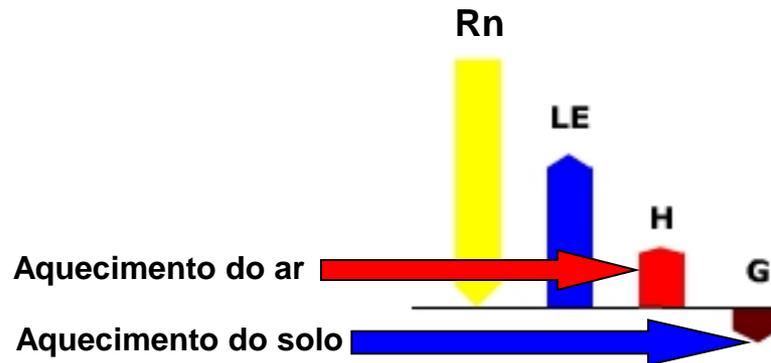
Temperatura do ar e do solo

ESALQ/USP – 2012

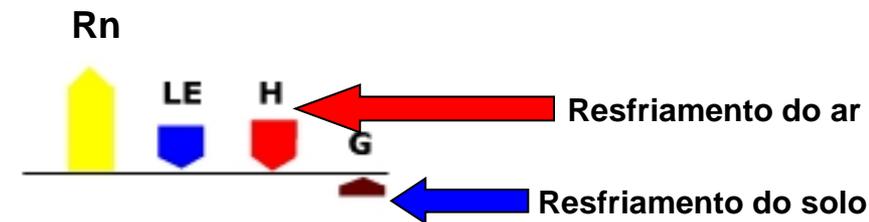
Temperatura do ar e do solo

Como vimos na aula de balanço de radiação e de energia, o saldo de radiação na superfície terrestre será destinado, basicamente, a três processos físicos, dentre os quais dois estão associados à temperatura: fluxo convectivo de calor sensível (temperatura do ar) e o fluxo por condução de calor no solo (temperatura do solo).

Superfície úmida - dia



Superfície úmida - noite



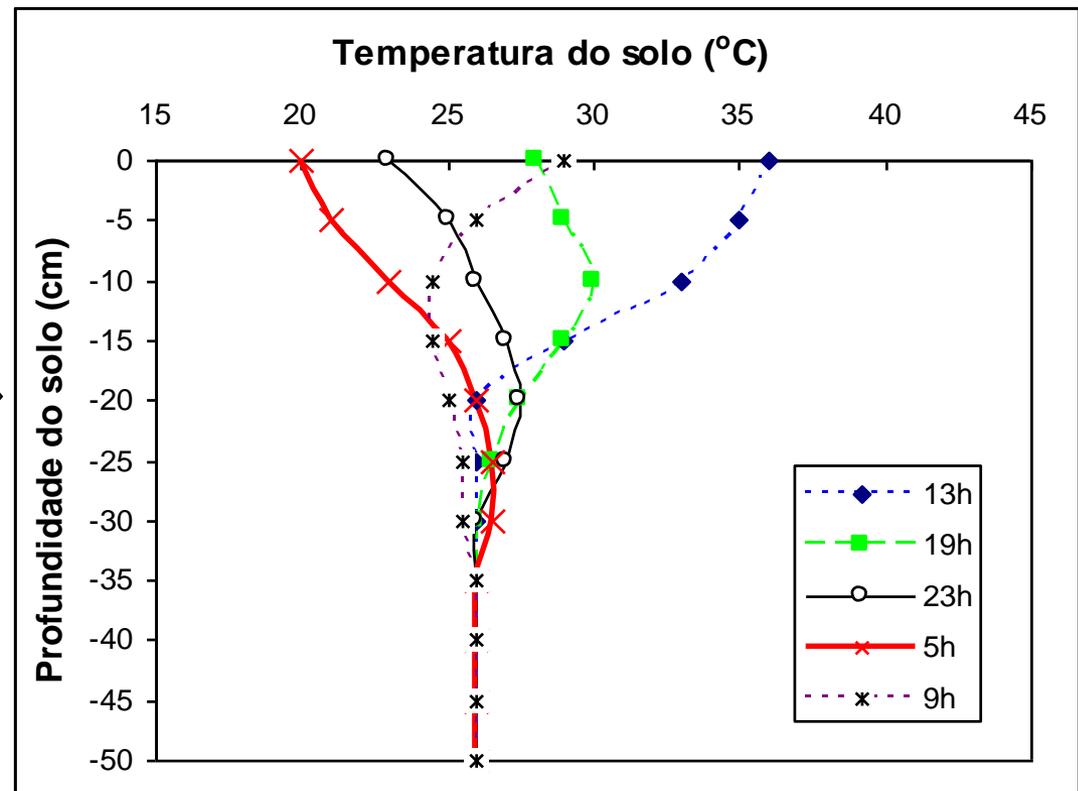
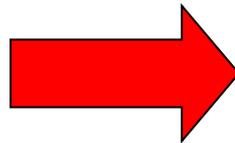
Superfície seca - dia



Temperatura do solo

O regime térmico de um solo é determinado pelo aquecimento da superfície pela radiação solar e transporte, por condução, de calor sensível para seu interior. Durante o dia, a superfície se aquece, gerando um fluxo de calor para o interior. À Noite, o resfriamento da superfície, por emissão de radiação terrestre (ondas longas), inverte o sentido do fluxo, que agora passa a ser do interior do solo para a superfície.

A variação da temperatura do solo ao longo do dia (temporal) e da profundidade (espacial) é estudada a partir da elaboração dos perfis de variação da temperatura, denominados de TAUTÓCRONAS



Fatores Determinantes da Temperatura do Solo

O fluxo de calor no solo depende, basicamente, da sua condutividade térmica, de seu calor específico e de sua emissividade, os quais por sua vez dependem do tipo do solo. Além disso, essa variação é afetada pela interação com outros fatores, dentre eles:



Fatores Externos

Relacionados aos elementos meteorológicos: irradiância solar global, temperatura do ar, nebulosidade, chuva e vento.



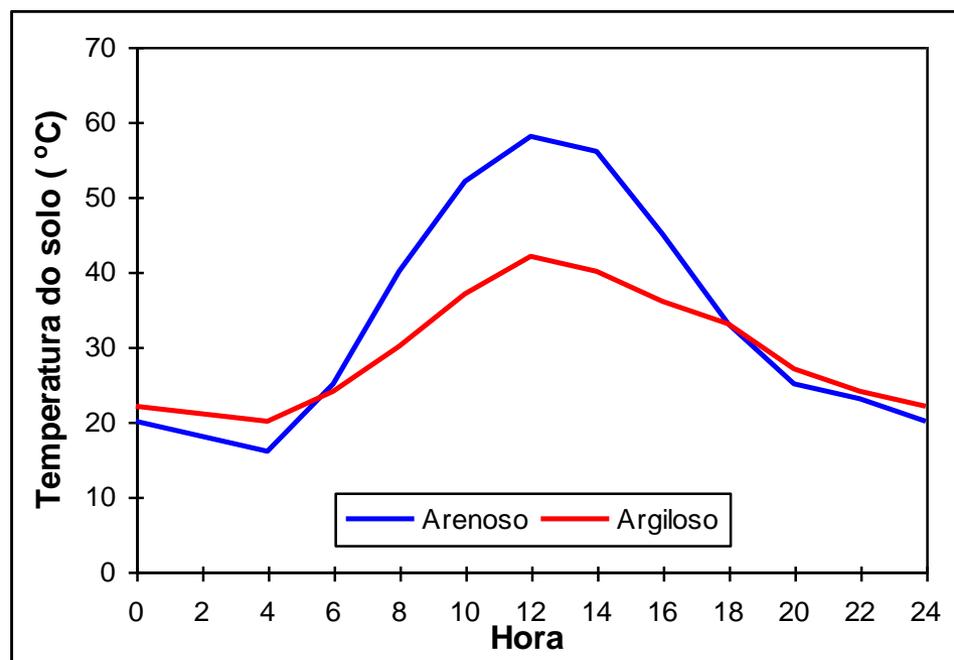
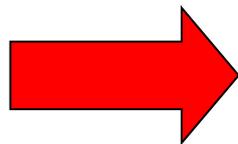
Fatores Intrínsecos

Relacionados ao tipo de solo, ao relevo e ao tipo de cobertura do terreno

★ Tipo de Solo

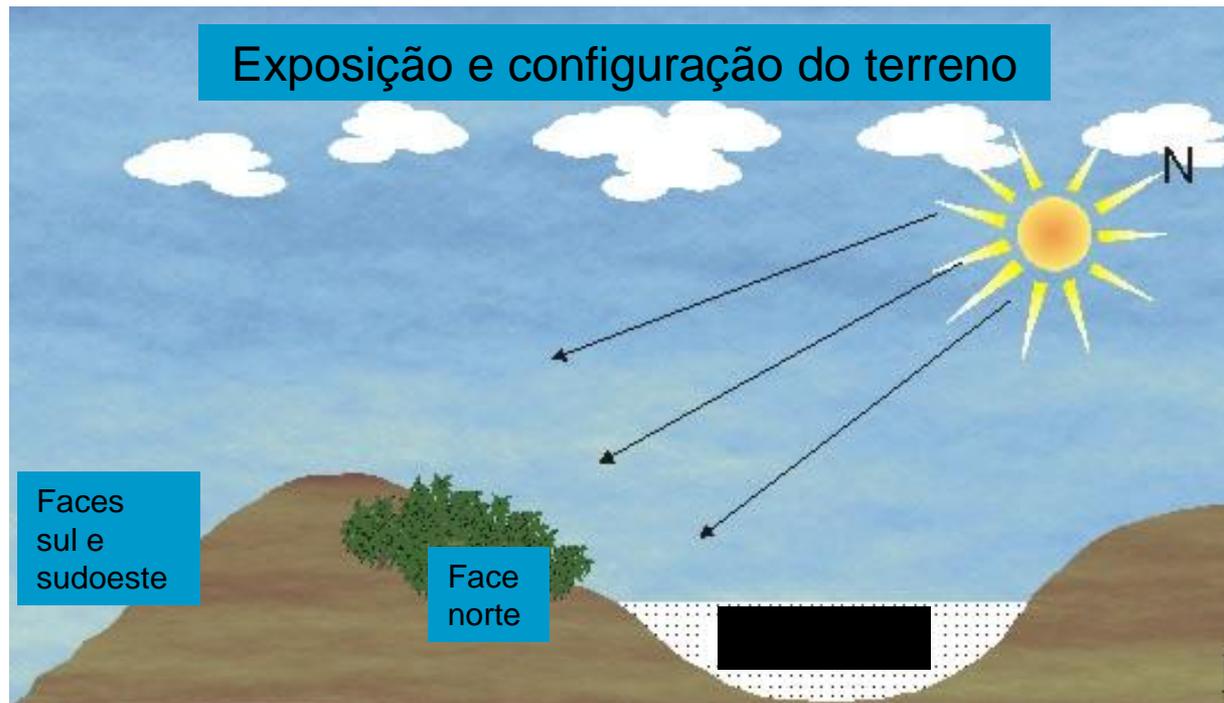
Relacionado à textura, estrutura e teor de matéria orgânica do solo. Solos arenosos tendem a apresentar maiores amplitudes térmicas diárias nas camadas superficiais e menores em profundidade. Isso ocorre pelo fato dos solos arenosos terem maior porosidade, havendo um menor contato entre as partículas do solos, dificultando assim o processo de condução. Os solos argilosos, por sua vez, apresentam maior eficiência na condução de calor, tendo menor amplitude térmica diária.

Variação horária da temperatura de um solo arenoso e de outro argiloso. Observe a menor amplitude diária no solo argiloso, o que se deve ao fato deste solo ser mais eficiente em transportar calor para seu interior



★ Relevo

Este é um fator topoclimático, que condiciona o terreno a diferentes exposições à radiação solar direta e, também, ao acúmulo de ar frio durante o inverno. Como visto na aula de fatores climáticos, os terrenos de meia-encosta voltados para o norte (no hemisfério Sul) recebem mais energia do que os voltados para o sul. Já nas baixadas ocorre um maior acúmulo de ar frio durante o inverno, o que acaba condicionando redução da temperatura do solo também nessa área.



★ Cobertura do Terreno

Este é um fator microclimático. Solos sem cobertura (desnudos) ficam sujeitos a grandes variações térmicas diárias nas camadas superficiais. A cobertura com vegetação ou resíduos vegetais (mulch) modifica o balanço de radiação e de energia, pois a cobertura intercepta a radiação solar, impedindo que esta atinja o solo. Esse fator é importante no sistema de plantio direto e nos pomares, onde as plantas ficam bem espaçadas. Em períodos críticos (inverno) e em locais sujeitos a geadas, a cobertura do terreno é um fator agravante das geadas, pois impede que o solo armazene calor durante o dia e libere-o para a superfície à noite



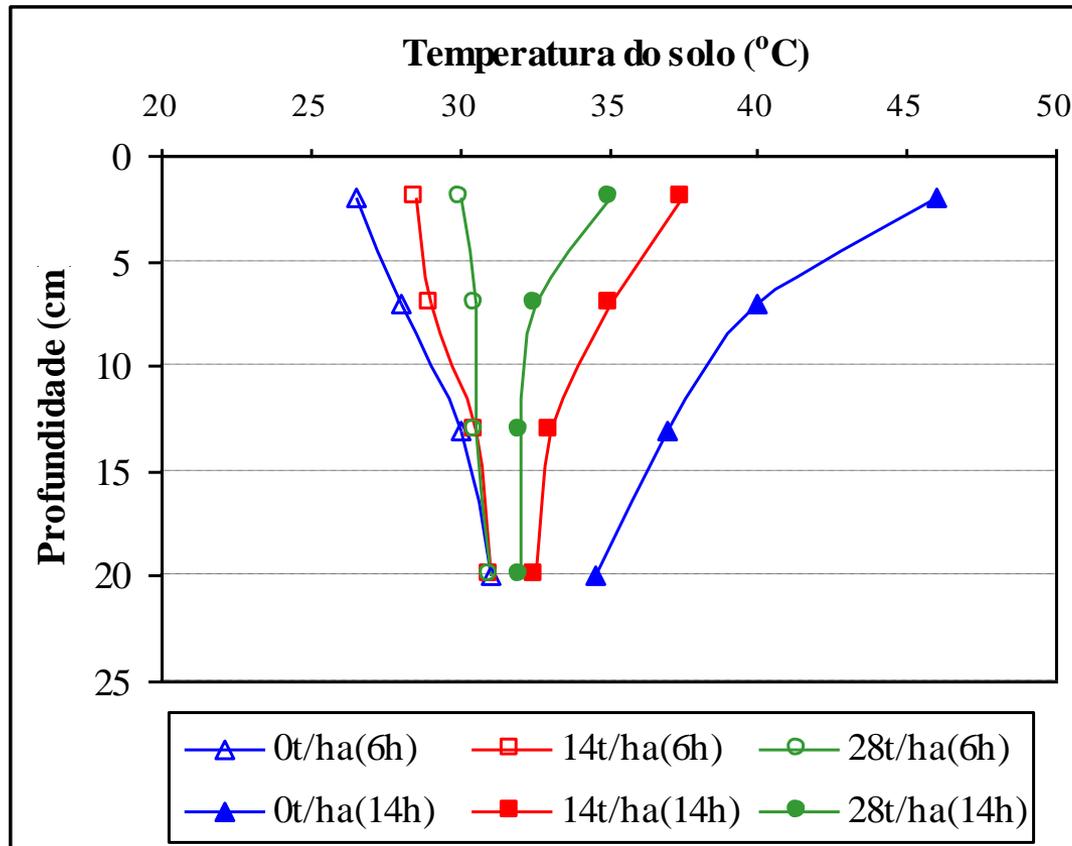
**Sistema convencional
solo exposto**



**Sistema plantio-direto
solo com mulch**



**Mato na entrelinha
do cafezal**

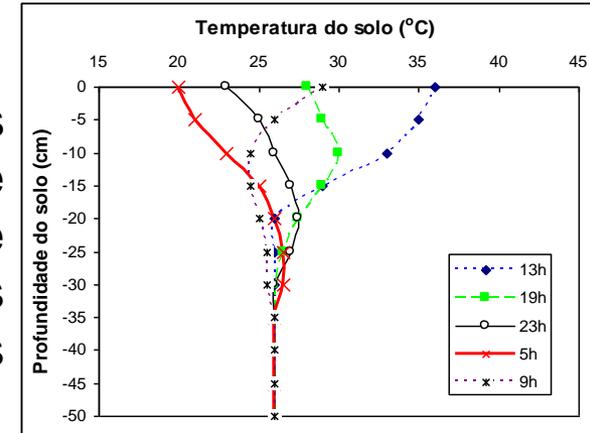


A figura acima mostra a variação da temperatura do solo para dois horários do dia e até a profundidade de 20cm, para diferentes graus de cobertura com palha de café. Observe que o solo sem cobertura apresentou uma amplitude térmica (variação entre 6 e 12h) muito maior do que para o solo coberto com mulch. Os resultados confirmam que quanto maior a cobertura com mulch, maior o isolamento proporcionado.

➔ Variação Temporal e Espacial da Temperatura do Solo

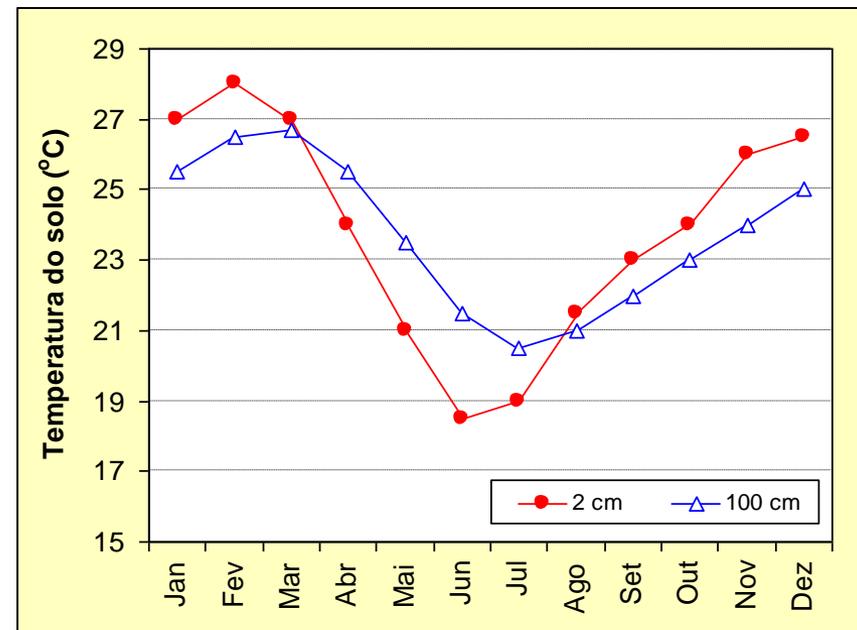
★ Diária

Varia com a profundidade. Nas camadas mais superficiais, varia de acordo com a incidência de radiação solar, tendo o valor máximo entre 12 e 14h. Em profundidades maiores, as máximas tendem a ocorrer mais tarde, assim como as mínimas.

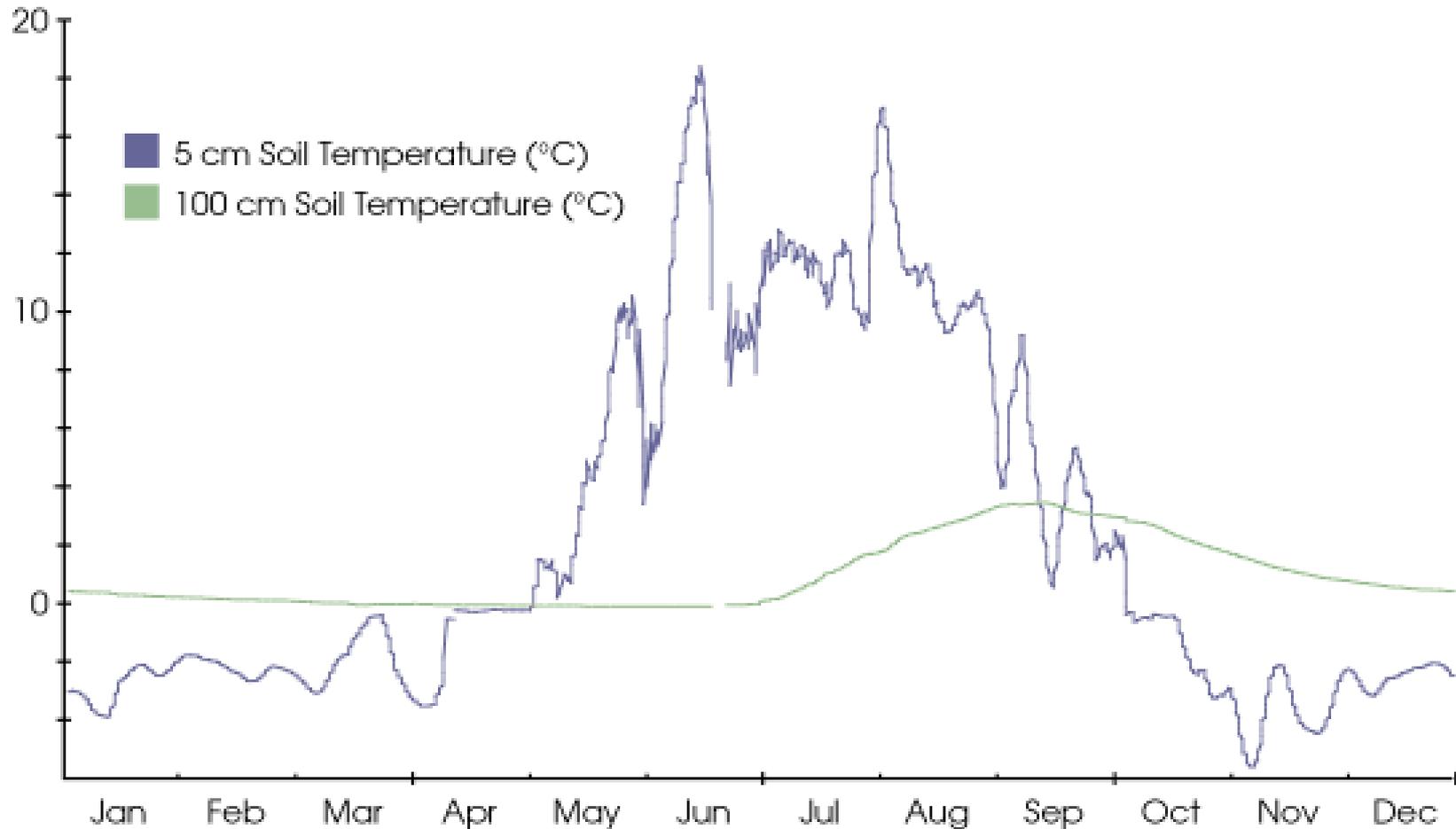


★ Anual

Também segue a disponibilidade de energia na superfície, com valores máximos no verão e mínimos no inverno. Em profundidade, ocorre um pequeno atraso nos valores máximos e mínimos. A figura ao lado ilustra a variação anual da temperatura do solo em duas profundidades. Observe que no verão a temperatura média mensal é maior na superfície. Já no inverno, isso se inverte.



Variação anual da temperatura do solo em região de clima temperado, onde, durante o inverno, o solo fica coberto com neve. Compare a figura do slide anterior com essa e observe as diferenças e as semelhanças.



➔ Medida da Temperatura do Solo

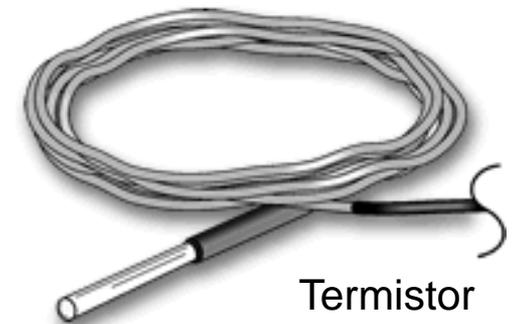
São utilizados os geotermômetros, cujo o elemento sensor é o mercúrio, que tem como princípio de medida a dilatação de um líquido. Além deles pode-se utilizar outros tipos de elementos sensores, como os termopares e os termistores. Para medida padrão em estações meteorológicas os geotermômetros devem ser instalados a 2, 5, 10, 20, 40 e 100 cm de profundidade em superfície gramada ou de solo desnudo.



Geotermômetros instalados em gramado

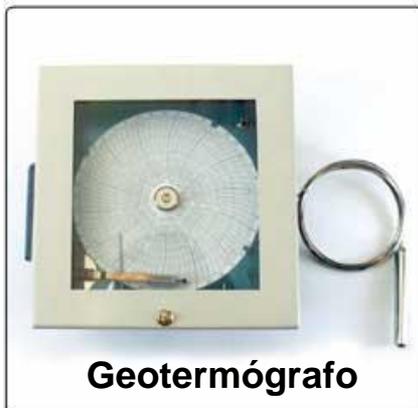


Geotermômetros instalados em solo desnudo



Termistor

Sensor automático para medida da temp. do solo



Geotermógrafo



Além dos geotermômetros padrões, existem outros tipos de geotermômetros de baixo custo, para uso em plantações.



➔ Cálculo da Temperatura Média do Solo

Estação Convencional: $T_{med} \text{ do Solo} = (T_{s_{7h}} + T_{s_{14h}} + T_{s_{21h}}) / 3$

Estação Automática : $T_{med} \text{ do Solo} = (\sum T_{s_i}) / n$



T_{s_i} é a temperatura do solo medida a cada intervalo de tempo e n é o total de observações feitas ao longo de um dia

➔ Estimativa da Temperatura Média Mensal do Solo

Caso não se disponha de dados para determinar a temperatura média mensal de um solo, pode-se recorrer às estimativas por meio da relação da temperatura do solo com a temperatura do ar:

$$T_s = a + b \cdot T_a$$

Os valores de a e b dependem do tipo de solo e também da profundidade de determinação de T_s . Veja a seguir os valores dos coeficientes para um Latossolo Roxo desnudo:

Profundidade	Equação
2 cm	$T_{s_{2cm}} = -4,56 + 1,38.T_{ar}$
5 cm	$T_{s_{5cm}} = -3,61 + 1,33.T_{ar}$
10 cm	$T_{s_{10cm}} = -2,59 + 1,28.T_{ar}$
20 cm	$T_{s_{20cm}} = -1,70 + 1,22.T_{ar}$
40 cm	$T_{s_{40cm}} = 0,62 + 1,12.T_{ar}$
100 cm	$T_{s_{100cm}} = 7,27 + 0,81.T_{ar}$

Exemplos:

$T_{ar} = 24^{\circ}\text{C}$ 2 cm  $T_{s_{2cm}} = -4,56 + 1,38. 24 = 28,6^{\circ}\text{C}$
 100 cm  $T_{s_{100cm}} = 7,27 + 0,81. 24 = 26,7^{\circ}\text{C}$

$T_{ar} = 17^{\circ}\text{C}$ 2 cm  $T_{s_{2cm}} = -4,56 + 1,38. 17 = 18,9^{\circ}\text{C}$
 100 cm  $T_{s_{100cm}} = 7,27 + 0,81. 17 = 21,0^{\circ}\text{C}$

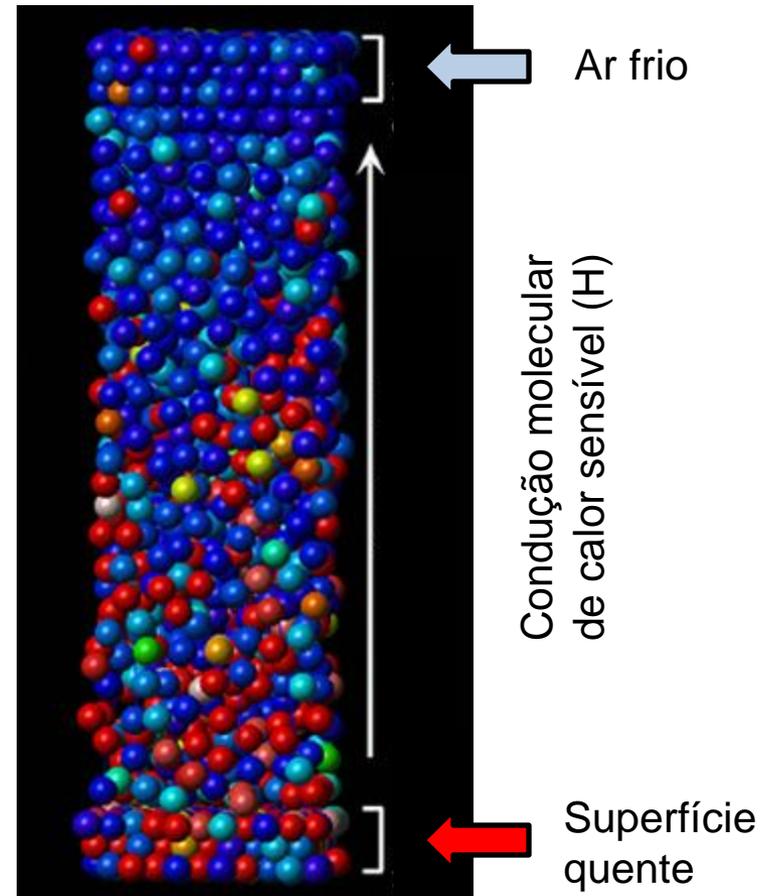
Temperatura do ar

A temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares. O transporte de calor sensível (H) na atmosfera se dá por 2 processos:



Condução Molecular

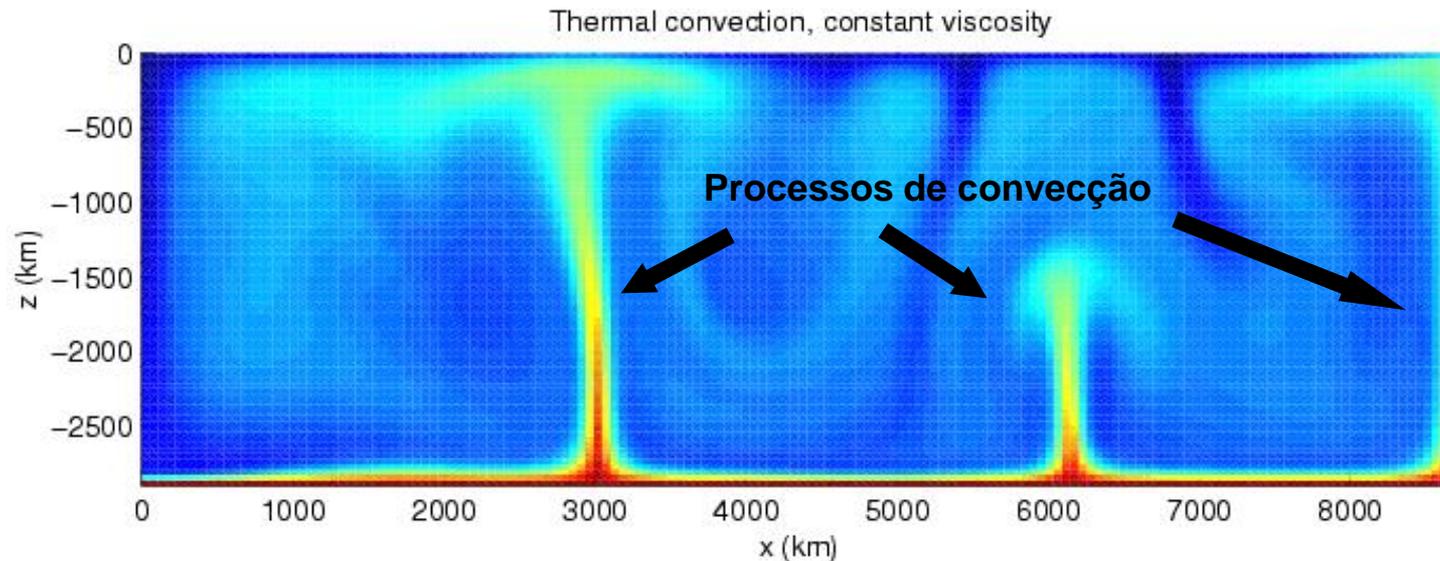
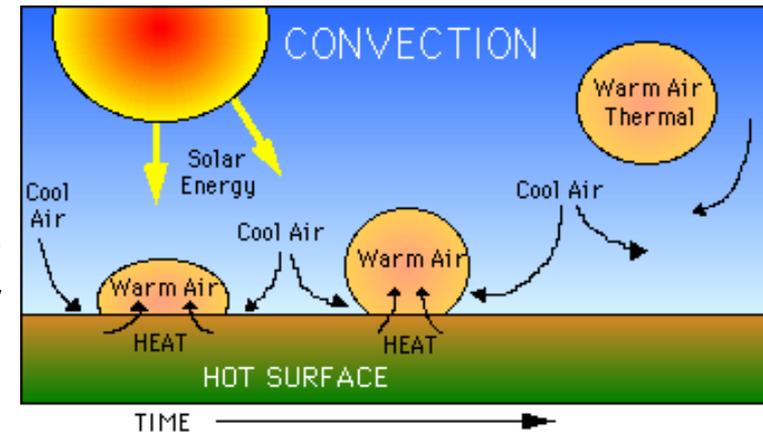
Processo lento de troca de H, ocorrendo pelo contato entre as moléculas de ar. Assim, esse processo tem extensão espacial limitada, ficando restrito à camada limite superficial.





Difusão Turbulenta

Processo rápido de troca de energia, em que parcelas de ar aquecidas pela superfície entram em movimento convectivo desordenado, transportando calor (H), vapor (LE), etc, para camadas superiores da atmosfera.



A figura acima é uma representação real do que se vê na figura ilustrativa do processo de convecção. O vermelho indica temperaturas maiores e o azul menores.

Fatores Determinantes da Temperatura do Ar

Os fatores determinantes da temperatura do ar são aqueles associados às três escalas dos fenômenos atmosféricos:

Fatores Macroclimáticos

Relacionados à latitude, altitude, correntes oceânicas, continentalidade / oceanidade, massas de ar e frentes.

Fatores Topoclimáticos

Relacionados ao relevo, mais especificamente à configuração e exposição do terreno.

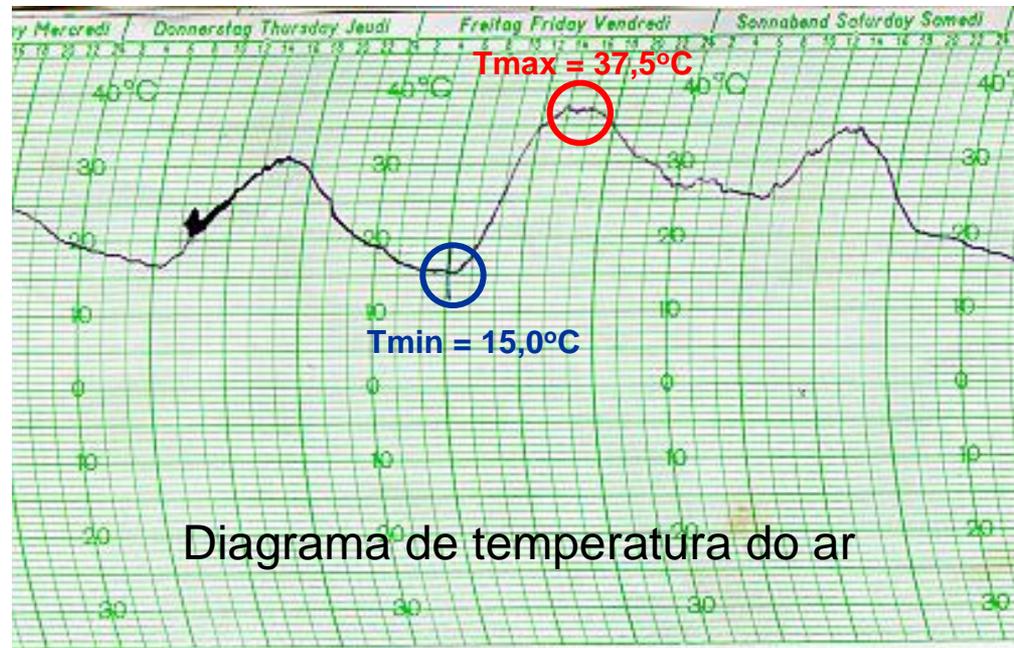
Fatores Microclimáticos

Relacionados à cobertura do terreno.

➔ Variação Temporal da Temperatura do Ar

✦ Diária

A temperatura do ar varia basicamente em função da disponibilidade de radiação solar na superfície terrestre. O valor máximo diário da temperatura do ar ocorre normalmente de 2 a 3h após o pico de energia radiante, o que se deve ao fato da temperatura do ar ser medida a cerca de 1,5 a 2,0 m acima da superfície. Já a temperatura mínima diária ocorre de madrugada, alguns instantes antes do nascer do sol. O diagrama abaixo mostra a variação diária da temperatura do ar.

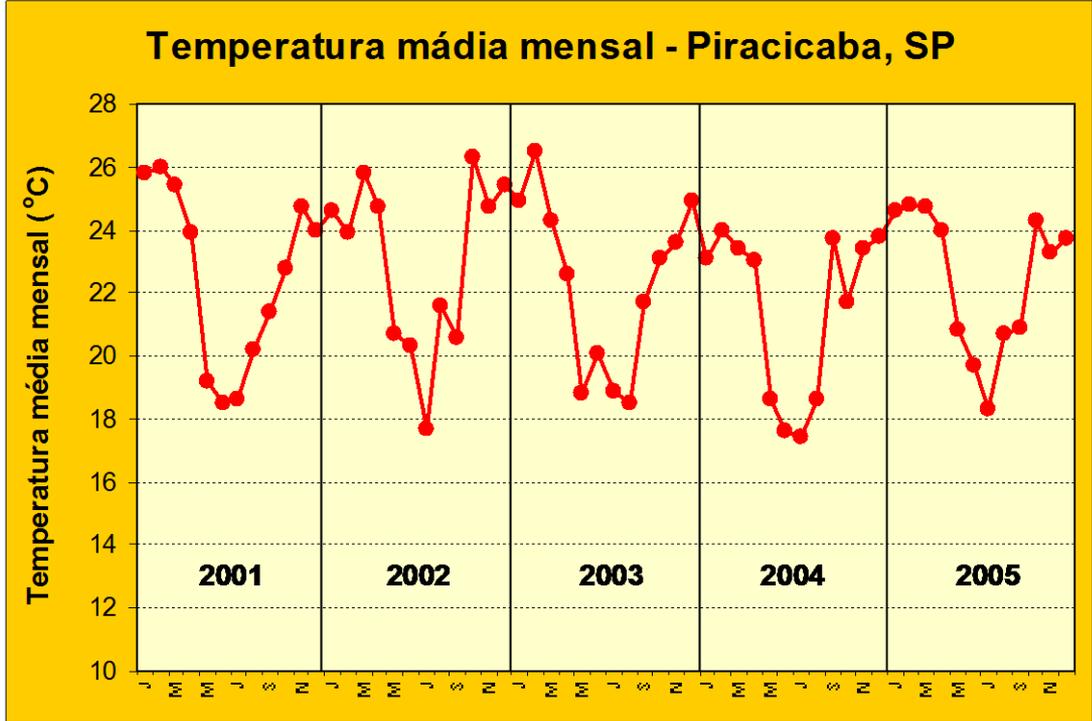




A variação diária normalmente observada da temperatura do ar pode sofrer variações, especialmente com a entrada de frentes frias ou dias nublados, quando a temperatura do ar praticamente não varia

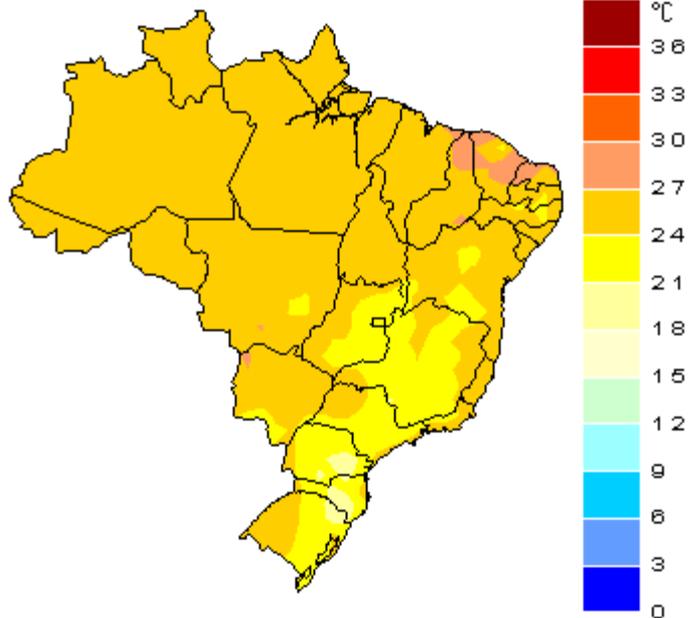
★ Anual

Também segue a disponibilidade de energia na superfície, com valores máximos no verão e mínimos no inverno.



→ Variação Espacial da Temperatura do Ar

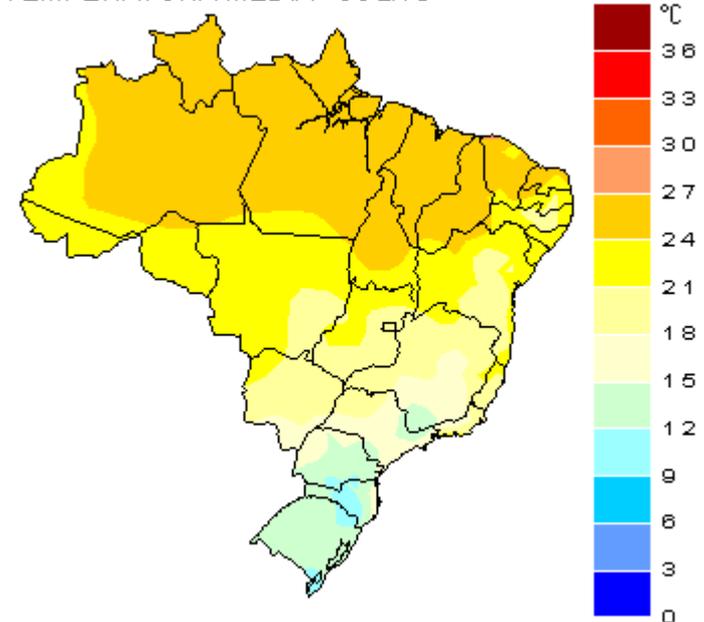
TEMPERATURA MÉDIA - JANEIRO



Fonte: INMET 1931/1990

A variabilidade espacial (horizontal) é basicamente definida pelos fatores determinantes do clima, como latitude, altitude, continentalidade, correntes oceânicas, massas de ar, etc.

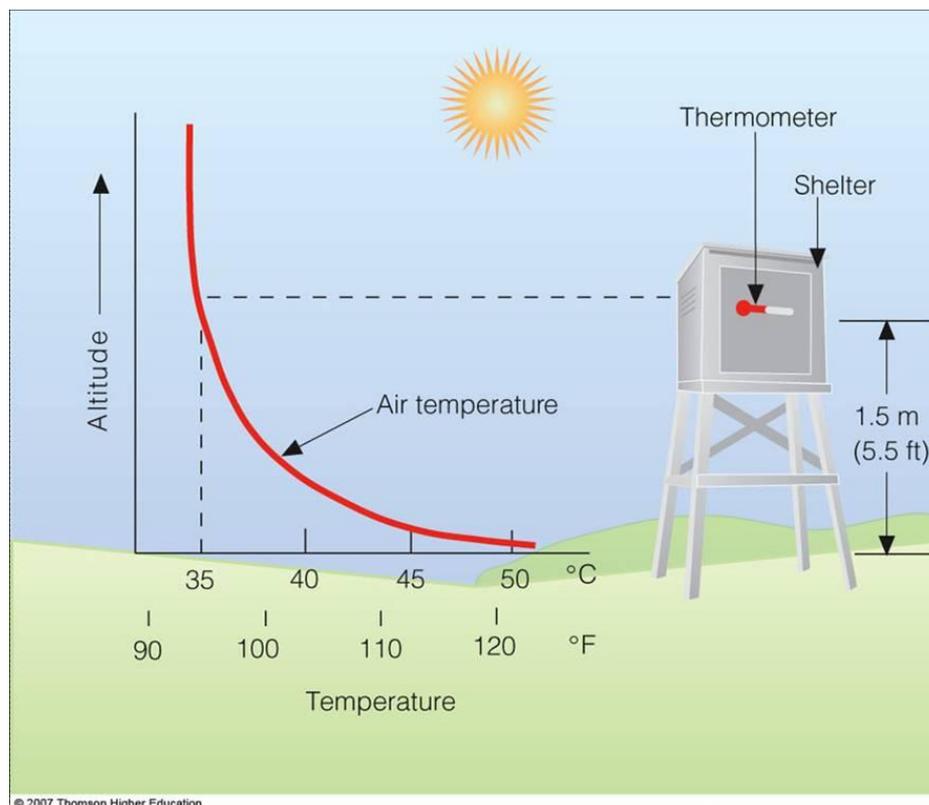
TEMPERATURA MÉDIA - JULHO



Fonte: INMET 1931/1990

Os mapas mostram a variabilidade espacial das temperaturas médias do ar no Brasil, em janeiro e em julho, de acordo com as normais climatológicas de 1931-1990.

➔ Variação Espacial da Temperatura do Ar

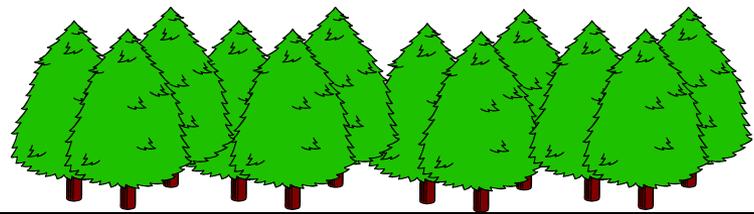
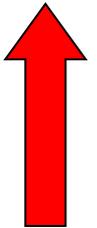


A temperatura do ar varia espacialmente também na vertical. Como tanto o aquecimento como o resfriamento do ar se dão a partir da superfície, durante o dia a tendência é da temperatura do ar ser maior próxima à superfície e menor com a altura. Já de madrugada, essa situação se inverte, sendo a temperatura menor próxima à superfície e maior com o aumento da altura. Esses gradientes verticais de temperatura são apresentados na figura a seguir.

Variação Espacial da Temperatura do Ar

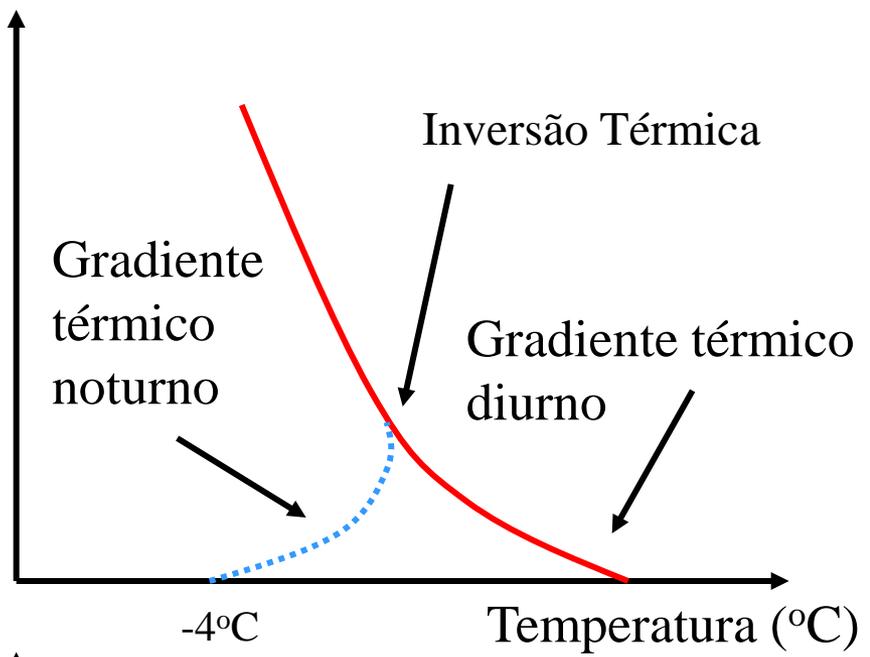


OL

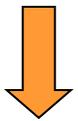
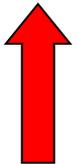


Noite de inverno com céu céu limpo – favorável à inversão térmica e à ocorrência de geadas

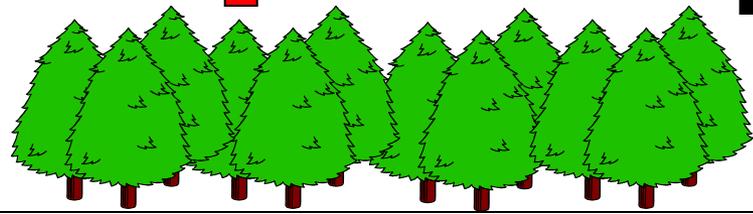
Altura (m)



OL

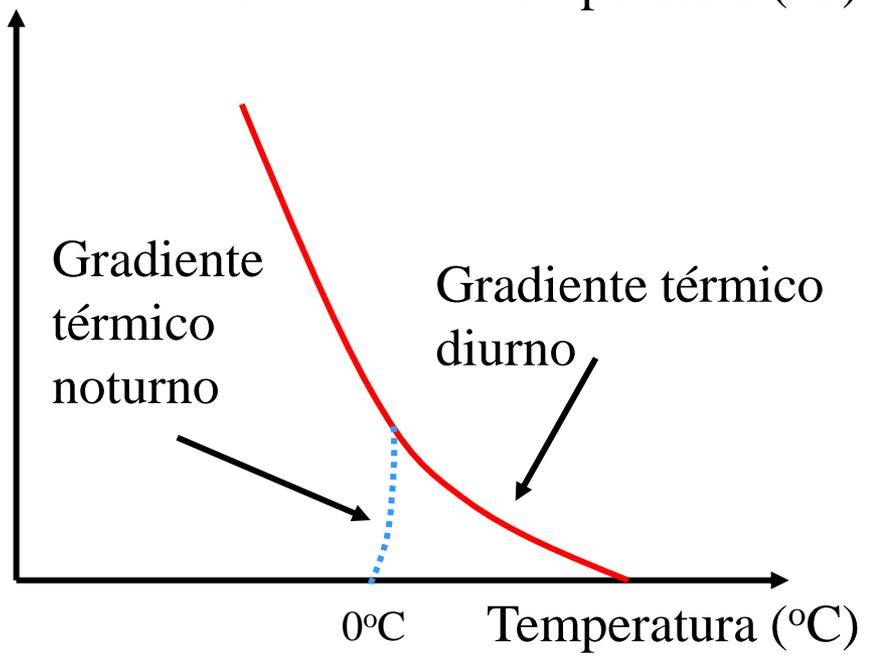


OL



Noite de inverno mas com nebulosidade, sem condições para ocorrência de geadas

Altura (m)



➔ Medida da Temperatura do Ar

O padrão para a medida da temperatura do ar visa homogeneizar as condições de medida, com relação ao topo e microclima, deixando essa variável dependente unicamente das condições macroclimáticas, o que possibilita a comparação entre locais. Assim, mede-se a temperatura do ar com os sensores instalados em um abrigo meteorológico, a 1,5 – 2,0 m de altura e em área plana e gramada.



Abrigos meteorológicos utilizados em estações meteorológicas convencionais



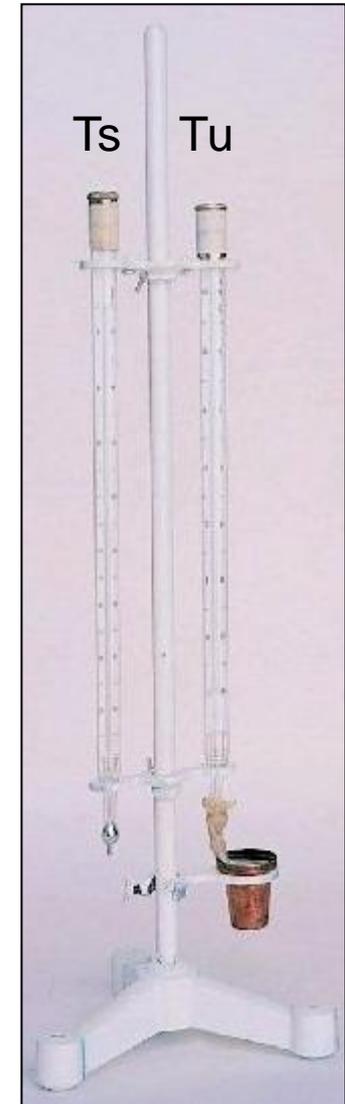
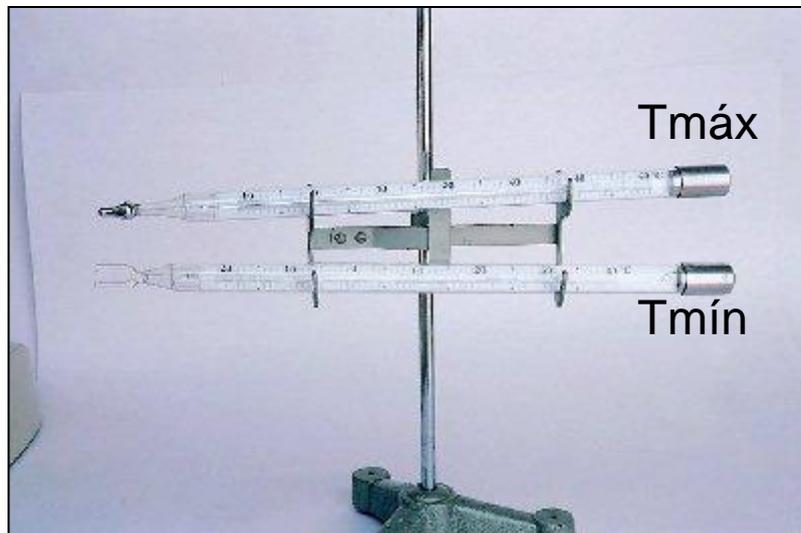
Abrigo meteorológico utilizado em estações meteorológicas automáticas



Os sensores utilizados para a medida da temperatura do ar podem ser divididos conforme o princípio de medida

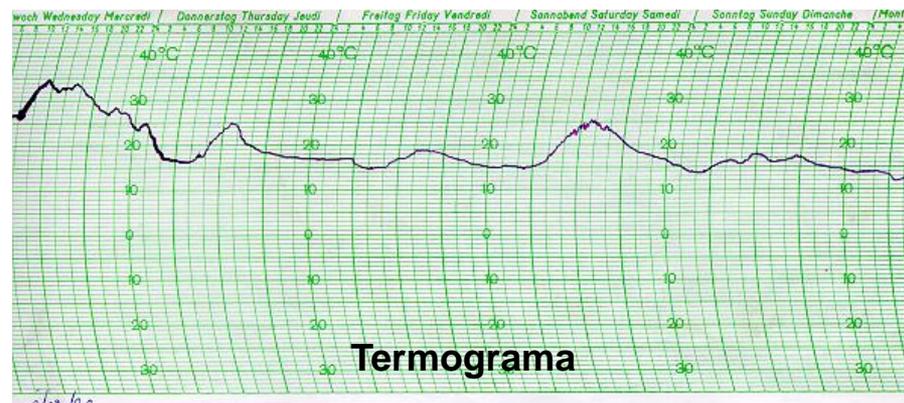
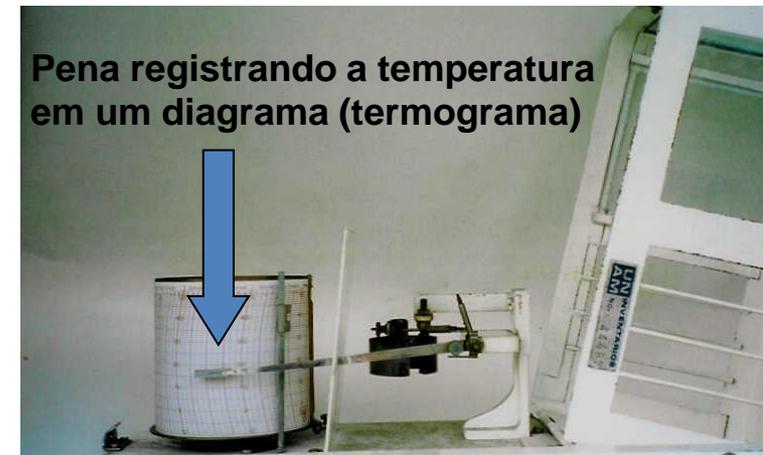


Dilatação de líquido: são denominados de termômetros. Os termômetros são utilizados em estações meteorológicas convencionais, onde ficam instalados dentro do abrigo meteorológico. Dois termômetros são destinados a medir as temperaturas máxima ($T_{m\acute{a}x}$) e mínima ($T_{m\acute{i}n}$) e outros dois se destinam a medir a temperatura do bulbo seco (T_s) e do bulbo úmido (T_u), os quais constituem o conjunto psicrométrico, a ser utilizados na aula de umidade do ar





Dilatação de sólido: são denominados de termógrafos. Os termógrafos tem como elemento sensor um arco metálico, o qual se dilata e contrai com a temperatura. Essa variação de dilatação é proporcional à variação de temperatura. São utilizados em estações meteorológicas convencionais, onde ficam instalados dentro do abrigo meteorológico. Eles medem a temperatura do ar continuamente, com o registro sendo feito com uma pena sobre um diagrama.





Pares termoeletricos: utilizam junções de dois metais diferentes. A diferença de temperatura entre as duas junções (uma no abrigo e outra numa temperatura de referência) gera uma força eletromotriz proporcional. Na figura ao lado vemos sondas de termopar, nas quais uma junção é o sensor e a outra junção se encontra conectada ao sistema de aquisição de dados (referência)



Sondas de Termopar

Termistores



Sensor de temperatura



Termistores: constituídos de material semicondutor, com coeficiente térmico negativo (variação da resistência com a temperatura, ou seja maior a temperatura, menor a resistência), permitindo seu acoplamento a sistemas de aquisição de dados. Ao lado vemos vários tipos de termistores e uma sonda de medida da temperatura do ar, cujo elemento sensor é um termistor.

 Cálculo da Temperatura Média do Ar

Estação Convencional:

INMET $T_{med} \text{ do ar} = (T_{a_{9h}} + T_{máx} + T_{mín} + 2.T_{a_{21h}}) / 5$

IAC $T_{med} \text{ do ar} = (T_{a_{7h}} + T_{a_{14h}} + 2.T_{a_{21h}}) / 4$

Valores
Extremos $T_{med} \text{ do ar} = (T_{máx} + T_{mín}) / 2$

Termógrafo $T_{med} \text{ do ar} = (\sum T_{a_i}) / 24$



T_{a_i} é a temperatura do ar medida a cada intervalo de 1 hora e 24 é o total de observações feitas ao longo de um dia

Estação Automática :

Real $T_{med} \text{ do ar} = (\sum T_{a_i}) / n$



T_{a_i} é a temperatura do ar medida a cada intervalo de tempo e n é o total de observações feitas ao longo de um dia

Estimativa da Temperatura Média Mensal do Ar

Caso não se disponha de dados médios mensais de temperatura do ar para um local. Esses podem ser estimados em função das coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), devido à relação de dependência entre elas e a temperatura do ar:

> Latitude < Temperatura média do ar

> Altitude < Temperatura média do ar

Longitude expressa, em alguns casos, a oceanidade/continentalidade

A estimativa da temperatura média normal de um local é de extrema utilidade para a agricultura, pois muitas vezes necessita-se dos dados de temperatura para o planejamento agrícola e a única forma de obtê-los é por meio de estimativas.

A estimativa da Temperatura média mensal normal é obtida com o emprego de uma regressão linear múltipla:

$$T_{med} = a + b.ALT + c.LAT + d.LONG$$

em que: ALT = altitude, em metros; LAT = latitude e LONG = longitude, ambas em minutos (graus x 60). As letras a, b, c e d, representam os coeficientes da equação, obtidos estatisticamente.

Os coeficientes da equação variam de acordo com as características de cada local e também com a época do ano. Valores desses coeficientes estão disponíveis para vários estados brasileiros, porém aqui iremos apresentar apenas aqueles relativos ao estado de São Paulo, cujo modelo leva em consideração apenas a Altitude e a Latitude:

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
a	35,02	35,62	35,10	36,11	36,49	36,61	39,31	42,35	50,19	47,39	42,03	34,93	39,26
b	-,0063	-,0060	-,0061	-,0058	-,0056	-,0051	-,0053	-,0055	-,0054	-,0059	-,0064	-,0063	-,0058
c	-,0045	-,0044	-,0066	-,0088	-,0110	-,0124	-,0148	-,0156	-,0201	-,0169	-,0120	-,0064	-,0113

Obs: Esses coeficientes não são válidos para estimar a temperatura média no litoral do Estado de São Paulo e no Vale do Ribeira

Exemplos:

Campos do Jordão (lat. = 23°S e alt = 1200m)	Jan		$T_{med} = 32,02 - 0,0063 \cdot 1200 - 0,0045 (23 \cdot 60) = 18,3^{\circ}\text{C}$
	Jul		$T_{med} = 39,31 - 0,0053 \cdot 1200 - 0,0148 (23 \cdot 60) = 12,5^{\circ}\text{C}$

Votuporanga (lat. = 20°S e alt = 400m)	Jan		$T_{med} = 32,02 - 0,0063 \cdot 400 - 0,0045 (20 \cdot 60) = 24,1^{\circ}\text{C}$
	Jul		$T_{med} = 39,31 - 0,0053 \cdot 400 - 0,0148 (20 \cdot 60) = 19,4^{\circ}\text{C}$

Tabela 6.2. Valores dos coeficientes a, b, c e d da equação de estimativa da T_{méd} para vários estados brasileiros.

Coef.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estado da Bahia (1)												
a	26,94	28,10	27,21	22,57	20,77	22,77	17,52	19,36	15,52	9,84	17,21	24,04
b	-0,0056	-0,0055	-0,0054	-0,0059	-0,0069	-0,0065	-0,0075	-0,0060	-0,0067	-0,0067	-0,0064	-0,0061
c	-0,0032	-0,0025	-0,0027	-0,0036	-0,0055	-0,0050	-0,0027	-0,0043	-0,0078	-0,0073	-0,0054	-0,0044
d	0,0010	0,0003	0,0006	0,0027	0,0036	0,0021	0,0019	0,0030	0,0063	0,0092	0,0055	0,0024
Estado de Goiás & Tocantins (2)												
a	27,09	26,48	27,22	30,03	32,21	32,13	31,83	31,65	33,07	30,73	27,70	26,92
b	-0,0043	-0,0046	-0,0048	-0,0049	-0,0050	-0,0043	-0,0049	-0,0061	-0,0051	-0,0048	-0,0055	-0,0056
c	-0,0012	-0,0002	-0,0010	-0,0043	-0,0080	-0,0096	-0,0090	-0,0057	-0,0060	-0,0037	-0,0007	-0,0002
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estado de Minas Gerais (3)												
a	25,49	26,51	24,57	23,81	22,87	23,62	19,10	12,51	15,10	18,80	19,95	22,83
b	-0,0056	-0,0055	-0,0054	-0,0051	-0,0047	-0,0048	-0,0051	-0,0049	-0,0051	-0,0055	-0,0054	-0,0055
c	-0,0031	-0,0039	-0,0044	-0,0077	-0,0092	-0,0105	-0,0107	-0,0105	-0,0115	-0,0104	-0,0065	-0,0041
d	0,0019	0,0015	0,0026	0,0037	0,0038	0,0036	0,0053	0,0082	0,0085	0,0072	0,0051	0,0031
Estado do Paraná (4)												
a	37,00	38,70	40,50	47,20	46,60	46,50	49,50	54,00	54,30	48,30	46,40	37,80
b	-0,0056	-0,0055	-0,0053	-0,0046	-0,0038	-0,0036	-0,0034	-0,0037	-0,0038	-0,0052	-0,0055	-0,0060
c	-0,0072	-0,0084	-0,0105	-0,0170	-0,0190	-0,0199	-0,0220	-0,0238	-0,0229	-0,0172	-0,0148	-0,0081
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estado do Piauí (8)												
a	46,49	40,51	34,57	30,45	32,88	39,84	36,23	40,62	35,96	40,60	61,51	52,24
b	-0,0055	-0,0053	-0,0055	-0,0061	-0,0081	-0,0103	-0,0105	-0,0129	-0,0116	-0,0090	-0,0096	-0,0053
c	0,0009	0,0020	0,0035	0,0032	0,0048	0,0060	0,0041	0,0084	0,0091	0,0067	0,0059	0,0006
d	-0,0077	-0,0057	-0,0035	-0,0018	-0,0028	-0,0055	-0,0037	-0,0055	-0,0034	-0,0050	-0,0133	-0,0094
Estado do Rio Grande do Sul (5)												
a	44,11	42,46	41,80	34,80	31,85	34,32	37,705	43,76	47,73	50,49	49,24	48,42
b	-0,0067	-0,0065	-0,0061	-0,0050	-0,0045	-0,0041	-0,0040	-0,0041	-0,0047	-0,0054	-0,0058	-0,0060
c	-0,0104	-0,0098	-0,0103	-0,0085	-0,0085	-0,0112	-0,0130	-0,0157	-0,0169	-0,0173	-0,0151	-0,0134
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estado de São Paulo (6)												
a	33,03	32,62	35,10	36,11	36,49	36,61	39,31	42,35	50,19	47,39	42,03	34,93
b	-0,0063	-0,0060	-0,0061	-0,0058	-0,0056	-0,0051	-0,0053	-0,0055	-0,0054	-0,0059	-0,0064	-0,0063
c	-0,0045	-0,0044	-0,0066	-0,0088	-0,0110	-0,0124	-0,0148	-0,0156	-0,0201	-0,0169	-0,0120	-0,0064
d	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estado de Santa Catarina (7)												
a	14,23	17,24	24,28	33,93	34,38	29,49	32,04	22,78	14,94	11,29	5,69	6,70
b	-0,0053	-0,0052	-0,0053	-0,0052	-0,0054	-0,0053	-0,0048	-0,0043	-0,0044	-0,0047	-0,0048	-0,0051
c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d	0,0035	0,0024	-0,0002	-0,0052	-0,0054	-0,0043	-0,0055	-0,0021	0,0010	0,0047	0,0053	0,0056

Fontes: (1) Monteiro & Tarifa (1975); (2) Alfonsi et al. (1974); (3) Coelho et al. (1973); (4) Pinto & Alfonsi (1974); (5) Ferreira et al. (1971); (6) Pinto et al. (1972); (7) Tubelis & Nascimento (1980); (8) Lima & Ribeiro (1998).

Teste rápido #6

- 1) Você foi requisitado para projetar a instalação de um posto agrometeorológico em uma propriedade agrícola. Em que condições você recomendaria a instalação dos termômetros para medida da temperatura do ar e do solo? Por que?
- 2) Sabendo-se que o cafeeiro arábica exige, para seu bom desenvolvimento, temperatura média anual entre 18 e 22°C, entre quais altitudes ocorreriam condições térmicas ideais para seu cultivo no Estado de São Paulo, que se situa entre as latitudes de 20 e 24°S?
- 3) Explique como a cobertura do solo interfere na temperatura do solo. Qual a principal implicação disso para a agricultura?
- 4) Você foi contratado por uma empresa agrícola para assessorar um empreendimento em uma fazenda no oeste Paulista (Lat. 21°05´S, Long. 50°43´W e Alt. 680m), em um município onde não existem dados meteorológicos. O proprietário requisita um projeto sobre a viabilidade do cultivo de pessegueiro nessa região. No levantamento bibliográfico, você verifica que para se desenvolver adequadamente as plantas dessa frutífera requerem temperaturas médias mensais inferiores a 17°C durante 3 meses consecutivos por ano. Qual seria seu parecer? A cultura é recomendável ou não para a região? (Apresente os cálculos utilizados).