

## TEMPERATURA DO SOLO

- 1 – INTRODUÇÃO: Influência da temperatura sobre os processos que ocorrem no solo
- 2 – AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DA SUPERFÍCIE DO SOLO
- 3 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO
- 4 - COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS SOLOS DE TEXTURA EXTREMA
- 5 – COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA NO PERFIL
- 6 – INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO SOBRE A SUA TEMPERATURA

### 1 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE OS PROCESSOS QUE OCORREM NO SOLO

A temperatura do solo influi em vários processos que ocorrem no solo:

- germinação de sementes (reações bioquímicas);
- crescimento do sistema radicular (divisão celular);
- absorção de água e nutrientes (viscosidade da solução);
- decomposição da matéria orgânica.

**1.1- Germinação de sementes:** Importante saber a temperatura do solo ideal para a semente da espécie que será semeada, para um melhor planejamento da semeadura.

FASES DA GERMINAÇÃO QUE SOFREM AÇÃO DA TEMPERATURA DO SOLO:

- a) desdobramento de substâncias complexas dos tecidos de reserva em substâncias simples:
  - proteínas → aminoácidos;
  - lipídeos e óleos → ácidos graxos;
  - amido → glicídios.
- b) transporte para os tecidos em crescimento
- c) “síntese de novo”
  - aminoácidos → proteínas;
  - ácidos graxos → lipídeos e óleos;
  - glicídios → amido.

TEMPERATURAS CARDEAIS PARA GERMINAÇÃO

- Temperatura mínima: abaixo dessa temperatura a germinação não ocorre;
- Temperatura ótima: máximo de germinação no menor tempo possível;
- Temperatura máxima: acima dessa temperatura a germinação não ocorre.

Temperaturas entre 0 °C e 10 °C por algumas semanas (ou meses) possuem efeito de quebra de dormência em sementes de macieira, de pereira e de pessegueiro.

A velocidade de emergência das plântulas de soja é praticamente nula na temperatura de 10 °C, aumentando progressivamente com o acréscimo na temperatura média do solo até atingir 29 °C (Temperatura ótima).

A temperatura do solo afeta a duração do período semeadura-emergência (viabilidade da semente). A emergência da soja ocorre em dez dias quando a temperatura média do solo for de 20 °C, enquanto que à temperatura de 25 °C a emergência ocorre em seis dias. Temperaturas médias do solo superiores a 30 °C, por sua vez, diminuem a velocidade de emergência da soja, a formação de nódulos e a fixação de nitrogênio pelo rizóbio nas raízes da soja. O número e o peso seco de nódulos e a atividade simbiótica, para grande número de raças de rizóbio, são mínimos aos 15 °C e máximos à 25-30 °C.

**1.2- Crescimento do sistema radicular:** ocorre através da divisão celular no meristema.

Temperaturas altas podem provocar lesões nas raízes comprometendo a atividade funcional das raízes.

**1.3- Absorção de água e nutrientes:**

Para que haja a absorção de água e/ou nutrientes pelas raízes, é necessário o contato íon (solução) com a raiz através de fluxo de massa, difusão ou interceptação radicular.

**FLUXO DE MASSA:** caminhamento do íon numa fase aquosa a favor de um gradiente de pressão. Em temperaturas baixas a solução torna-se mais viscosa, fluindo com menor velocidade (a 5 °C o movimento é ¼ do que a temperatura de 25 °C).

**DIFUSÃO:** movimento do íon a favor de um gradiente de concentração. Movimento térmico de moléculas e íons (agitamento).

**INTERCEPTAÇÃO RADICULAR:** o contato se dá através do crescimento radicular até o íon.

Após o contato íon-raiz ocorre a absorção que pode se processar de duas maneiras:

- 1- Fase passiva: íon se desloca a favor de um gradiente de concentração, sem gasto de energia;
- 2- Fase ativa: íon caminha contra um gradiente de concentração e por isso requer a atuação de enzimas (gasto de energia).

Raízes de tomate e milho dobram a taxa respiratória entre 25 – 30 ° C. Altas taxas respiratórias provocam aumento na demanda de carboidratos podendo afetar a taxa de crescimento do sistema radicular.

Quando a temperatura do solo é mantida a 10°C, as raízes de algodão herbáceo e de melancia absorvem apenas 20% da água que absorvem a 25°C.

**1.4- Decomposição da matéria orgânica e transformação do N:**

N orgânico → microorganismos e termofilias → N mineral (MINERALIZAÇÃO)

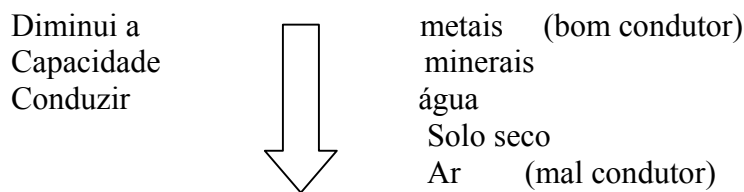
N orgânico → N amoniacal (AMONIFICAÇÃO) (40-60 °C)

Oxidação da amônia a nitrato ou nitrito (NITRIFICAÇÃO) (30-35 °C)

## 2 – AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO DA SUPERFÍCIE

Uma fração do saldo de radiação é absorvida pela superfície do solo, conseqüentemente, ocorre elevação da temperatura da superfície do solo (aquecimento). Este aumento da temperatura dá origem a um gradiente térmico no interior do solo, isto é, a temperatura na superfície é maior do que nas camadas abaixo da superfície do solo, em função disto, haverá a transferência de energia da superfície para o interior do solo. Esta transferência de energia é realizada pelo processo de CONDUÇÃO TÉRMICA.

**CONDUÇÃO TÉRMICA:** É um processo de transferência de energia no qual a energia é transferida de molécula para molécula, sem que haja deslocamento das moléculas de sua posição original. Por esta razão, normalmente os corpos mais densos apresentam mais facilidade para conduzir a energia.



Portanto, quando o solo é umedecido ocorre uma melhora na sua capacidade de conduzir energia pois, substitui-se o ar (quase um isolante) pela água, que conduz melhor a energia.

## 3 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO

3.1- CALOR ESPECÍFICO;

3.2- CAPACIDADE TÉRMICA ou Calorífica;

3.3- CAPACIDADE TÉRMICA POR UNIDADE DE VOLUME;

3.4- CONDUTIVIDADE TÉRMICA;

3.5- DIFUSIVIDADE TÉRMICA.

### 3.1- CALOR ESPECÍFICO (Cp)

“É a quantidade de energia (Q) necessária para elevar a temperatura da unidade de massa do solo em 1 °C.”

$$C_p = Q/m \cdot \rho T \quad \text{cal/g.}^\circ\text{C}$$

CONSIDERAÇÕES:

- Quanto maior o valor do calor específico (Cp) maior a quantidade de energia necessária para aquecer a substância.
- Cp depende da textura, estrutura e umidade do solo

TABELA 1. Densidade ( $\rho$ ), calor específico (Cp) e capacidade térmica volumétrica (Cv) de diferentes materiais.

material	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Cp (cal/g °C)	Cv (cal/cm <sup>3</sup> °C)
Quartzo	2,65	0,175	0,4637
Água	1,00	1,000	1,00
Ar	0,00129	0,240	0,000309
Solos minerais (seco)	2,65	0,18 – 0,20	0,477 – 0,53
Solos orgânicos (seco)	1,30	0,46	0,598

A baixa temperatura do solo úmido em relação ao solo seco é devido a maior Cp e a evaporação.

#### EXERCÍCIO:

Qual a Cp de um solo mineral com 20 % de umidade em base de peso?

a) energia necessária para elevar de 1 °C a temperatura de 0,20g de água (tabela acima)

$$Q = 0,20g \cdot 1 \text{ cal/g. } ^\circ\text{C} \cdot 1^\circ\text{C} = 0,20 \text{ cal}$$

b) energia necessária para elevar de 1°C a temperatura de 0,80 g de solo mineral (tabela acima)

$$Q = 0,80g \cdot 0,20 \text{ cal/g. } ^\circ\text{C} \cdot 1^\circ\text{C} = 0,16 \text{ cal}$$

$$c) \quad Q = 0,20 \text{ cal} + 0,16 \text{ cal} = 0,36 \text{ cal}$$

$$C_p = Q/m \cdot \rho T = 0,36 \text{ cal/g. } ^\circ\text{C}$$

### 3.2- CAPACIDADE TÉRMICA ou Calorífica (C)

Quantidade de calor necessário para variar a sua temperatura. É igual ao calor específico do solo multiplicado pela massa.

$$C = m \cdot C_p$$

$$C = m \cdot Q / m \cdot \rho T$$

$$C = Q / \rho T \text{ (cal/}^\circ\text{C)}$$

### 3.3- CAPACIDADE TÉRMICA POR UNIDADE DE VOLUME (Cv) (ARMAZENAMENTO)

“É a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 cm<sup>3</sup> de solo em 1°.”

$$C_v = C/V \text{ (cal/cm}^3\text{.}^\circ\text{C)}$$

$$C_v = m \cdot C_p / V \quad C_v = \rho \cdot C_p$$

### 3.4- CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO SOLO (K)

#### (TRANSFERÊNCIA)

“É uma medida da capacidade do solo em transmitir energia.” A condutividade térmica de uma substância é definida como sendo a quantidade de calor que flui, por unidade de tempo,

através de uma camada de solo de espessura unitária, quando mantida uma diferença de temperatura unitária entre as duas faces opostas dessa superfície.

A propagação do calor através do perfil do solo numa profundidade  $z$ , abaixo da superfície, é diretamente proporcional ao gradiente vertical da temperatura existente na referida profundidade. O fluxo de calor será proporcional ao gradiente e a condutividade térmica do material.

$$G = -K \rho T / \rho z \quad \text{lei de Fourier (1922)}$$

A constante de proporcionalidade  $K$  é chamada de condutividade térmica e representa a velocidade na qual a energia passa através de uma camada do solo quando existe um gradiente de  $1^\circ\text{C}/\text{cm}$ .

TABELA 2. Condutividade térmica ( $K$ ), calor específico ( $C_p$ ) e capacidade térmica volumétrica ( $C_v$ ) de diferentes materiais.

material	$K$ (cal/cm.s. $^\circ\text{C}$ )	$C_p$ (cal/g. $^\circ\text{C}$ )	$C_v$ (cal/cm <sup>3</sup> . $^\circ\text{C}$ )
Quartzo	$21 \cdot 10^{-3}$	0,17	0,46
Argila	$7 \cdot 10^{-3}$	>0,20	----
Água (20 $^\circ\text{C}$ )	$1,44 \cdot 10^{-3}$	1,0	1,0
Ar (10 $^\circ\text{C}$ )	$0,06 \cdot 10^{-3}$	0,24	0,00031

$K$  minerais >  $K$  água >  $K$  matéria orgânica

Quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura da superfície e maior será o 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 o seu teor de umidade, conforme evidencia a Tabela 3.

TABELA 3. Condutividade térmica ( $K$ ) de solos com diferentes texturas e teores de umidade, no Estado de São Paulo.

SOLO	TEXTURA			UMIDADE (% peso)	$K \cdot 10^{-4}$ (cal/cm.s. $^\circ\text{C}$ )
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)		
IRACEMA	67	11	22	0,0	4,9
				20,0	24,0
				34,1	48,2
LUIZ DE QUEIROZ	38	28	34	0,0	6,2
				22,0	27,0
				30,0	32,0
QUEBRA DENTE	5	19	76	0,0	6,6
				8,7	29,4

Os resultados da Tabela 3 mostram que o teor de umidade é o fator que afeta significativamente a condutividade térmica do solo.

TABELA 4. Diâmetro médio das partículas de alguns materiais.

MATERIAL	DIÂMETRO (mm)
Argila	<0,002
Silte	0,002 – 0,02
Areia fina	0,02 – 0,2
Areia grossa	0,2 – 2,0

Para um dado conteúdo de umidade a condutividade térmica (K) decresce dos solos pesados (mais densos) para os mais leves conforme aumente a porosidade. Entretanto, em condições de campo normais, solos pesados têm um conteúdo de umidade maior, o qual aumenta muito a condutividade térmica do solo. A matéria orgânica não transfere o calor tão rapidamente quanto um solo mineral.

Solo arenoso seco  $4,6 \cdot 10^{-4} \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$

Solo fino turfoso seco  $0,27 \cdot 10^{-4} \text{ cal/cm.s.}^{\circ}\text{C}$

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 a sua capacidade calorífica.

### 3.5- DIFUSIVIDADE TÉRMICA (D)

Parâmetro que relaciona a capacidade de condução e armazenamento de energia, isto é, o índice de facilidade com que é modificada a temperatura do solo.

Esta propriedade nos fornece uma idéia da velocidade de avanço da frente de aquecimento do solo.

$$D = K/C_v \quad \text{cal/cm.s.}^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^3\text{C/cal} = \text{cm}^2/\text{s}$$

- A difusividade térmica aumenta com o aumento do conteúdo de umidade atingindo um máximo e depois diminui (porque  $C_v$  aumenta mais do que K);

- Em solos com mais matéria orgânica a D é menor;

- A compactação aumenta a difusividade térmica do solo porque aumenta a K (partículas mais próximas).

## 4 - COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS SOLOS DE TEXTURA EXTREMA

Normalmente os solos arenosos apresentam macroporos em abundância, porém, sua porosidade total, normalmente, é menor do que a dos solos argilosos, os quais possuem elevado número de microporos que têm maior capacidade de reter água. Por esta razão, os solos argilosos retêm mais água do que os arenosos. 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 do solo.

Portanto, em condições normais o solo arenoso é mais seco, logo, a sua condutividade térmica e o seu calor específico são menores do que os solos argilosos. Assim, durante o período diurno, a maior parte da energia incidente fica na superfície do solo arenoso, devido a sua baixa condutividade térmica, provocando um grande aquecimento (temperaturas altas) devido ao seu baixo calor específico. No solo argiloso, uma menor fração de energia incidente fica na superfície, pois, este conduz melhor o calor, ou seja, maior parte dessa energia é transferida para o interior do solo. Somado a isso, o seu calor específico é alto, resultando em menor aquecimento.

Durante o período noturno, como a sua temperatura é maior, os solos arenosos emitem mais energia e como conduzem mal (a energia de reposição do interior do solo é pequena), ocorre um grande resfriamento. Nos solos argilosos, a emissão de energia é menor devido a sua menor temperatura (gradiente menor) e, concomitantemente, a reposição de energia do interior do solo será maior devido à alta condutividade térmica, o que resulta em menor resfriamento. Em resumo, a variação da temperatura do solo nos solos arenosos é maior.

## 5 – COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA NO PERFIL DO SOLO

Assumindo-se: - solo homogêneo;

- solo não vegetado;

- profundidade infinita;

A temperatura desse solo varia senoidalmente (MODELO SENOIDAL) com o tempo.

### 5.1 – Modelo senoidal para a superfície de um solo

$$T(0,t) = T + A_o \cdot \sin Wt \quad \text{onde:}$$

$A_o$  = é a amplitude entre a temperatura máxima e a temperatura média, ou a amplitude entre a temperatura média e a temperatura mínima;

$T$  = temperatura média em torno da qual a temperatura varia senoidalmente. Considera-se ao nascer do sol  $T = T_i$ ;

$t$  = tempo. Contado a partir do nascer do sol;

$W$  = é a velocidade angular da terra

$$W = 2 \pi \text{rad/dia} = 2 \pi \text{rad/24h} = 2 \pi \text{rad/86400s} = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$$

### 5.2 – Modelo senoidal para o interior de um solo

$$T(z,t) = T + A_o \cdot \exp(-z/D) \sin(Wt - z/D) \quad \text{onde:}$$

A temperatura varia exponencialmente com a profundidade e senoidalmente com o tempo.

$A_o \exp(-z/D)$  = é a amplitude da temperatura que decresce exponencialmente com a profundidade;

$-z/D$  = defasagem. Quanto maior  $z$  maior o atraso na ocorrência da temperatura máxima.

$D$  é a difusividade térmica ou profundidade de amortecimento (frente de deslocamento de energia no solo).

$$D = (2a/W)^{1/2}$$

Este modelo nos mostra que a variação diária ou anual da temperatura do solo segue aproximadamente um movimento periódico amortecido no qual a amplitude da onda de temperatura é amortecida exponencialmente com a profundidade e os valores de temperatura, em cada profundidade, oscilam senoidalmente com o tempo em torno de um valor médio e constante. Verifica-se que, em cada profundidade, existe um momento de máxima e mínima diferente de outra profundidade. Como o aquecimento é a partir da superfície do solo, ocorre um atraso no momento de ocorrência das temperaturas o qual é proporcional ao aumento da profundidade.

TABELA 5. Amplitude térmica e hora da máxima em diferentes profundidades no dia 27/12/1979, em Santa Maria (RS).

Profundidade (cm)	Amplitude máxima (°C)	Hora de ocorrência da Tmax
2	10,9	15h 30'
5	9,1	16h 10'
10	5,1	17h 50'
20	2,5	19h 50'
30	1,2	23h 00'

Variação diária da temperatura do solo em diferentes profundidades em torno de um valor médio e constante. (FIGURA 5 TRANSPARÊNCIA)

Estes exemplos evidenciam que a variação de temperatura é acentuada na superfície (camada superficial) e é rapidamente atenuada com o aumento da profundidade, sendo que em torno de 50 cm não existe variação diária da temperatura.

O comportamento diário e anual da temperatura em um perfil de solo é similar nas diversas regiões do Globo, o que difere são os valores das temperaturas e a profundidade de extinção da onda diária e anual da temperatura, que são uma função do regime de radiação solar e das propriedades térmicas do solo.



## 6 – INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO SOBRE A SUA TEMPERATURA

### 6-1 – COBERTURA VEGETAL

Funciona como uma superfície irradiante isolada termicamente do solo.

Com o aumento da cobertura vegetal, há uma redução nas temperaturas e na variação entre elas. A orientação de plantio, no sentido N-S, pode reduzir substancialmente a temperatura do solo

### 6-2 – MULCHING

É a aplicação ou confecção de qualquer cobertura morta sobre a superfície do solo. Esta cobertura interfere nas trocas energéticas entre o solo e a atmosfera, determinando alterações no balanço de energia próximo ao solo.

Tipos de Mulching:

- naturais – resíduos culturais, cobertura morta (palha);
- material manufaturado: polietileno preto (opaco) ou polietileno transparente.

A cobertura morta (mulch) reduz a temperatura, além de outros efeitos sobre a umidade e biologia do solo. A presença do mulch, reduzindo a perda de água, torna os primeiros centímetros de solo um ambiente mais adequado, favorecendo a proliferação de raízes nestas camadas.

TABELA 6. Valores instantâneos de LE (calor latente), LS (calor sensível) e G (fluxo de calor para o solo).

DATA	Componente	Solo desnudo	M. PRETO	M. TRANSP	Cob. Morta
11/06	LE	0,28	0,0	--	0,12
	G	0,12	0,11	--	0,05
	S	0,52	0,91	--	0,70
12/10	LE	0,10	0,0	0,0	--
	G	0,14	0,07	0,16	--
	S	0,40	0,65	0,47	--

PORTANTO:

- ✓ MULCHING PRETO: Alta absorção, porém, transmite pouco devido a existência de uma camada de ar entre o filme e o solo.
- ✓ MULCHING TRANSPARENTE: transmite bastante o calor recebido ao solo, e como forma uma camada de vapor d'água condensada, junto ao filme, dificulta as perdas.
- ✓ COBERTURA MORTA: Absorve similar ao solo desnudo mas transmite pouco a energia recebida.

EXEMPLOS:

- Dados de temperatura à 10 cm da superfície.

Maior variação para o (1) solo desnudo:

T max: 34 °C (12 - 14 h)                      AT = 11,5 °C

Tmin: 22,5 °C (5h)

(2) solo com cobertura viva (grama):

T max: 27 °C (14 h)                      AT = 3,5 °C

Tmin: 23,5 °C (5h)

(3) mulching (cobertura morta):

T max: 26 °C (15 h)                      AT = 2 °C

Tmin: 24 °C (5h)

Grama e Mulching funcionam como uma superfície irradiante isolada termicamente do solo.

TABELA 7. Temperatura (°C) do solo com três coberturas às 7:00 h, em Jaboticabal (SP).

Profundidade (cm)	Cobertura vegetal	Cobertura morta	Solo sem cobertura
2	24,8	23,6	25,9
5	25,0	23,7	24,5
10	25,2	24,0	24,7
20	25,7	25,0	26,0
30	26,7	25,8	27,8
50	26,5	25,8	28,0

TABELA 8. Temperatura (°C) do solo com três coberturas às 15:00 h, em Jaboticabal (SP).

Profundidade (cm)	Cobertura vegetal	Cobertura morta	Solo sem cobertura
2	34,5	34,3	44,5
5	31,8	33,0	41,7
10	30,2	32,5	39,7
20	28,6	29,6	34,6
30	27,9	28,3	29,6
50	27,9	28,3	29,6