

***PARAMETRIZAÇÕES DE  
SUPERFÍCIE  
MODELO NOAH***

Daniel Andrés Rodríguez

# SUPERFÍCIE CONTINENTAL

---



# **SUPERFÍCIE CONTINENTAL**

---

- **CARACTERÍSTICAS**
  - **ALTA VARIABILIDADE (ESPACIAL E TEMPORAL)**
  - **ALTA RUGOSIDADE: EM CONDIÇÕES ÚMIDAS TROCA ÁGUA COM A ATMOSFERA MAIS RAPIDAMENTE QUE OS OCEANOS**
  - **BAIXA CAPACIDADE CALÓRICA: MAIOR RESPOSTA ÀS VARIAÇÕES DA RADIAÇÃO LÍQUIDA**

# SUPERFÍCIE CONTINENTAL

---

- Condição de borda para a atmosfera:
  - INTERCÂMBIO DE UMIDADE
  - INTERCÂMBIO DE MOMENTUM
  - INTERCÂMBIO DE CALOR



30/06/2007

# CONCEITOS BÁSICOS

---

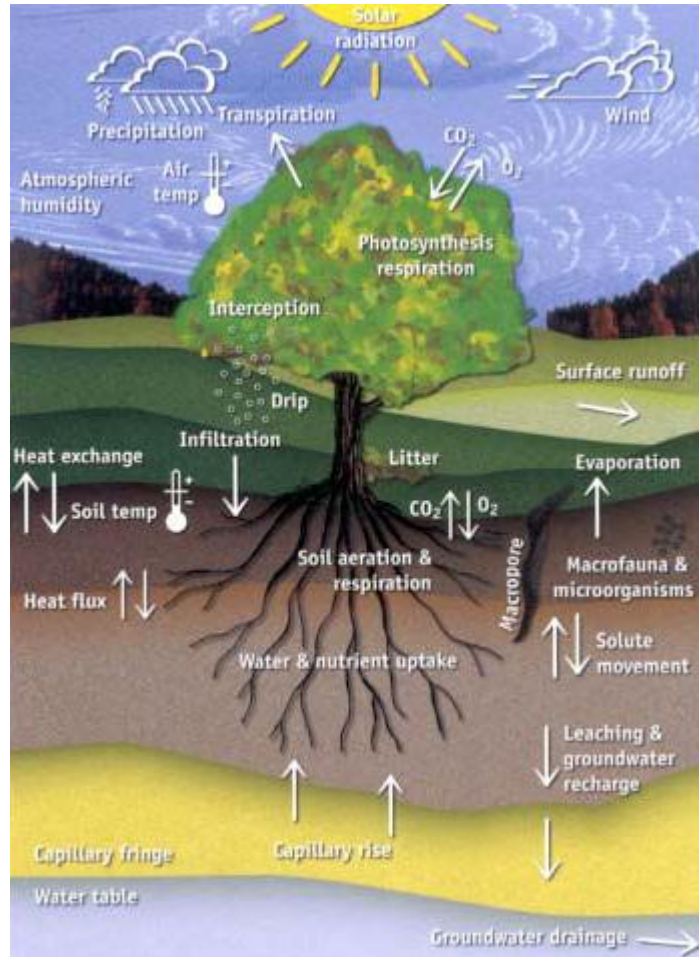
- ALBEDO, RUGOSIDADE E TAXAS DE TRANSPIRAÇÃO E FOTOSSÍNTESE ATUAM COMO CONDIÇÕES DE BORDA PARA AS FORÇANTES ATMOSFÉRICAS, OFERECENDO COMO RESPOSTA A RADIAÇÃO LÍQUIDA E OS FLUXOS DE CALOR, ÁGUA E MOMENTUM ENTRE AMBOS SISTEMAS (SUPERFÍCIE-ATMOSFERA)

# MODELOS DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL

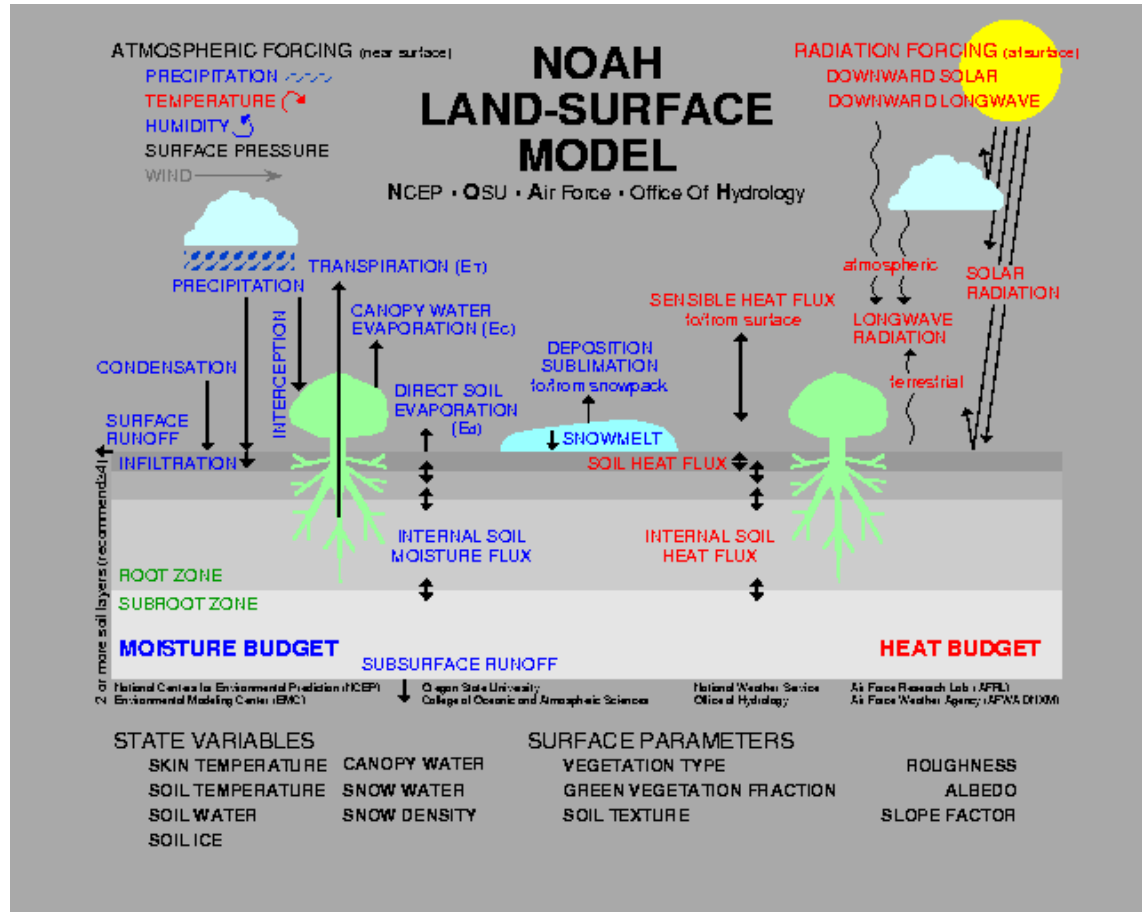
---

- REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DO SISTEMA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
  - COMPONENTES DO SISTEMA
  - PROCESSOS NO SISTEMA
  - INTERAÇÃO COM O SISTEMA ATMOSFERA

# Componentes e processos no sistema superfície-atmosfera



# MODELO NOAH



NOPAC  
SNOPAC



# MODELO NOAH

---

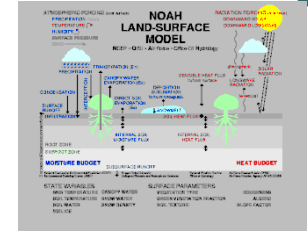
- **FORÇANTES ATMOSFÉRICAS**

- LWDN: Radiação de onda longa
- SOLDN: Radiação Solar
- SFCPRS: Pressão
- PRCP: Precipitação
- SFCTMP: Temperatura do ar
- TH2: Temperatura Potencial
- Q2: Razão de mistura (Umidade)

- **VARIÁVEIS DE ESTADO**

- UMIDADE NO SOLO
- TEMPERATURA DO SOLO
- TEMPERATURA À SUPERFÍCIE
- PROFUNDIDADE DA NEVE
- EQUIVALENTE DE ÁGUA DA NEVE
- CONTEÚDO DE ÁGUA NO DOSSEL
- BALANÇO DE ENERGIA E DE ÁGUA NA SUPERFÍCIE
  - FLUXO DE ENERGIA
  - FLUXO DE UMIDADE

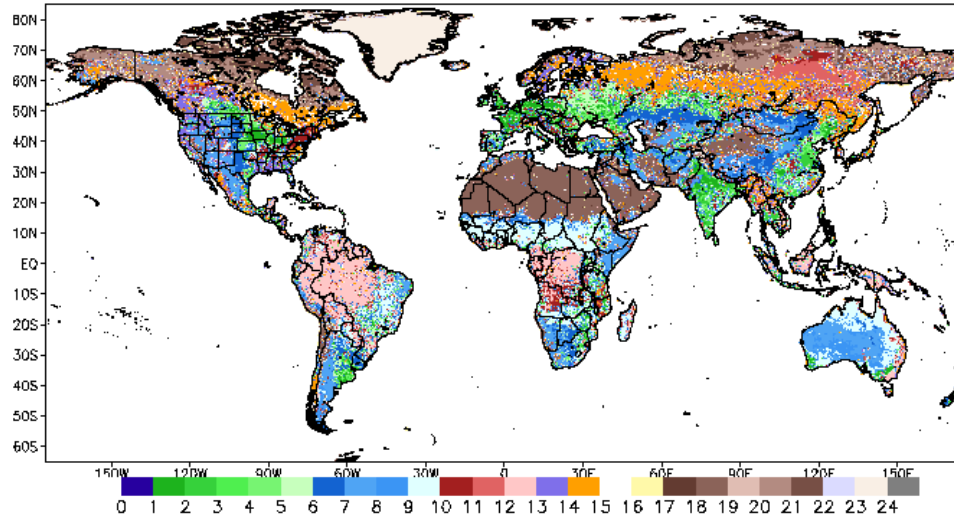
# PARÂMETROS



- **PARÂMETROS DE SUPERFÍCIE**
  - ALB: Albedo superficial (Sem neve)
  - SNOALB: Albedo máximo com neve
  - TBOT: Temperatura do solo
- **PARÂMETROS DE VEGETAÇÃO**
  - NROOT\_DATA: Profundidade das raízes
  - RSMTBL: Resistência estomática mínima
  - RGLTBL: Parâmetro da resistência associada com a radiação solar
  - HSTBL: Parâmetro da resistência associada com o déficit de umidade
  - SNUPX: Limiar da profundidade de neve por cima do qual a cobertura é 100%
  - ZO\_DATA: Altura de rugosidade
  - SHDFAC: Percentagem de cobertura da vegetação
  - SHDMIN: Percentagem mínima de cobertura da vegetação
- **PARÂMETROS DE SOLOS**
  - MAXSMC: Capacidade máxima (Porosidade)
  - SATPSI: Potencial de saturação
  - SATDK: Condutividade hidráulica saturada
  - BB: Parâmetro B Brooks-Corey
  - QUARTZ: Conteúdo de Quartzo
  - SLOPE\_DATA: Parâmetro para estimar fluxo subterrâneo
  - REFSMC: Umidade de referência (Início do Stress na transpiração)
  - WLTSMC: Ponto de murcha permanente
  - DRYSMC: Conteúdo de ar (Seco)
  - SATDW: Difusividade saturada
  - F11: Parâmetro para o cálculo da Difusividade e Condutividade

# Parâmetros vegetação

USGS/EROS 1 km Vegetation Type



- 1: Urban and Built-Up Land 2: Dryland Cropland and Pasture
- 3: Irrigated Cropland and Pasture 4: Mixed Dryland/Irrigated Cropland
- 5: Cropland/Grassland Mosaic 6: Cropland/Woodland Mosaic
- 7: Grassland 8: Shrubland 9: Mixed Shrubland/Grassland
- 10: Savanna 11: Deciduous Broadleaf 12: Deciduous Needleleaf
- 13: Evergreen Broadleaf 14: Evergreen Needleleaf 15: Mixed Forest
- 16: water 17: Herbaceous Wetland 18: Wooded Wetland
- 19: Barren 20: Herbaceous Tundra 21: Wooded Tundra
- 22: Mixed Tundra 23: Bare Ground Tundra

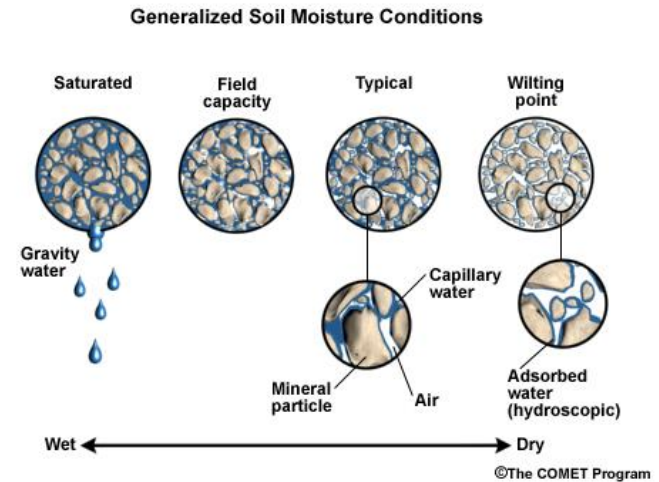
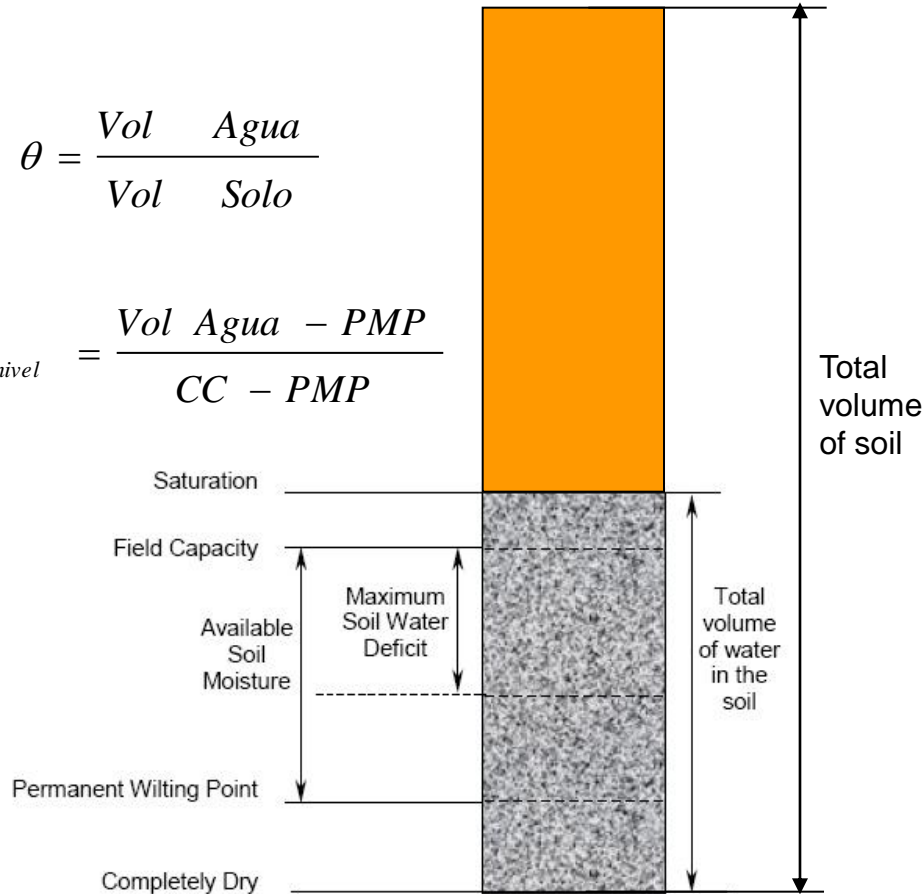
```

DATA NROOT_DATA /1,3,3,3,3,3,3,3,3,3,
& 4,4,4,4,4,0,2,2,1,3,
& 3,3,2,1,1,1,1,1,0,0,0/
DATA RSMTBL /200.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
& 70.0, 300.0, 170.0, 70.0, 100.0, 150.0,
& 150.0, 125.0, 125.0, 100.0, 40.0, 100.0,
& 300.0, 150.0, 150.0, 150.0, 200.0, 200.0,
& 40.0, 100.0, 300.0, 0.0, 0.0, 0.0/
DATA RGLTBL /100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 65.0,
& 100.0, 100.0, 100.0, 65.0, 30.0, 30.0,
& 30.0, 30.0, 30.0, 30.0, 100.0, 30.0,
& 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0, 100.0,
& 100.0, 100.0, 100.0, 0.0, 0.0, 0.0/
DATA HSTBL /42.00, 36.25, 36.25, 36.25, 36.25, 44.14,
& 36.35, 42.00, 39.18, 54.53, 54.53, 47.35,
& 41.69, 47.35, 51.93, 51.75, 60.00, 51.93,
& 42.00, 42.00, 42.00, 42.00, 42.00, 42.00,
& 36.25, 42.00, 42.00, 0.00, 0.00, 0.00/
DATA SNUPX /0.020, 0.020, 0.020, 0.020, 0.020, 0.020,
& 0.020, 0.020, 0.020, 0.040, 0.040, 0.040,
& 0.040, 0.040, 0.040, 0.010, 0.013, 0.020,
& 0.013, 0.020, 0.020, 0.020, 0.020, 0.013,
& 0.013, 0.013, 0.013, 0.000, 0.000, 0.000/
DATA ZO_DATA /1.00, 0.07, 0.07, 0.07, 0.07, 0.15,
& 0.08, 0.03, 0.05, 0.86, 0.80, 0.85,
& 2.65, 1.09, 0.80, 0.001, 0.04, 0.05,
& 0.01, 0.04, 0.06, 0.05, 0.03, 0.001,
& 0.01, 0.15, 0.01, 0.00, 0.00, 0.00/
DATA LAL_DATA /2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0,
& 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0,
& 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0, 2.0,
& 2.0, 2.0, 2.0, 0.0, 0.0, 0.0/
    
```

# Parâmetros do solo e conteúdo de umidade

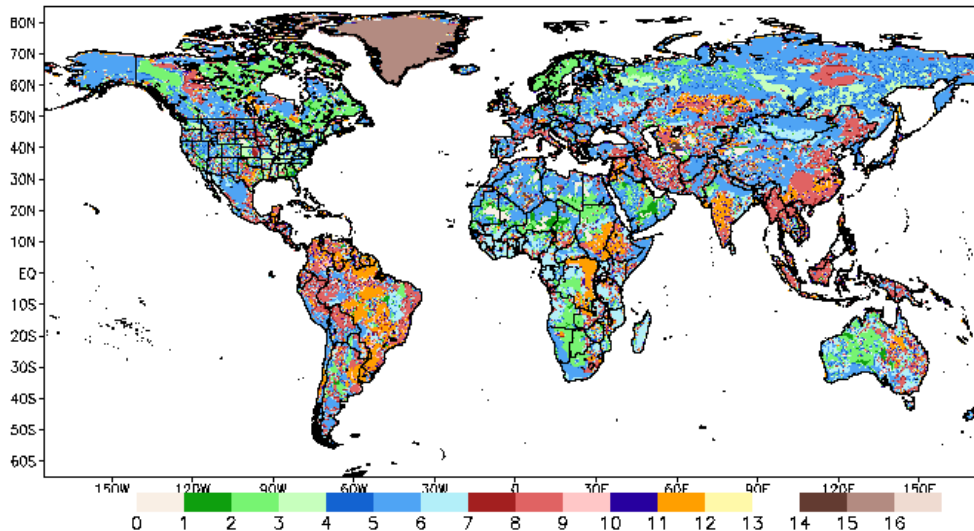
$$\theta = \frac{\text{Vol Agua}}{\text{Vol Solo}}$$

$$\theta_{\text{Disponivel}} = \frac{\text{Vol Agua} - \text{PMP}}{\text{CC} - \text{PMP}}$$



# Parâmetros solos

Hybrid FAO/STATSGO Soil Type (0-30 cm depth)



C -----  
C SOIL TEXTURE-RELATED ARRAYS.

C -----  
DATA MAXSMC/0.395, 0.421, 0.434, 0.476, 0.476, 0.439,  
& 0.404, 0.464, 0.465, 0.406, 0.468, 0.457,  
& 0.464, 0.000, 0.200, 0.421, 0.457, 0.200,  
& 0.395, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000,  
& 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000/

C -----  
DATA SATPSI/0.0350, 0.0363, 0.1413, 0.7586, 0.7586, 0.3548,  
& 0.1349, 0.6166, 0.2630, 0.0977, 0.3236, 0.4677,  
& 0.3548, 0.0000, 0.0350, 0.0363, 0.4677, 0.0350,  
& 0.0350, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000,  
& 0.000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000/

C -----  
DATA SATDK /1.7600E-4, 1.4078E-5, 5.2304E-6, 2.8089E-6, 2.8089E-6,  
& 3.3770E-6, 4.4518E-6, 2.0348E-6, 2.4464E-6, 7.2199E-6,  
& 1.3444E-6, 9.7394E-7, 3.3770E-6, 0.0, 1.4078E-5,  
& 1.4078E-5, 9.7394E-7, 1.4078E-5, 1.7600E-4, 0.0,  
& 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,  
& 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0/

C -----  
DATA BB /4.05, 4.26, 4.74, 5.33, 5.33, 5.25,  
& 6.77, 8.72, 8.17, 10.73, 10.39, 11.55,  
& 5.25, 0.00, 4.05, 4.26, 11.55, 4.05,  
& 4.05, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00,  
& 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00/

C -----  
DATA QTZ /0.92, 0.82, 0.60, 0.25, 0.10, 0.40,  
& 0.60, 0.10, 0.35, 0.52, 0.10, 0.25,  
& 0.05, 0.00, 0.07, 0.25, 0.60, 0.52,  
& 0.92, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00,  
& 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00/

- |                       |                    |               |
|-----------------------|--------------------|---------------|
| 1: SAND               | 2: LOAMY SAND      | 3: SANDY LOAM |
| 4: SILT LOAM          | 5: SILT            | 6: LOAM       |
| 7: SANDY CLAY LOAM    | 8: SILTY CLAY LOAM | 9: CLAY LOAM  |
| 10: SANDY CLAY        | 11: SILTY CLAY     | 12: CLAY      |
| 13: ORGANIC MATERIALS | 14: WATER          | 15: BEDROCK   |
| 16: other             |                    |               |

# EVAPORAÇÃO

## ● Evaporação Potencial

- Balanço de energia proposto por [Penman \(1948\)](#) incluindo um termo de resistência aerodinâmica que depende da estabilidade atmosférica (Mahrt e Ek, 1984)

$$E_p = \frac{\rho c_p C_h}{L_v} \left( \frac{\Delta \left[ \frac{R_n}{\rho c_p C_h} + (\theta_0 - T_0) \right] + A(r+1)}{\Delta + r + 1} \right)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_g + L_d - \sigma T_0^4 - G$$

$$\Delta = \frac{dq_s}{dT} \frac{L_v}{c_p}, \quad r = \frac{4\sigma T_0^4 R_d}{p_{sfc} c_p C_h}$$

$$A = \frac{L_v}{c_p} (q_s(T_0) - q_0)$$

$C_h$  depende da estabilidade atmosférica

$\rho$	Densidade do ar
$c_p$	Calor específico
$L_v$	Calor latente de vaporização
$\theta_0$	Temperatura potencial
$T_0$	Temperatura
$R_n$	Radiação líquida
$R_g$	Radiação solar
$\alpha$	Albedo
$L_d$	Radiação de onda longa
$G$	Fluxo de calor no solo
$dq_s/dT$	Inclinação da curva de saturação
$R_d$	Constante dos gases
$p_{sfc}$	Pressão
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann
$q_0$	Umidade específica
$q_s(T_0)$	Umidade específica de saturação

# EVAPORAÇÃO

---

- Evaporação da interceptação no dossel
  - Calculada em função do armazenamento máximo no dossel

$$E_c = \sigma_f E_p \left( \frac{W_c}{S} \right)^{0.5}$$

$W_c$  Interceptação no dossel

$S$  Capacidade máxima de armazenamento no dossel





# EVAPORAÇÃO

---

- Evaporação direta da camada superior do solo

- Relação linear com a disponibilidade de umidade no solo (Mahfouf e Noilhan, 1991)

$$E_{\text{dir}} = (1 - \sigma_f)\beta E_p$$

$$\beta = \left( \frac{\Theta_1 - \Theta_w}{\Theta_{\text{ref}} - \Theta_w} \right)^f$$

$\sigma_f$  Fração de cobertura da vegetação

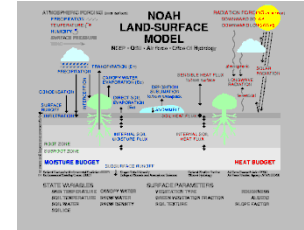
$\Theta_w$  Capacidade de campo

$\Theta_{\text{ref}}$  Ponto de murcha

$f$  Atualmente é igual a 2



# TRANSPIRAÇÃO



- Transpiração do dossel

- Calculada em função da disponibilidade de água e da resistência do dossel (estomática) (Lei de Ohm)

$$E_t = \sigma_f E_p P_c \left[ 1 - \left( \frac{W_c}{S} \right)^{0.5} \right]$$

$W_c$  Interceptação no dossel

$R_{cmin}$  Resistência mínima do dossel

LAI Índice de área foliar

$F_1$  Efeito da radiação solar

$F_2$  Efeito do déficit de umidade

$F_3$  Efeito da temperatura

$F_4$  Efeito da umidade no solo

$$P_c = \frac{r + \Delta}{r(1 + C_h R_c) + \Delta}$$

$$R_c = \frac{R_{cmin}}{LAI F_1 F_2 F_3 F_4}$$

$$F_1 = \frac{R_{cmin}/R_{cmax} + f}{1 + f} \quad \text{where } f = 0.55 \frac{R_g}{R_{gl}} \frac{2}{LAI}$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + h_s [w_s (T_0) - w_0]}$$

$$F_3 = 1 - 0.0016 (T_{ref} - T_0)^2, \text{ and}$$

$$F_4 = \sum_{i=1}^n \frac{(\Theta_i - \Theta_w) dz_i}{(\Theta_{ref} - \Theta_w) \left( \sum_{j=1}^n dz_j \right)}$$

# Equação de Penman

- Estima a evaporação de uma superfície de água livre

Balanco de energia

$$E = \frac{1}{L} (R_s - SH - \Delta F_{co} - G)$$

$$E_{en} = \frac{1}{L} (R_s - \Delta F_{co} - G)$$

Relação de Bowen

$$B_o = \frac{SH}{LE} \equiv \frac{c_p}{L} \frac{(T_s - T_a)}{(q_s - q_a)}$$

Relação de Bowen de equilíbrio

$$B_e = \frac{1}{\frac{L}{c_p} \frac{\partial q^*}{\partial T}}$$

Varição da razão de mistura de saturação com a temperatura

$$\frac{(q_s^* - q_a^*)}{(T_s - T_a)} \equiv \frac{dq^*}{dT}$$

$$B_o = B_e \left( 1 - \frac{(q_a^* - q_a)}{(q_s^* - q_a)} \right)$$

$$E (1 + B_o) = E_{en}$$

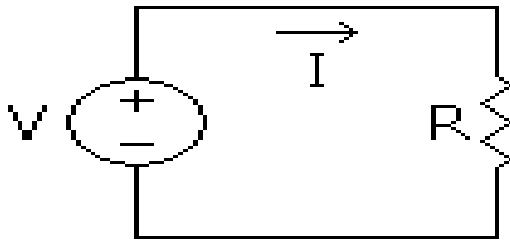
$$E (1 + B_e) = E_{en} + E B_e \frac{(q_a^* - q_a)}{(q_s^* - q_a)}$$

$$E = \frac{1}{(1 + B_e)} E_{en} + \frac{B_e}{(1 + B_e)} E_{air}$$

$$E_{air} = \rho C_{DE} U (q_a^* - q_a) = \rho C_{DE} U q_a^* (1 - RH)$$

# Lei de Ohm

$$\text{Fluxo} = \frac{\text{Potencial}}{\text{Resistência}}$$



$$I = \frac{V}{R}$$

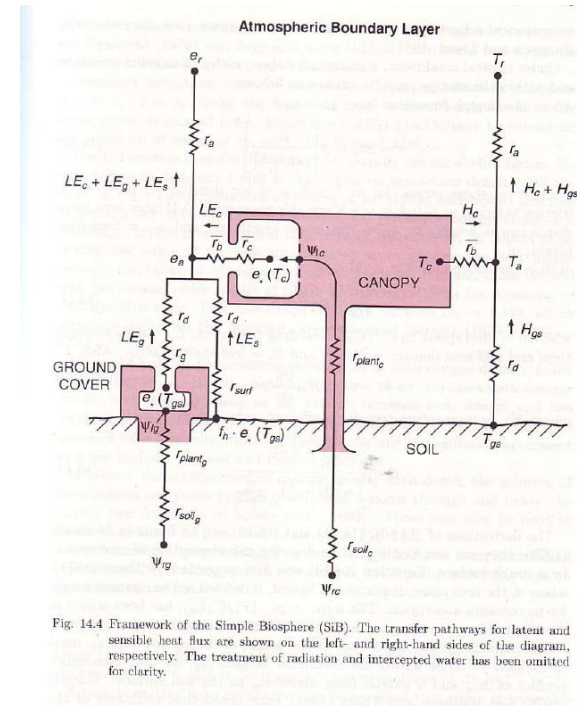
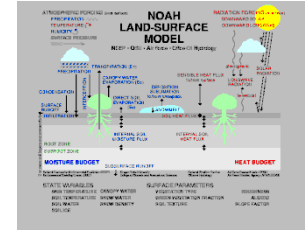


Fig. 14.4 Framework of the Simple Biosphere (SiB). The transfer pathways for latent and sensible heat flux are shown on the left- and right-hand sides of the diagram, respectively. The treatment of radiation and intercepted water has been omitted for clarity.

$$ETR = \frac{ETP}{R}$$

# FLUXO DE UMIDADE NO SOLO



## ● Hidrologia do solo

- Equação de Richards para prognóstico do conteúdo de umidade do solo (Volumétrico)

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} + F_{\Theta}$$

$$d_{z_1} \frac{\partial \Theta_1}{\partial t} = -D \left( \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)_{z_1} - K_{z_1} + P_d - R - E_{dir} - E_t$$

$$d_{z_i} \frac{\partial \Theta_i}{\partial t} = D \left( \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)_{z_{i-1}} - D \left( \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)_{z_i} + K_{z_{i-1}} - K_{z_i} - E_{t_i}; \quad i = 2, J-1$$

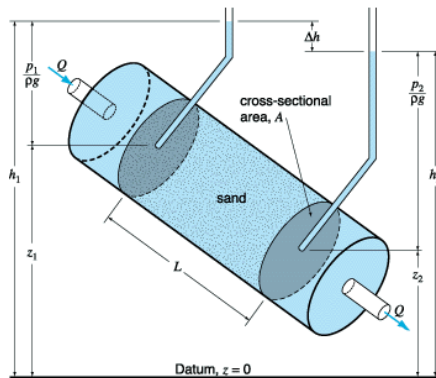
$$d_{z_J} \frac{\partial \Theta_J}{\partial t} = D \left( \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right)_{z_{J-1}} + K_{z_{J-1}} - K_{z_J}$$

- 4 camadas de solo 10-30-60-100 cm
- Possibilidade de definir a profundidade máxima das raízes
- Distribuição uniforme de raízes

- $\Theta$  Conteúdo volumétrico de umidade
- $D$  Difusividade da água
- $K$  Condutividade hidráulica
- $F_{\Theta}$  Fonte/Sumidouro de umidade
- $d_{z_i}$  Altura da camada de solo
- $P_d$  Precipitação não retida pelo dossel
- $R$  Runoff
- $E_{t_i}$  Transpiração de cada camada de solo
- $K_{z_j}$  Percolação profunda (gravitacional)

# Lei de Darcy e Equação de Richards

- A lei de Darcy (1856) estabelece que o fluxo 1-D d'água num meio poroso saturado é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico e a uma constante de proporcionalidade denominada condutividade hidráulica



$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L}$$

$$\frac{Q}{A} = -K \frac{h_2 - h_1}{L} = -K \frac{h_2 - h_1}{l_2 - l_1}$$

$$q = -K \frac{dh}{dl}$$

- A lei pode ser derivada a partir da equação de Navier-Stokes assumindo fluxo estacionário, incompressível e laminar

$$q_i = -\frac{k_i}{\mu} (\partial_i p - \rho g_i)$$

No caso do fluxo vertical, o gradiente hidráulico pode ser expressado como a resultante das forças de gravidade e matriciais

$$h = \psi + z$$

$$q_z = -K(\theta) \frac{dh}{dz}$$

$$q_z = -K(\theta) \left( \frac{d\psi}{dz} + 1 \right)$$

# Lei de Darcy e Equação de Richards

Fluxo de umidade  
no solo

- Buckingham (1907) estabelece que o fluxo d'água num meio poroso não saturado depende do conteúdo d'água no meio.

Source	$\psi(\theta)$	$K(\theta)$
Brooks and Corey (1964)	$\psi_s \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-1/\lambda}$	$K_s \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{2/\lambda + 3}$
Campbell (1974)	$\psi_s \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b}$	$K_s \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2b + 3}$
van Genuchten (1980)	$\frac{1}{\alpha} \left[ \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-1/m} - 1 \right]^{1/n}$	$K_s \sqrt{\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}} \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{1/m} \right]^m \right\}^2$

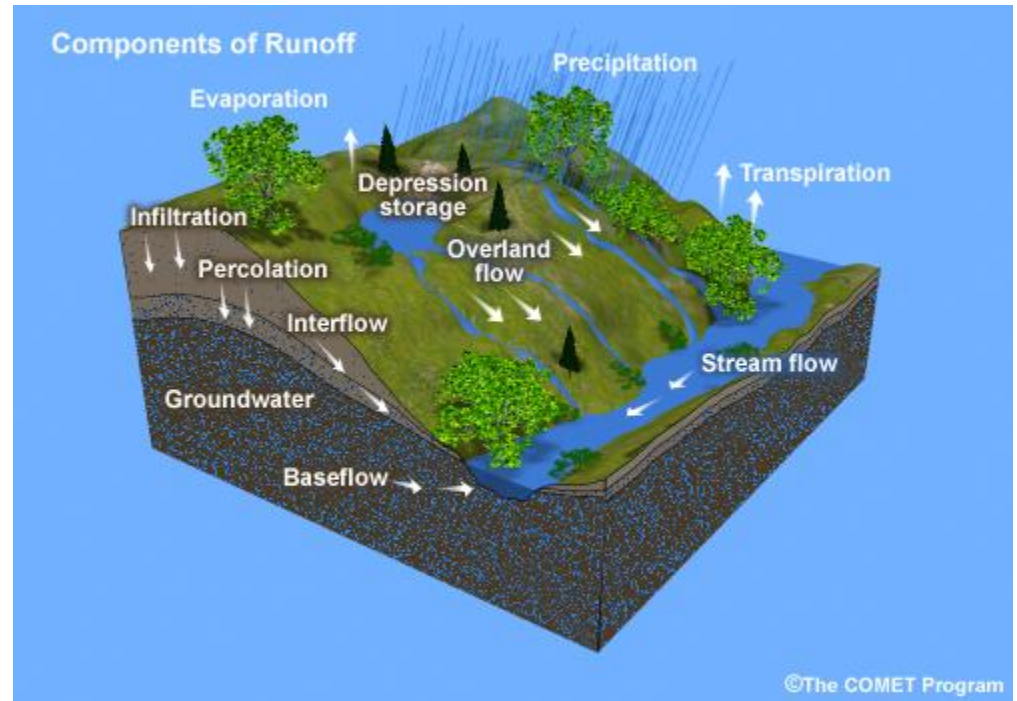
- Richards (1931) aplicou a condição de continuidade as equações de Darcy-Buckingham obtendo a descrição do movimento vertical de água no solo em função do potencial matricial do solo.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q_z}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \left( \frac{\partial \Psi}{\partial z} + 1 \right) \right]$$

# RUNOFF

- Simula três processos
  - Runoff por excesso da taxa de infiltração
  - Runoff por excesso da capacidade de armazenamento
  - Escoamento sub-superficial



# RUNOFF

## ● Runoff superficial

- Taxa de precipitação que excede a infiltração da camada superior

$$q_s = \begin{cases} p_x - i_c, & p_x > i_c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- Schaake et al (1996): Variabilidade de sub-grade. A taxa de infiltração numa área depende da distribuição da capacidade de infiltração e da distribuição da precipitação nessa área

Variabilidade espacial da  
Capacidade de infiltração  
( $I_c$ : valor médio)

$$f(i_c) = \left(\frac{1}{I_c}\right) \exp\left(-\frac{i_c}{I_c}\right)$$

$$f(p) = \frac{1}{P} \exp\left(-\frac{p}{P}\right)$$

Variabilidade espacial da  
Precipitação (P: valor médio)

$$F(q_s) = 1 - \frac{P_x}{P_x + I_c} \exp\left(-\frac{q_s}{P_x}\right)$$

$$Q_s = \frac{P_x^2}{(P_x + I_c)}$$

Runoff médio

Função de distribuição do  
runoff superficial

$$f(q_s) = \frac{dF(q_s)}{dq_s} = \frac{P_x}{P_x + I_c} \exp\left(-\frac{q_s}{P_x}\right)$$

$$P_x = Q_s + I$$

Prec. na 1ª. camada

$$I = \frac{P_x I_c}{P_x + I_c}$$

Infiltração atual

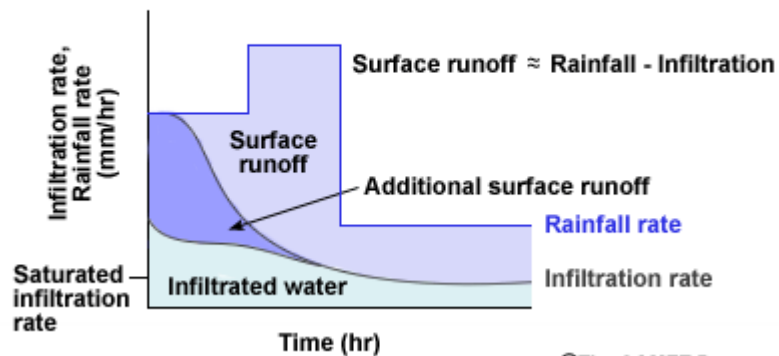


# RUNOFF

## ● Runoff superficial

- Schaake et al (1996): A infiltração e o runoff variam durante intervalos finitos de tempo dentro de um mesmo evento
- Existe uma correlação entre o déficit de umidade no solo e a capacidade de infiltração média

Rainfall, Infiltration, and Surface Runoff with Previous Rainfall



©The COMET Program

$$I_{c,j}(\Delta t) = \phi(\Delta t) D_{bj-1}$$

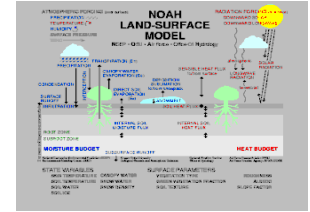
$D_{bj-1}$  Déficit de umidade no solo

$$\phi(\Delta t) = 1 - \exp(-K_{dt}\Delta t)$$

$$I_c = D_b[1 - \exp(-K_{dt}\Delta t)]$$

$K_{dt}$  constante

# RUNOFF



- **Runoff das camadas intermediárias**

- Excesso de umidade, acima da capacidade de armazenamento da camada.

- **Runoff sub-superficial**

- Runoff sub-superficial: Drenagem da camada inferior de solo
- Relação linear com o conteúdo de umidade da camada inferior do solo

$$Q_g = \begin{cases} Q_{\max} \left( 1 - \frac{D_b}{S_{\max}} \right), & D_b < S_{\max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

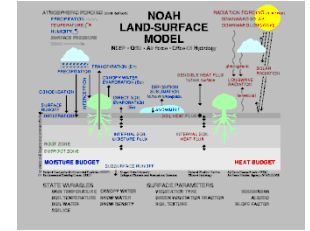
$Q_{\max}$

Runoff potencial, ocorre quando a camada esta saturada

$S_{\max}$

Limiar mínimo do conteúdo de umidade na camada (está expressado como um déficit de umidade)

# BALANÇO DE ENERGIA A SUPERFÍCIE



- Balanço de energia à superfície

$$R_{net} = SH + LH + GH + SPGH$$

$R_{net}$  :Radiação Líquida

SH: Fluxo de calor sensível



Temperatura à superfície

LH: Fluxo de calor latente



Evapotranspiração

GH: Fluxo de calor no solo



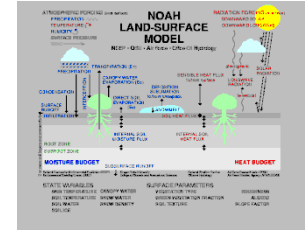
Temperatura no solo

SPGH: Fonte/Sumidouro de energia pela neve



Cobertura e altura da neve

# BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE



- Temperatura à superfície
  - Equação linearizada de balanço de energia (Mahrt e Ek, 1984):

$$T_{skin} = \frac{R_n - \lambda E - G}{\rho C_p C_h |U_a|} + T_a$$

$R_n$  Radiação líquida

$\lambda E$  Fluxo de calor latente

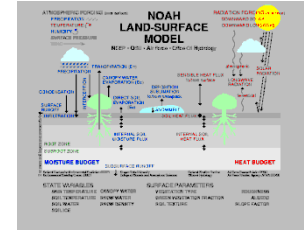
$C_p$  Capacidade calorífica do ar

$C_h$  Coeficiente de troca de calor e umidade

$T_a$  Temperatura próxima à superfície

$U_a$  Velocidade do vento

# BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE



- Temperatura no solo
  - Equação de difusão da temperatura

$$C(\Theta) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_t(\Theta) \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$C$  Capacidade calorífica, e

$K_t$  Condutividade Térmica

São funções do conteúdo de umidade no solo (Peters-Lidad et al 1998)

- Integração na camada de solo

$$\Delta z_i C_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \left( K_t \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z_{i+1}} - \left( K_t \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{z_i}$$

$\Delta z_i$  Profundidade da camada de solo

Na camada superior, o último termo representa o fluxo de calor para o solo e o gradiente é resolvido utilizando a Temperatura à superfície (Skin)

Na camada inferior o gradiente é resolvido utilizando como condição de borda uma temperatura constante (Valor médio anual da temperatura próxima à superfície)

# BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE

---

- Fluxo de calor no solo

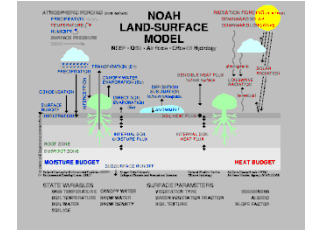
$$\mathbf{G} = (\lambda \mathbf{T} / \Delta \mathbf{z}) (\mathbf{T}_{\text{sf}} - \mathbf{T}_{\text{soil}})$$

$\lambda \mathbf{T}$  = Condutividade Térmica

$\Delta \mathbf{z}$  = Profundidade da camada de solo

$\mathbf{T}_{\text{sf}} - \mathbf{T}_{\text{soil}}$  = Gradiente de Temperatura

# BALANÇO DE ENERGIA À SUPERFÍCIE



- Fluxo de calor sensível

$$H = \rho \, c_p \, C_h \, U \, (T_{sfc} - T_{air})$$

$\rho$  = Densidade do ar

$c_p$  = Calor específico do ar

$C_h$  = Coeficiente de intercambio de calor

$U$  = Velocidade do vento

$T_{sfc} - T_{air}$  = Gradiente de Temperatura

# Acumulação/ablação de neve

- Balances de energia e de massa:

$$\frac{dW_s}{dt} = P_s - M_s - E$$

$$M_s = \frac{1}{L} (Q_{sw} + Q_{lw} - Q_{lr} - Q_{sr} - Q_s)$$

$W_s$	Equivalente de água
$P_s$	Precipitação de neve
$M_s$	Taxa de derretimento
$E$	Evaporação da neve
$Q_{sw}$	Radiação solar
$Q_{lw}$	Radiação líquida de onda longa
$Q_g$	Fluxo de calor no solo
$Q_{lr}$	Fluxo de calor latente
$Q_{sr}$	Fluxo de calor sensível

- Densidade da neve: mudança devido à compactação. A densidade se incrementa com o incremento da profundidade de neve e da temperatura

$$\frac{1}{\rho_s(z)} \frac{d\rho_s(z)}{dt} = C_1 W_s(z) e^{0.087 T_s(z) - C_2 \rho_s(z)}$$



# Acumulação/ablação de neve

---

- Considera uma percentagem de cobertura de neve, em função de um parâmetro de distribuição:

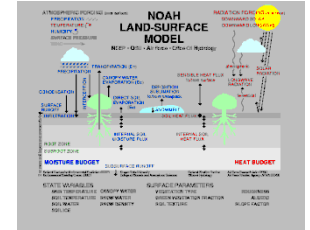
$$f\left(\frac{W_s}{W_{\max}}\right) = \alpha_s \frac{W_s}{W_{\max}} e^{-\alpha_s(W_s/W_{\max})} + \frac{1}{W_{\max}} e^{-\alpha_s}$$

- O albedo e a difusividade térmica são corrigidos em função da percentagem de cobertura de neve:

$$K_{\text{eff}} = \sigma_s K_T + (1 - \sigma_s) K_{s1}$$

$$\alpha = \alpha_0 + (1 - \sigma_f) \sigma_s (\alpha_s - \alpha_0)$$

# Solo congelado



- Considera a transição de fase da água no solo para a equação de fluxo de calor:

$$C(\theta, \theta_{ice}) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta, \theta_{ice}) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + \rho L \frac{\partial \theta_{ice}}{\partial t}$$

- A condutividade térmica e a capacidade calorífica do solo são funções do conteúdo de umidade e de gelo

$$C(\theta, \theta_{ice}) = (\theta - \theta_{ice})C_w + \theta_{ice}C_{ice} + (\theta_s - \theta)C_{air} + (1 - \theta_s)C_{soil}$$

$$K(\theta, \theta_{ice}) = K(\theta)(1 + \theta_{ice})$$

- Redução da infiltração: Considera que existe uma fração de área impermeável

$$R_j = (1 - F_c)R_s^* + F_c P_x$$

- A fração de área impermeável segue uma distribuição Gamma

$$F_c = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^v x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

$$v = \alpha \frac{W_{cr}}{W_{ice}}$$

$$\alpha = 1/C_v^2$$

# Os caminhos NOPAC e SNOPAC

---

- NOPAC

- Quando não existe neve
- A temperatura superficial é atualizada através do balanço de energia à superfície
- SMFLX: Calcula o fluxo de umidade e atualiza o conteúdo d'água no solo
  - DEVAP: Calcula a evaporação direta da camada superficial do solo
  - TRANSP: Calcula transpiração da vegetação
  - SRT: Calcula a taxa de mudança da umidade do solo
    - WDFCDN: Calcula a condutividade hidráulica e a difusividade
  - SSTEP: Integração temporal da taxa de mudança da umidade no solo
    - ROSR12: resolução da matriz 3-diagonal
- TDFCND: Calcula a difusividade térmica do solo
- SHFLX: Calcula o fluxo de calor no solo e atualiza a temperatura do solo
  - HRT: calcula a taxa de mudança da temperatura do solo
    - TDFCND: Calcula a difusividade térmica no solo
    - TBND: Calcula a temperatura do solo
    - SNKSRC: Calcula sumidouro ou fonte calor da fase gelo
      - TDFCND: Calcula a difusividade térmica
      - FRH2O: Calcula o conteúdo de água super-resfriada
  - HSTEP: Integração temporal da taxa de mudança da temperatura do solo
    - ROSR12: resolução da matriz 3-diagonal

# Os caminhos NOPAC e SNOPAC

---

- **SNOPAC**

- Quando existe neve
- A temperatura superficial é atualizada através do balanço de energia à superfície
- Considera uma condutividade térmica efetiva a partir da cobertura de neve
- Considera o derretimento da neve em função da disponibilidade térmica e de energia
- **SMFLX**: Calcula o fluxo de umidade e atualiza o conteúdo d'água no solo
  - **DEVAP**: Calcula a evaporação direta da camada superficial do solo
  - **TRANSP**: Calcula transpiração da vegetação
  - **SRT**: Calcula a taxa de mudança da umidade do solo
    - **WDFCDN**: Calcula a condutividade hidráulica e a difusividade
  - **SSTEP**: Integração temporal da taxa de mudança da umidade no solo
    - **ROSR12**: resolução da matriz 3-diagonal
- **SHFLX**: Calcula o fluxo de calor no solo e atualiza a temperatura do solo
  - **HRT**: calcula a taxa de mudança da temperatura do solo
    - **TDFCND**: Calcula a difusividade térmica no solo
    - **TBND**: Calcula a temperatura do solo
    - **SNKSRC**: Calcula sumidouro ou fonte calor da fase gelo
      - **TDFCND**: Calcula a difusividade térmica
      - **FRH2O**: Calcula o conteúdo de água super-resfriada
    - **HSTEP**: Integração temporal da taxa de mudança da temperatura do solo
      - **ROSR12**: resolução da matriz 3-diagonal
- **SNOWPACK**: Atualiza a altura e a densidade de neve

# REFERÊNCIAS

---

- **Physics** (1-d column (“offline”) model):
  - Warm season  
F. Chen et al. (1996, JGR, v101, p7251-7268)
  - Cold season (snowpack and frozen soil)  
V. Koren et al. (1999, JGR, v104, p19569-19585)
- **In Mesoscale models & physics upgrades:**
  - NCEP Eta model  
M. Ek et al. (2003, JGR, v108)
  - NCAR MM5 model  
F. Chen & J. Dudhia (2001a, 2001b, MWR, v129, p569-604)

# ***PARAMETRIZAÇÕES DE SUPERFÍCIE***

**MODELO NOAH**