



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS  
LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura  
2º Semestre de 2017



# Revisão Conceitual: Agrometeorologia

Prof. Fábio Marin

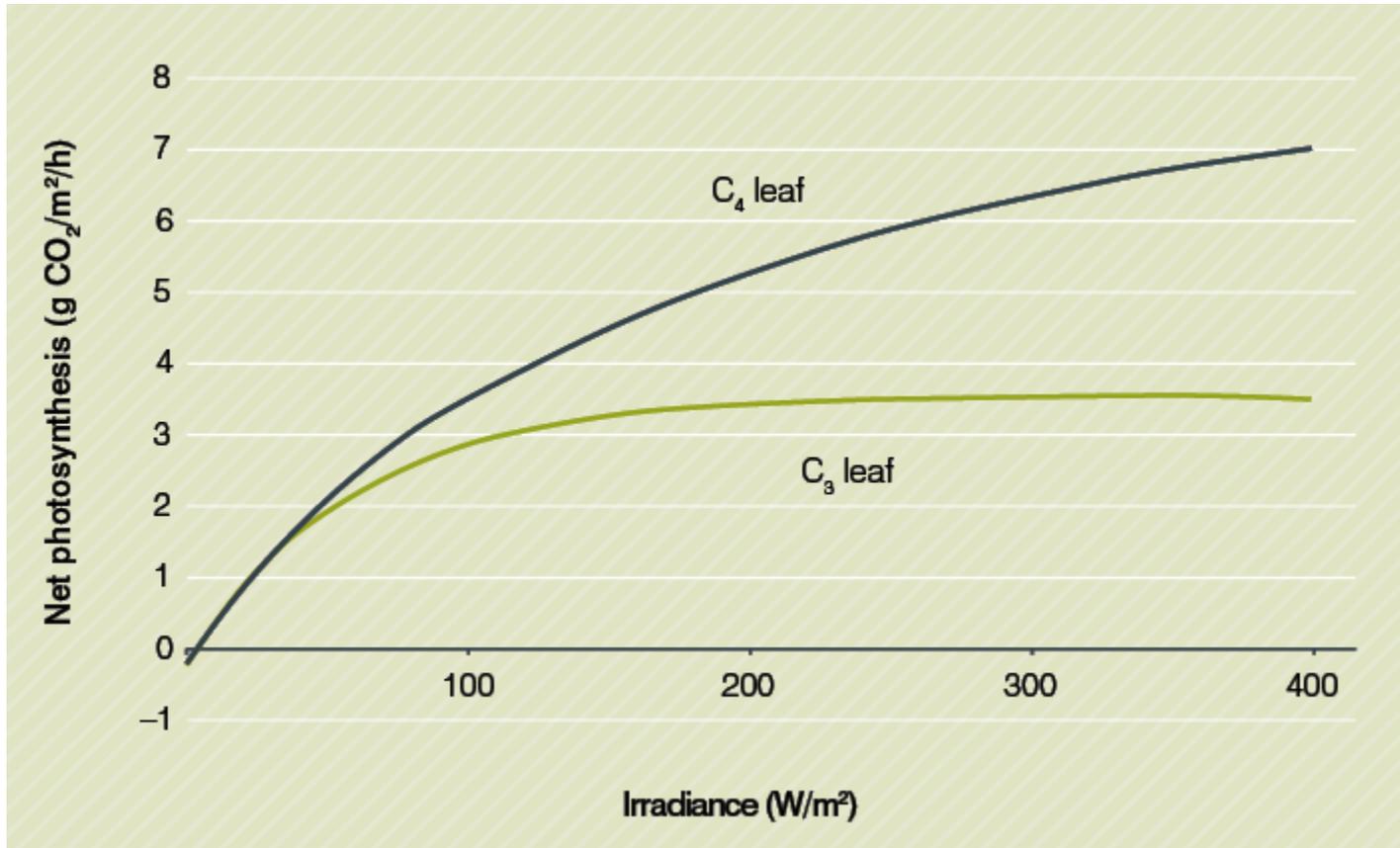


# Relações Terra-Sol Radiação Solar Produção Agrícola

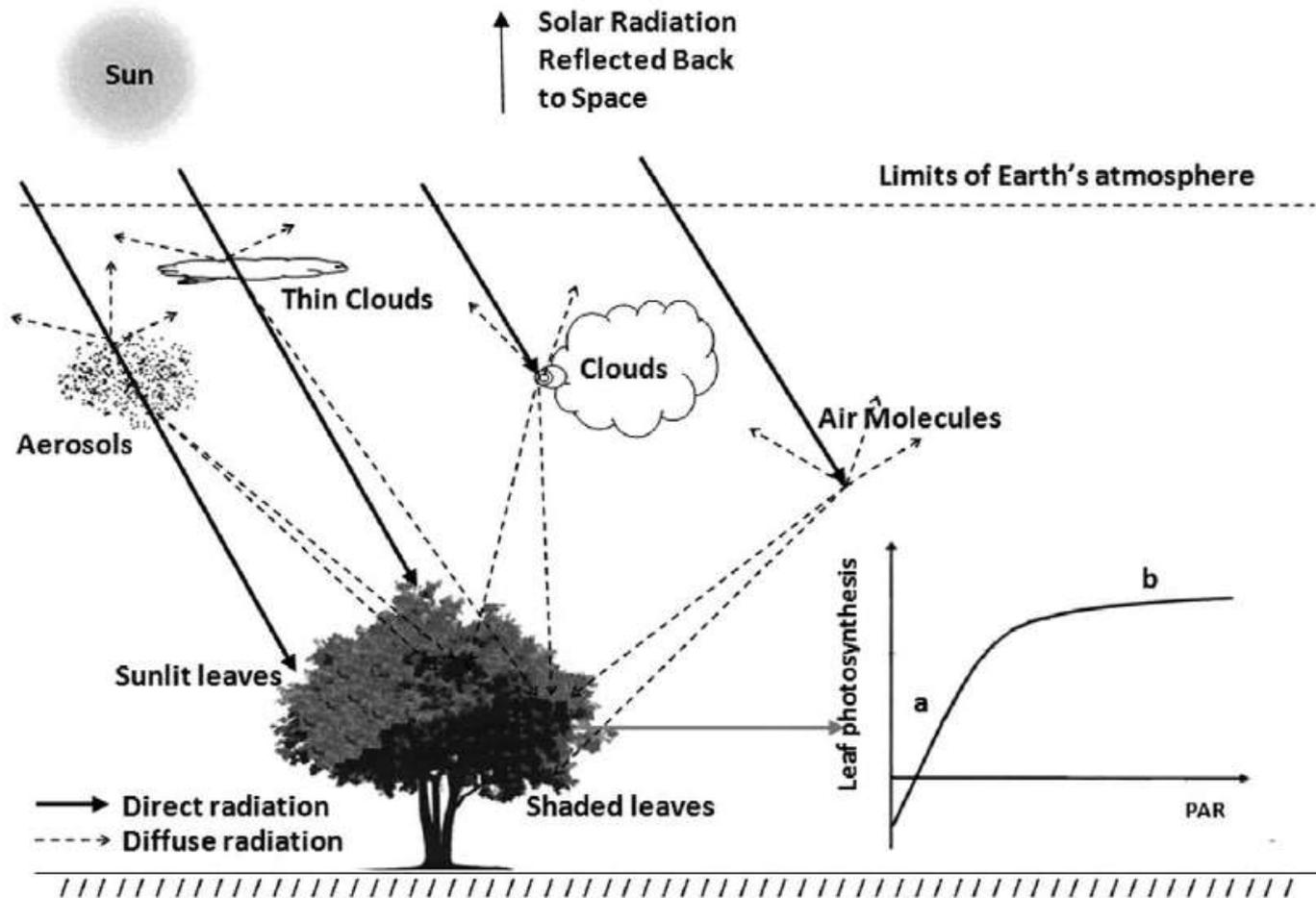
## Parte 1



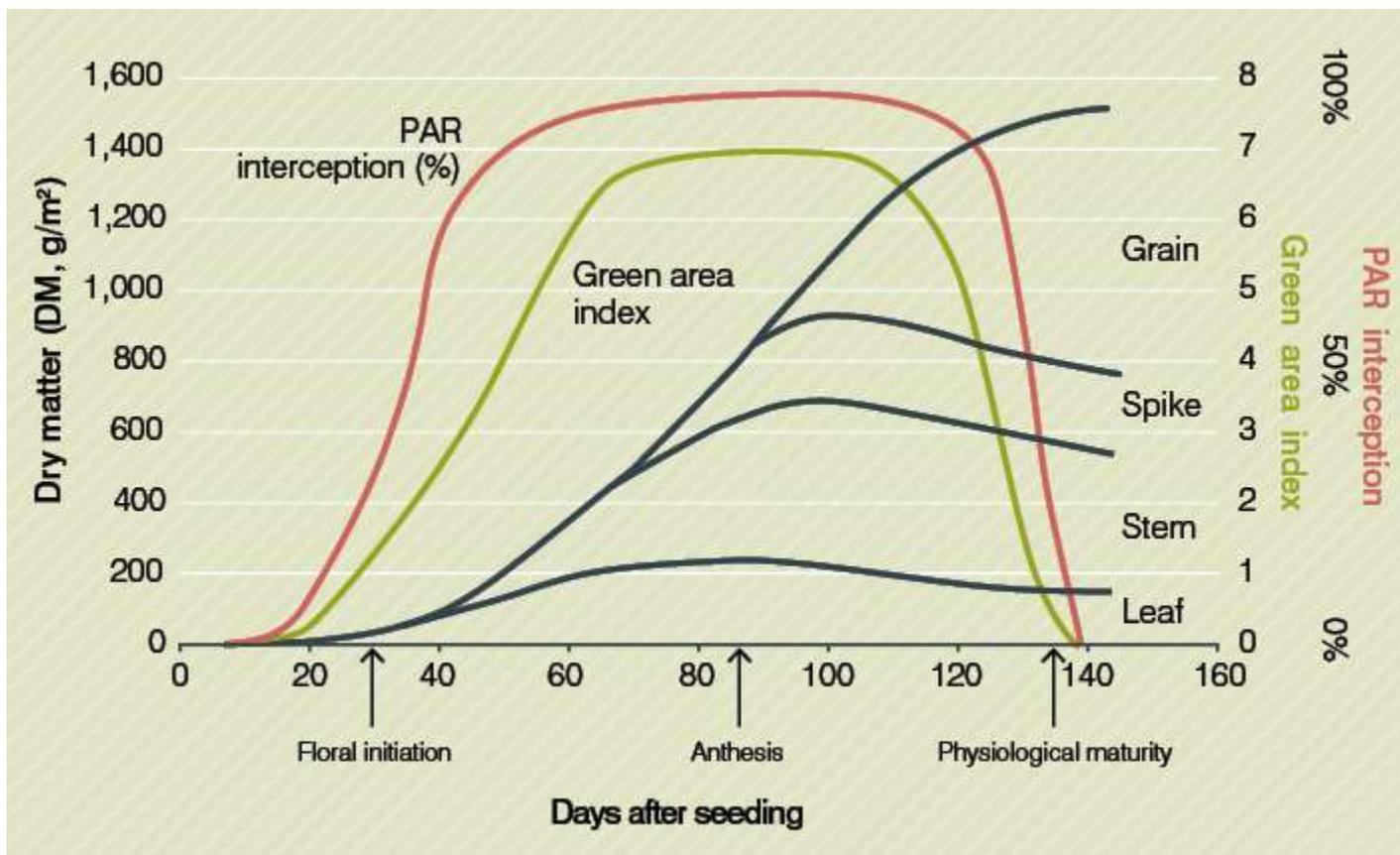
Response of leaf net photosynthetic rate to photosynthetically active radiation (PAR) expressed as irradiance. Source: adapted from Connor et al. (2011)



Schematic diagram illustrating the interaction of solar radiation with atmospheric particles (aerosols, clouds and air molecules) and penetration of direct (darker line) and diffuse (dashed line) radiation in terrestrial vegetation.

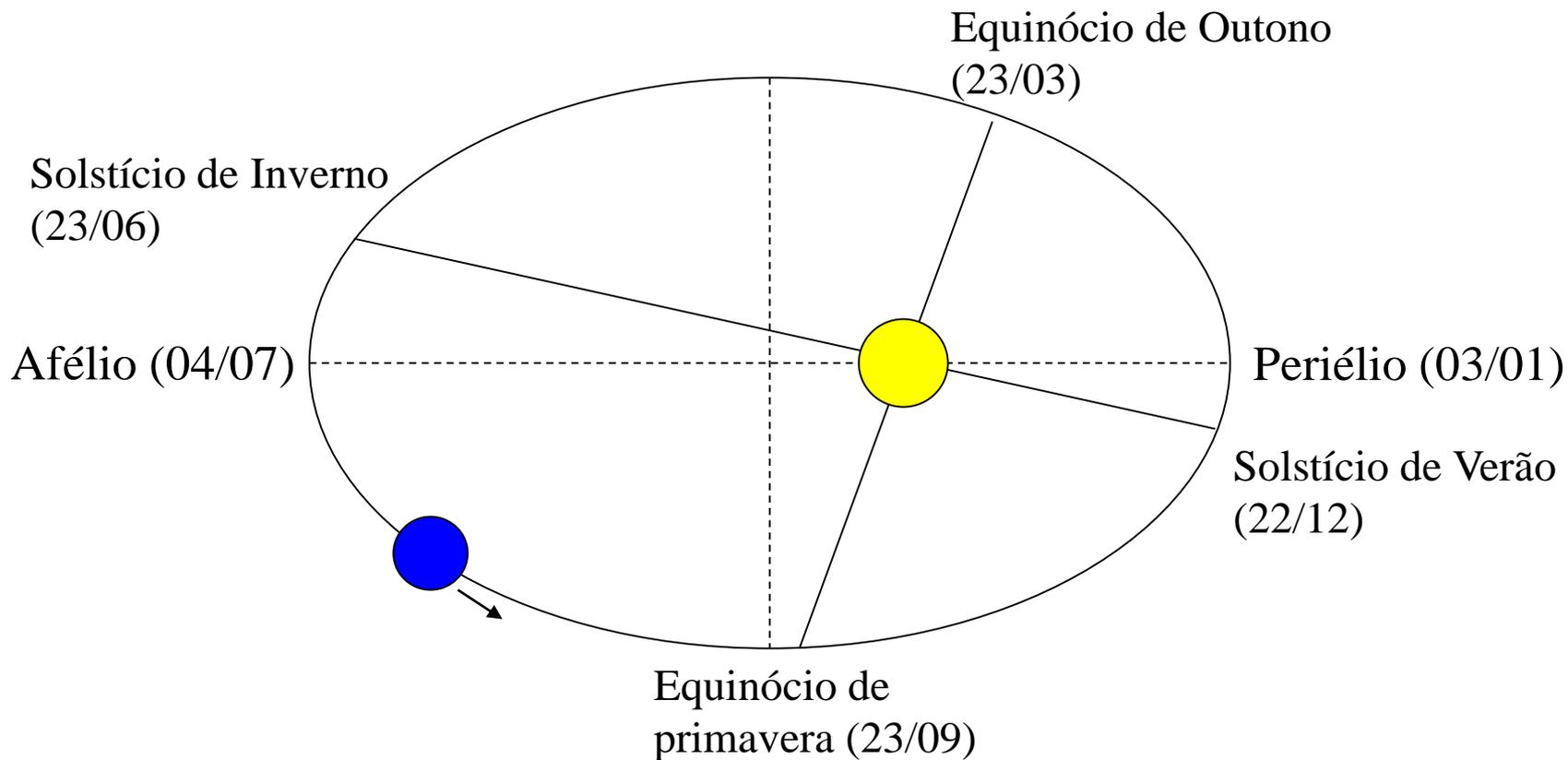


Evolution of green area index, photosynthetically active radiation (PAR) interception (%) and dry matter (DM) accumulation in crop parts as a function of days after seeding in spring wheat.



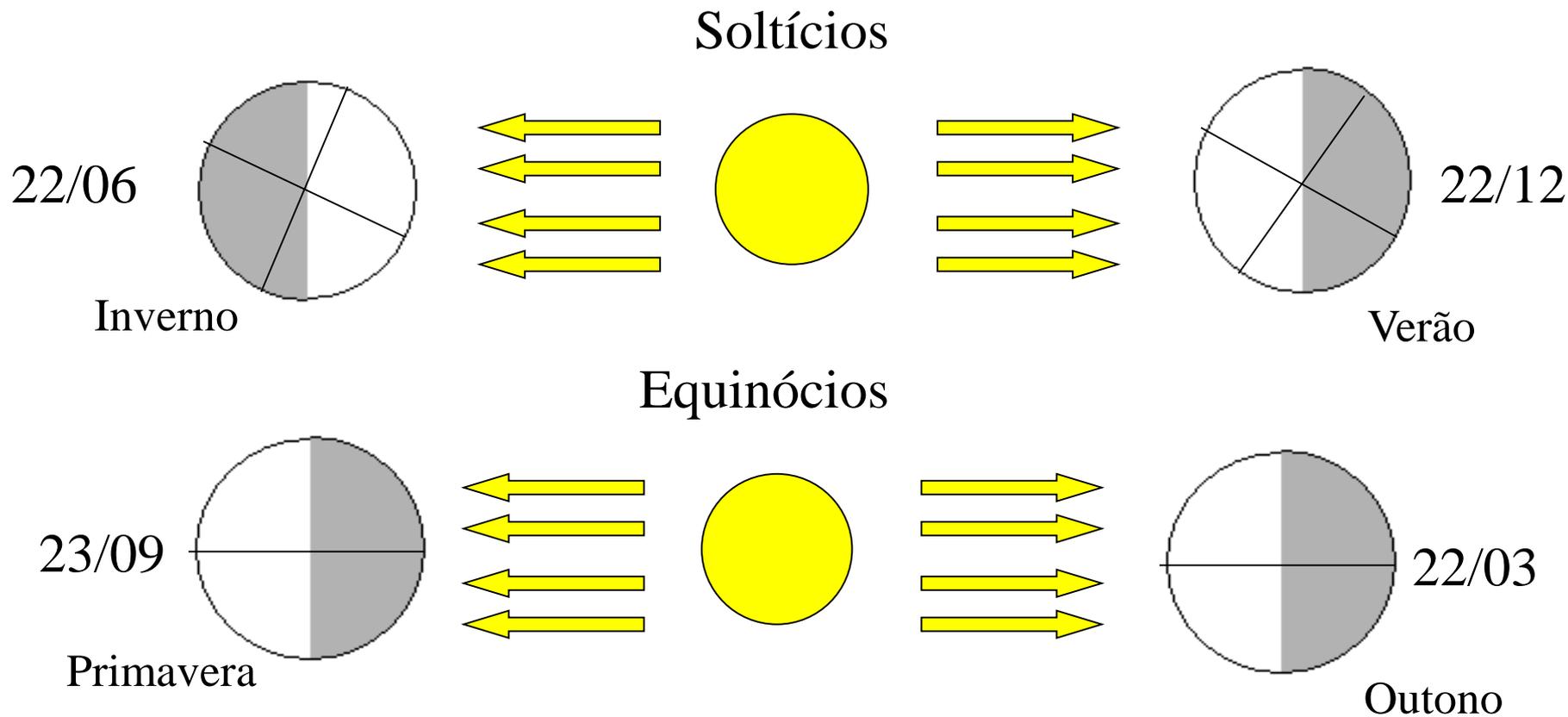
# Movimento de translação

- Posição relativa Terra-Sol:



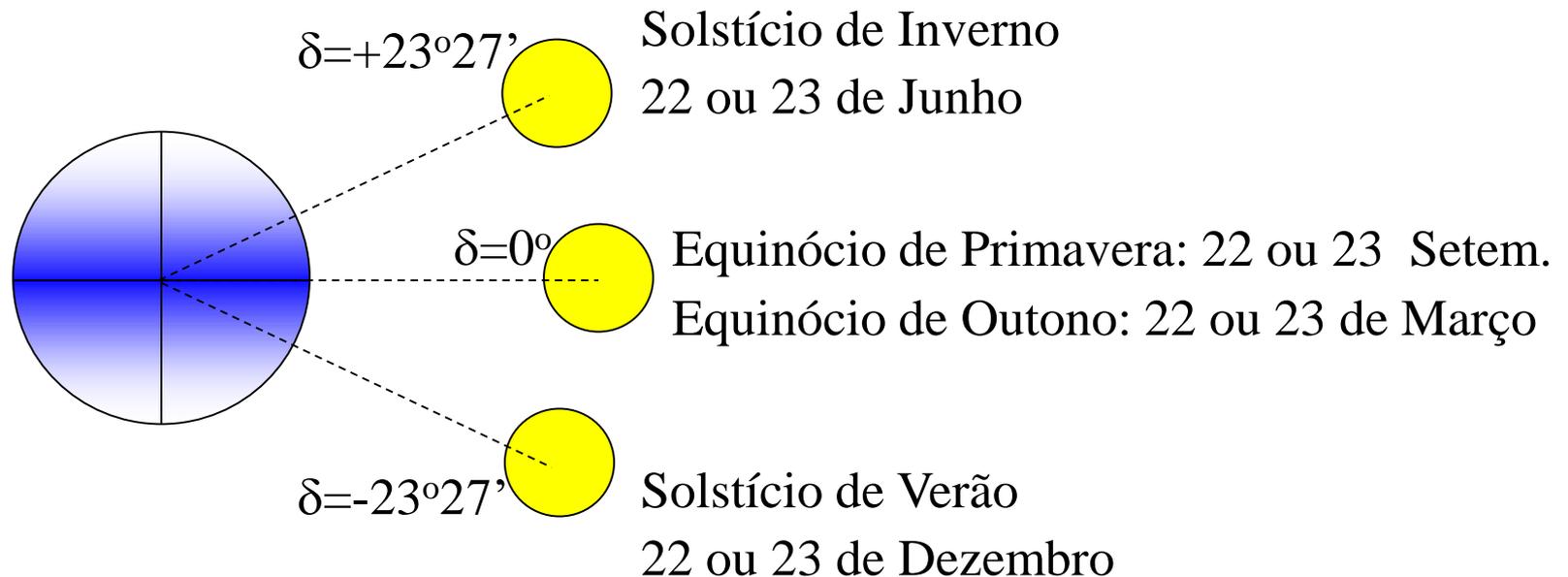
# Estações do ano

- Posição relativa Terra-Sol:



# Declinação Solar

- ângulo formado entre uma linha imaginária ligando o centro da Terra ao centro do sol, com o plano do Equador. Ao longo do ano, a declinação varia entre  $-23^{\circ}27'$  (solstício de verão) e  $+23^{\circ}27'$  (solstício de inverno). (*Do latim: solstitiu = Sol Parado*).



# Cálculo da Declinação

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[ \frac{360(NDA - 80)}{365} \right]$$

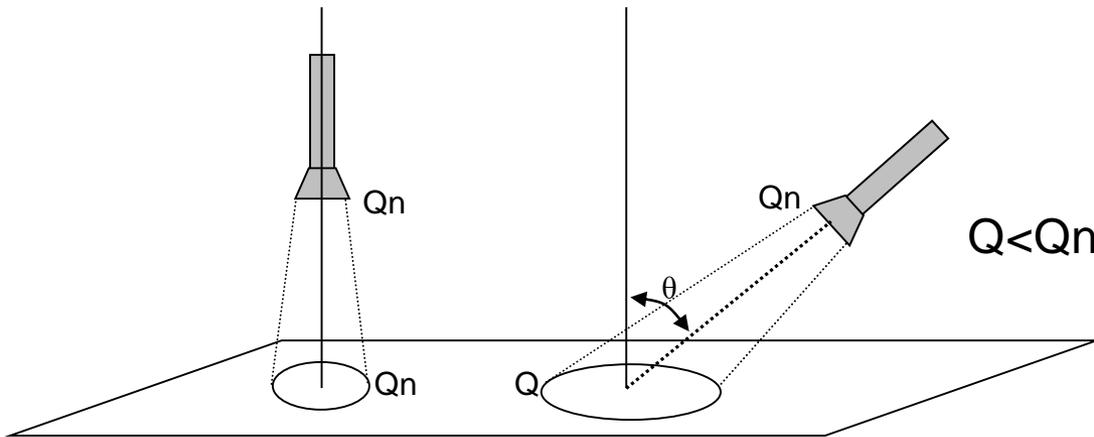
NDA é o número do dia do ano



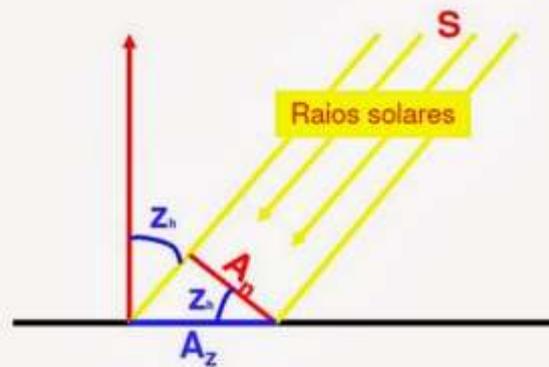
# Tabela de NDA

|    | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set       | Out | Nov | Dez |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|
| 1  | 1   | 32  | 60  | 91  | 121 | 152 | 182 | 213 | 244       | 274 | 305 | 335 |
| 2  | 2   | 33  | 61  | 92  | 122 | 153 | 183 | 214 | 245       | 275 | 306 | 336 |
| 3  | 3   | 34  | 62  | 93  | 123 | 154 | 184 | 215 | 246       | 276 | 307 | 337 |
| 4  | 4   | 35  | 63  | 94  | 124 | 155 | 185 | 216 | 247       | 277 | 308 | 338 |
| 5  | 5   | 36  | 64  | 95  | 125 | 156 | 186 | 217 | 248       | 278 | 309 | 339 |
| 6  | 6   | 37  | 65  | 96  | 126 | 157 | 187 | 218 | 249       | 279 | 310 | 340 |
| 7  | 7   | 38  | 66  | 97  | 127 | 158 | 188 | 219 | 250       | 280 | 311 | 341 |
| 8  | 8   | 39  | 67  | 98  | 128 | 159 | 189 | 220 | 251       | 281 | 312 | 342 |
| 9  | 9   | 40  | 68  | 99  | 129 | 160 | 190 | 221 | 252       | 282 | 313 | 343 |
| 10 | 10  | 41  | 69  | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253       | 283 | 314 | 344 |
| 11 | 11  | 42  | 70  | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254       | 284 | 315 | 345 |
| 12 | 12  | 43  | 71  | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255       | 285 | 316 | 346 |
| 13 | 13  | 44  | 72  | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256       | 286 | 317 | 347 |
| 14 | 14  | 45  | 73  | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257       | 287 | 318 | 348 |
| 15 | 15  | 46  | 74  | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258       | 288 | 319 | 349 |
| 16 | 16  | 47  | 75  | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259       | 289 | 320 | 350 |
| 17 | 17  | 48  | 76  | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260       | 290 | 321 | 351 |
| 18 | 18  | 49  | 77  | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261       | 291 | 322 | 352 |
| 19 | 19  | 50  | 78  | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262       | 292 | 323 | 353 |
| 20 | 20  | 51  | 79  | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263       | 293 | 324 | 354 |
| 21 | 21  | 52  | 80  | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264       | 294 | 325 | 355 |
| 22 | 22  | 53  | 81  | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265       | 295 | 326 | 356 |
| 23 | 23  | 54  | 82  | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266       | 296 | 327 | 357 |
| 24 | 24  | 55  | 83  | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267       | 297 | 328 | 358 |
| 25 | 25  | 56  | 84  | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268       | 298 | 329 | 359 |
| 26 | 26  | 57  | 85  | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269       | 299 | 330 | 360 |
| 27 | 27  | 58  | 86  | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270       | 300 | 331 | 361 |
| 28 | 28  | 59  | 87  | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271       | 301 | 332 | 362 |
| 29 | 29  |     | 88  | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272       | 302 | 333 | 363 |
| 30 | 30  |     | 89  | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273       | 303 | 334 | 364 |
| 31 | 31  |     | 90  |     | 151 |     | 212 | 243 | <b>10</b> | 304 |     | 365 |

# Lei do Cosseno de Lambert



## Lei do Cosseno de Lambert



$$I_n = S / A_n$$

$$I_z = S / A_z$$

Igualando-se as as duas equações têm-se:

$$I_n A_n = I_z A_z \text{ ou } I_z / I_n = A_n / A_z$$

Do triângulo formado na Figura ao lado têm-se que:

$$\cos Z_h = A_n / A_z$$

Resultando em:

$$I_z = I_n \cos Z_h$$

Desse modo, se:

$$Z_h = 0^\circ \rightarrow I_z = I_n$$

$$Z_h = 90^\circ \rightarrow I_z = 0$$

Intensidade = Energia / (Área \* Tempo)

Energia = S

Área real =  $A_z$

Área normal =  $A_n$

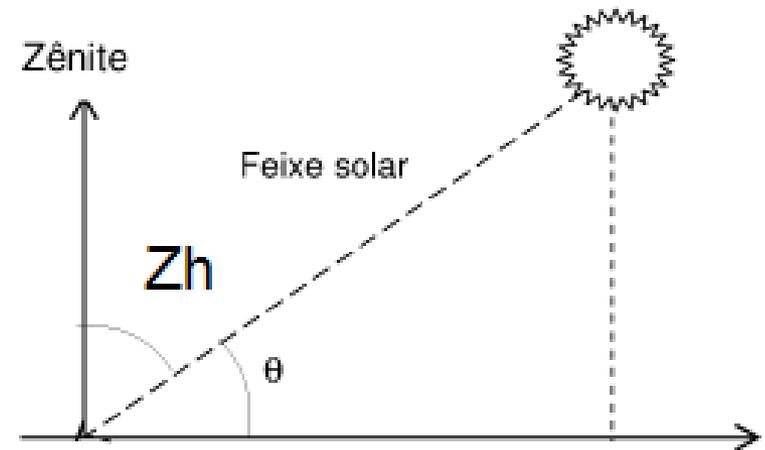
Tempo = unitário

Fonte: <http://professormarciosantos3.blogspot.com.br/2014/02/aula-2-escala-temporal-dos-fenomenos.html>



# Cálculo do Ângulo Zenital (Zh)

- Definição: ângulo formado entre o zênite (linha imaginária que liga um observador localizado sobre a superfície terrestre e o centro da terra e prolonga-se até a esfera celeste) e a direção predominante do feixe (raios) solar.
- $Zh = f(\text{latitude, ângulo horário, declinação})$



# Equação do Ângulo Zenital

$$\cos Zh = \text{sen } \phi . \text{sen } \delta + \cos \phi . \cos \delta . \cosh$$

$\phi$  é a latitude do local (graus e décimos)

$\delta$  é a declinação do sol (graus e décimos)

$Zh$  é o ângulo zenital a cada hora do do dia. No nosso caso, vamos calcular  $Z$  para o meio dia e extrapolar para o restante do dia.



# Ângulo Zenital ao Meio-Dia

Quando o sol passa pelo meridiano no local (meio-dia):

$h = 0$  e  $\cos 0 = 1$

Assim,

$$\cos Z_{12} = \text{sen } \phi . \text{sen } \delta + \cos \phi . \cos \delta . 1$$

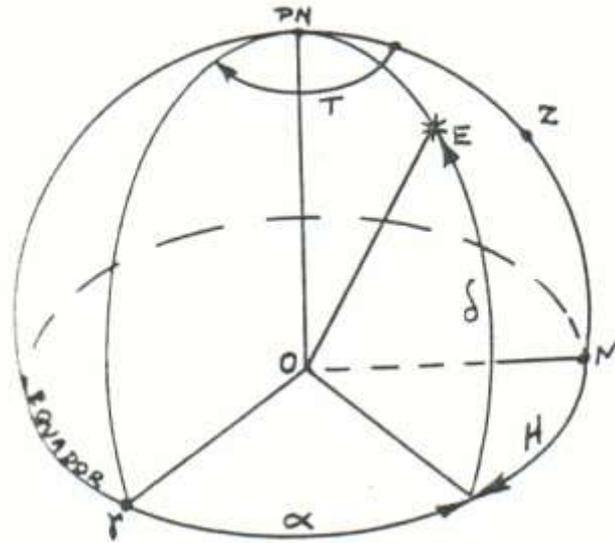
$$\cos Z_{12} = \cos(\delta - \phi)$$

$$Z_{12} = \delta - \phi$$

# Ângulo Horário

$h$  é ângulo horário do sol – ângulo formado pelo plano meridiano do sol e o plano meridiano do ponto onde está o observador

$$h = (\text{hora local} - 12) / 15^\circ$$



# Constante Solar

- Constante solar ( $J_0$ ) é um valor que expressa a densidade de fluxo de radiação (energia/área.tempo) em uma superfície perpendicular aos raios solares, acima da atmosfera:
- Distância Terra-Sol:  $1,5 \cdot 10^8$  km
- Potência do Sol:  $3,87 \cdot 10^{26}$  W
- Área da esfera:  $4 \cdot \pi \cdot r^2 = 2,83 \cdot 10^{23}$  m<sup>2</sup>
- $J_0 = 3,87 \cdot 10^{26}$  W /  $2,83 \cdot 10^{23}$  m<sup>2</sup>  $\cong 1367$  W/ m<sup>2</sup>



# Cálculo da Constante Solar

- $J_0 = I/A = 1367 \text{ W/m}^2$  ou  $118,11 \text{ MJ/m}^2.\text{d}$
- Mas é necessário corrigi-la para considerar a variação da distância Terra-Sol ao longo do ano. Assim, tem-se:
  - $J_0' = J_0 (d/D)^2$

$$(d/D)^2 = 1 + 0,033 * \cos(NDA * 360/365)$$

$d$  é a distância Terra-Sol num determinado dia é  $D$  é a distância média Terra-Sol. Assim,  $(d/D)^2$  é um fator de ajuste decorrente do fato da órbita terrestre não ser circular.



# Cálculo do Fotoperíodo (N)

- N = hora do pôr-do-sol – hora do nascer-do-sol
- Considerando a trajetória simétrica do solo em relação ao meio-dia, podemos admitir que:
- $N = 2 * hn/15$  (sendo hn o ângulo horário no nascer do Sol)
- Ao nascer, o ângulo zenital é 90 e  $\cos 90 = 0$ . Assim, isolando-se hn da eq. Do ângulo zenital (slide 10), tem-se:

$$0 = \text{sen} \phi . \text{sen} \delta + \cos \phi . \cos \delta . \cos hn$$

$$\cos hn = \frac{(-\text{sen} \phi . \text{sen} \delta)}{(\cos \phi . \cos \delta)} = -\text{tg} \phi . \text{tg} \delta$$

$$hn = \arccos(-\text{tg} \phi . \text{tg} \delta)$$



# Horário do nascer e pôr-do-Sol

- Nascer do Sol (NS)
- Pôr do Sol (PS)
- $HNS = 12 - N/2$
- $HPS = 12 + N/2$



# Cálculo da Radiação Extra-Terrestre (Qo)

**Constante Solar** – máxima densidade de fluxo de radiação em uma superfície perpendicular aos raios solares, fora da atmosfera. Tem valor constante de 1367 W/m<sup>2</sup> ou 118,11 MJ/m<sup>2</sup>.d

**Ângulo horário do nascer do Sol**  
 $So\ hn = \arccos(-tg\phi.tg\delta)$

**Ângulo horário do nascer do Sol**

$$Qo = \frac{Jo}{\pi} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) hn \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \text{sen} hn\right]$$

Razão entre a distância Terra-Sol num determinado dia e a distância média Terra-Sol

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{NDA \cdot 360}{365}\right)$$

Latitud e

Declinação Solar

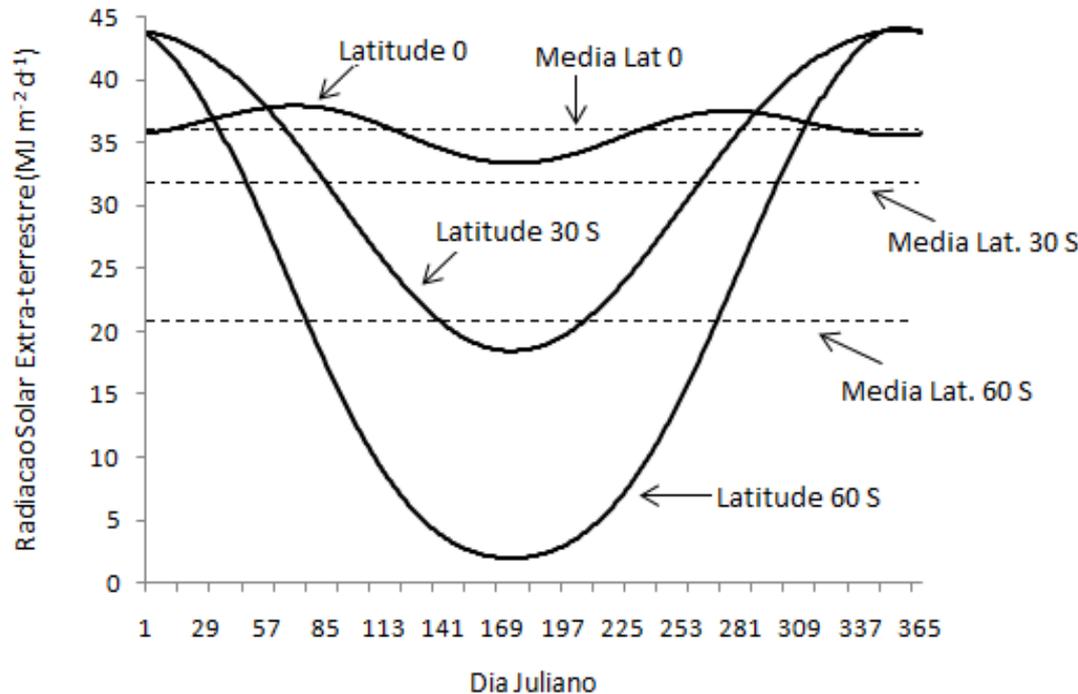
Declinaçã o Solar

Número do Dia do Ano

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[ \frac{360(NDA - 80)}{365} \right]$$



# Radiação Solar Extra-Terrestre



Observe a figura ao lado... pense... e responda:

Em qual dos locais a produção de espécies perenes é mais indicada? E das culturas anuais?

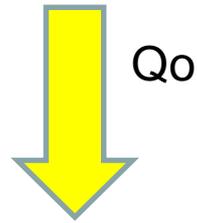


# Balanço de Radiação e Energia

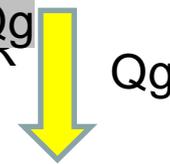
## Parte 2



Atmosfera



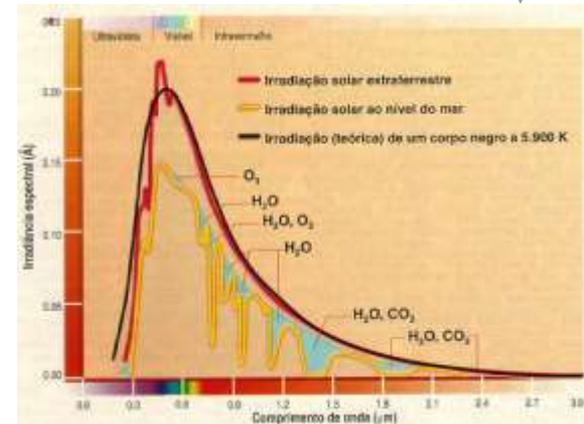
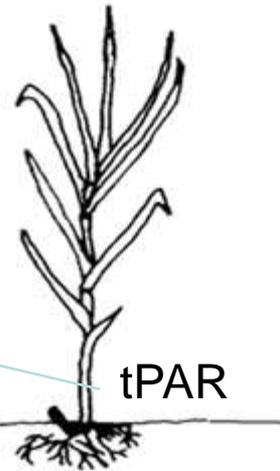
PAR ≈ 0,5 · Qg



- UV
- PAR
- IV

$$tPar = PAR \cdot e^{-k \cdot IAF}$$

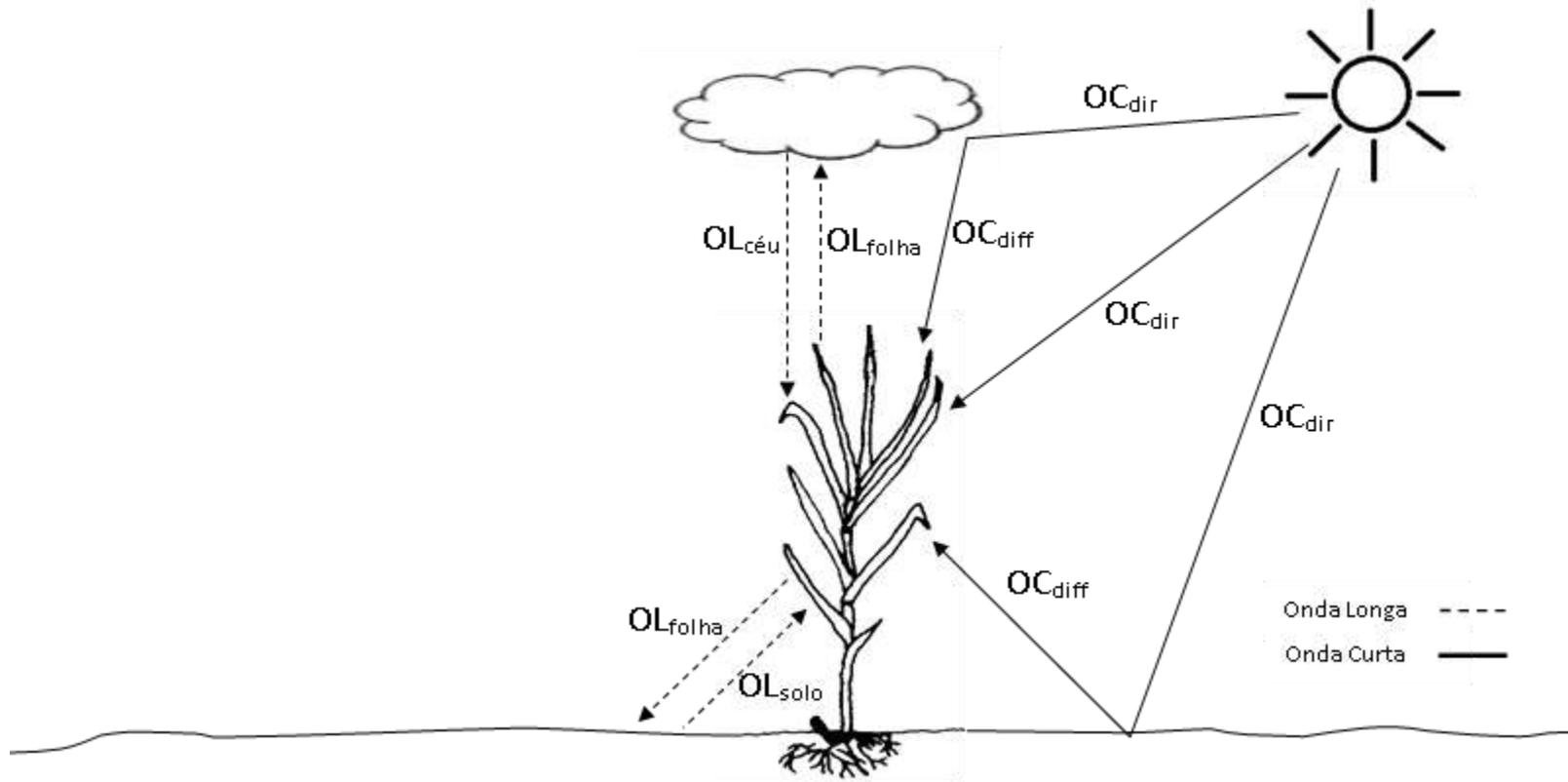
$$aPar = PAR \cdot (1 - e^{-k \cdot IAF})$$



Espectro de Radiação Solar



# Balanço de Radiação



# Balanço de Radiação

- Saldo de radiação (SR ou Rn)
- $SR = BOC + BOL$

$$BOC = Q_g - rQ_g$$

$$BOL = Q_a - Q_s$$

$$SR = Q_g (1-r) + Q_a - Q_s$$

Dia: Positivo  
Noite: negativo

Dia: negativo  
Noite: negativo

Dia: positivo  
Noite: negativo

# REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS FLUXOS DE ÁGUA, CARBONO, RADIAÇÃO E ENERGIA NA BIOSFERA.

BOC

+

BOL

=

Chuva

=

$$R_n = H + G + LE + F$$

+

Escoamento lateral

+

Drenagem

+

Arm. Água

+

Respiração do solo

+

Arm. Carbono

=

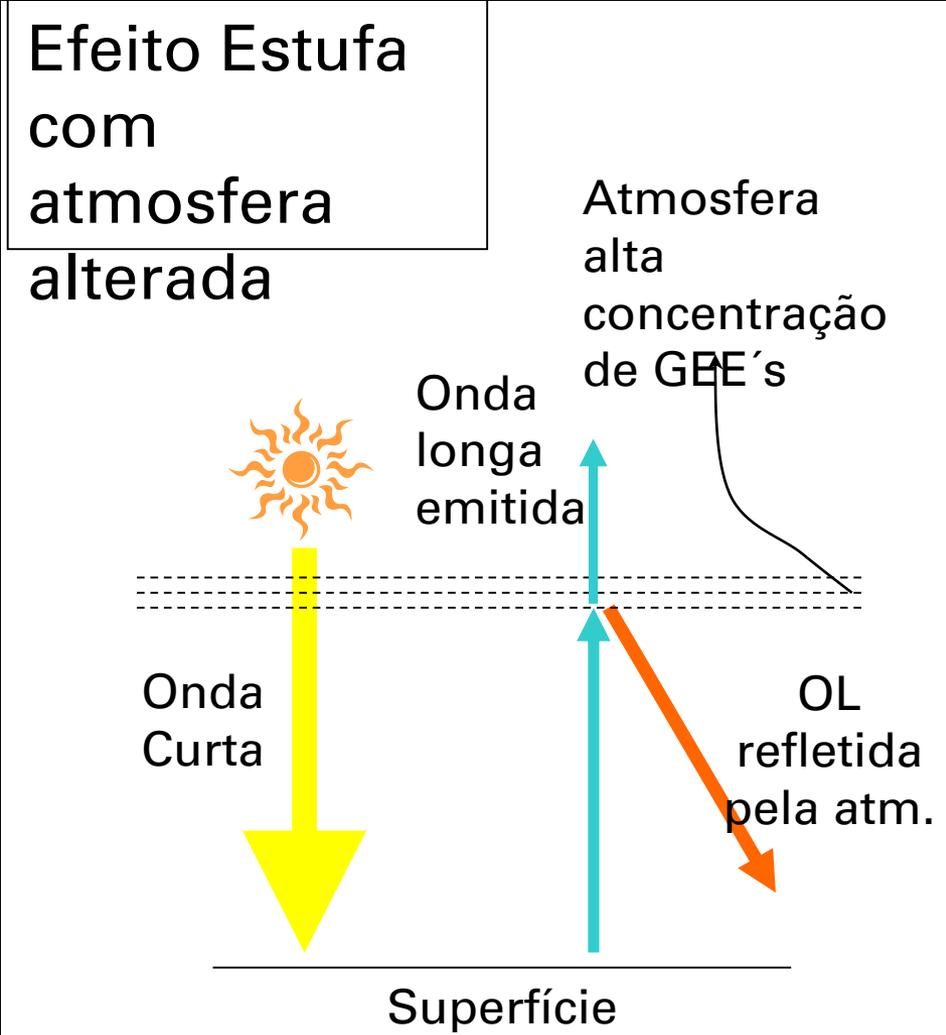
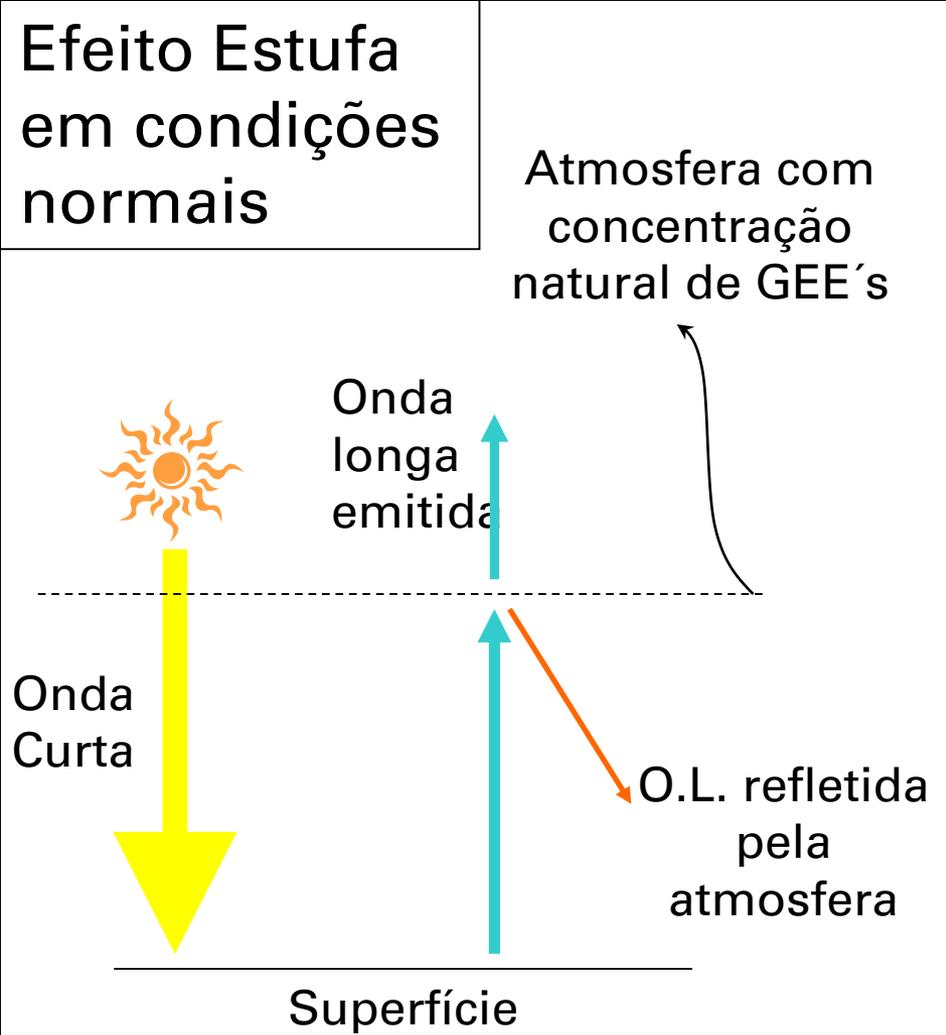
Fluxo de CO<sub>2</sub>

27



# Efeito Estufa: bases físicas

- GEE atuam como filtros para a OL emitida pela superfície – temperatura em torno dos 300 K;
- Ondas curtas emitidas pelo Sol (temperatura em torno dos 6000K) sofrem pouca interferência da atmosfera terrestre, causando desequilíbrio no balanço de radiação da Terra.



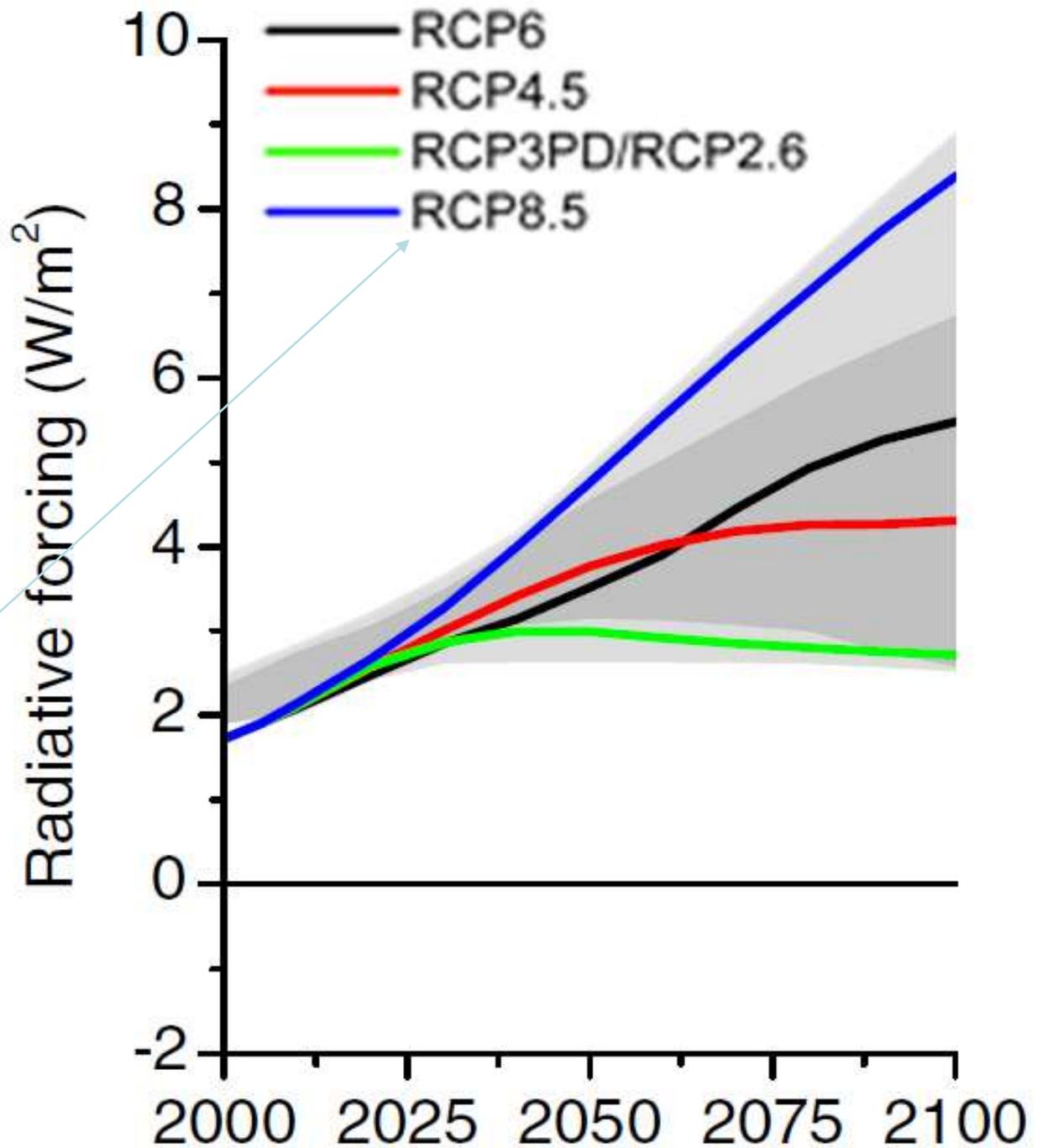
A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.

# Forçantes Radiativas

- Definição:
  - Forçante radiativa: Mudança no fluxo radiativo ascendente resultante, permitindo o reajuste da temperatura da estratosfera após o equilíbrio radiativo, mantendo-se a temperatura da superfície e da troposfera fixados nos valores não perturbados.

# Forçante s Radiativ as

“Representativ  
e Concentration  
Pathways”



# Temperatura do Ar

## Parte 3



# TEMPERATURA DO AR

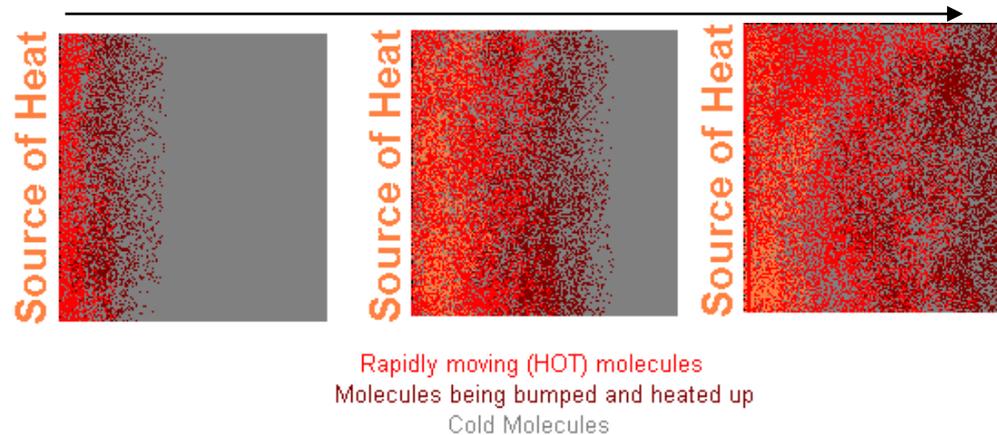
- Temperatura - energia interna de uma substância ou um corpo qualquer, vulgarmente associado às sensações de frio e calor; mais especificamente é a medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas.
- Diversas das propriedades físicas da matéria – se em estado sólido, líquido ou gasoso; sua densidade, solubilidade, pressão de vapor, condutividade hidráulica, etc – são dependentes da temperatura do sistema em análise. Além de influenciar nas propriedades químicas, acelerando a velocidade das reações e do metabolismo nos seres vivos.
- Um dos principais fatores determinantes da distribuição e desenvolvimento das plantas e animais



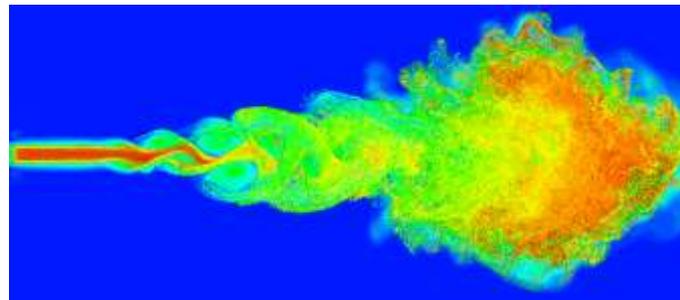
# Mecanismos de aquecimento da atmosfera

Aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre por transporte de energia:

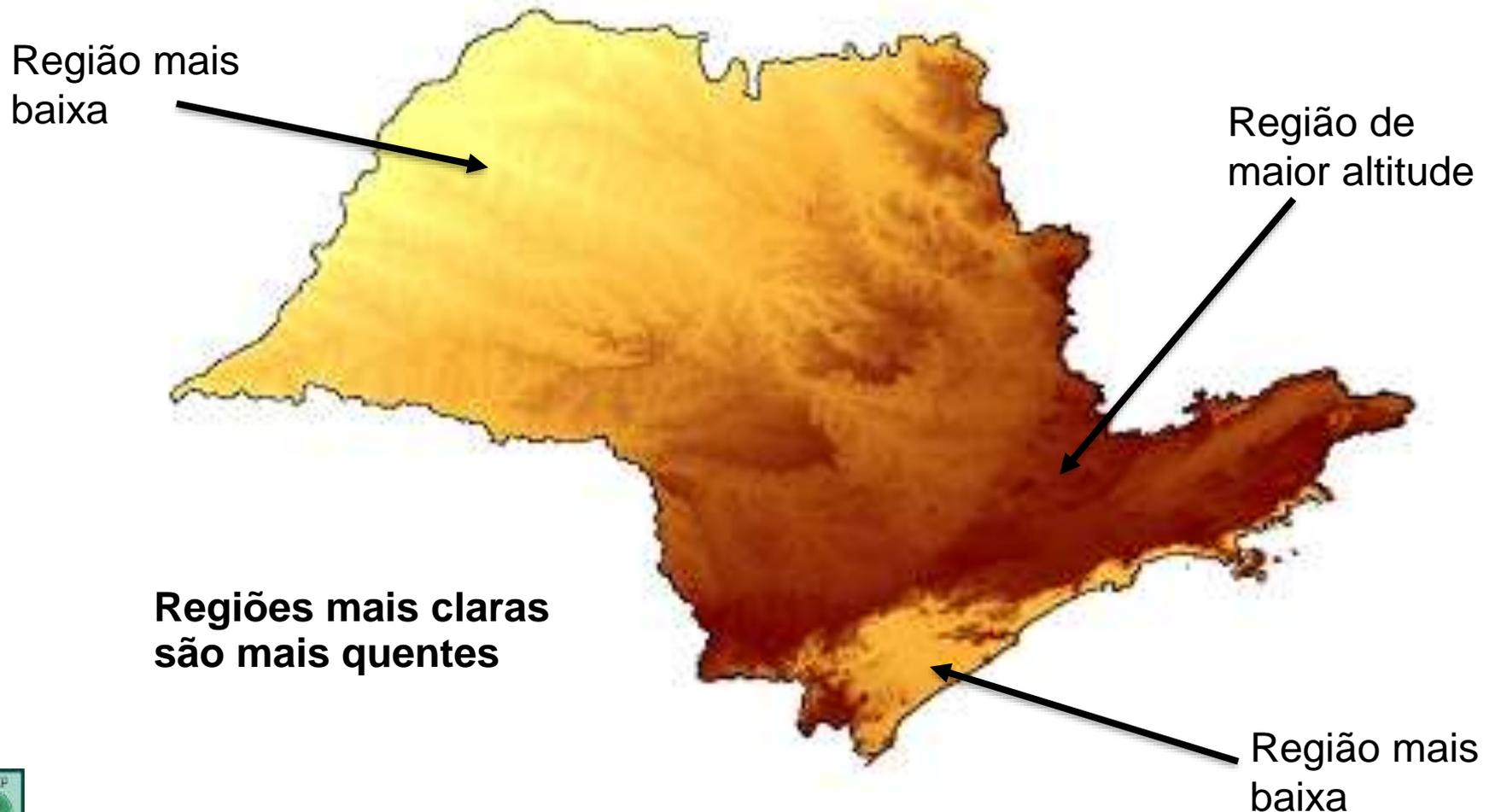
- **Condução molecular** – troca de calor sensível por contato entre as “moléculas”, com extensão superficial limitada (máximo de 3m);



- **Difusão turbulenta:** processo “eficiente” de transporte de energia, com movimento ascendente de parcelas de ar aquecidas – dispersão de CO<sub>2</sub>, vapor d’água e poeira.



# Temperatura Média Anual em SP



# Efeito da Cobertura do Solo na Temperatura

**Modificam o clima em microescala em função do tipo de cobertura do terreno**



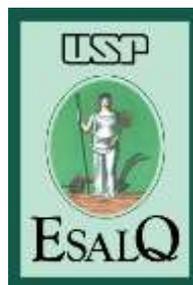
**Diferentes coberturas modificam o regime térmico do local**





# “INFLUÊNCIA DA COBERTURA DA PALHA NA TEMPERATURA DO SOLO E NO PERFILHAMENTO DE UM CANAVIAL IRRIGADO”

Murilo dos Santos Vianna





### Monitoramento da Temperatura:

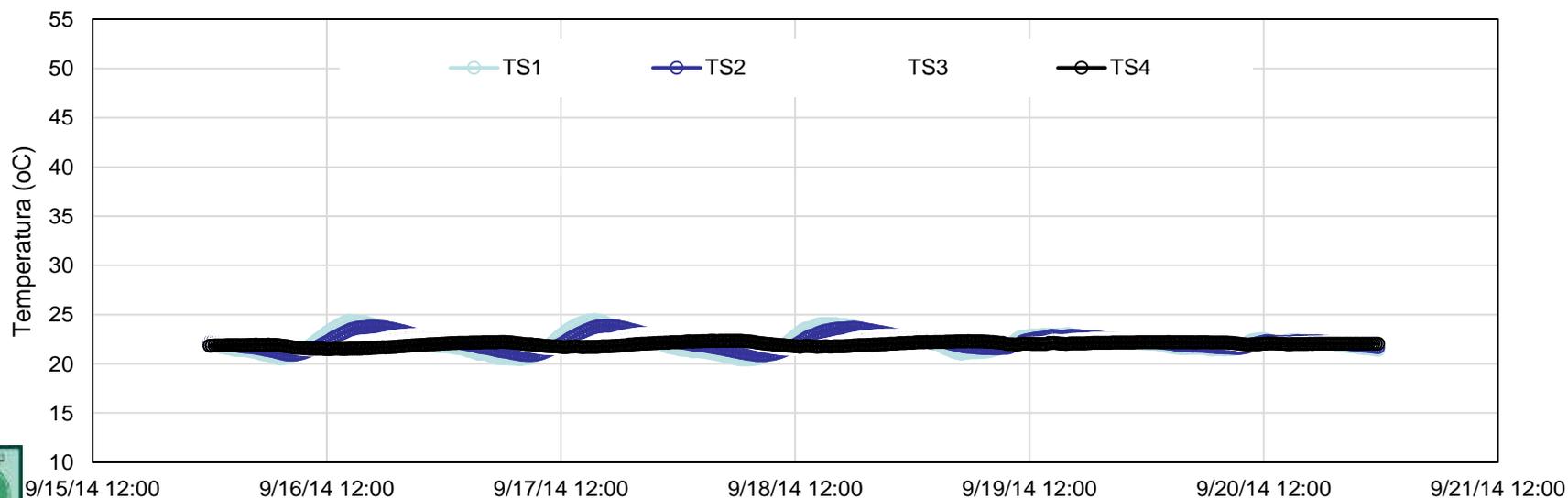
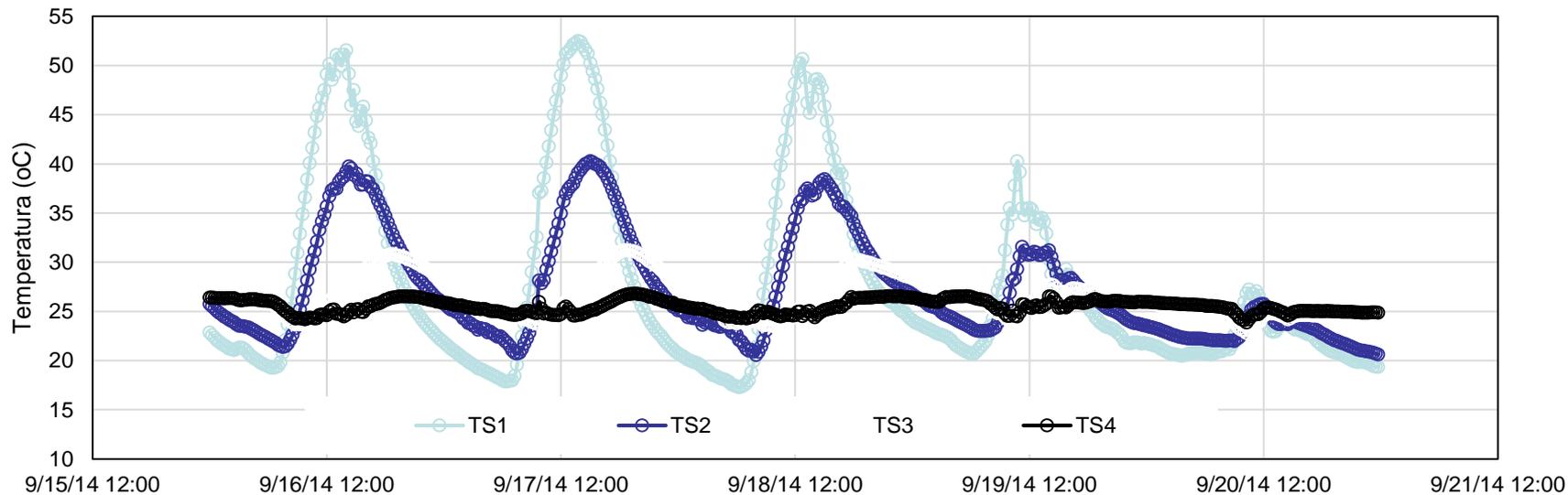
- Termopares do tipo T, AWG24,
- ▲ 4 profundidades (1, 5, 20 e 40 cm) e acima do nível do dossel vegetativo.

### Monitoramento do Perfilamento:

- Contagem de perfilhos em cada linha de parcela (5 linhas x 5m).
- Contagem quinzenal até o pico de perfilamento, e mensal até a estabilização.

# Resultados: Temperatura do solo

16/09/2014 a 20/09/2014



# Resultados: Temperatura do solo

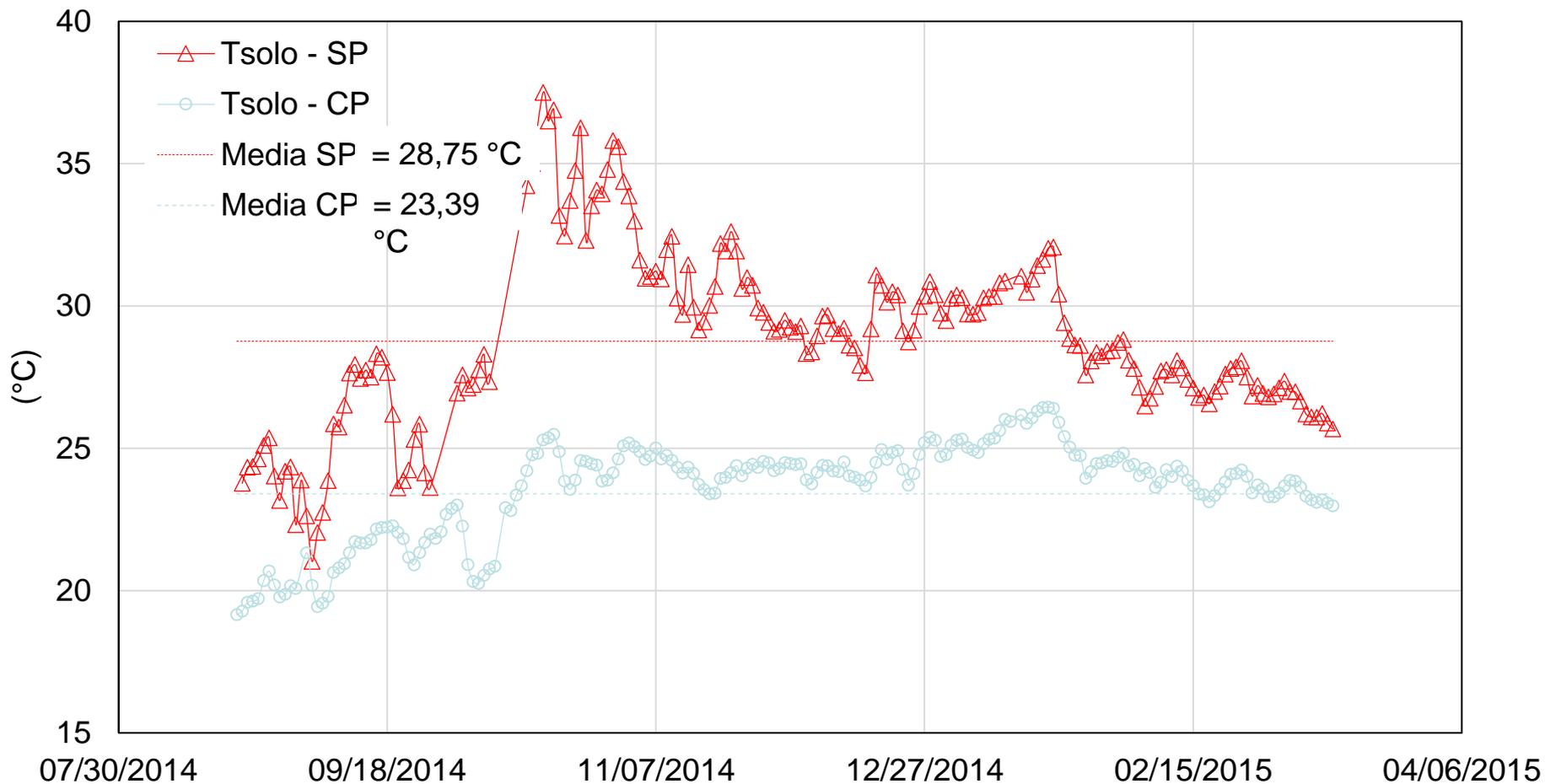


Table 2.1 Major events and periods in the development of cereal crops

| Event or process                   | Definition  | Comment   |
|------------------------------------|---|---|
| True vegetative period             |   |   |
| <b>Sowing<sup>a</sup></b>          | Beginning of water uptake by seed   | Assume soil moist   |
| Germination                        | Appearance of radicle (first root) from seed  | na  |
| Emergence                          | First appearance of leaf above soil   | na  |
| Leaf initiation                    | Regular appearance of leaf primordia (microscopic bud) on apex of the main stem or shoot  | Needs dissection to detect  |
| <b>Leaf appearance</b>             | External appearance of leaves on main stem at regular rate between emergence and last leaf appearance   | Fixed number of leaves on main shoot, between 6 and ~25   |
| Tillering                          | Appearance of new stems in axils of leaves on main stem (and on other tillers)  | na  |
| Reproductive period                |   |   |
| <b>Floral initiation</b>           | First appearance of floret primordia (microscopic buds) on main shoot apex (needs dissection to detect); signals end to leaf initiation on main shoot | In maize the tassel is formed at the shoot apex, the cob in a leaf axil several leaves below the final leaf |
| Onset stem elongation              | Internodes (interval between nodes or joints) on main stem begin to elongate  | na  |
| End of floret initiation           | Last floret primordia appears at apex of shoot  | Many florets are initiated; few grow to complete florets  |
| <b>Onset inflorescence growth</b>  | Beginning of rapid accumulation of dry matter in inflorescence (spike, panicle, tassel or cob) structure  | na  |
| Meiosis                            | Production of haploid nuclei for pollen (in anthers) and ovule (in carpel) in developing florets  | Pollen are the male equivalents, carpels the female   |
| Final leaf emergence               | Appearance of last leaf on main stem  | In wheat called the flag leaf   |
| <b>Spike (head) emergence</b>      | Appearance of the main shoot inflorescence  | Tassel in maize, panicle in rice  |
| <b>Anthesis or flowering</b>       | Appearance of first burst anthers, shedding pollen, and occurrence of pollination of the ovules (except maize)  | Often known as flowering (or pollen shed in maize)  |
| <b>Silking (maize only)</b>        | External appearance of styles (silks) from female flowers on maize cob, receptive for pollen  | Under stress in maize, silking may be significantly later than pollen shed on the same plant                |
| Grain-filling period               |   |   |
| <b>End of inflorescence growth</b> | Soon after anthesis and pollination   | In maize the cob grows more after pollination than before   |
| Onset grain-filling                | Beginning of rapid dry matter accumulation in grain   | Always some lag between pollination and onset of rapid grain growth   |
| <b>Grain-filling</b>               | Period of rapid grain growth  | na  |
| <b>Physiological maturity</b>      | End of grain growth, as can be seen by changes within grain   | Upper leaves may or may not still remain green  |
| Harvest ripeness                   | na  | Crop dry enough to mechanically harvest   |

1. Bold text represents major events

2. na = not applicable

# Chuva

## Parte 4



# Chuva ou Precipitação

- Condensação na Atmosfera
- Resfriamento e saturação da massa de ar

## **GRADIENTE ADIABÁTICO ( $\Gamma$ ):**

$$\Gamma_{\text{ar seco}} = - 0,98^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar saturado}} = - 0,4^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

$$\Gamma_{\text{ar úmido}} = - 0,6^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$$

- Presença de núcleos de condensação
  - NaCl
  - 2-metiltreitol - floresta amazônica (RG+isopreno)



# Tipos de Chuvas: Convectivas



**Distribuição:** localizada, com grande variabilidade espacial

**Intensidade:** moderada a forte, dependendo do desenvolvimento vertical da nuvem

**Predominância:** no período da tarde/início da noite

**Duração:** curta a média (minutos a horas)

# Tipos de Chuvas: Orográficas

Santos – P = 2153 mm/ano

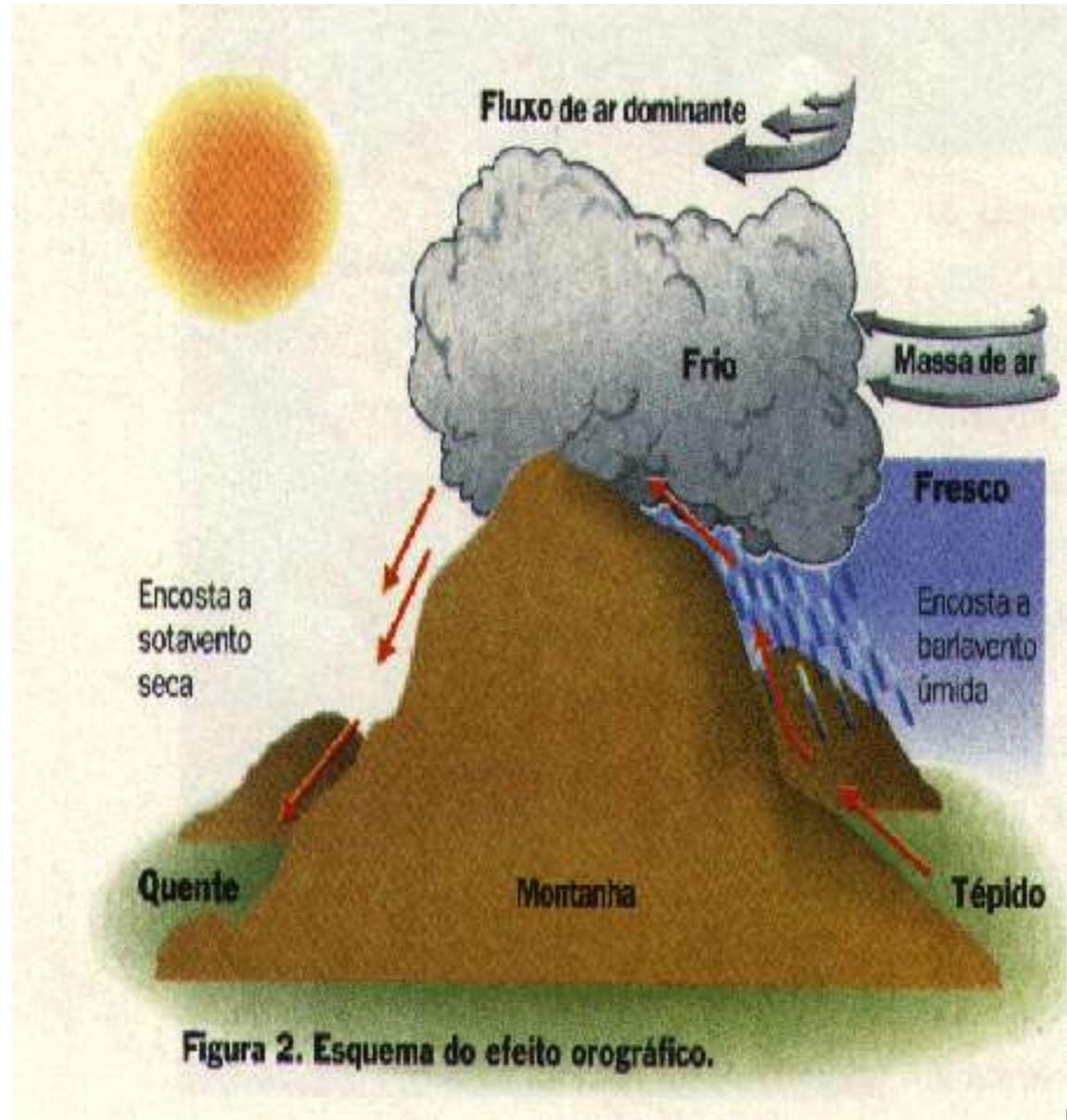
Cubatão – P = 2530 mm/ano

Serra a 350m – P = 3151mm/ano

Serra a 500m – P = 3387 mm/ano

Serra a 850m – P = 3874 mm/ano

S.C. do Sul – P = 1289 mm/ano



# Tipos de Chuvas: Frontais



# Tipos de Chuvas: Frontais

## Características das chuvas frontais

**Distribuição:** generalizada na região

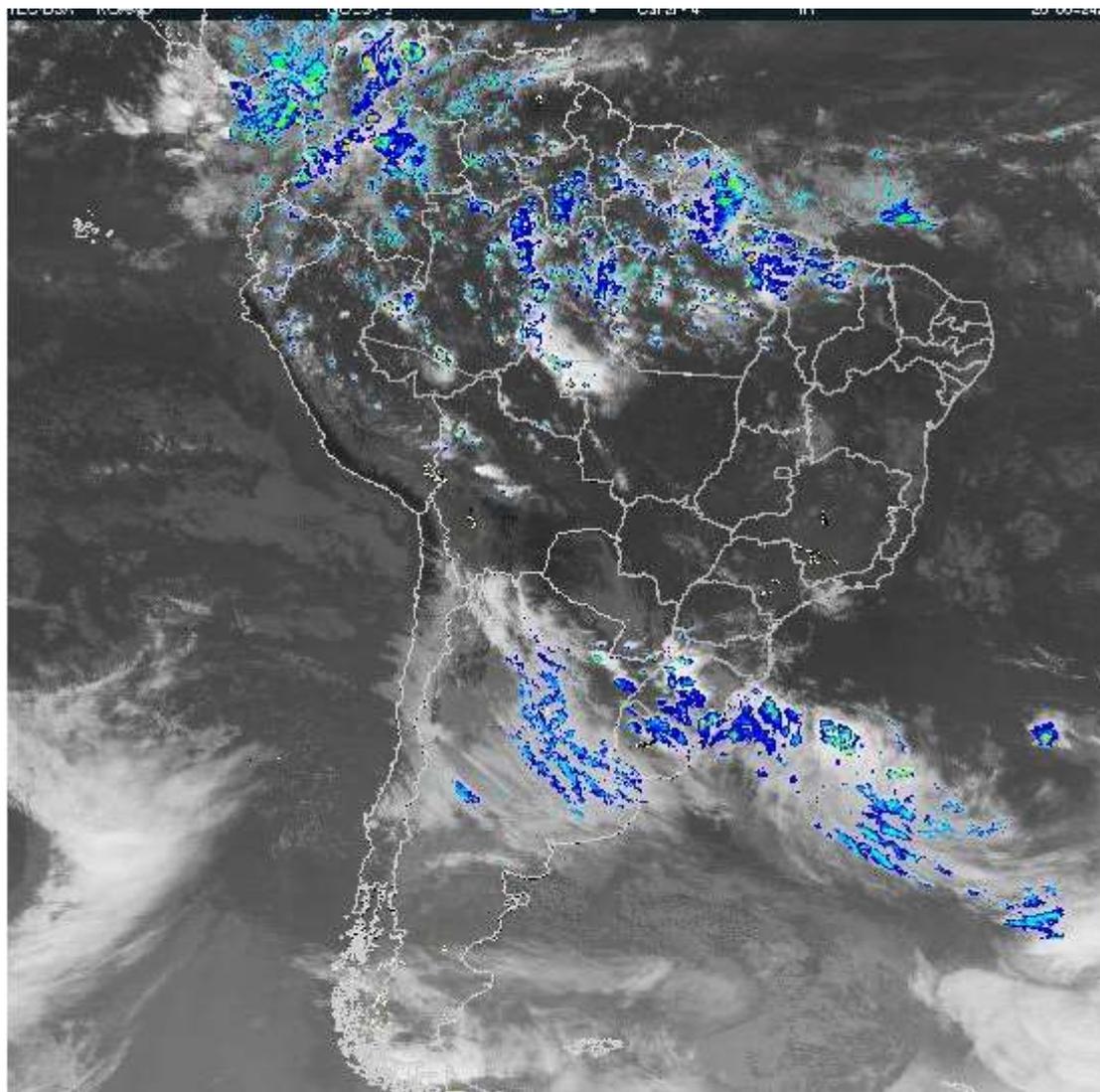
**Intensidade:** fraca a moderada, dependendo do tipo de frente

**Predominância:** sem horário predominante

**Duração:** média a longa (horas a dias), dependendo da velocidade de deslocamento da frente.



Imagem GOES 13  
INPE

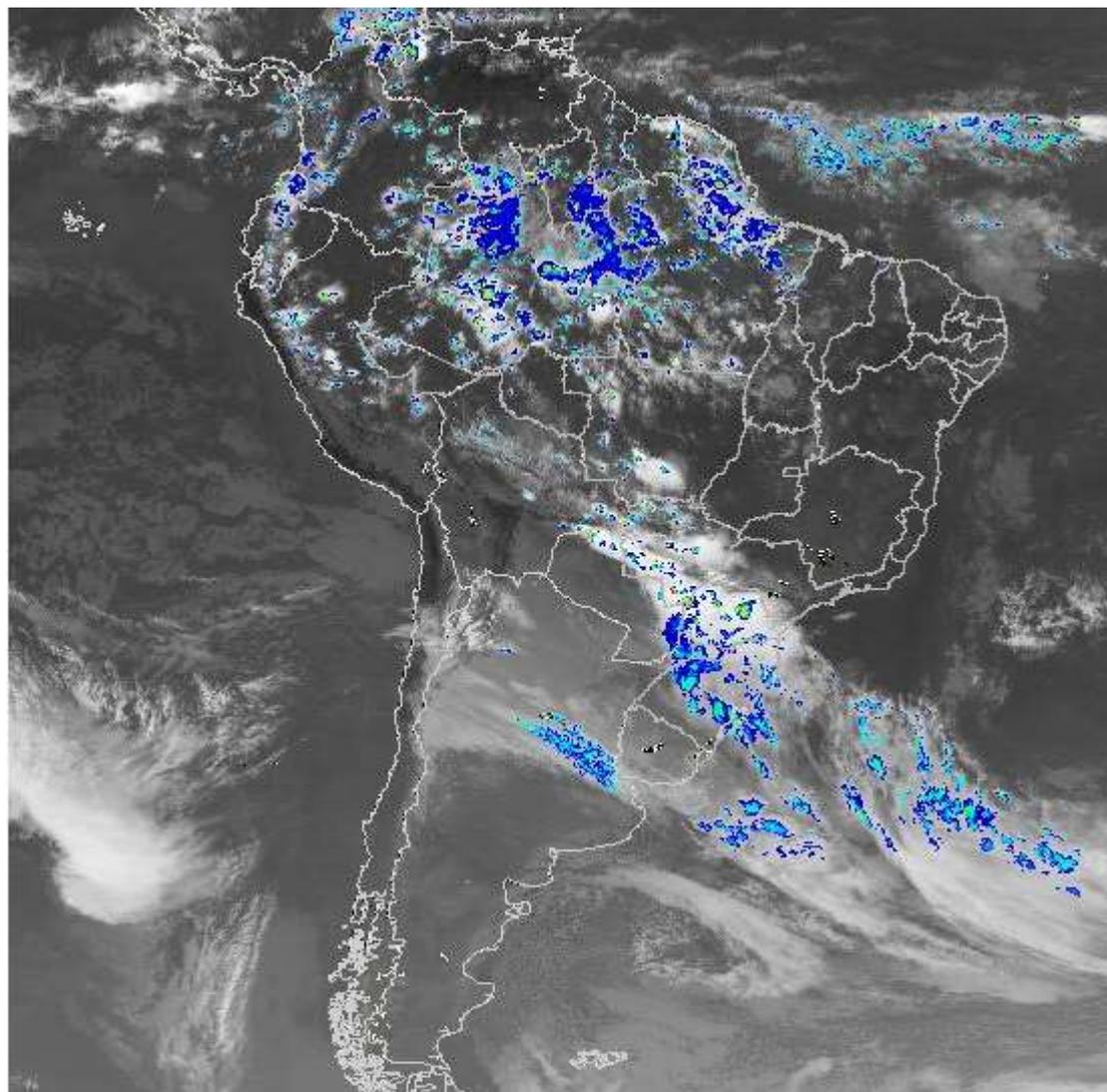


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

24/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

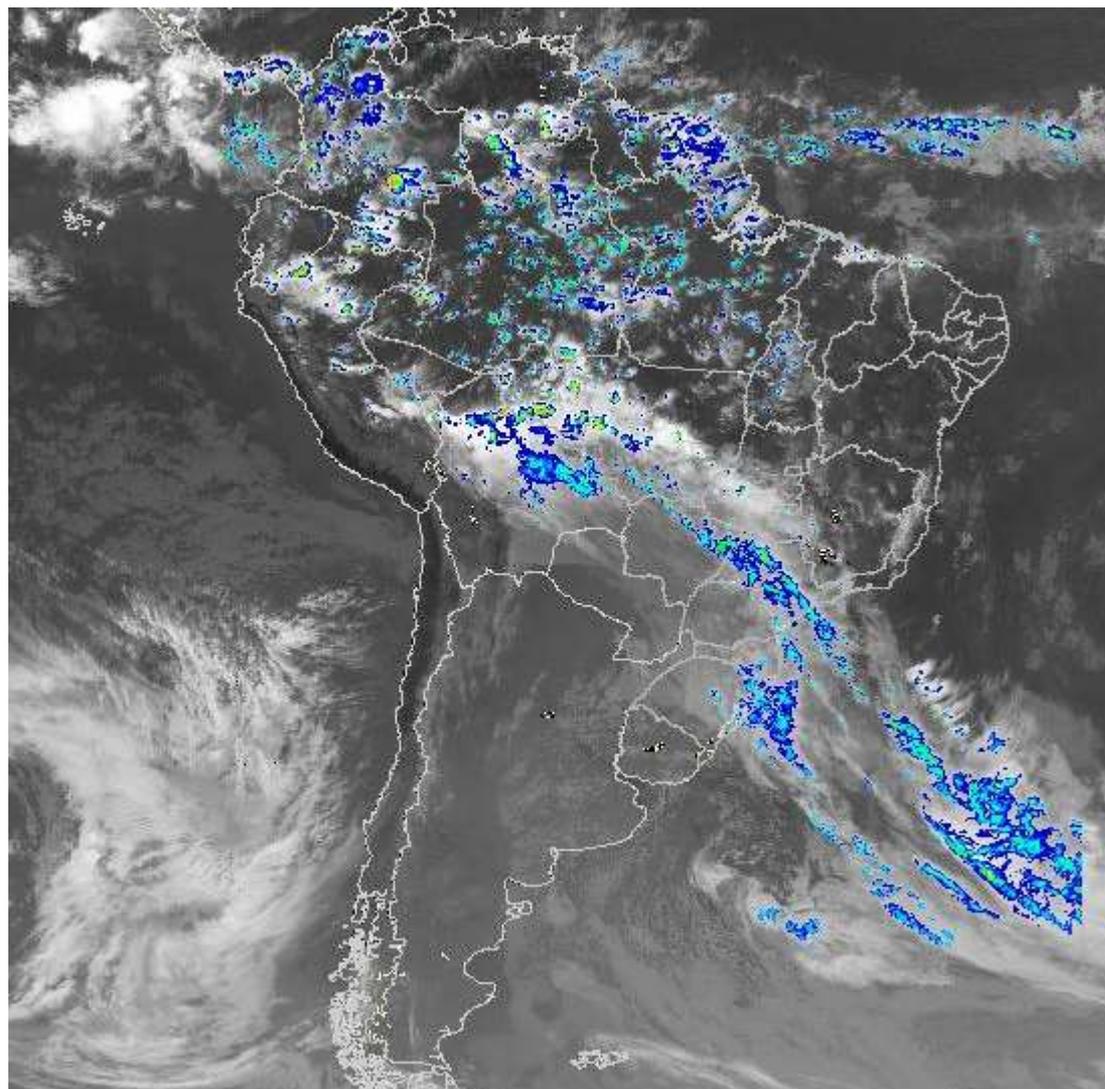


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

25/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

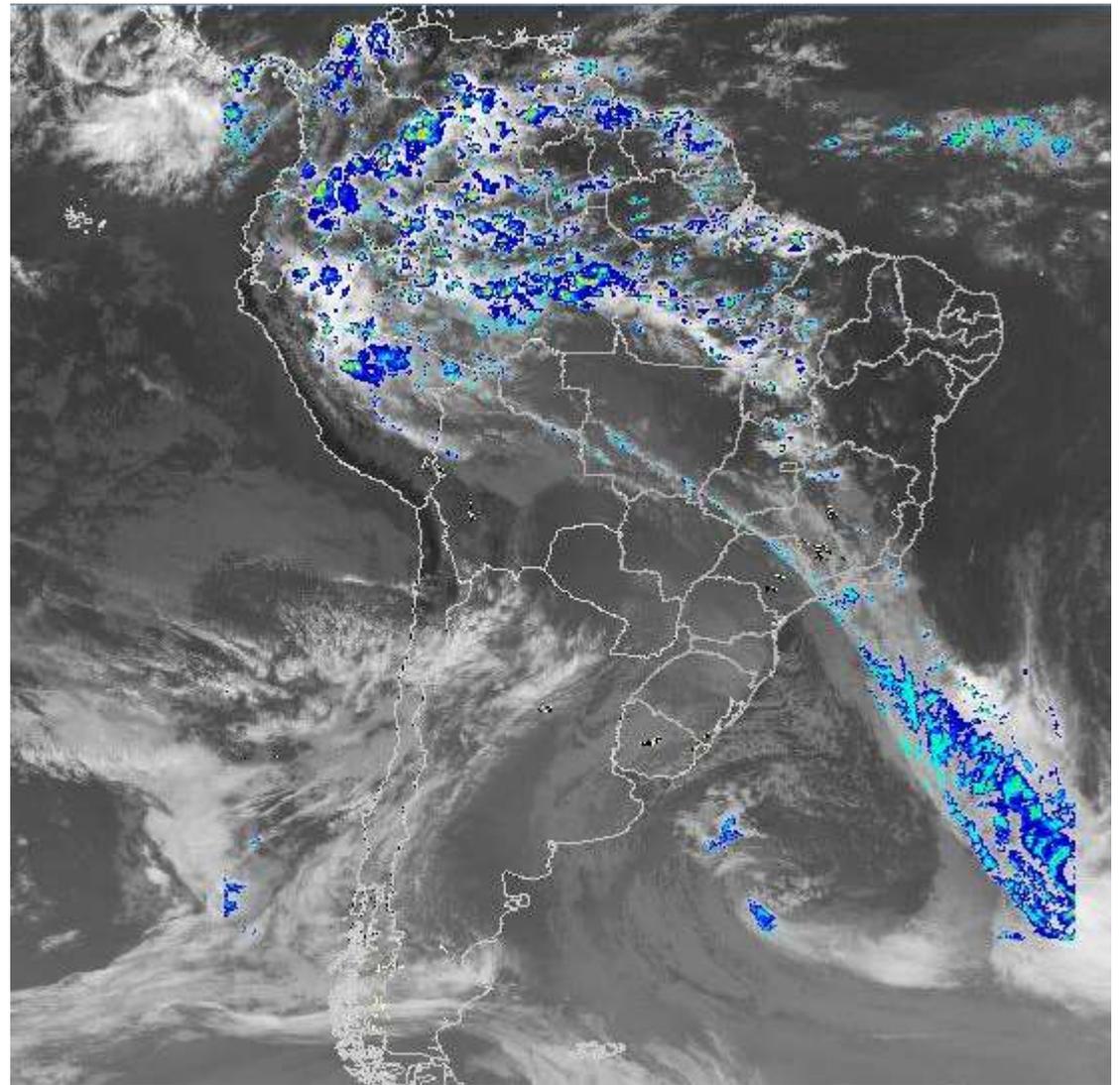


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

26/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

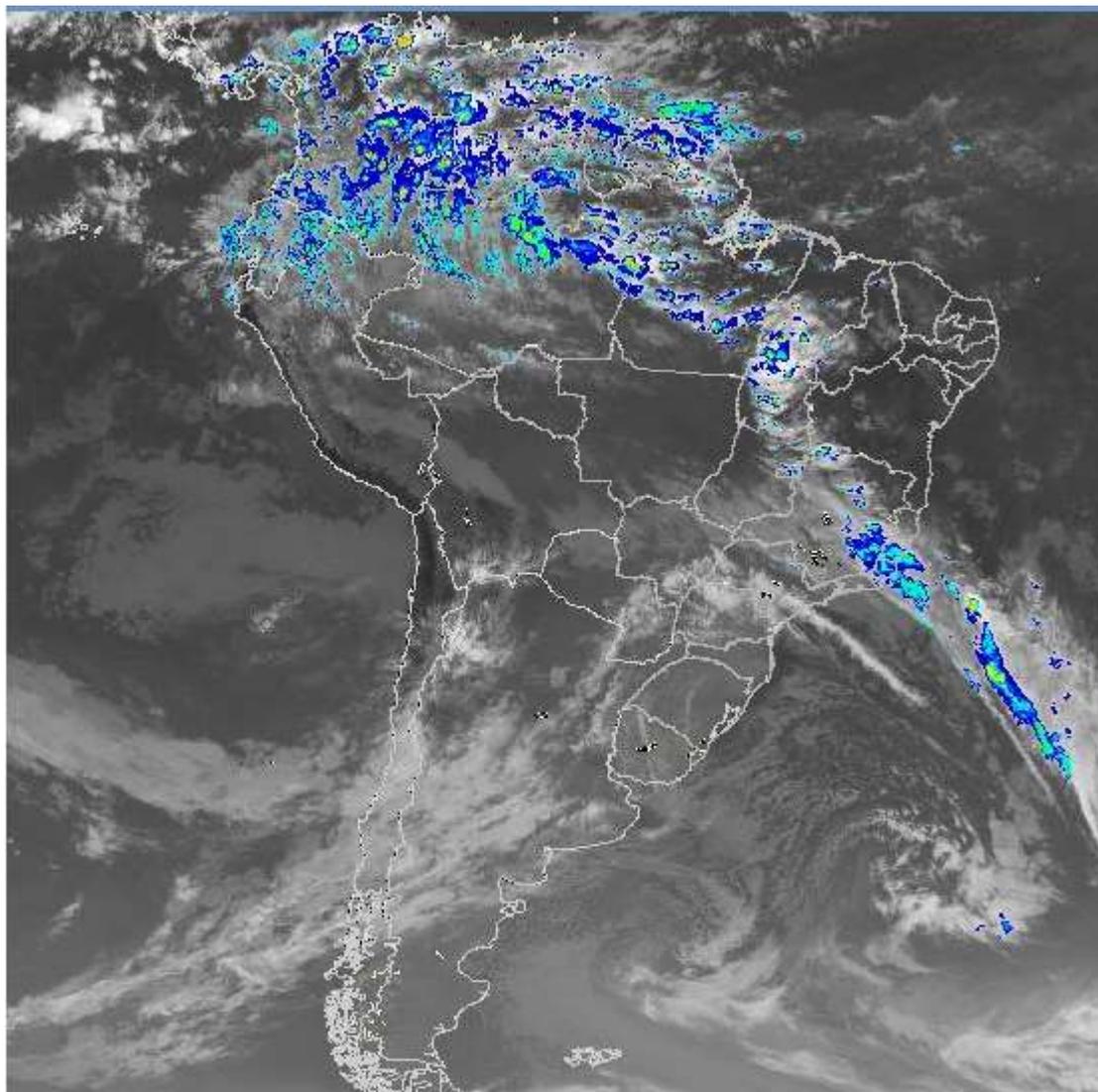


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

27/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

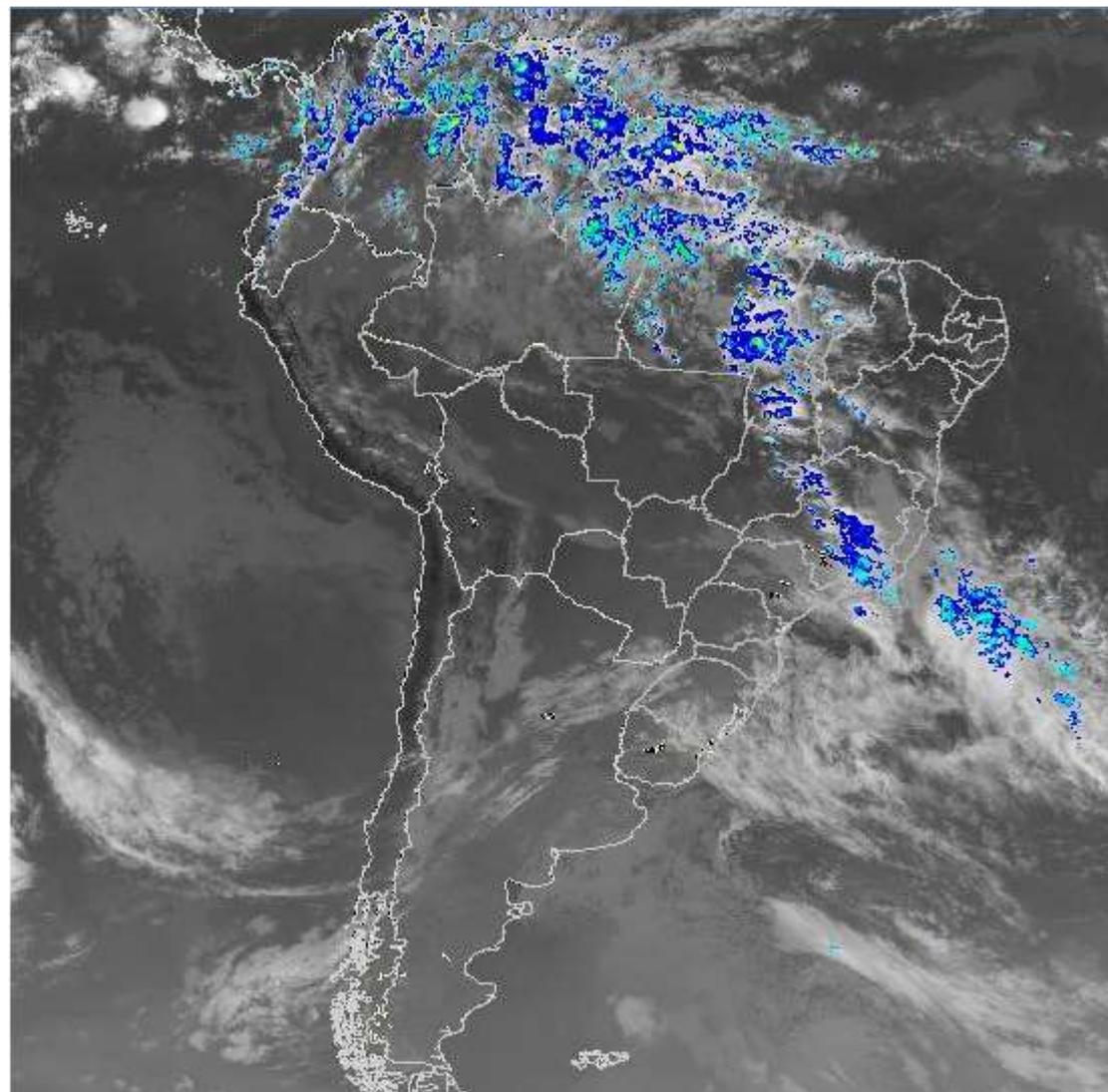


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

28/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

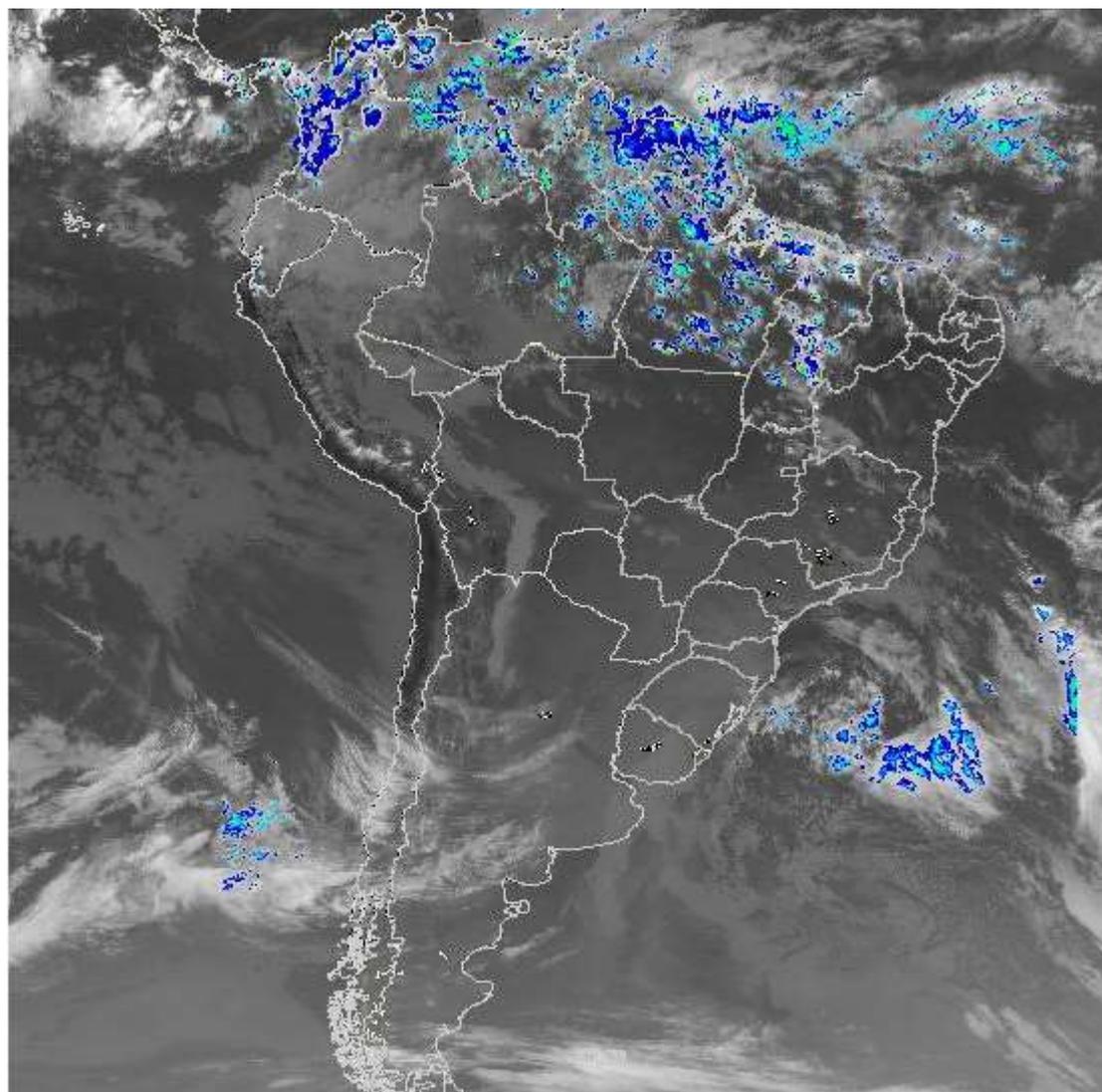


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

29/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

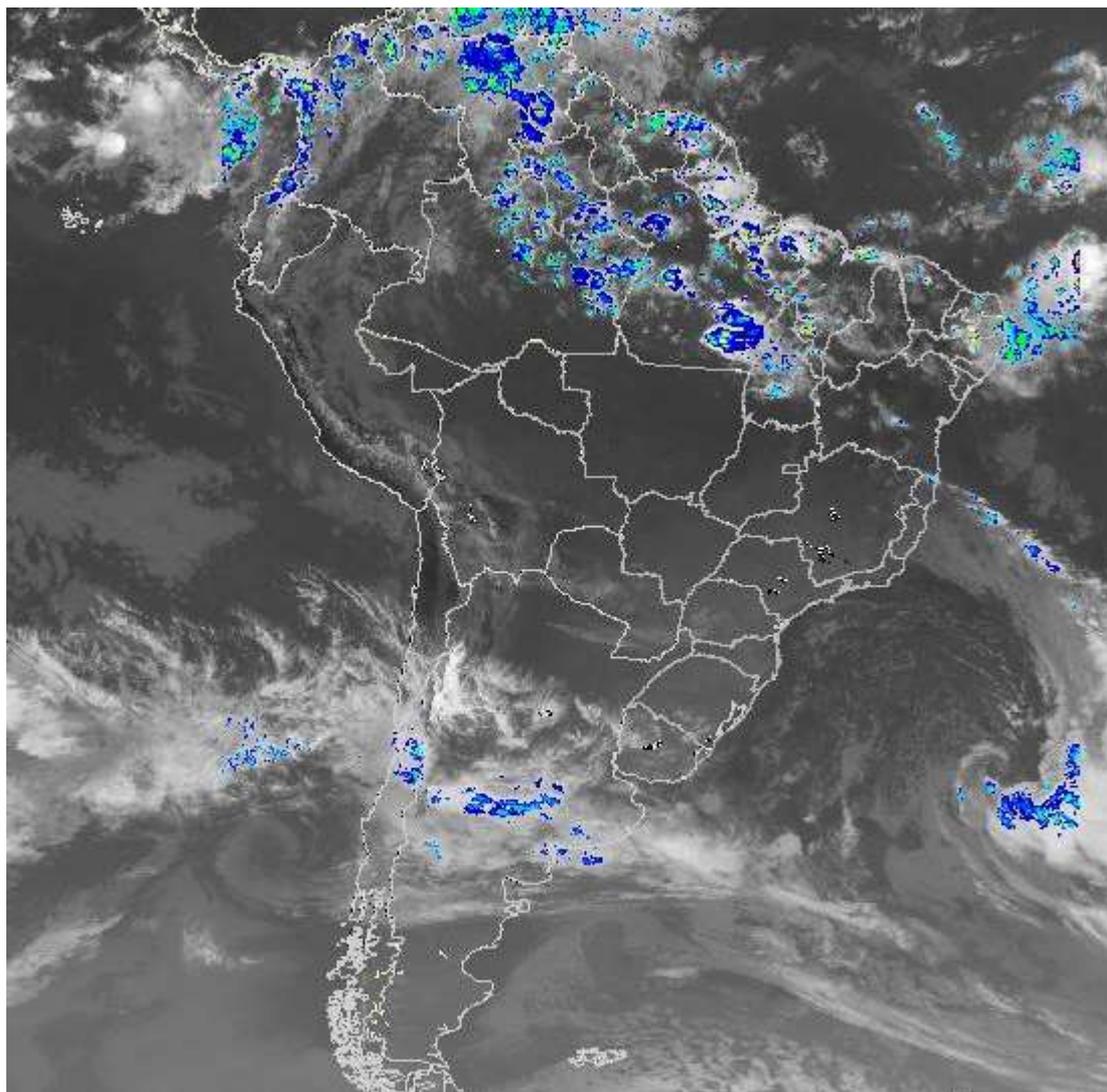


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

30/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

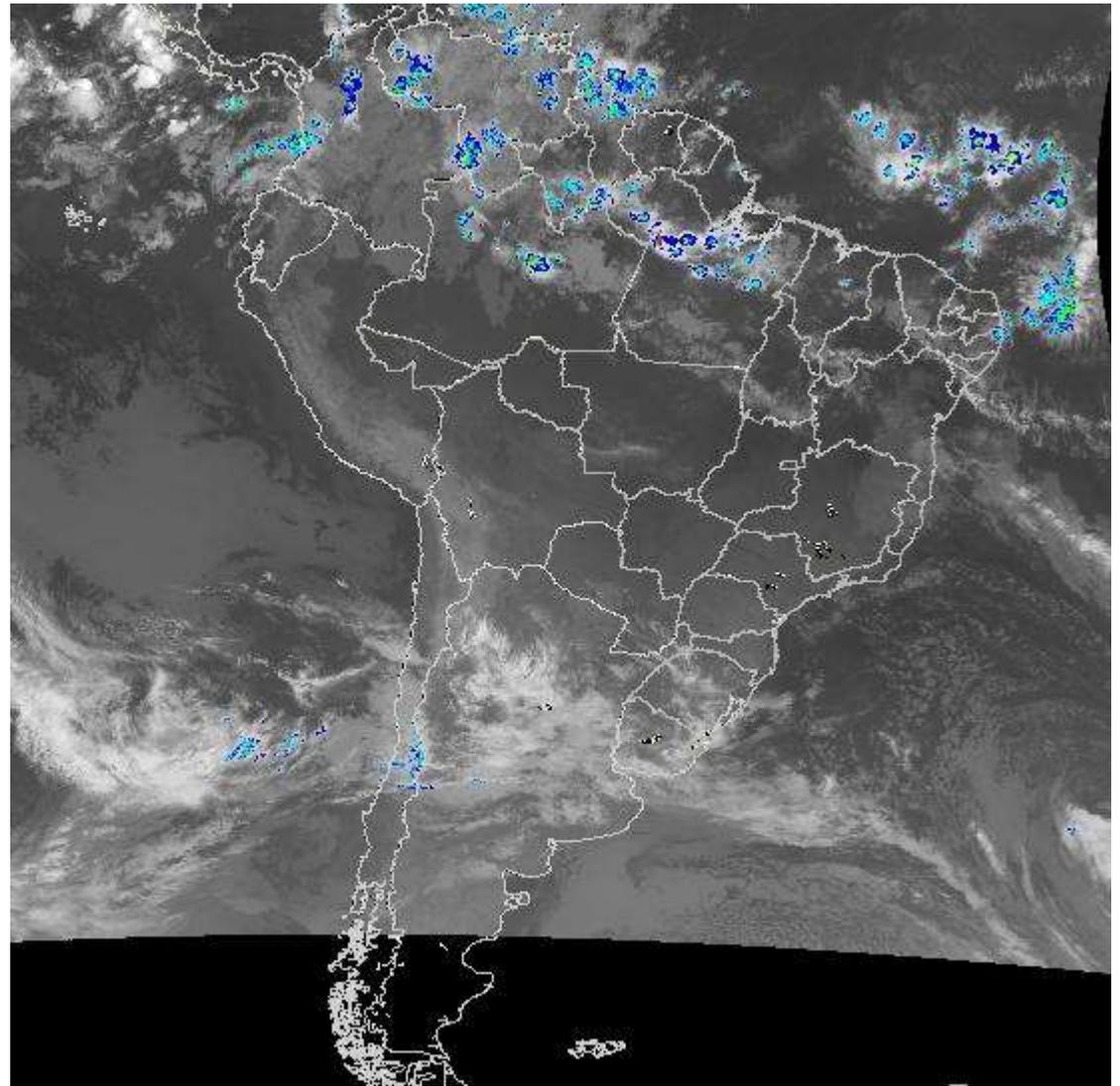


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

01/5/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13  
INPE

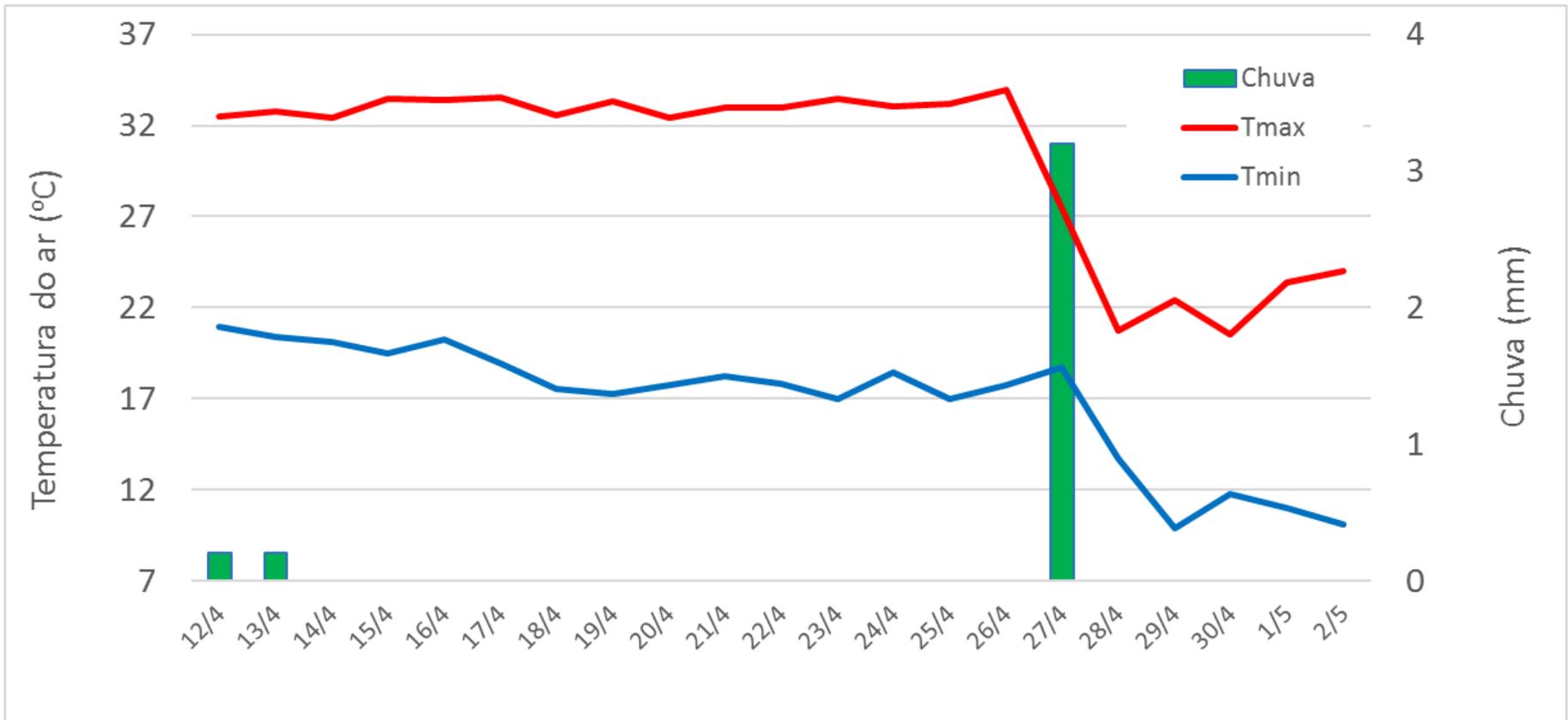


[http://sigma.cptec.inpe.br/prec\\_sat/](http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/)

02/5/2016 – 11:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

# Relação entre Chuva e Temperatura no Centro Sul do Brasil



Dados do Posto Meteorológico da  
ESALQ entre 12/4/2016 e 2/5/2016

[www.leb.esalq.usp.br/posto](http://www.leb.esalq.usp.br/posto)

