



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

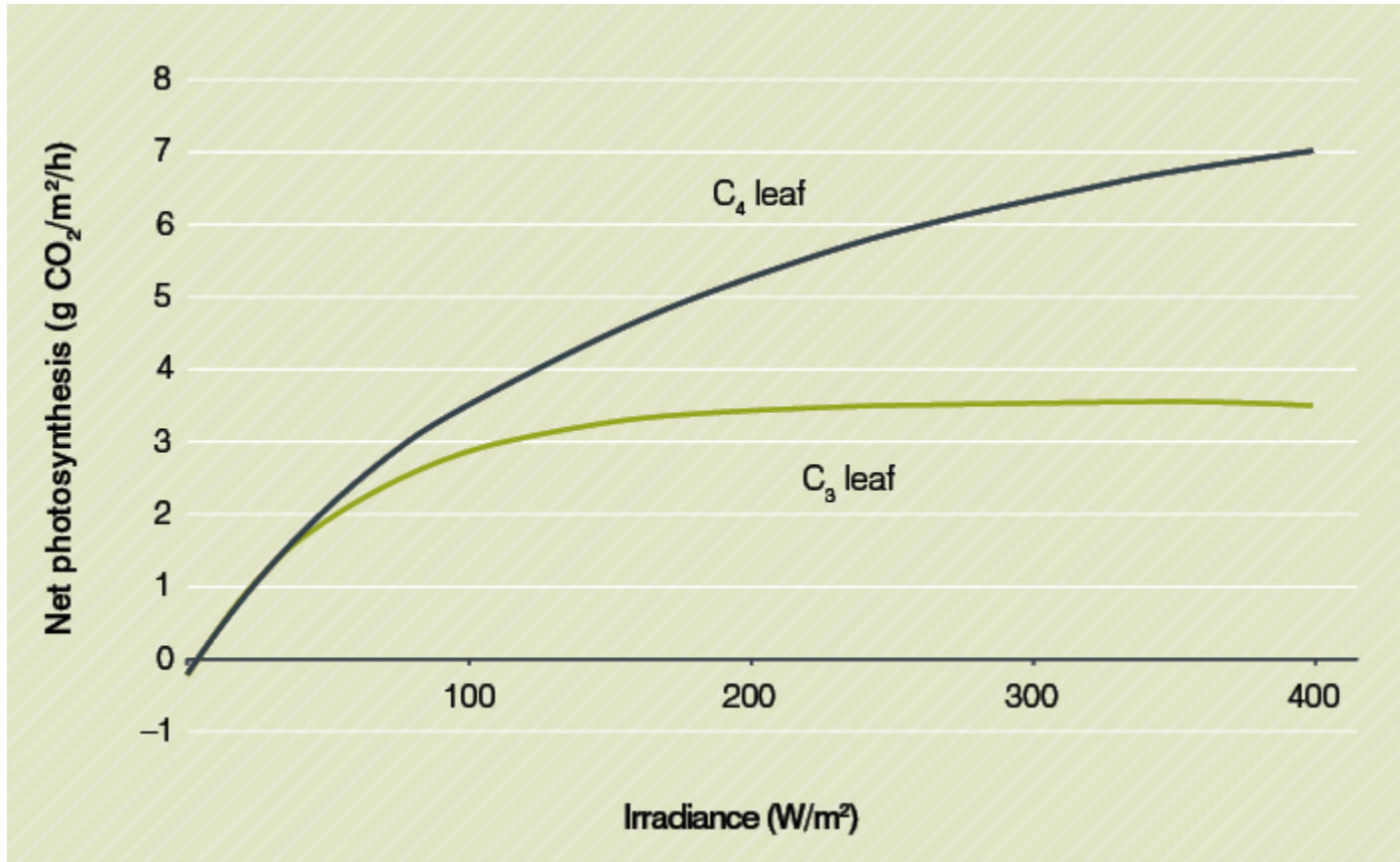
Radiação Solar

Produção Agrícola

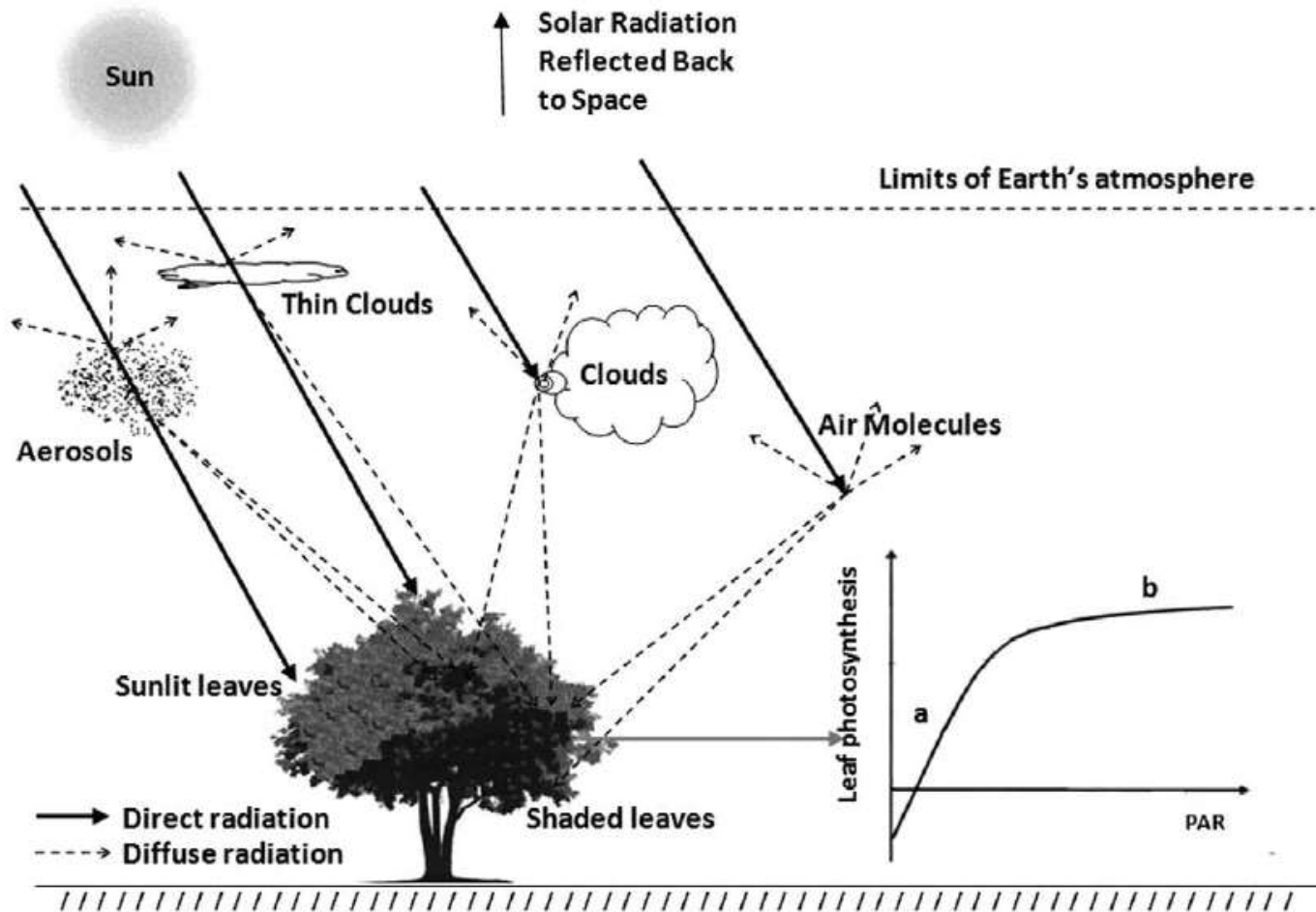
Parte 1



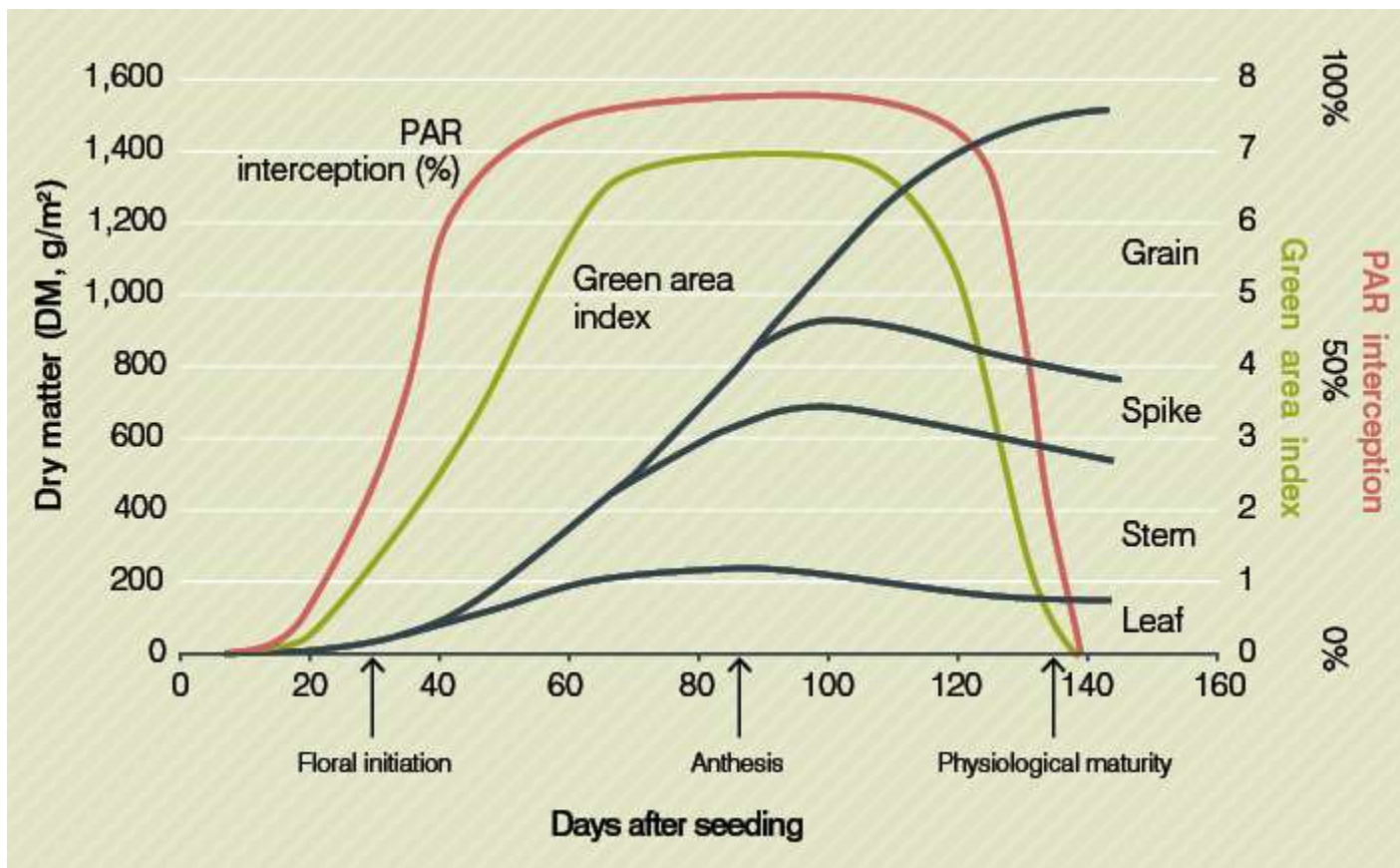
Response of leaf net photosynthetic rate to photosynthetically active radiation (PAR) expressed as irradiance. Source: adapted from Connor et al. (2011)



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.

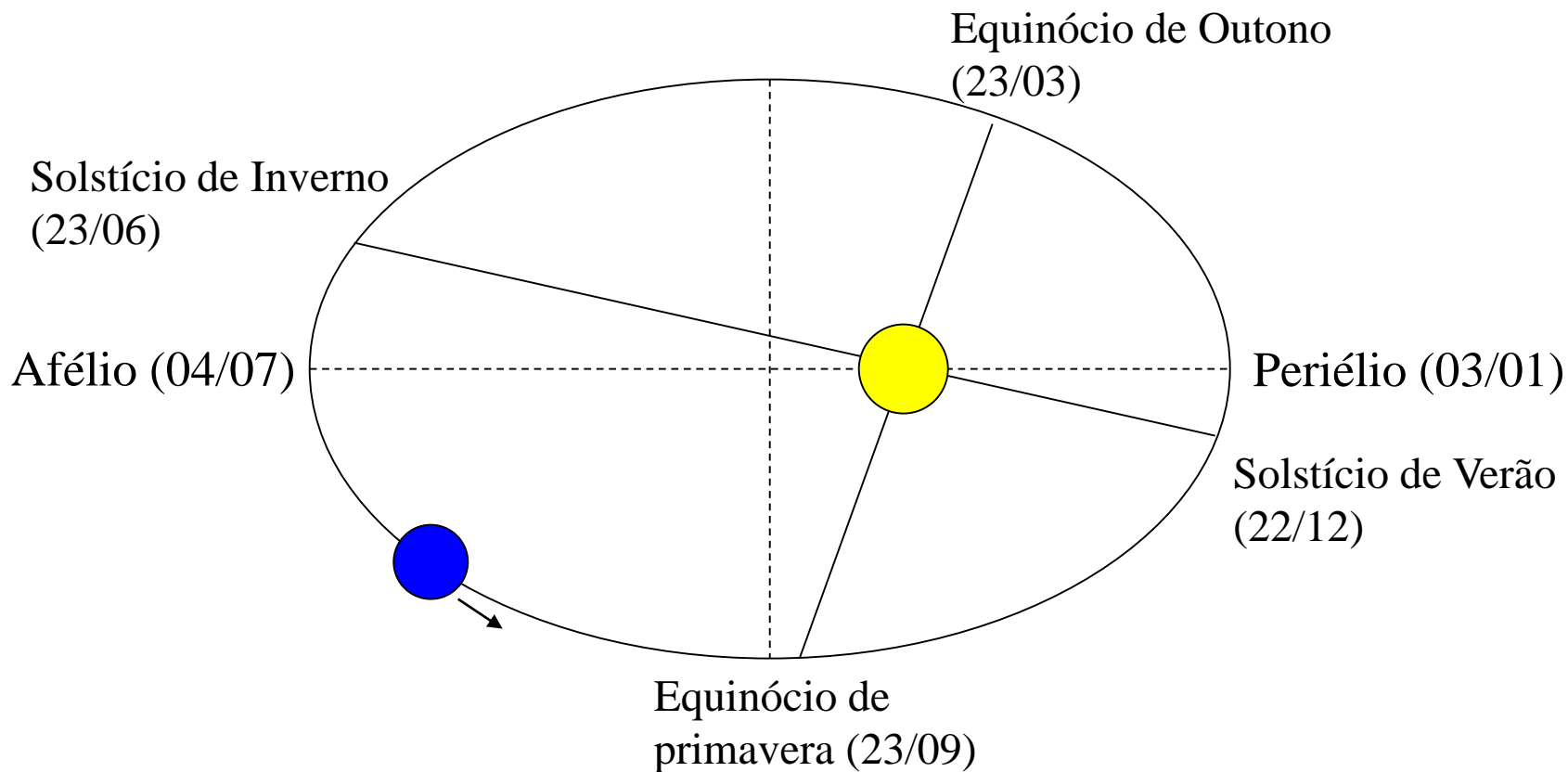


Evolution of green area index, photosynthetically active radiation (PAR) interception (%) and dry matter (DM) accumulation in crop parts as a function of days after seeding in spring wheat.



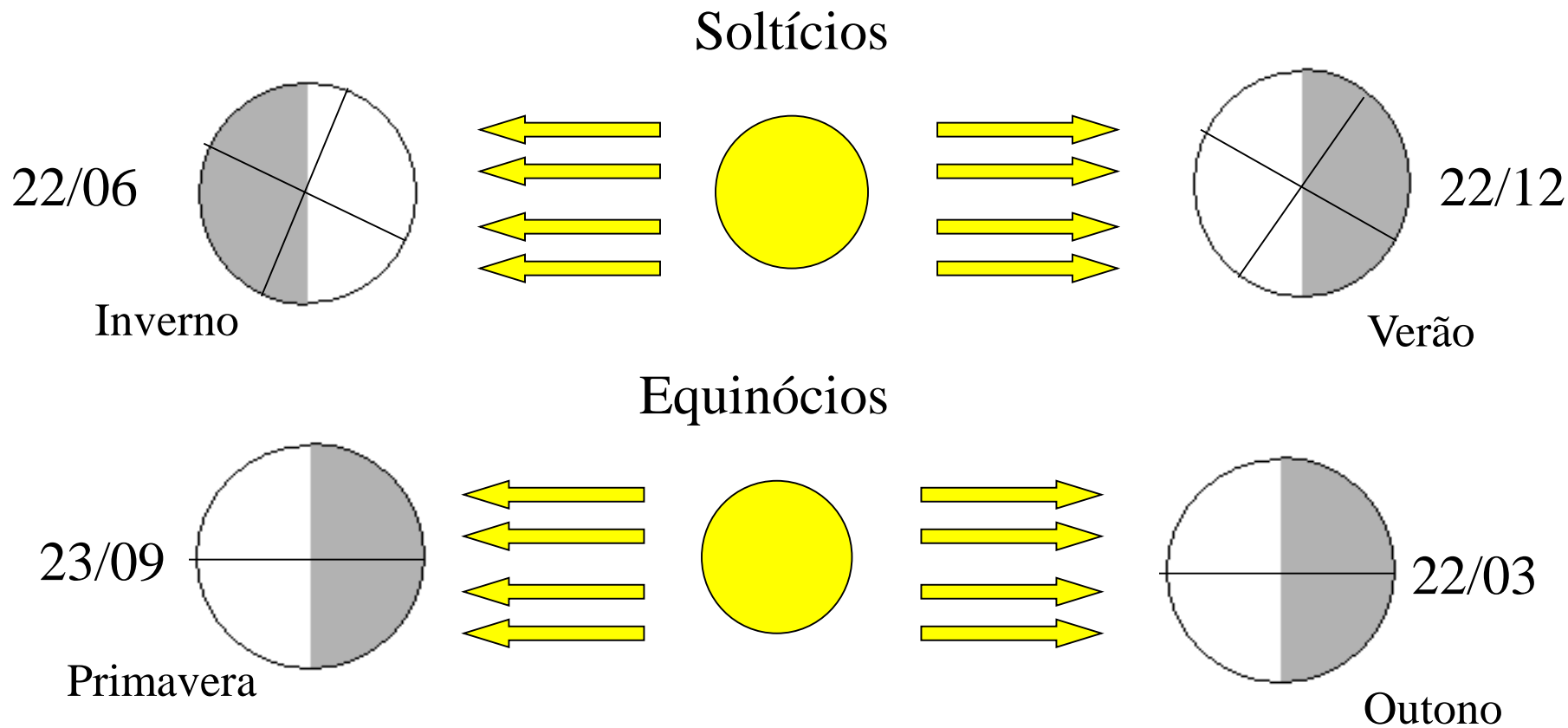
Movimento de translação

- Posição relativa Terra-Sol:



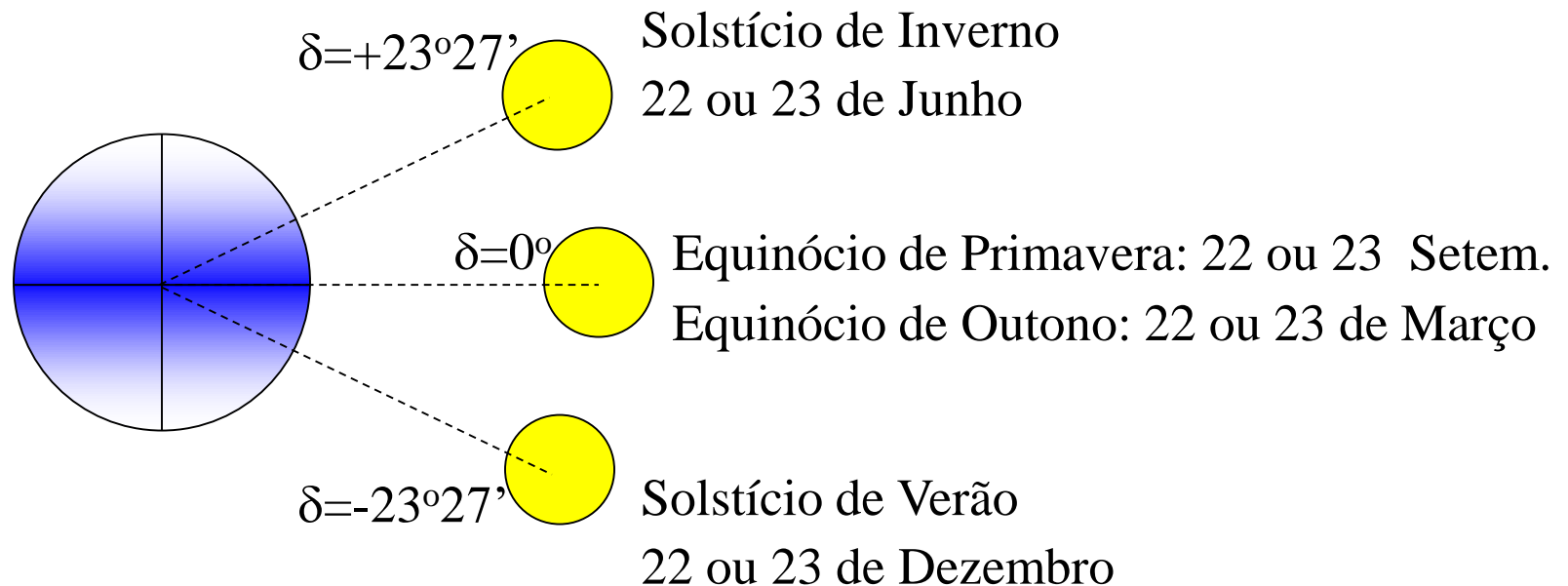
Estações do ano

- 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

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

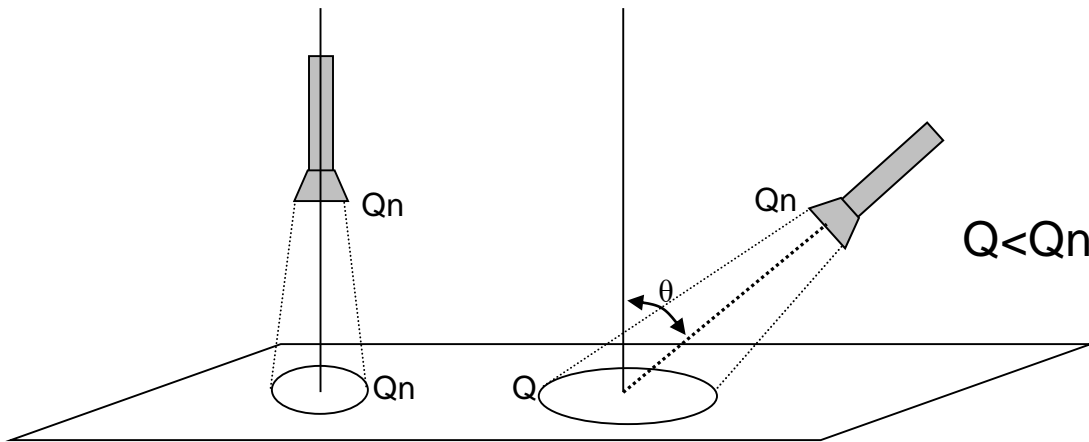
NDA é o número do dia do ano



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	10	304		365

Lei do Cosseno de Lambert



Lei do Cosseno de Lambert

Intensidade = Energia / (Área * Tempo)

Energia = S

Área real = A_z

Área normal = A_n

Tempo = unitário

$I_n = S / A_n$

$I_z = S / A_z$

Igualando-se as as duas equações têm-se:

$I_n A_n = I_z A_z$ 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:

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

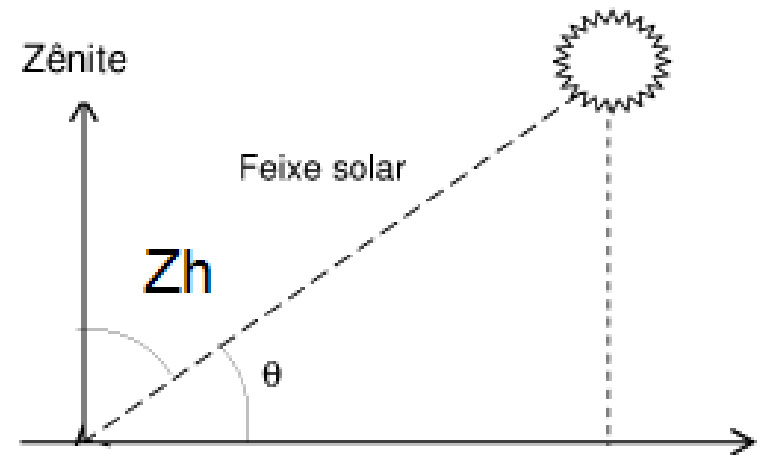
$Z_h = 90^\circ \rightarrow I_z = 0$

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

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

ϕ é a latitude do local (graus e décimos)

δ 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,

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

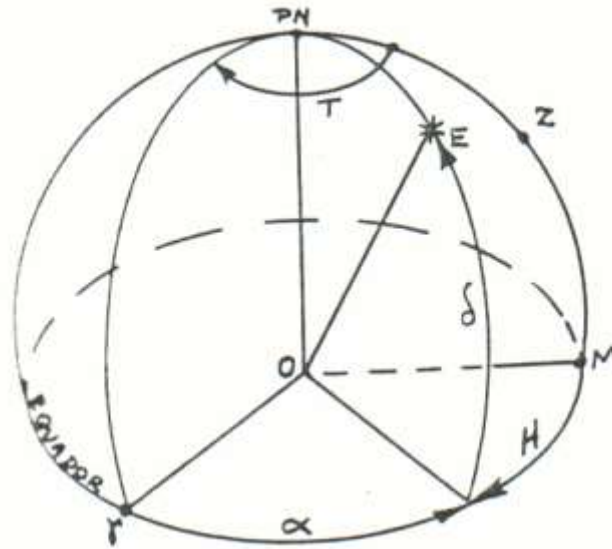
$$\cos Z_{12} = \cos(\delta - \phi)$$

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

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: $4 \cdot \pi \cdot r^2 = 2,83 \cdot 10^{23}$ m²
- $J_0 = 3,87 \cdot 10^{26}$ W / $2,83 \cdot 10^{23}$ m² $\cong 1367$ W/ m²



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/m² ou 118,11 MJ/m².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

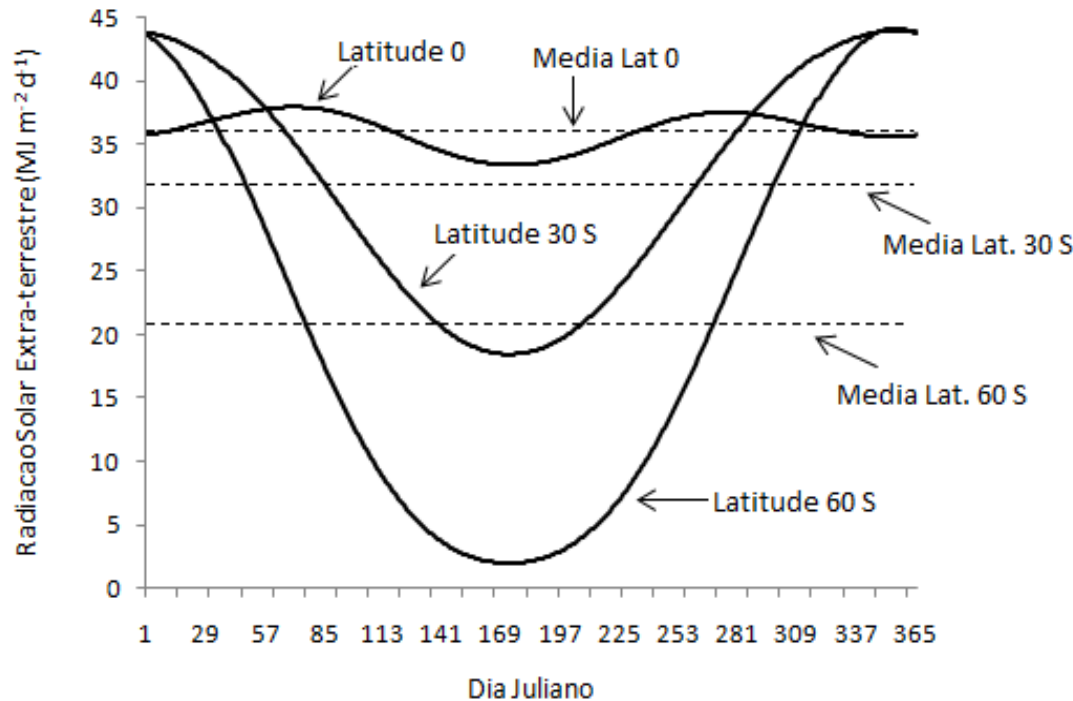
Declinaçã o Solar

Número do Dia do Ano

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



Radiação Solar Extra-Terrestre

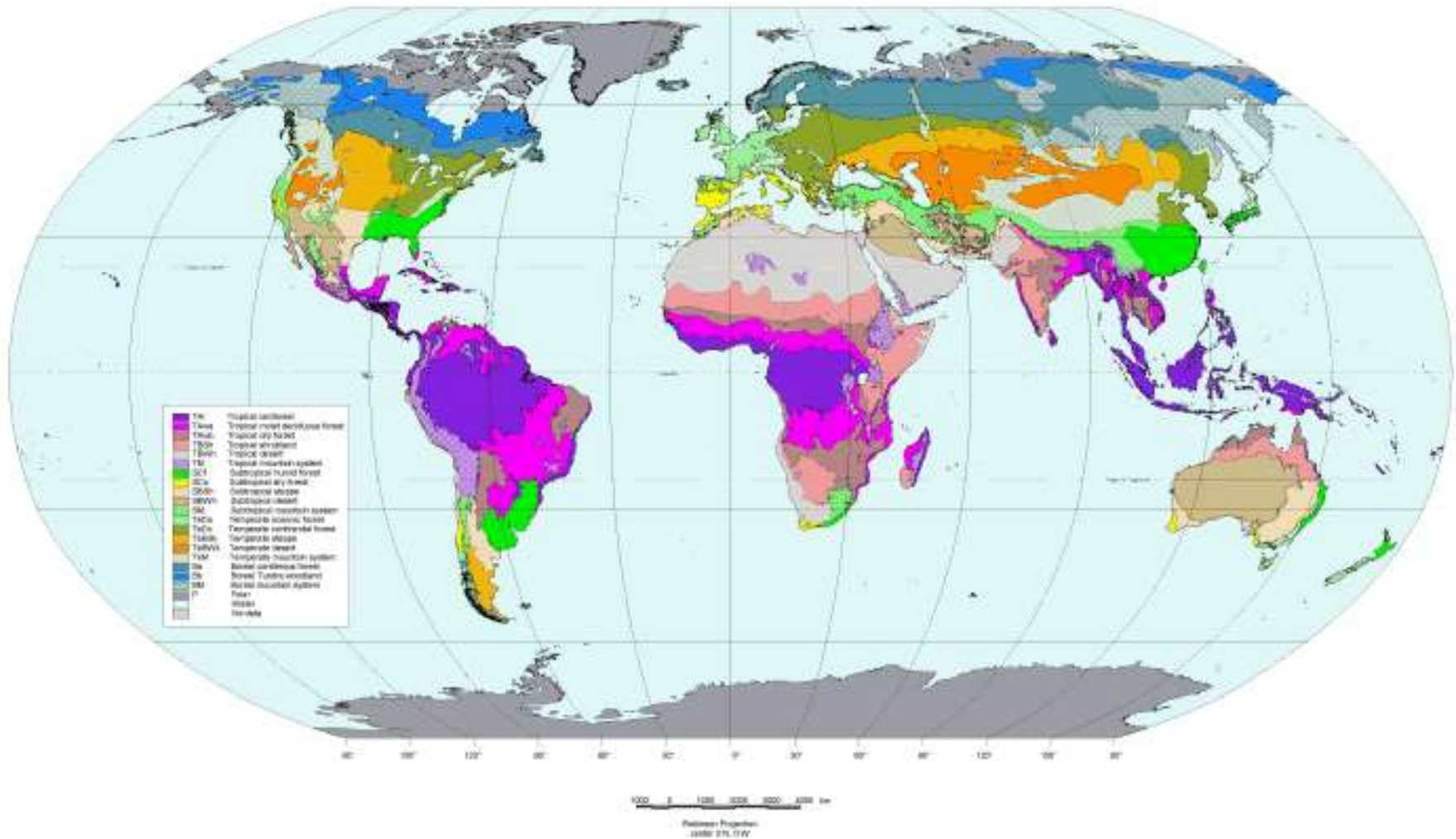


Observe a figura ao lado... pense... e responda:

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



GLOBAL ECOLOGICAL ZONES



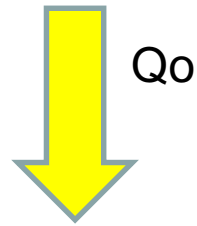
Observe as diferentes formações agroecológicas e sua relativa uniformidade e função da latitude terrestre. É a radiação solar que explica essa distribuição!

Balanço de Radiação e Energia

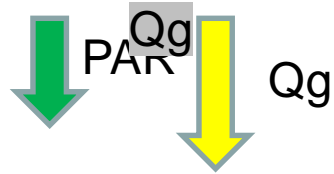
Parte 2



Atmosfera



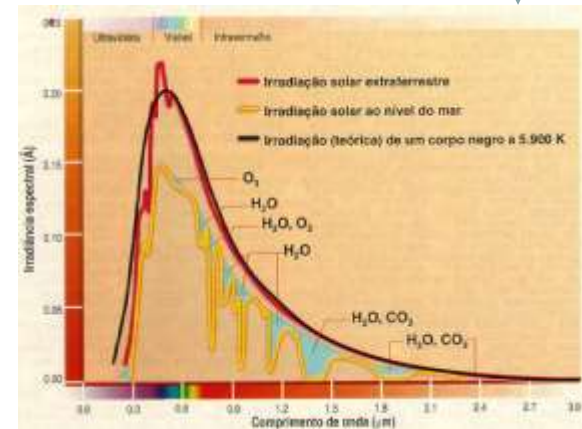
PAR $\approx 0,5 \cdot$



- UV
- PAR
- IV

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

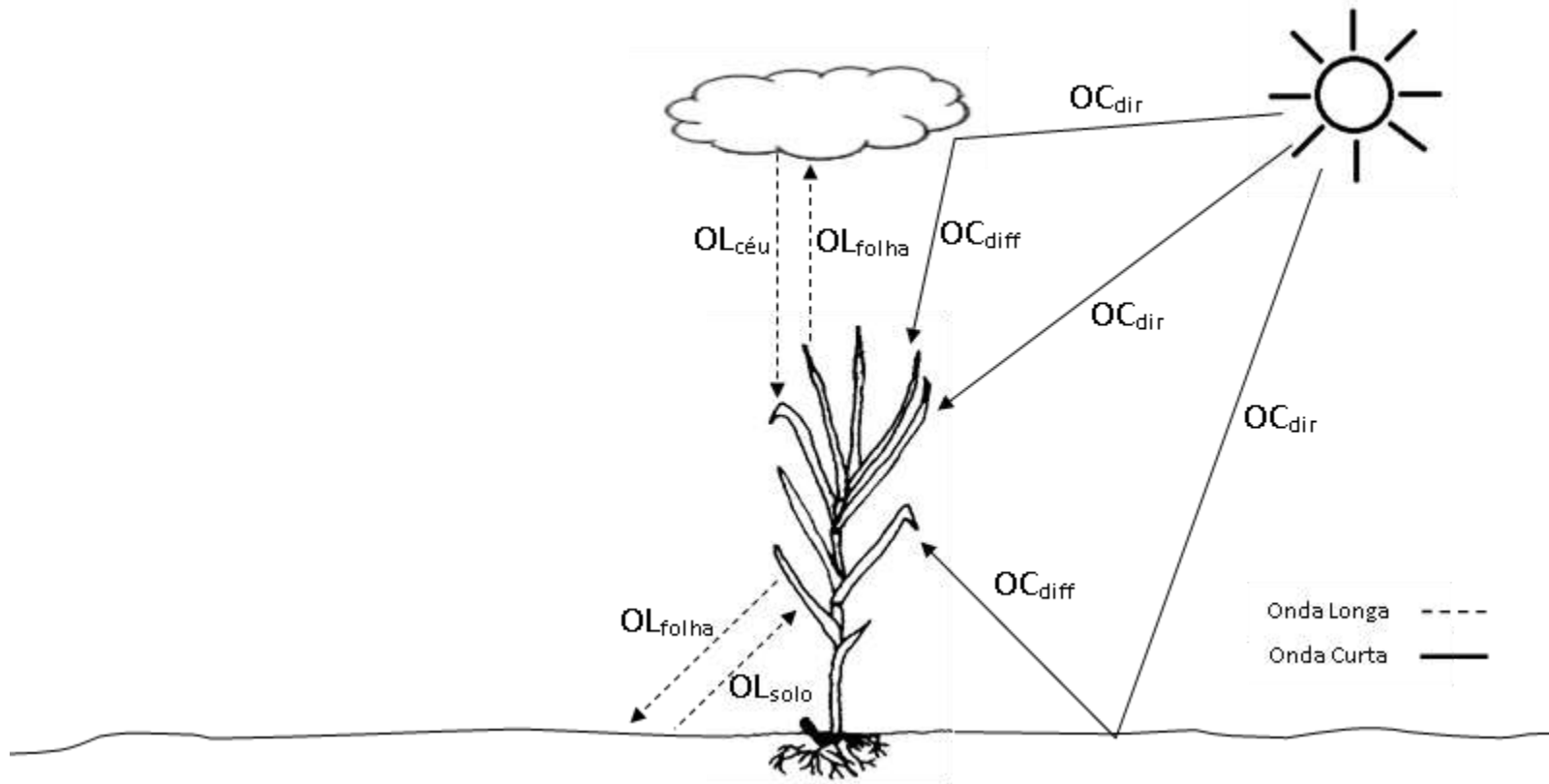
aPA
R
tPAR



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
CO₂

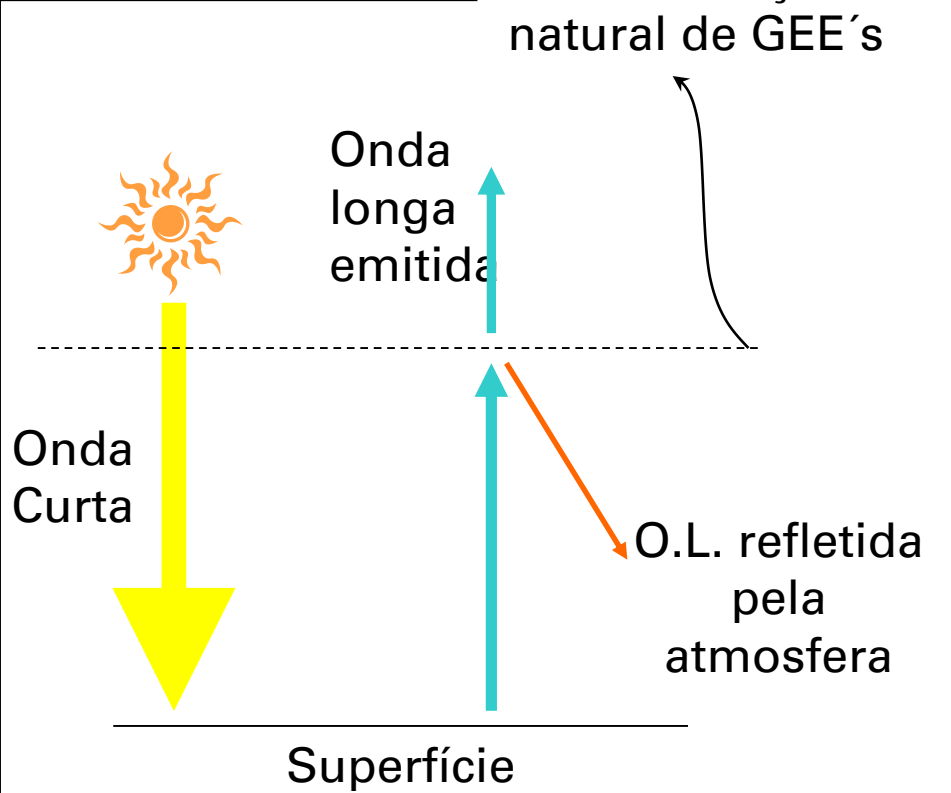
27



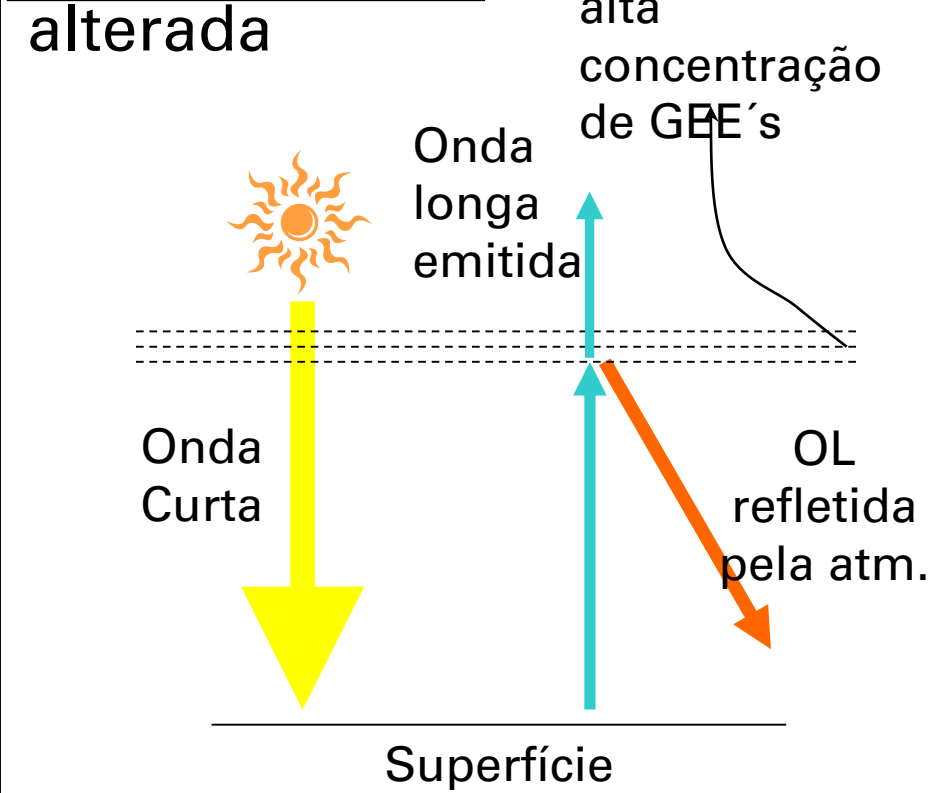
Efeito Estufa: bases físicas

- 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.

Efeito Estufa em condições normais



Efeito Estufa com atmosfera alterada



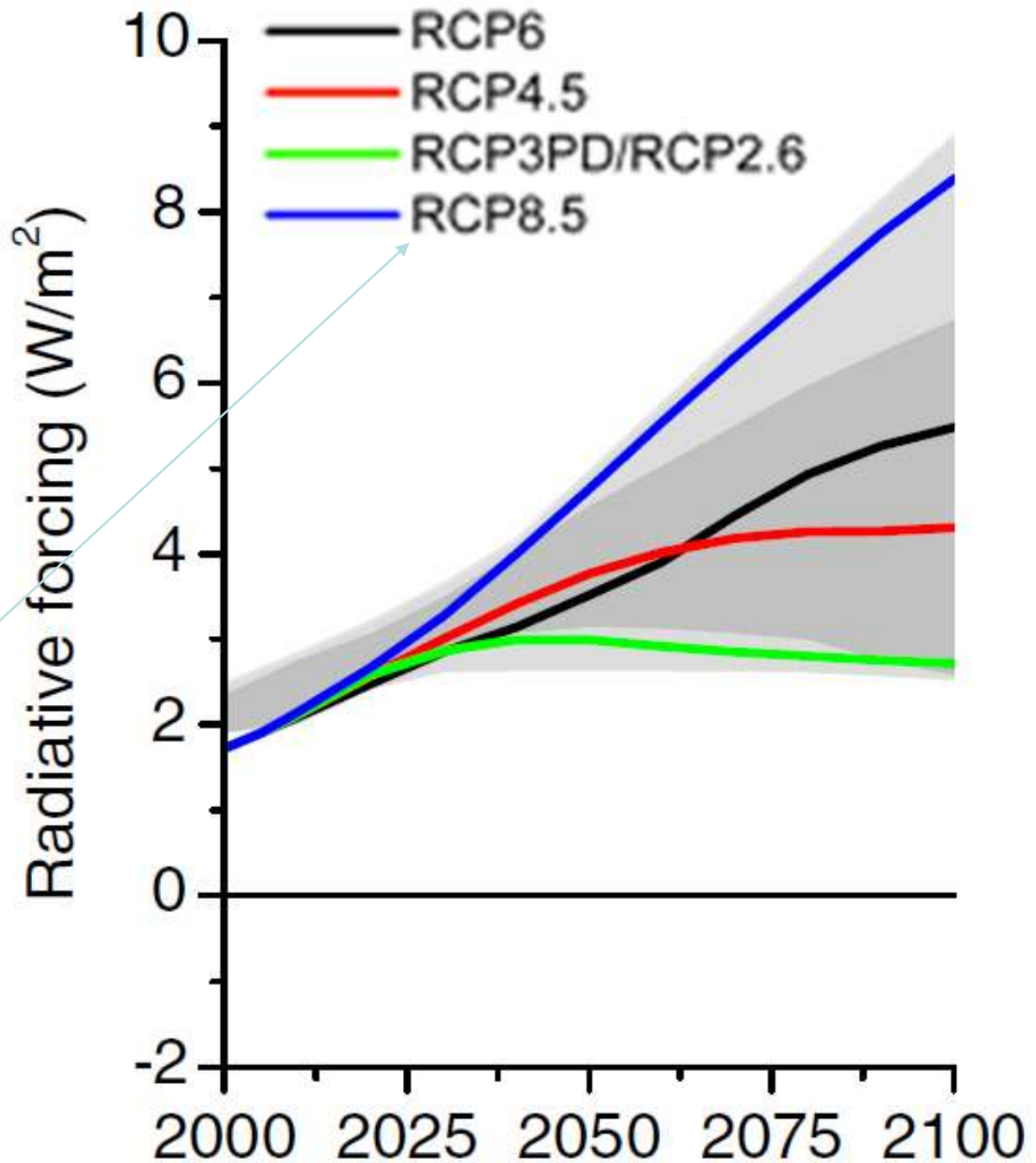
A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.

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

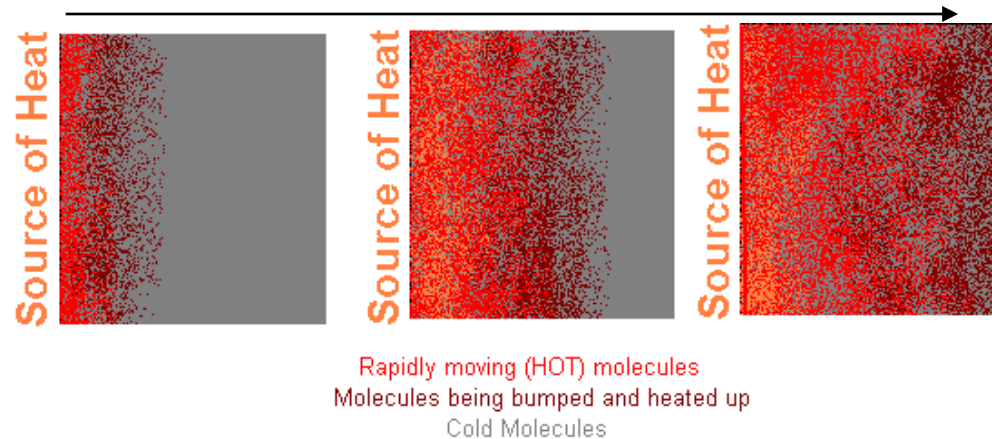
- Temperatura - energia interna de uma substância ou um corpo qualquer, vulgarmente associado às sensações de frio e calor; mais especificamente é a medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas.
- Diversas das propriedades físicas da matéria – se em estado sólido, 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



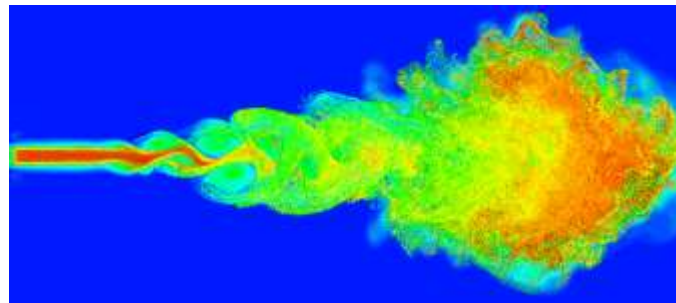
Mecanismos de aquecimento da atmosfera

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

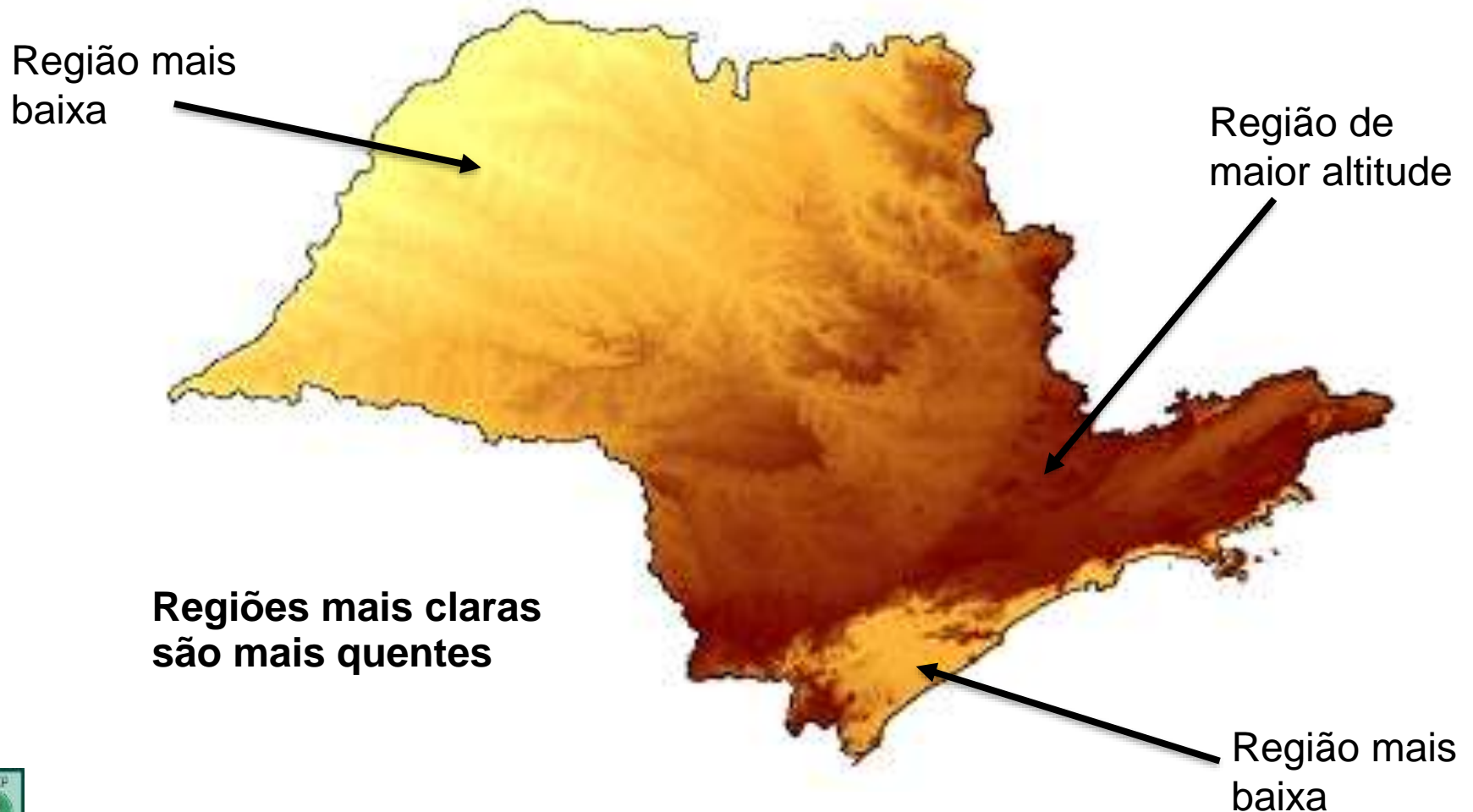
- **Condução molecular** – troca de calor sensível por contato entre as “moléculas”, com extensão superficial limitada (máximo de 3m);



- **Difusão turbulenta:** processo “eficiente” de transporte de energia, com movimento ascendente de parcelas de ar aquecidas – dispersão de CO₂, 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:

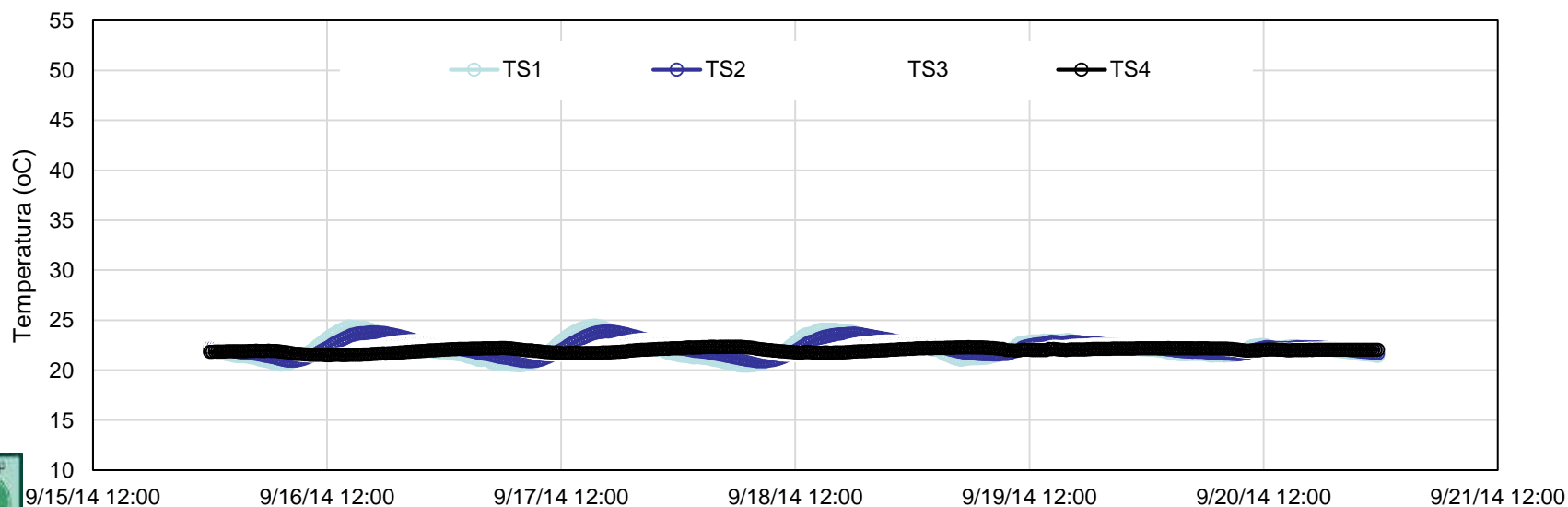
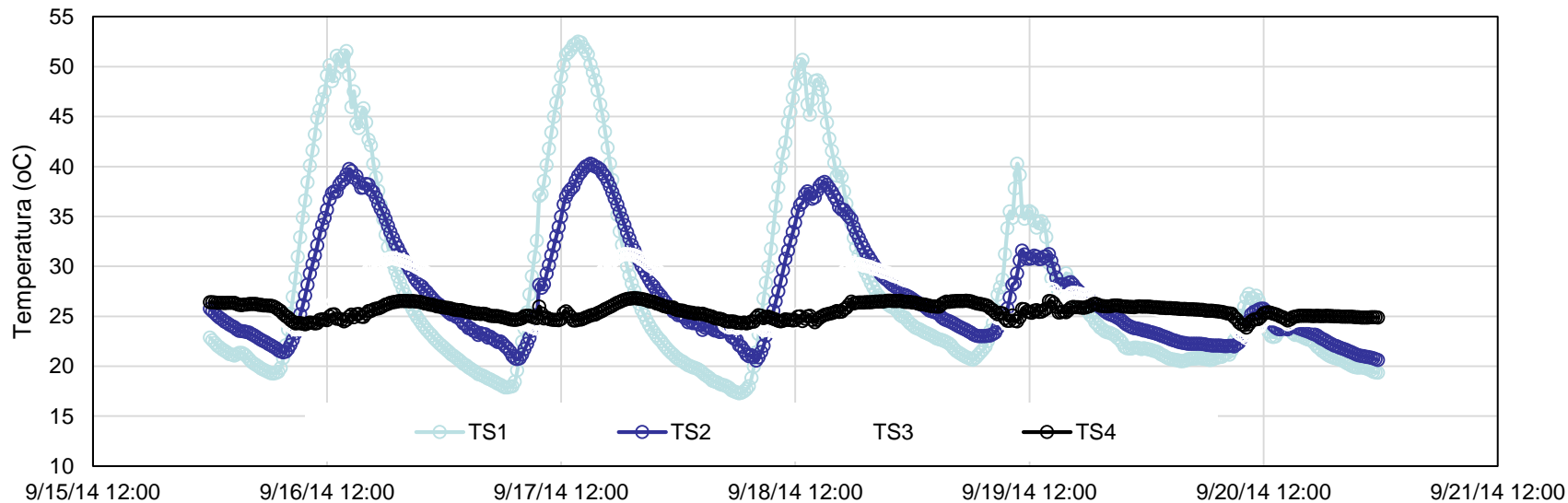
- Termopares do tipo T, AWG24,
- ▲ 4 profundidades (1, 5, 20 e 40 cm) e acima do nível do dossel vegetativo.

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

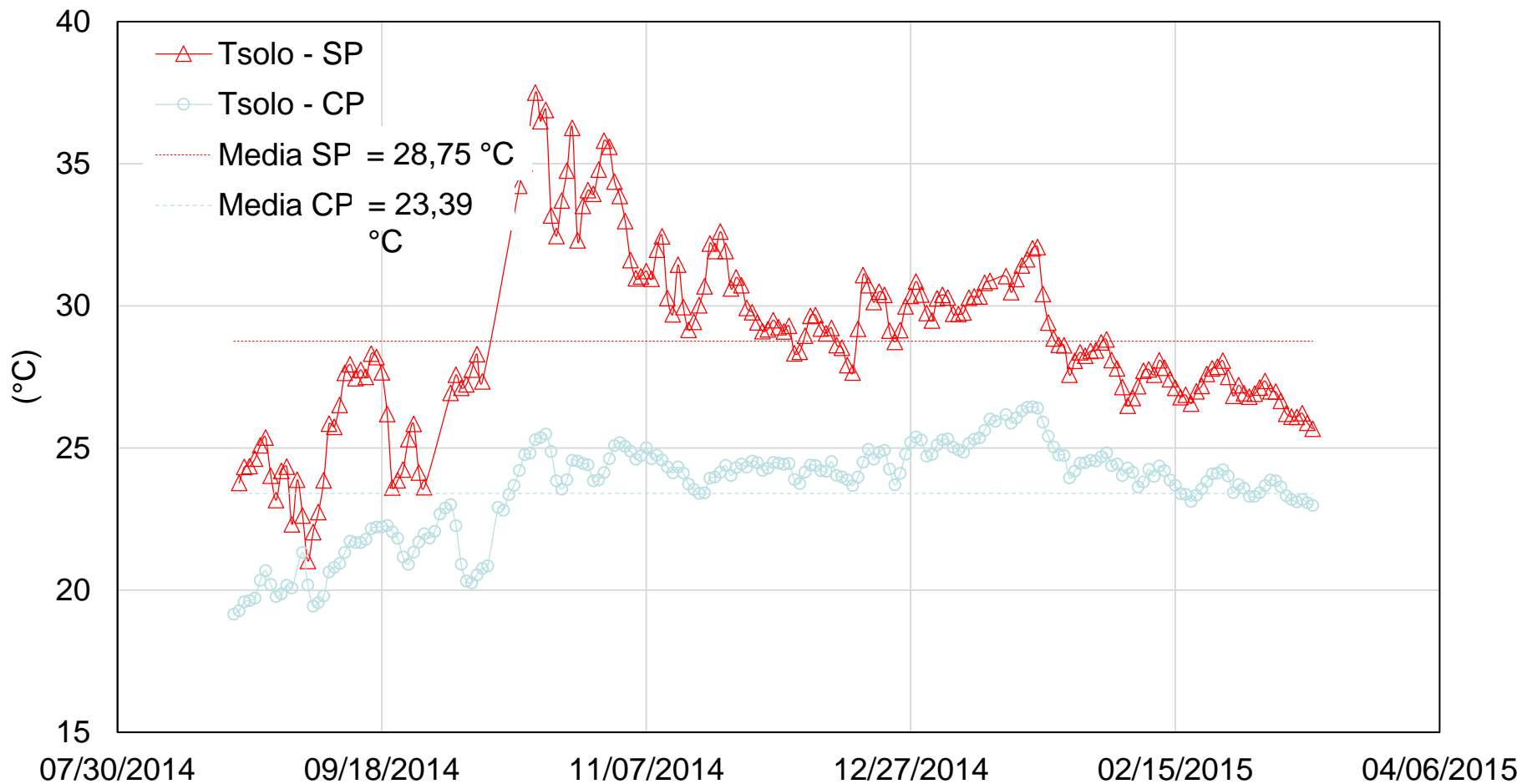


Table 2.1 Major events and periods in the development of cereal crops

Event or process	Definition	Comment
True vegetative period		
Sowing^a	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
Leaf appearance	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		
Floral initiation	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
Onset inflorescence growth	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
Spike (head) emergence	Appearance of the main shoot inflorescence	Tassel in maize, panicle in rice
Anthesis or flowering	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)
Silking (maize only)	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		
End of inflorescence growth	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
Grain-filling	Period of rapid grain growth	na
Physiological maturity	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 (Γ):

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

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

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

- 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

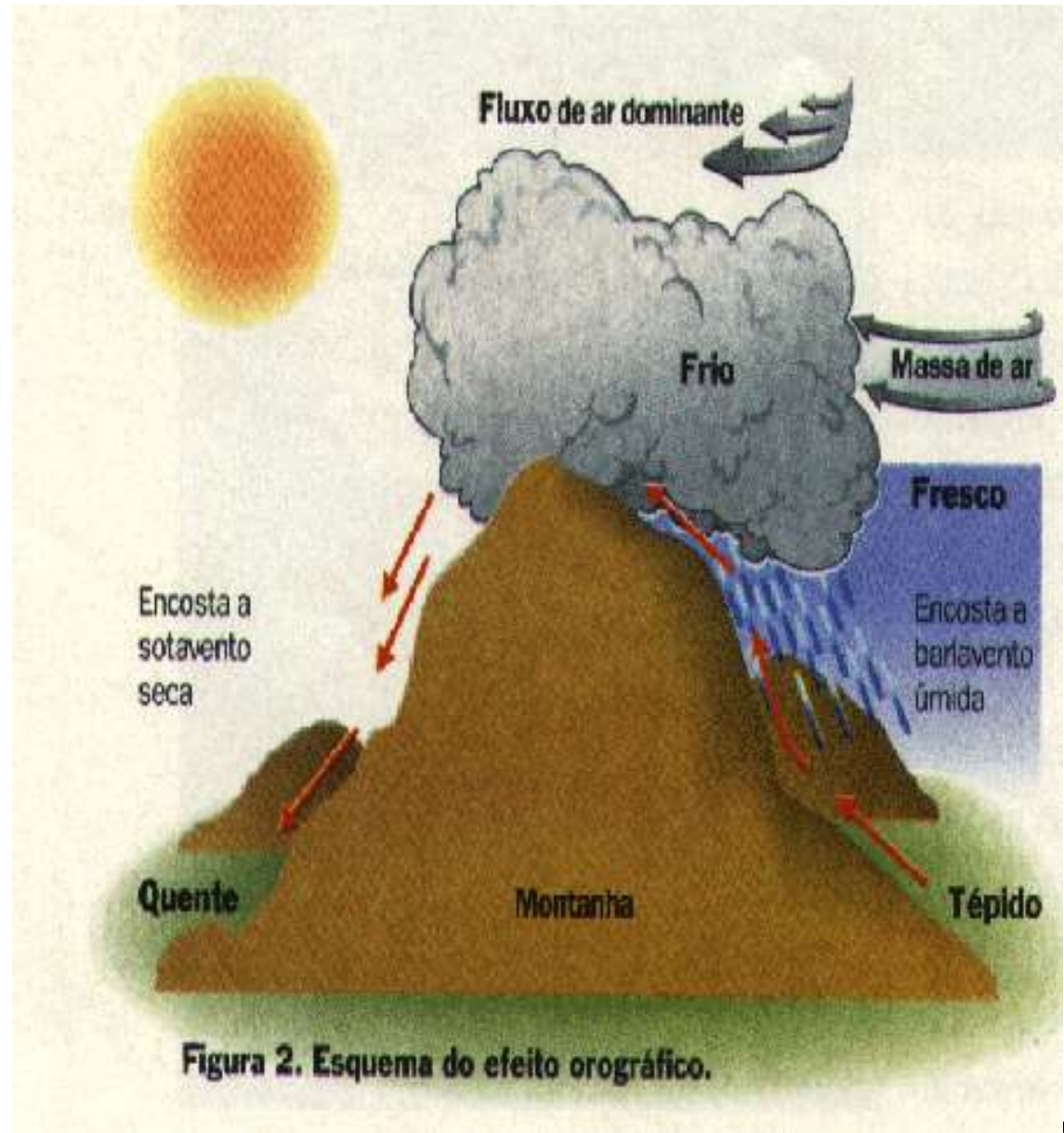
Cubatão – P = 2530 mm/ano

Serra a 350m – P = 3151mm/ano

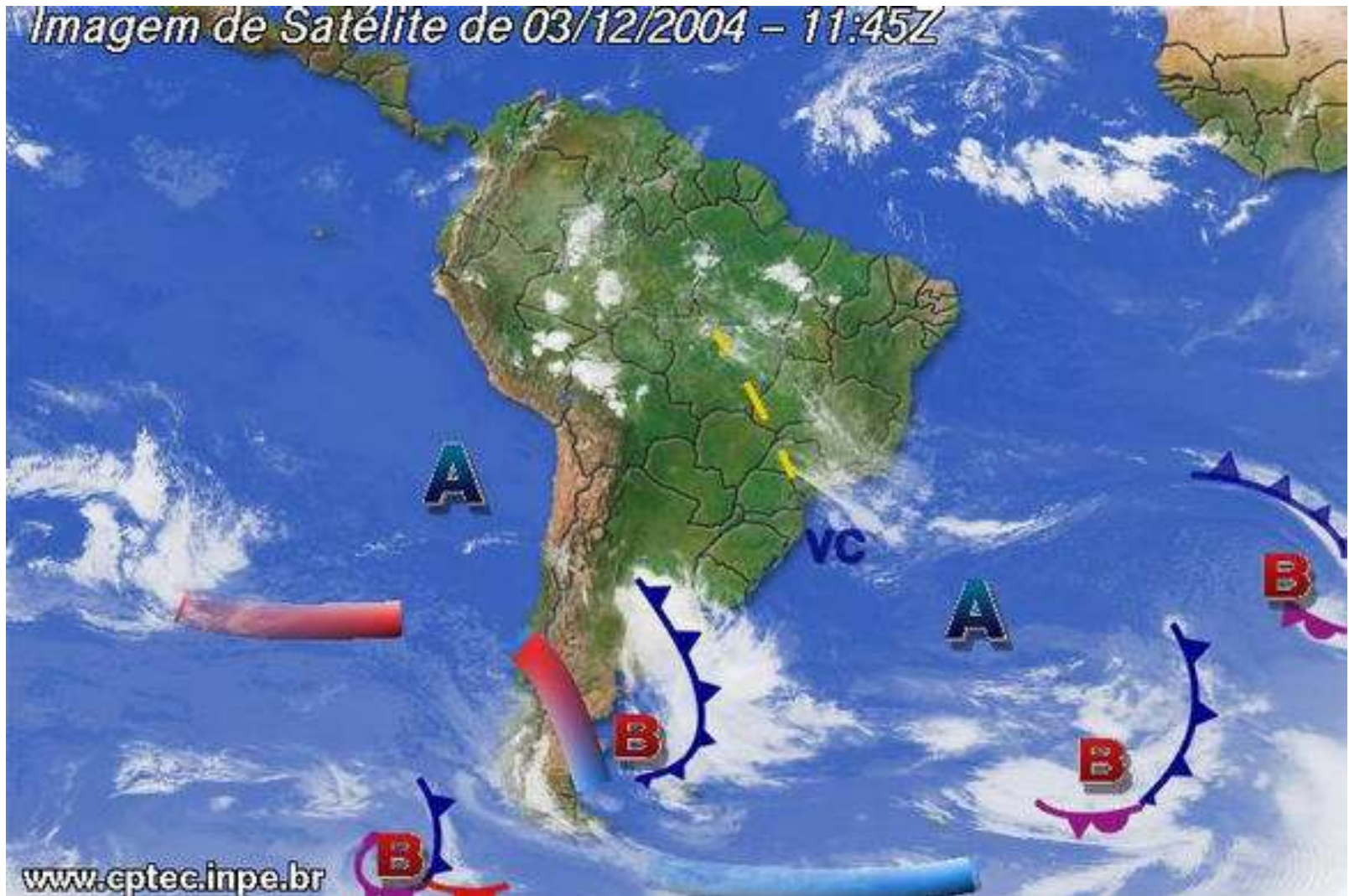
Serra a 500m – P = 3387 mm/ano

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

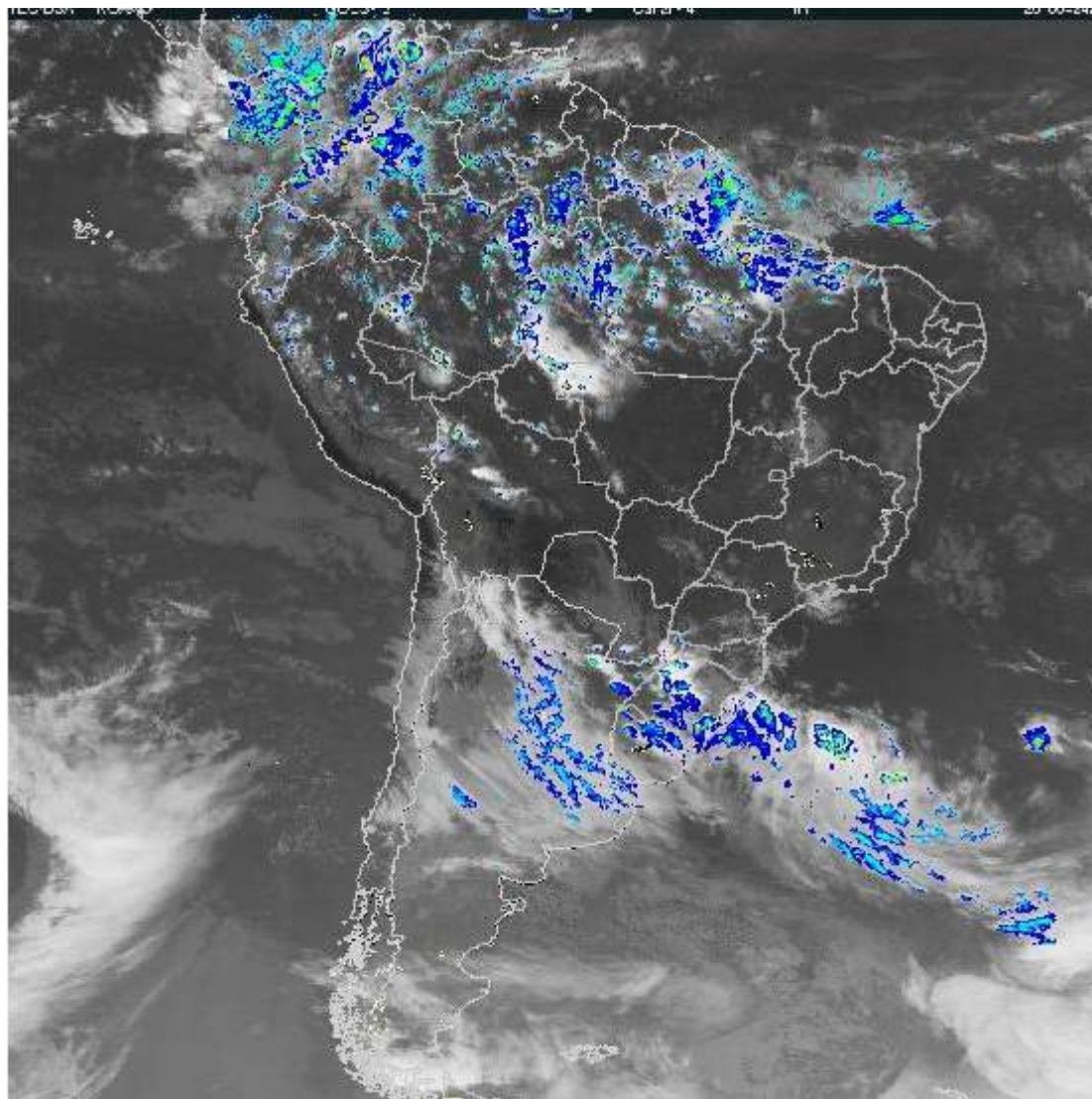
Intensidade: fraca a moderada, dependendo do tipo de frente

Predominância: sem horário predominante

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



Imagem GOES 13
INPE

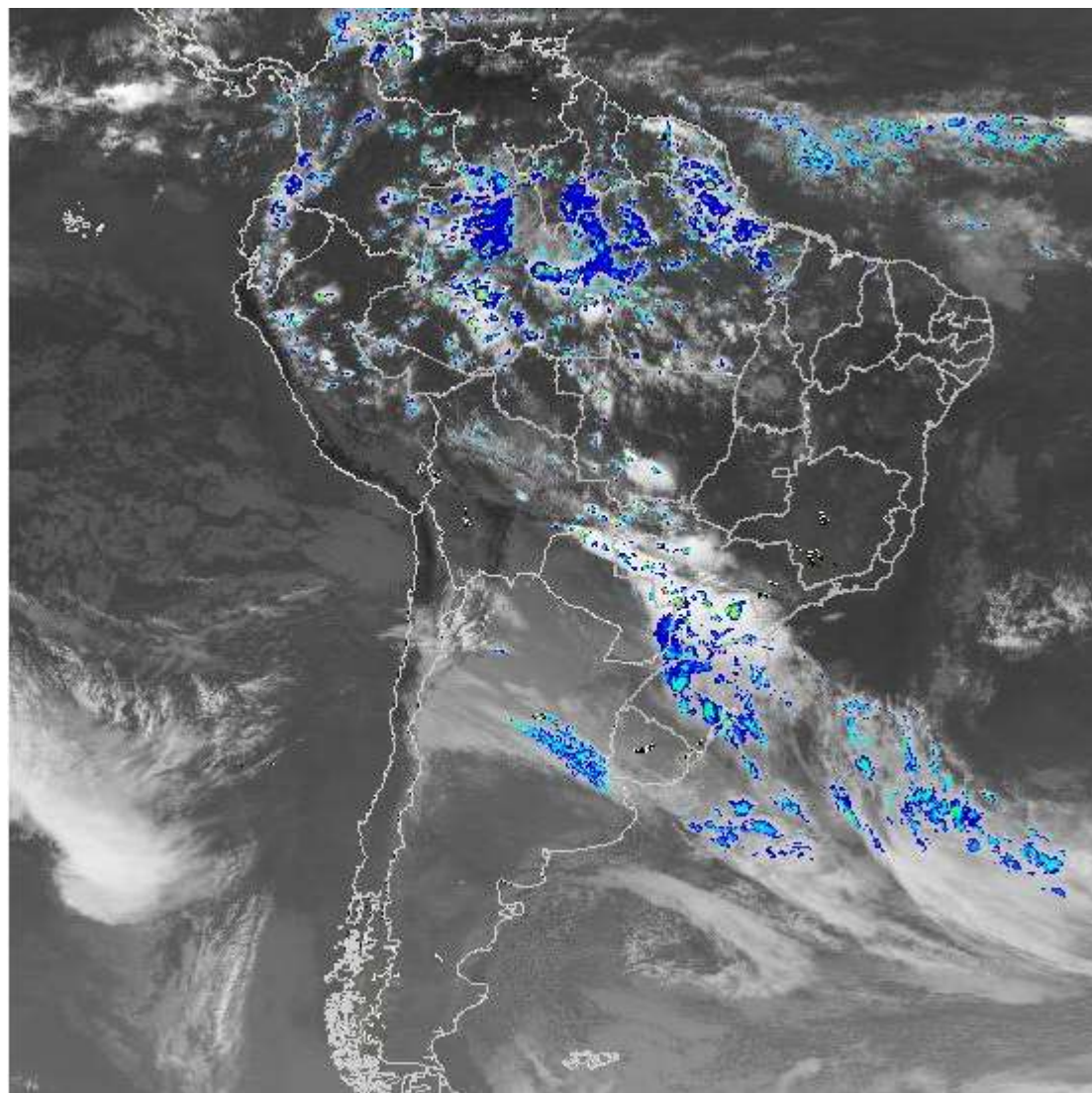


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

24/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

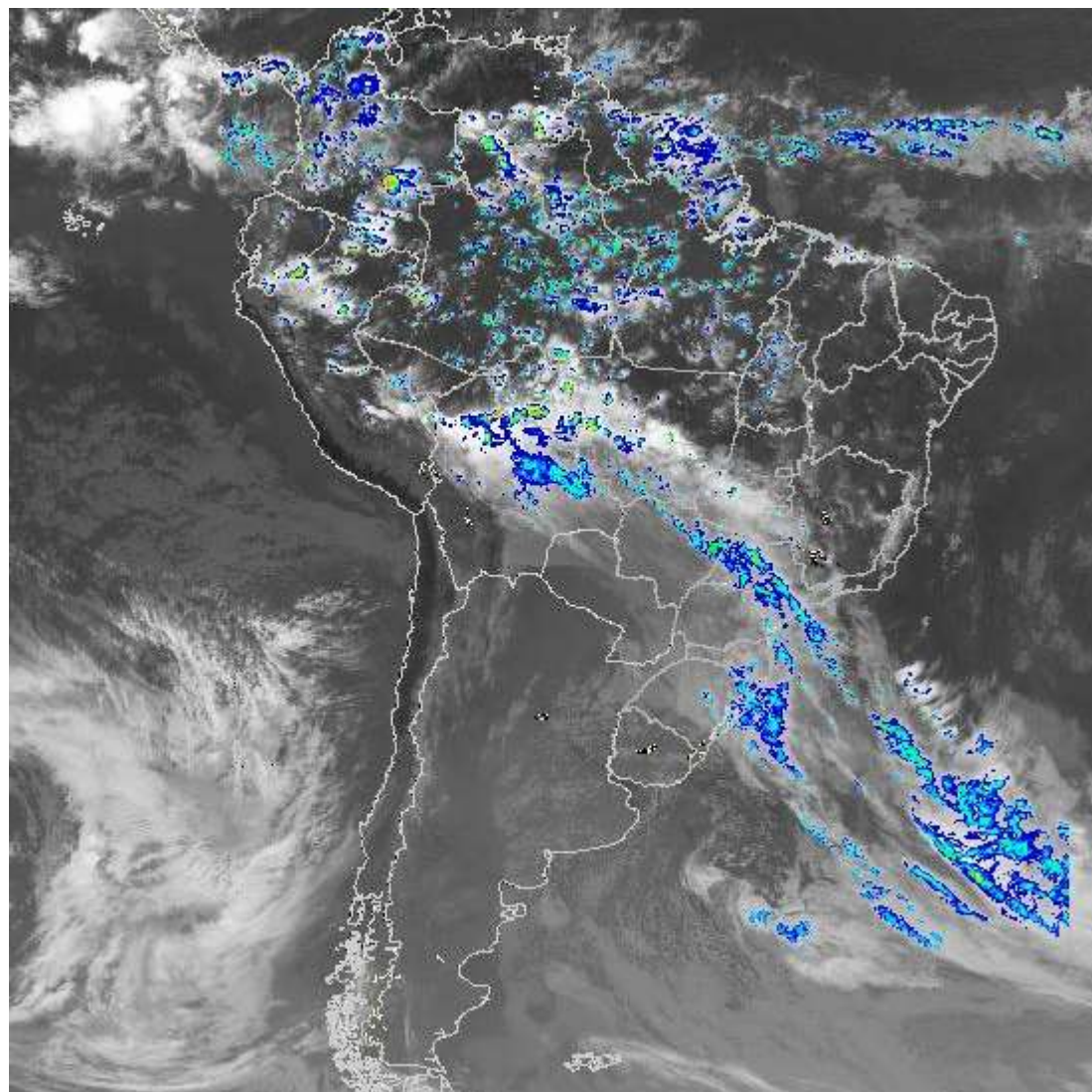


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

25/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

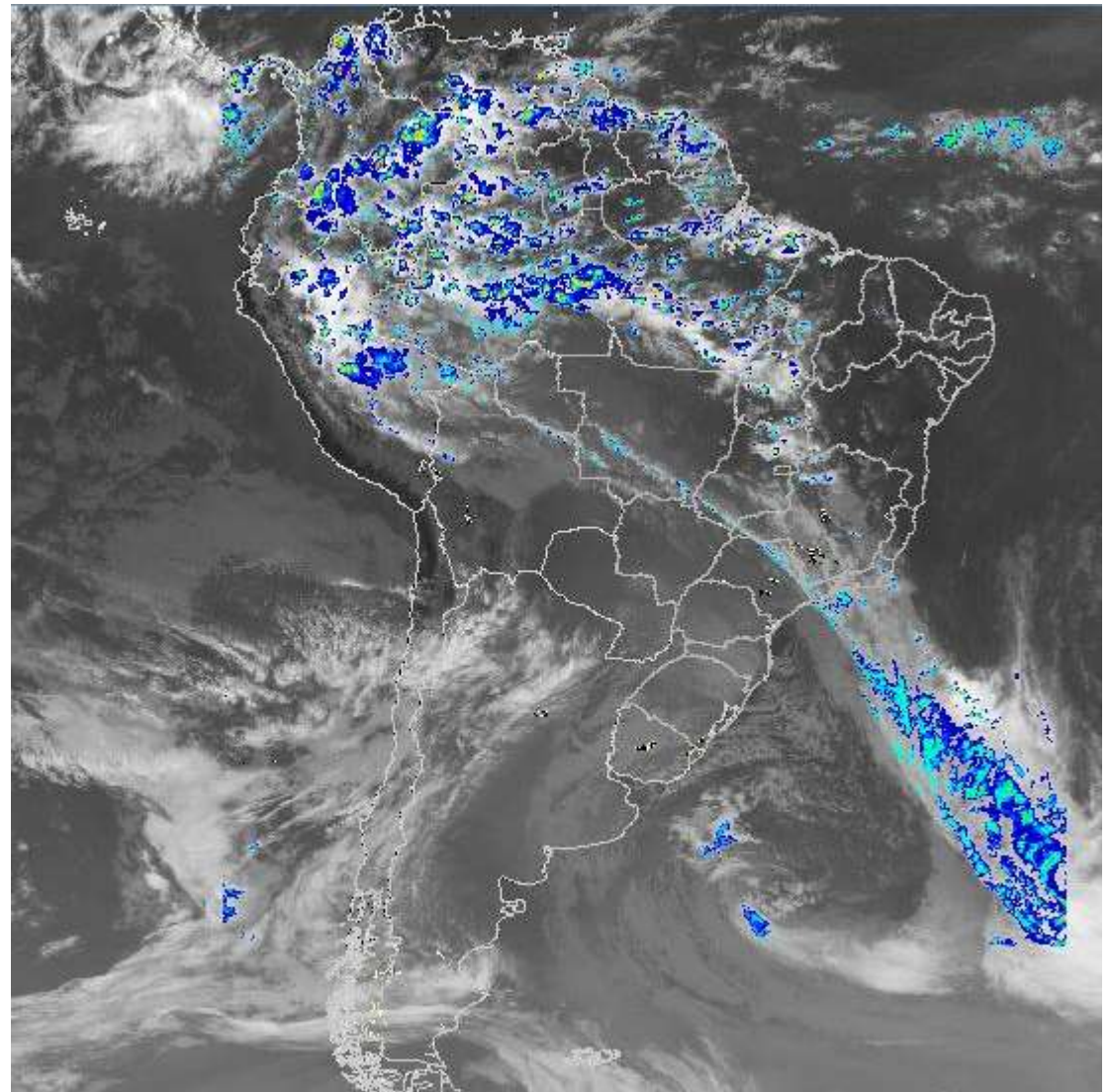


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

26/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

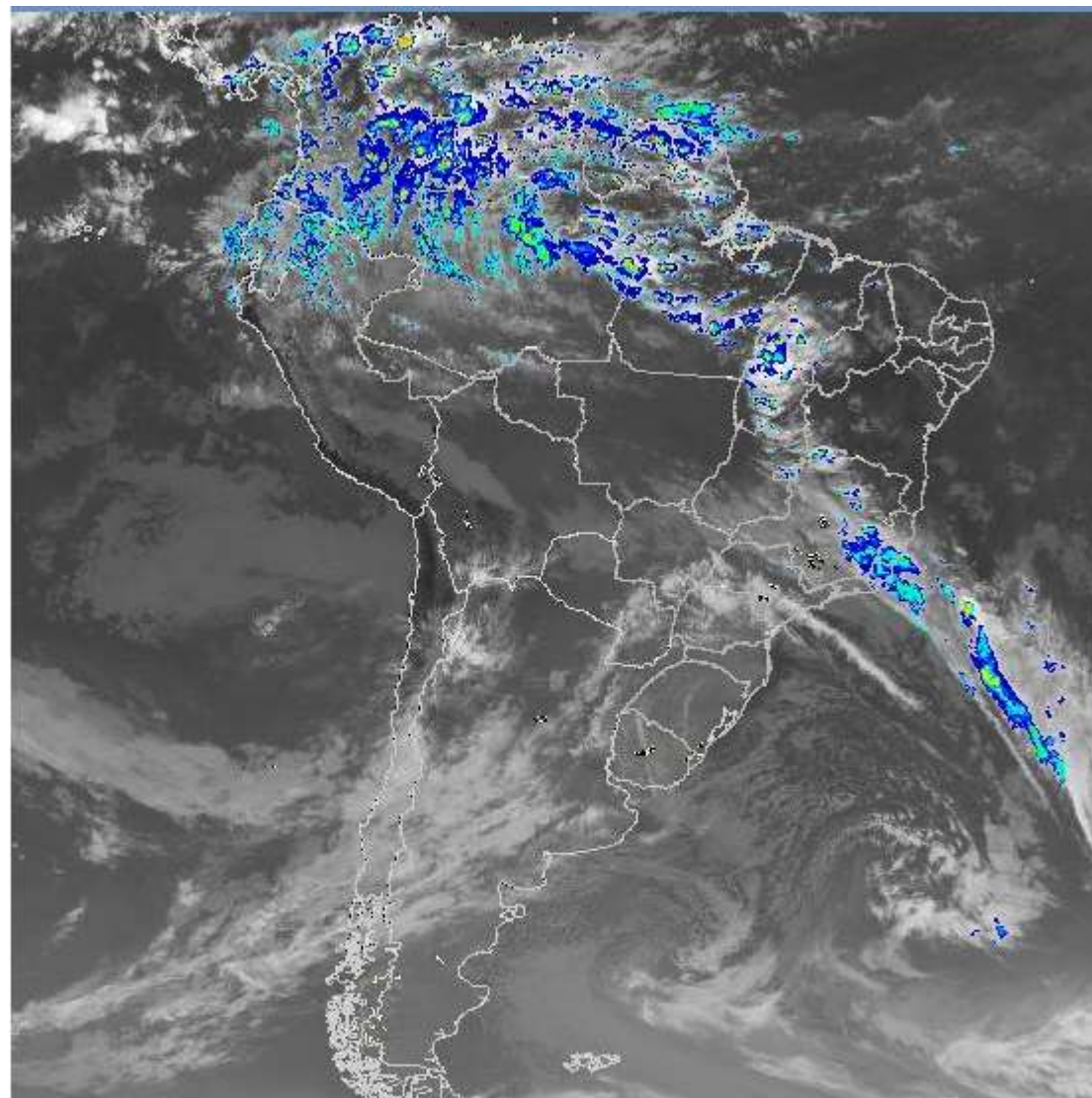


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

27/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

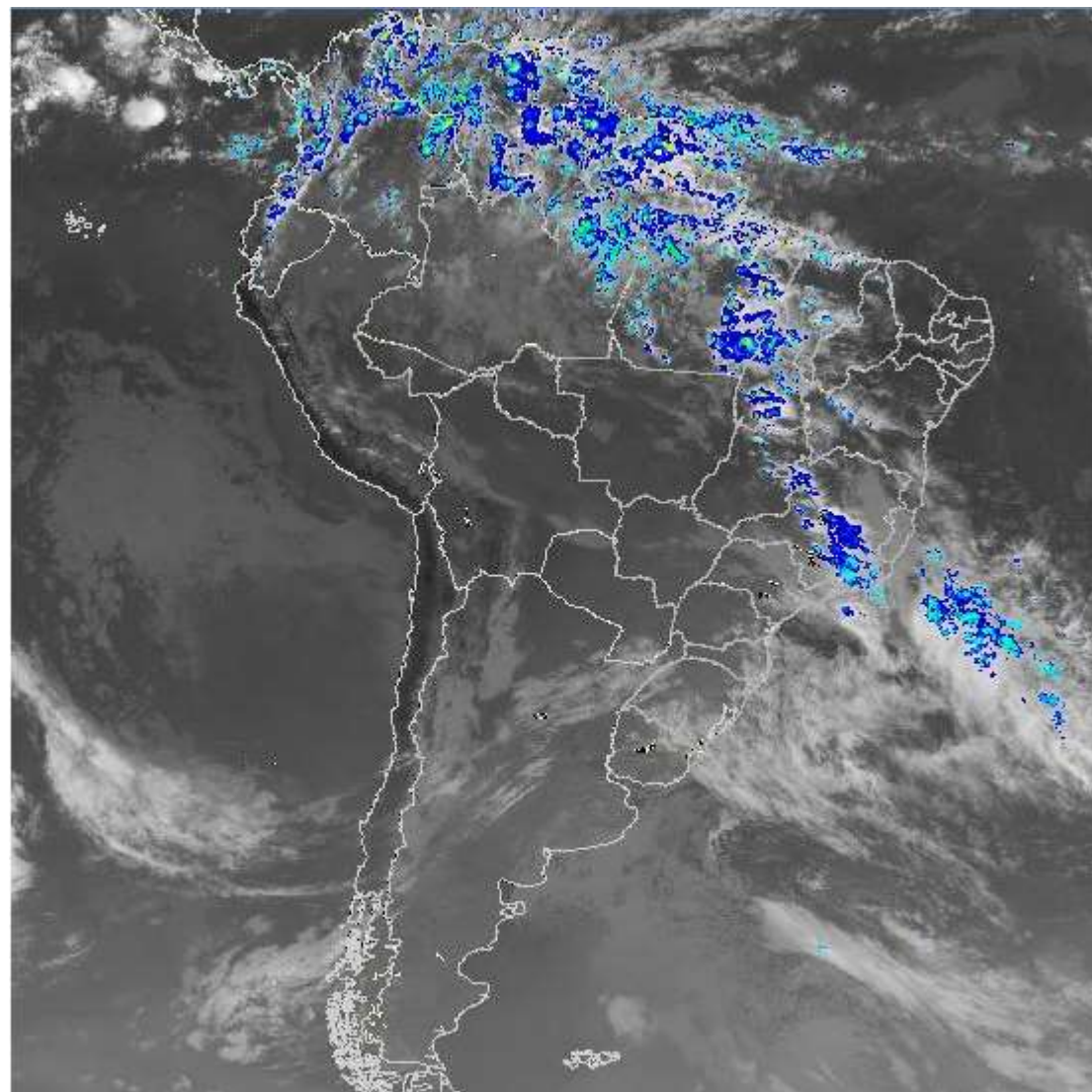


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

28/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

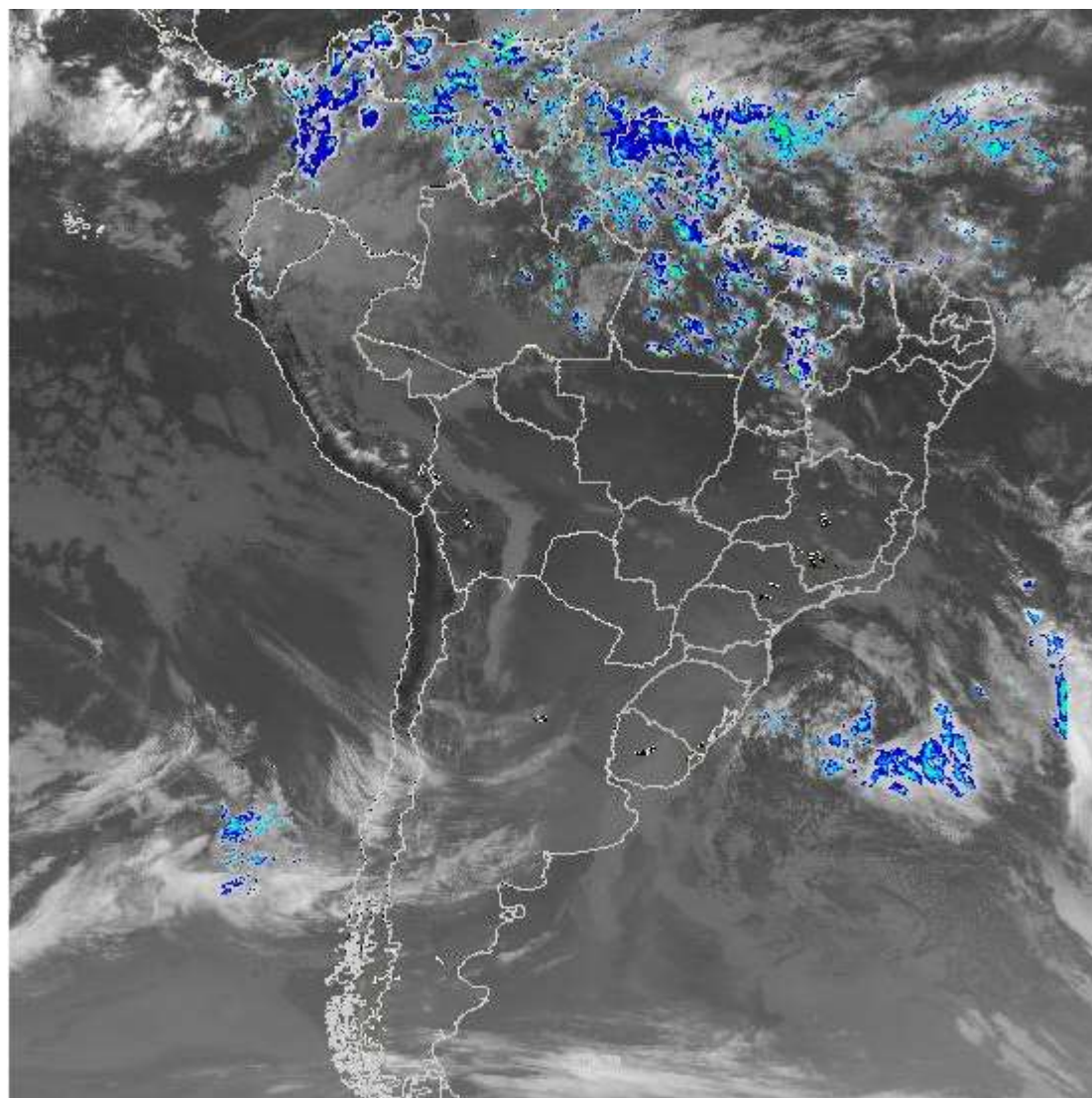


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

29/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

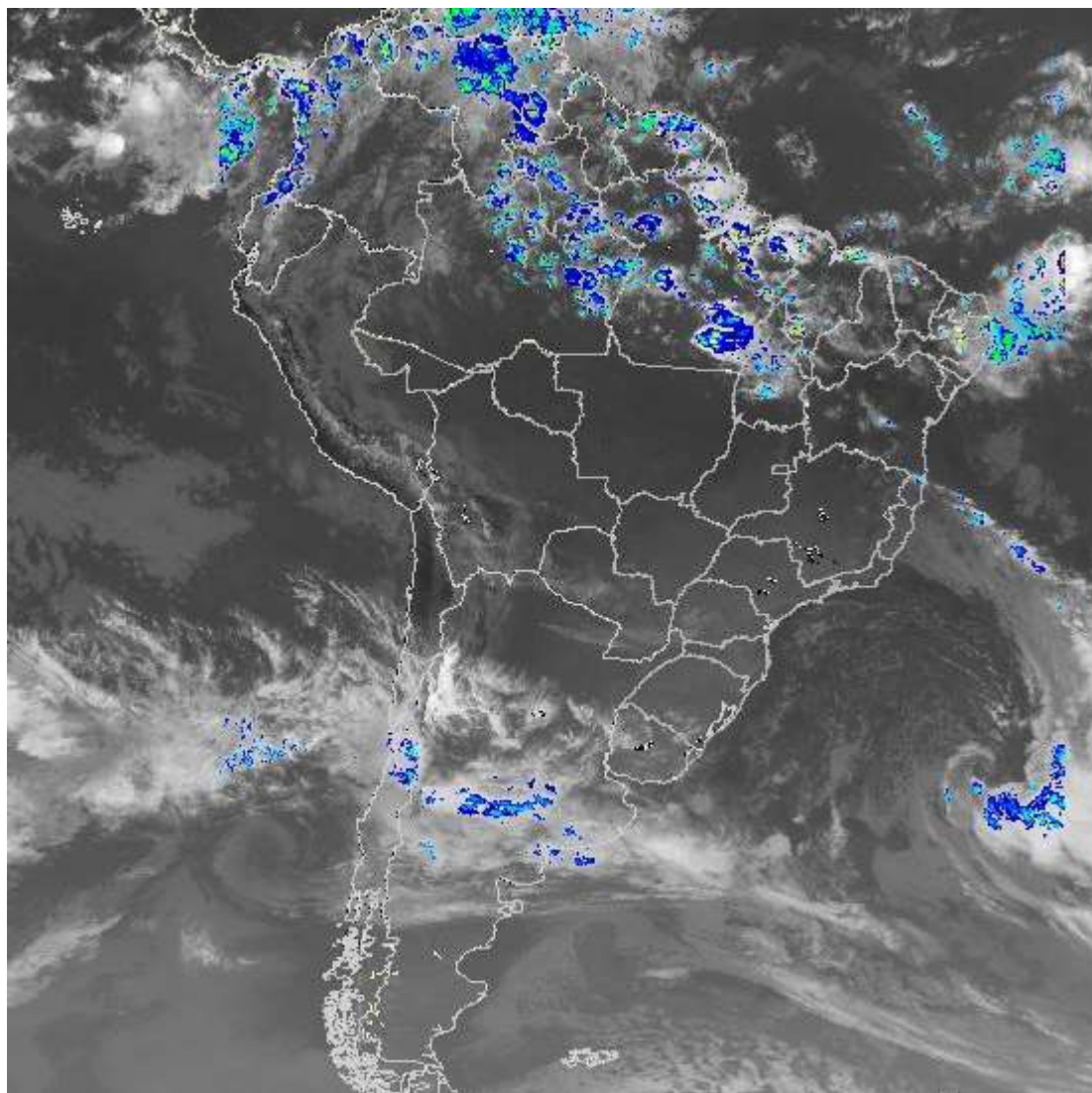


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

30/4/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

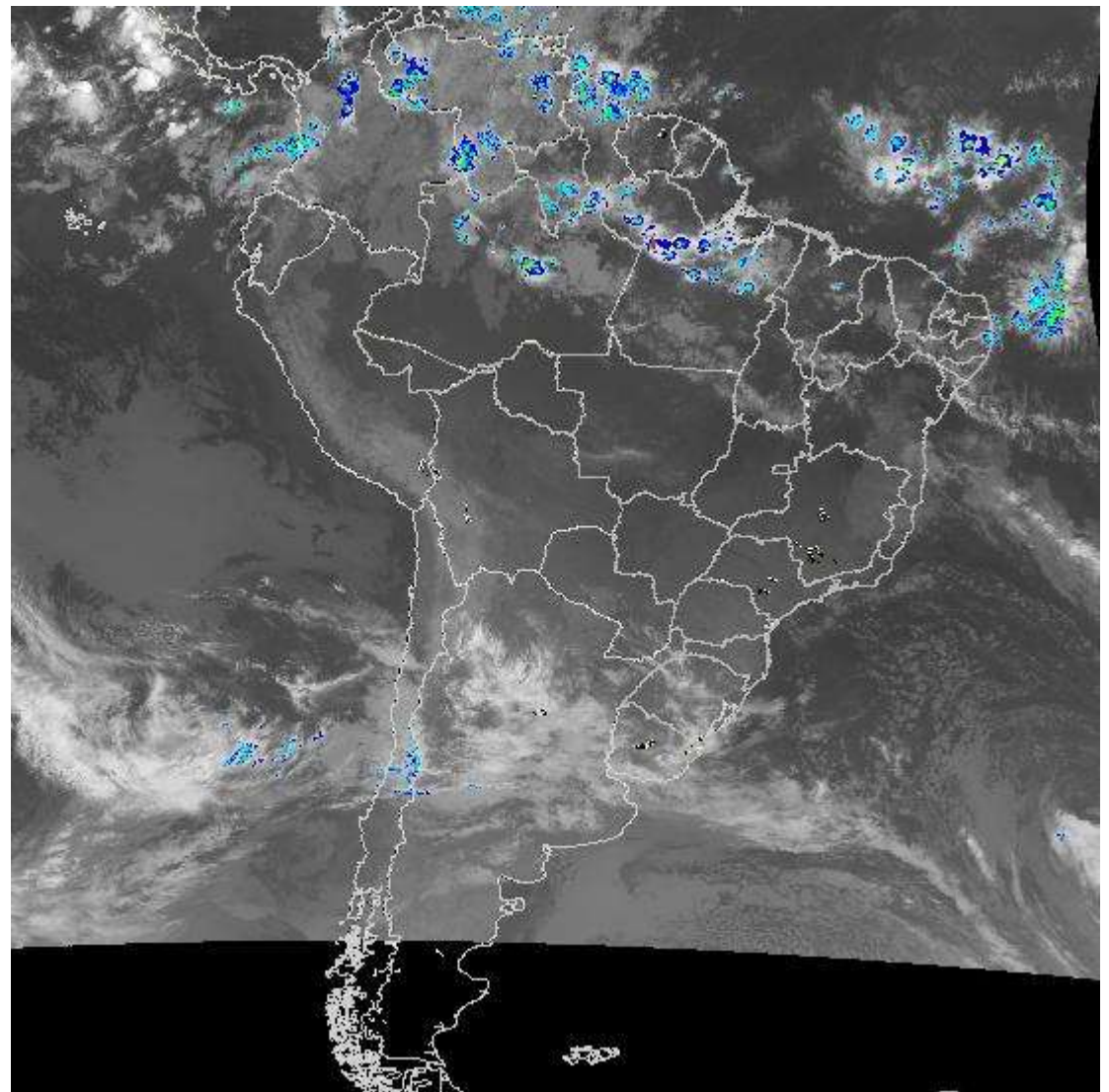


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

01/5/2016 – 21:00 GMT

LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura

Imagem GOES 13
INPE

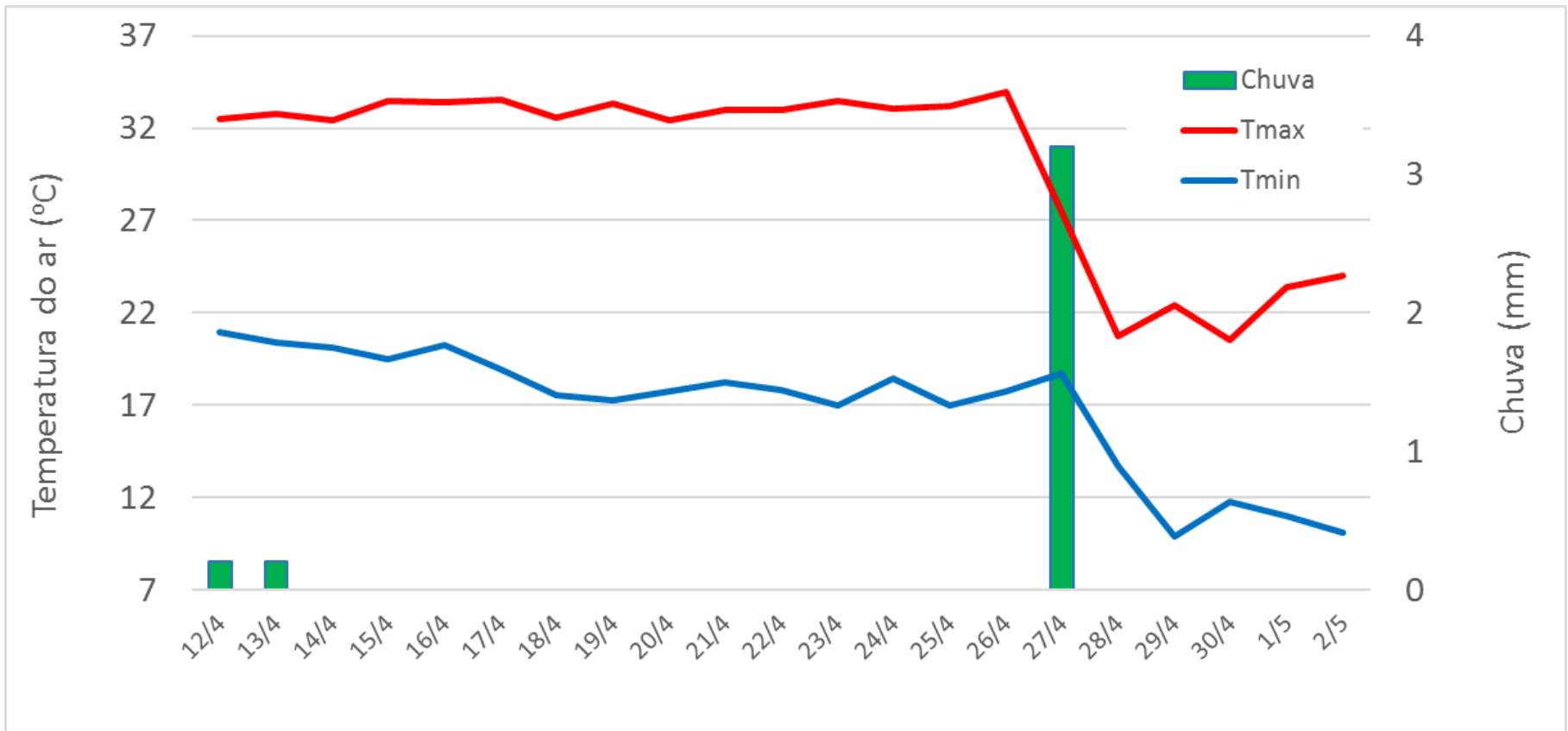


http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/

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

