



Ciclo de Palestras Sobre Controle Térmico de Satélites

Ambiente Térmico Sobre um Satélite

Dr. Issamu Muraoka

Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC



Ambientes Térmicos

- Laboratório
- Lançamento
- Em Órbita

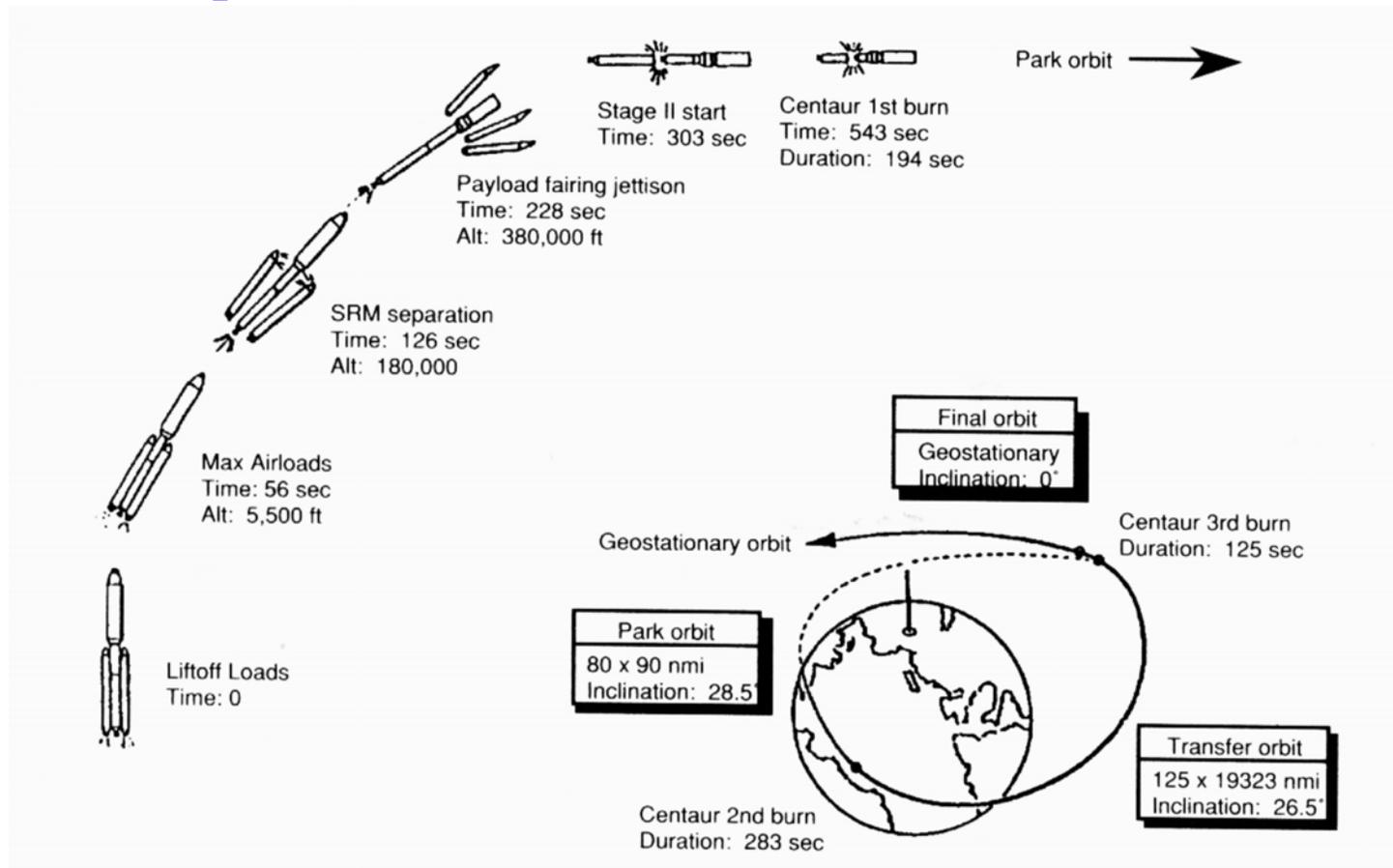
Ambiente Típico de Laboratório

- Temperatura: 23 ± 2 °C
- Pressão: ~ 1 atm



Ambiente Térmico durante o Lançamento

- Pré-lançamento
- Após ignição, no interior da coifa
- Após abertura da coifa

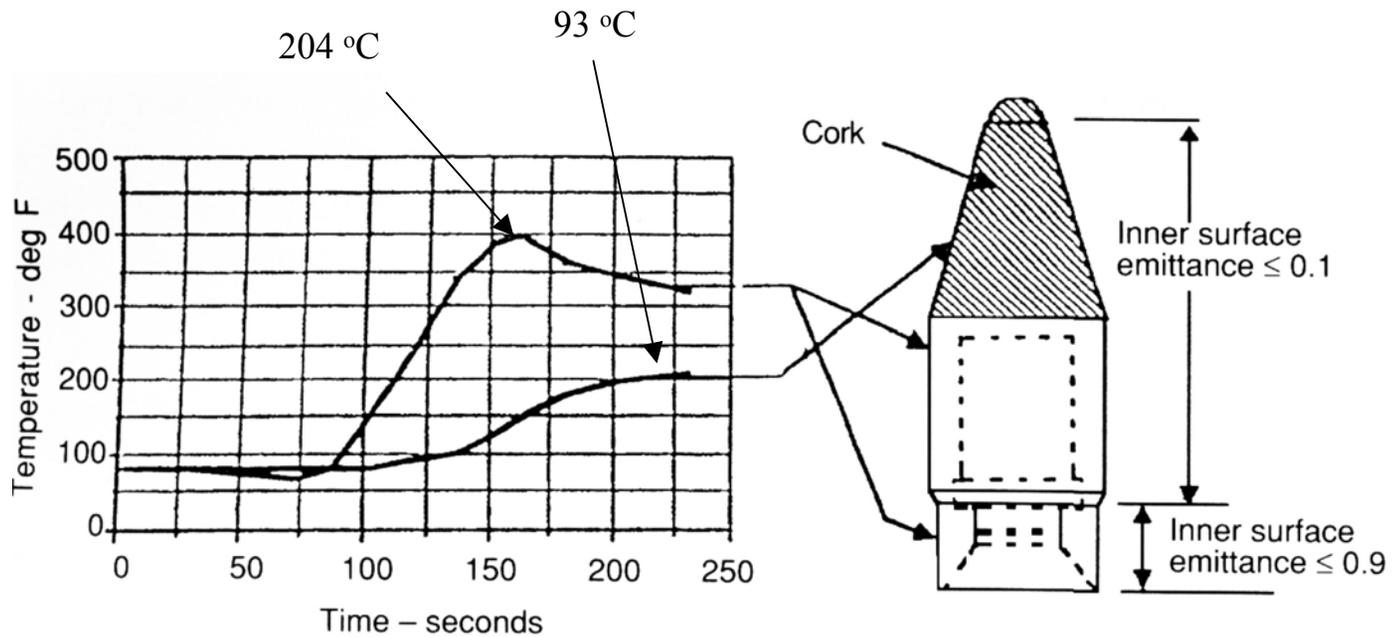


Ref [1]

Ambiente Durante o Pré-lançamento

- Injeção de ar condicionado ou nitrogênio
- Temp. especificada: 10 ~ 25 °C (típico)
- Pressão: ~1atm

Ambiente no Interior da Coifa, após Ignição



Obs: Dados do foguete Atlas, Ref [1]

Ambiente após Abertura da Coifa

➤ Free Molecular Heating (FMH)

$$Q_{\text{FMH}} = (1/2) p u^3$$

p: pressão atmosférica local

u: velocidade paralela a superfície

➤ Altitude < 185 km

Ambiente Térmico em Órbita Terrestre

- Ausência do Meio Convectivo
- Temperatura de Fundo: 2,7 K
- Radiação Solar Direta
- Radiação de Albedo
- Radiação Terrestre
- “Charged Particle Heating”

Ausência de Meio Convectivo

Trocas por Radiação

Trocas por Condução

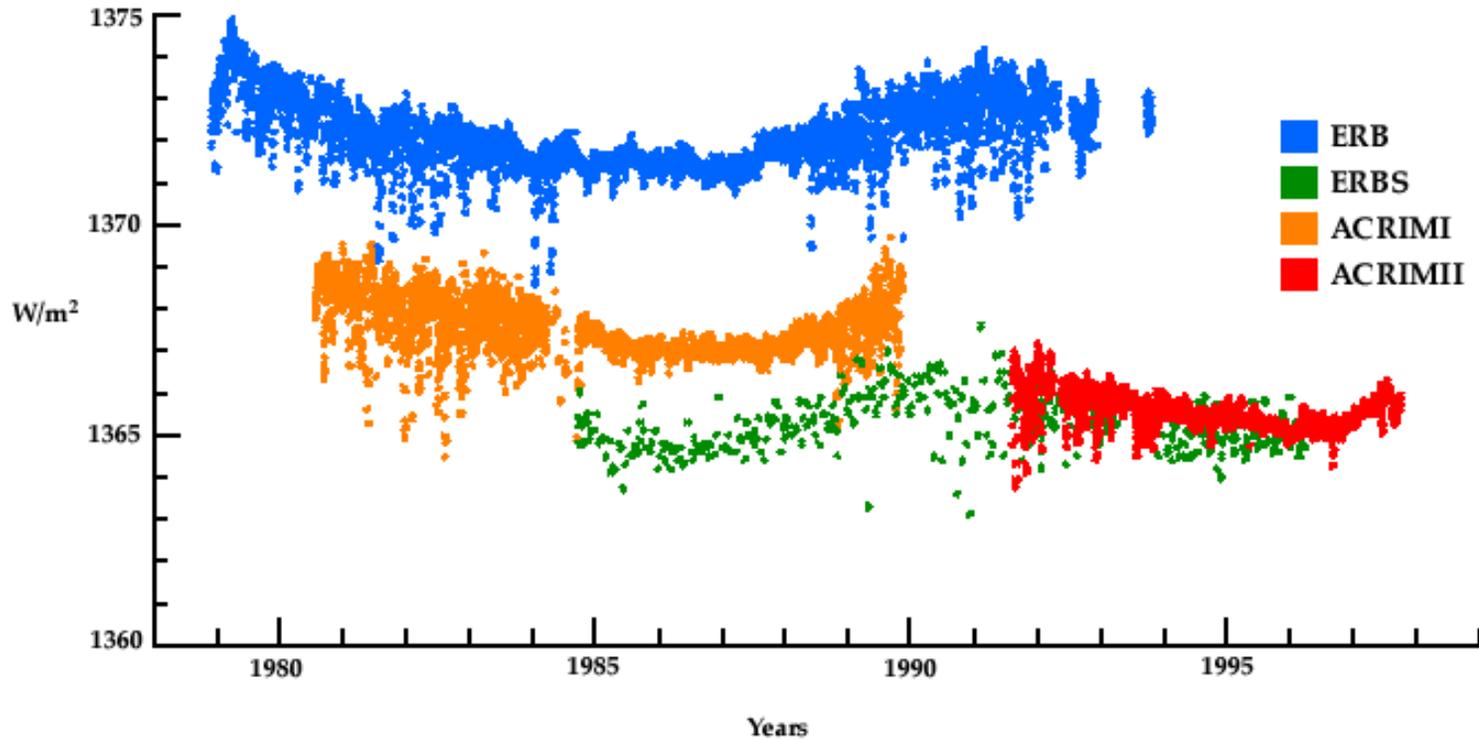
Temperatura de Fundo do Espaço

$T_{\text{espaço}} = 2,7 \text{ K}$ (radiação das estrelas)

Radiação Solar Direta

Fonte	Constante Solar (W/m^2)
Inpe	1326 ~ 1418
CBERS	1302 ~ 1395
ISS	1321 ~ 1423
Gilmore, ref [1]	1308 ~ 1400
Karam, ref [2]	1300 ~ 1400

Constante Solar Medida de Satélites



Ref. [3]

Nova Proposta de Constante Solar para uso em Análise Térmica de Satélites

Resumo do Gráfico (Watts/m²)

Faixa medida:		Faixa incluindo precisão:
ACRIM I	1364.48 ~ 1369.71	1363.11 ~ 1371.08
ACRIM II	1363.75 ~ 1367.14	1362.23 ~ 1368.51
ERB	1368.50 ~ 1374.80	1361.65 ~ 1381.65
ERBS	1363.10 ~ 1367.60	1360.36 ~ 1370.34

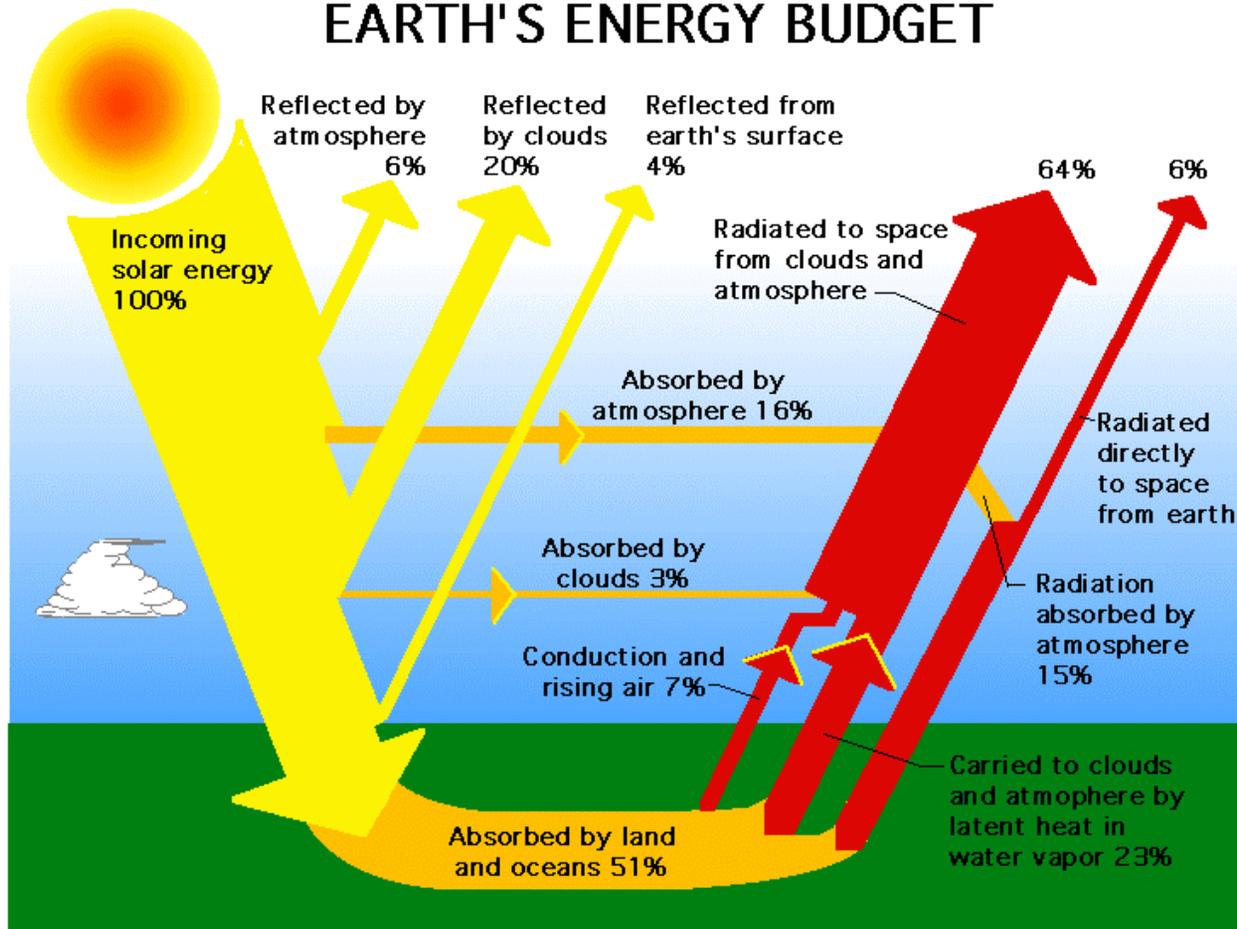
Faixa comum considerando a precisão da medida: 1363 a 1370 W/m²

Variação da distância terra - sol: 147,1 x 10⁶ a 152.1 x 10⁶ km

Nova proposta para constante solar: 1318 ~ 1416 W/m²

Albedo e Radiação Terrestre

EARTH'S ENERGY BUDGET



Ref [4]

Albedo e Radiação Terrestre

Inclinação da órbita (graus)	Radiação terrestre (W/m ²)			Albedo (%)		
	mínimo	médio	máximo	mínimo	médio	máximo
±90	202	214	227	38	42	46
±80	208	221	233	34	38	42
±70	218	230	243	30	34	38
±60	224	236	249	26	30	34
±50	230	243	255	22	28	32
±40	240	252	265	19	25	29
±30	243	255	268	20	24	28
±20	240	252	265	20	24	28
±10	233	246	259	20	24	28

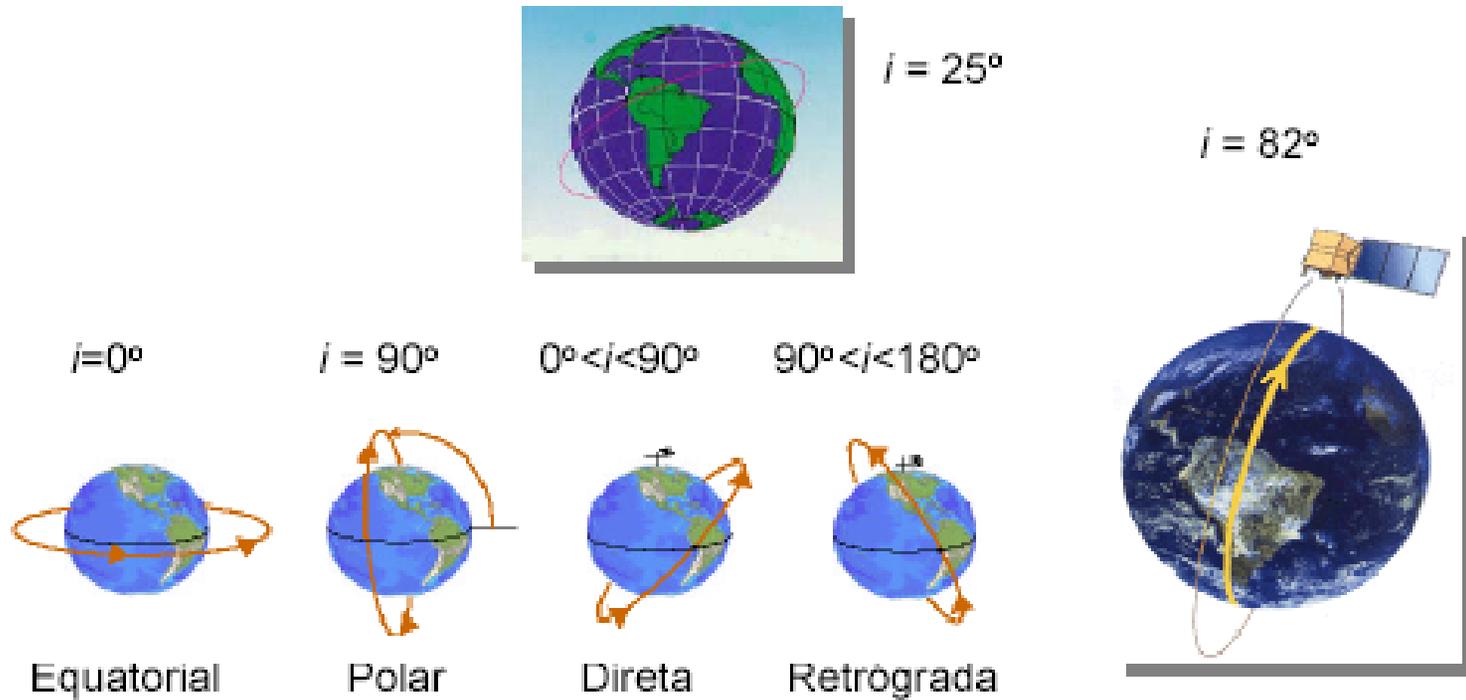
Ref [1]

Órbitas Típicas

- Baixa - LEO
- Sol -síncrona
- Geoestacionária - GEO
- “Molnya”

Órbita baixa (LEO)

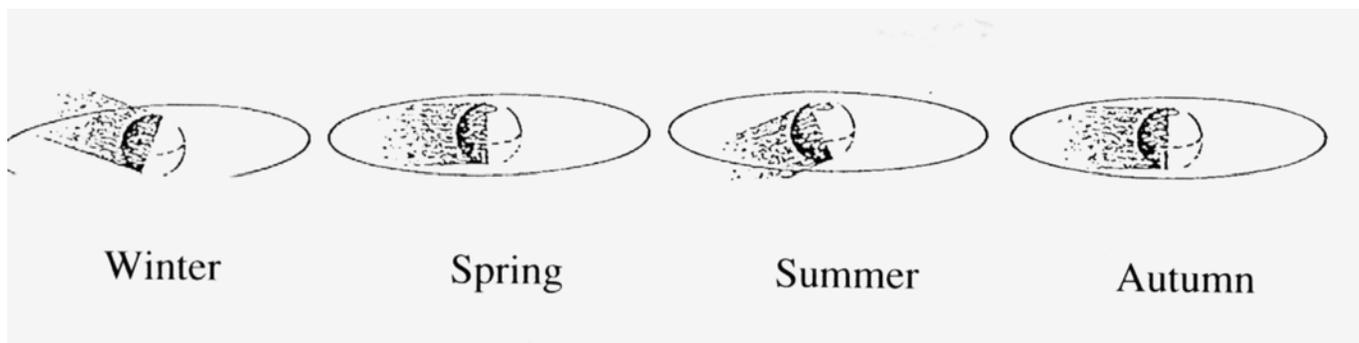
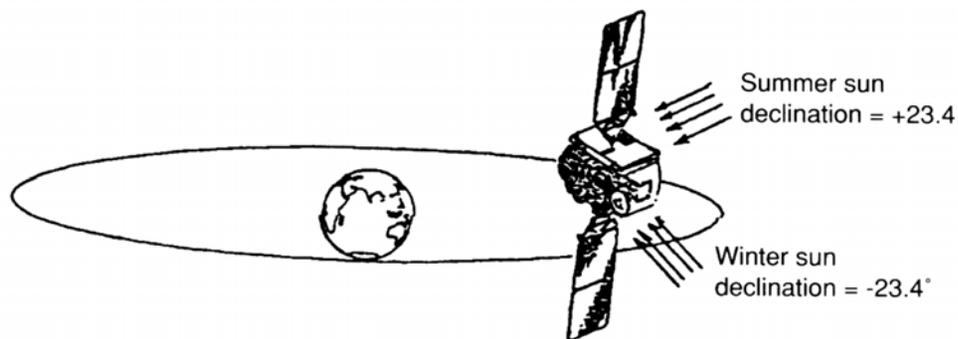
$h < 1800$ km, período ~ 100 min



Ref. [5]

Órbita geo-estacionária

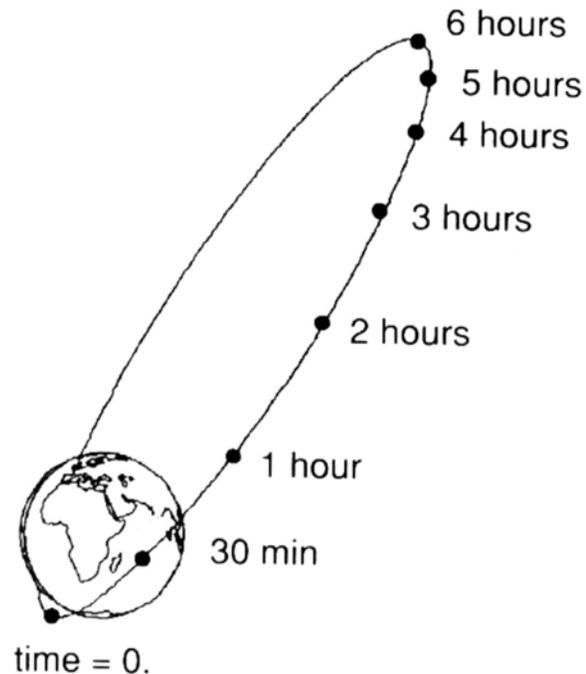
$h = 36000$ km, período = 24 h, inclinação $< 10^\circ$



Ref [1]

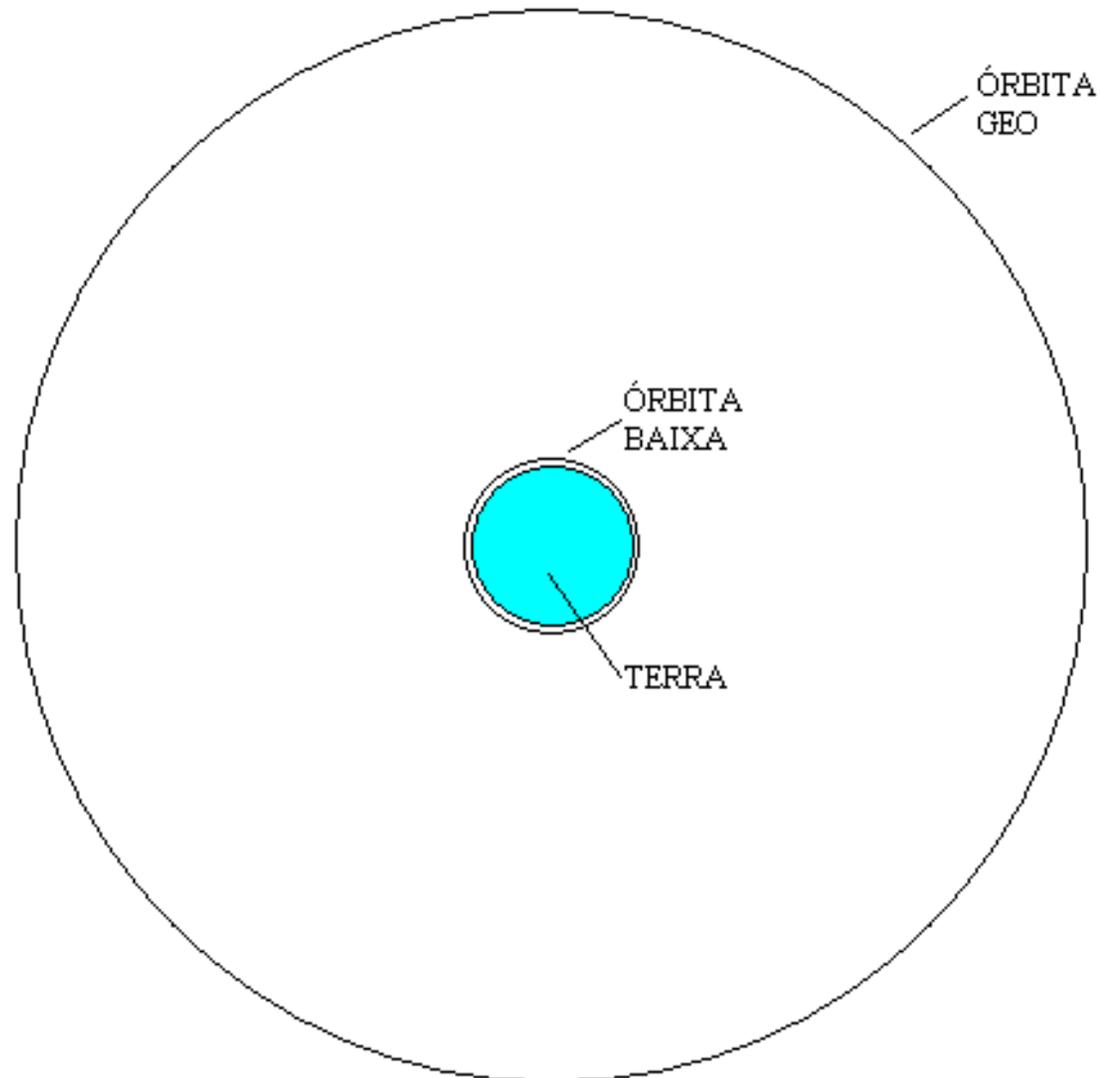
Órbita Molnya

$h = 560 \sim 39600$ km, inclinação = 62° , período = 12 h

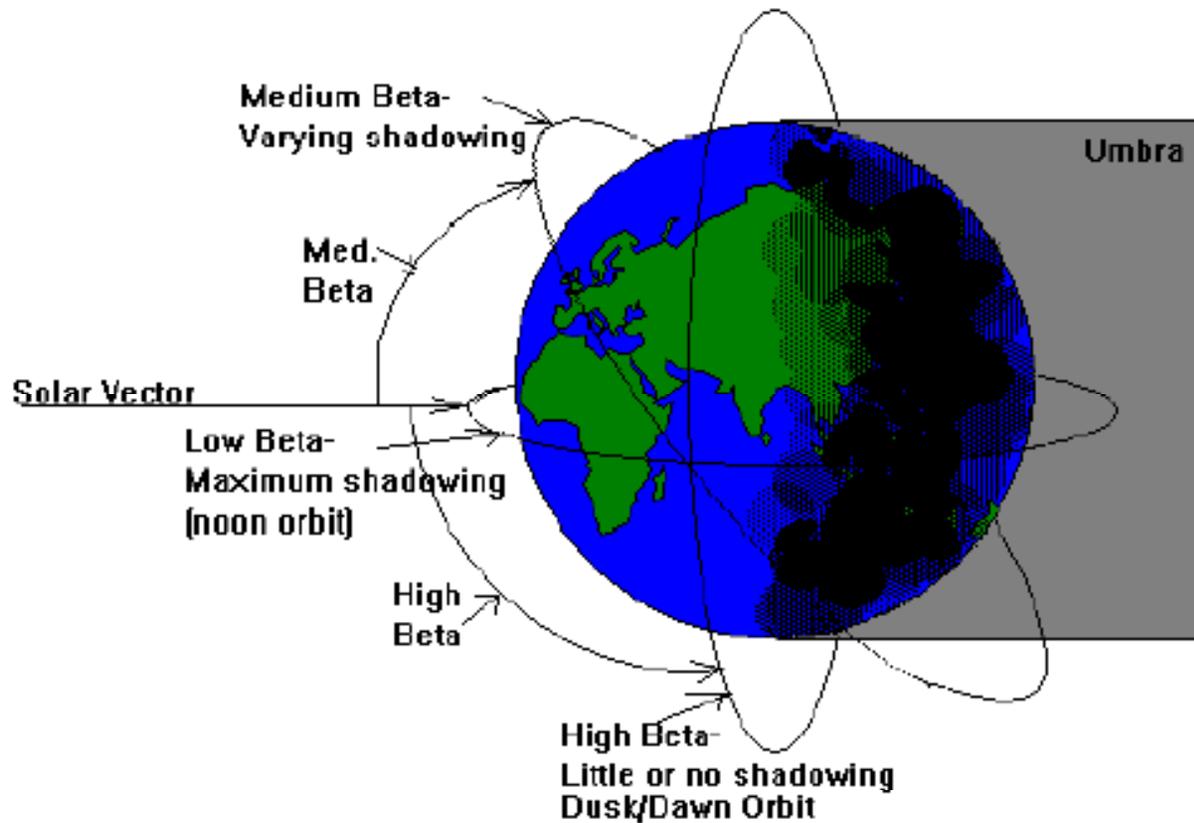


Ref [1]

Comparação entre órbitas LEO e GEO



Ângulo Beta



Fração de Eclipse (f_E)

$$f_E = \frac{1}{\pi} a \cos \left(\frac{\sqrt{h^2 + 2Rh}}{(R+h)\cos \beta} \right) \quad se \quad |\beta| < \beta^*$$

$$f_E = 0. \quad se \quad |\beta| \geq \beta^*$$

R: raio da terra

h: altitude da órbita

β : ângulo beta

β^* : mínimo β para ocorrência de eclipse

$$\beta^* = a \sin \frac{R}{R+h} \quad 0 \leq \beta^* \leq \frac{\pi}{2}$$

(ref.[1])

Valores de radiação para órbitas LEO e GEO

Órbita	h = 700 km (LEO)	h = 36000 km (GEO)
Máxima radiação solar direta (W/m^2) ^(*)	1371	1371
Máximo albedo (W/m^2) ^(*) ^(**)	506	8
Máxima radiação terrestre (W/m^2) ^(*)	192	5
Período da órbita	98,8 min	24 h
Máximo tempo de eclipse	35,3 min	72 min

(*) constante solar = $1371 \text{ W}/\text{m}^2$, fator de albedo = 0.33, radiação terrestre = $236 \text{ W}/\text{m}^2$

(**) máximo valor - sol incidindo diretamente na parte traseira da placa

Referências

1. Gilmore, D.G. "Satellite Thermal Control Handbook". El Segundo, CA, The Aerospace Corporation Press, 1994.
2. Karam, R.D. "Satellite Thermal Control for Systems Engineers", Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 181, 1998.
3. Climatology interdisciplinary data collection - Total Solar Irradiance
http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/FTP_SITE/INT_DIS/readmes/sol_irrad.html
4. Atmospheric Sciences Data Center
<http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/math.html>
5. Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites, INPE/ETE, 2003 (INPE-9605-PUD/126)