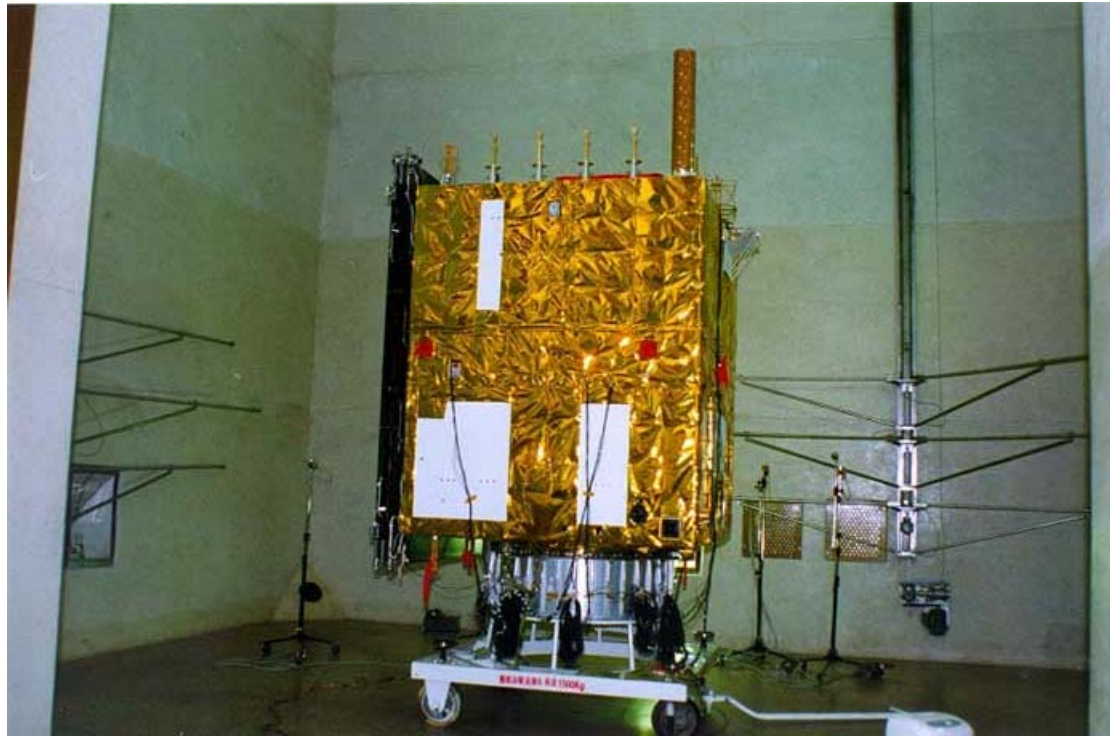


Ciclo de Palestras Sobre Controle Térmico de Satélites

Revestimentos Térmicos



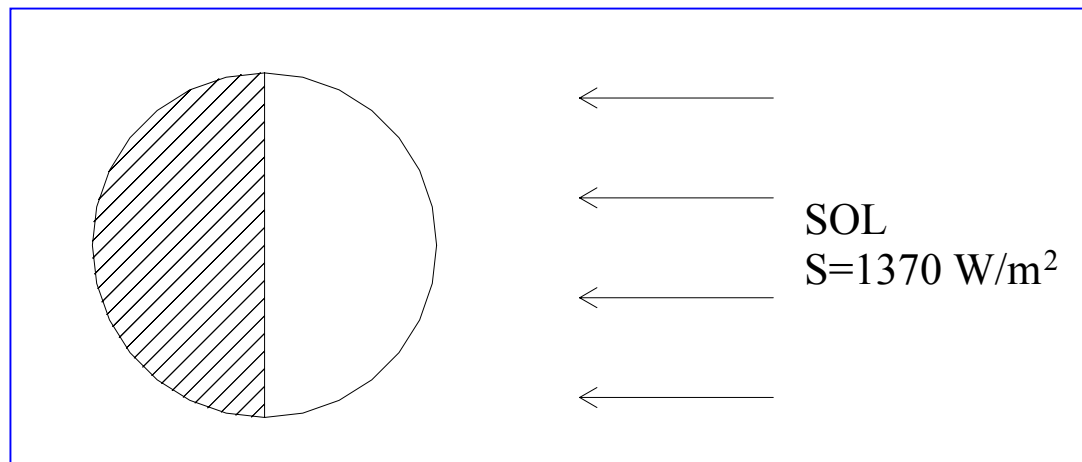
Dr. Issamu Muraoka, Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC

Revestimentos Térmicos

- Forma Primária de Controle Térmico de Satélite
- Simples, Barato e Confiável
- Controle das Trocas de Calor por Radiação
- Grande Dependência da Temperatura em Função do Revestimento

Temperatura de uma Esfera Isotérmica no Espaço

- OSR -107 °C
- Tinta Branca -58 °C
- Tinta Negra 6 °C
- Alumínio Polido 94 °C
- Ouro Polido 223 °C



Propriedades Óticas de um Revestimento

- Emissividade (ϵ) $Q_{\text{emit}} = \epsilon \sigma T^4$
- Absortividade (α) $Q_{\text{absor}} = \alpha Q_{\text{incid}}$
- Para um mesmo espectro: $\epsilon = \alpha$

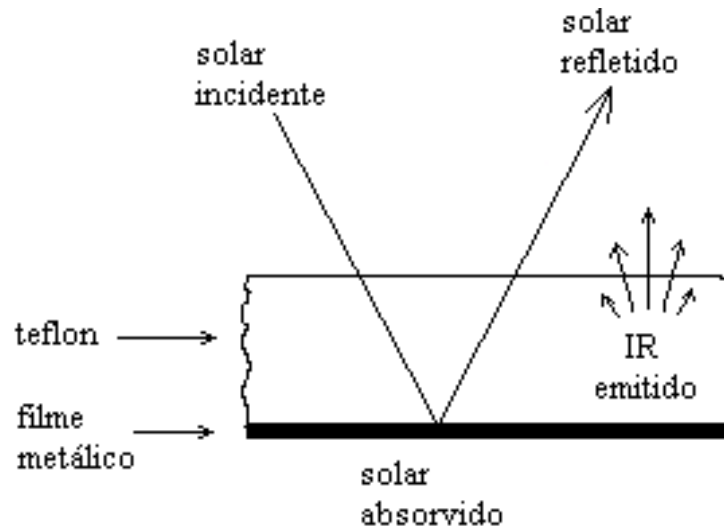
Convenção Usada em Controle Térmico de Satélites

- Espectro Infra-vermelho : $\epsilon_{\text{IR}} = \alpha_{\text{IR}} = \epsilon$
- Espectro Solar : $\epsilon_{\text{S}} = \alpha_{\text{S}} = \alpha$

Revestimentos Típicos Aplicados em Satélites

Revestimento	α (BOL)	ϵ
➤ OSR		
8 mil Quartz Mirror	0.05 ~ 0.08	0.80
5 mil Teflon + Al	0.10 ~ 0.16	0.78
➤ Tinta Branca		
Z93	0.17 ~ 0.20	0.92
Chemglaze A276	0.22 ~ 0.28	0.88
➤ Tinta Preta		
Chemglaze Z306	0.92 ~ 0.98	0.89
3M Black Velvet	~ 0.97	0.84
➤ Kapton Aluminizado		
1 mil	0.38	0.67
5 mil	0.46	0.86
➤ Superfícies Metálicas		
Vapor Deposited Al (VDA)	0.08 ~ 0.17	0.04
Vapor Deposited Gold	0.19 ~ 0.30	0.03
➤ Alumínio Anodizado	0.25 ~ 0.86	0.04 ~ 0.88
➤ MLI	~ 0.01	~ 0.01

OSR - Optical Solar Reflector



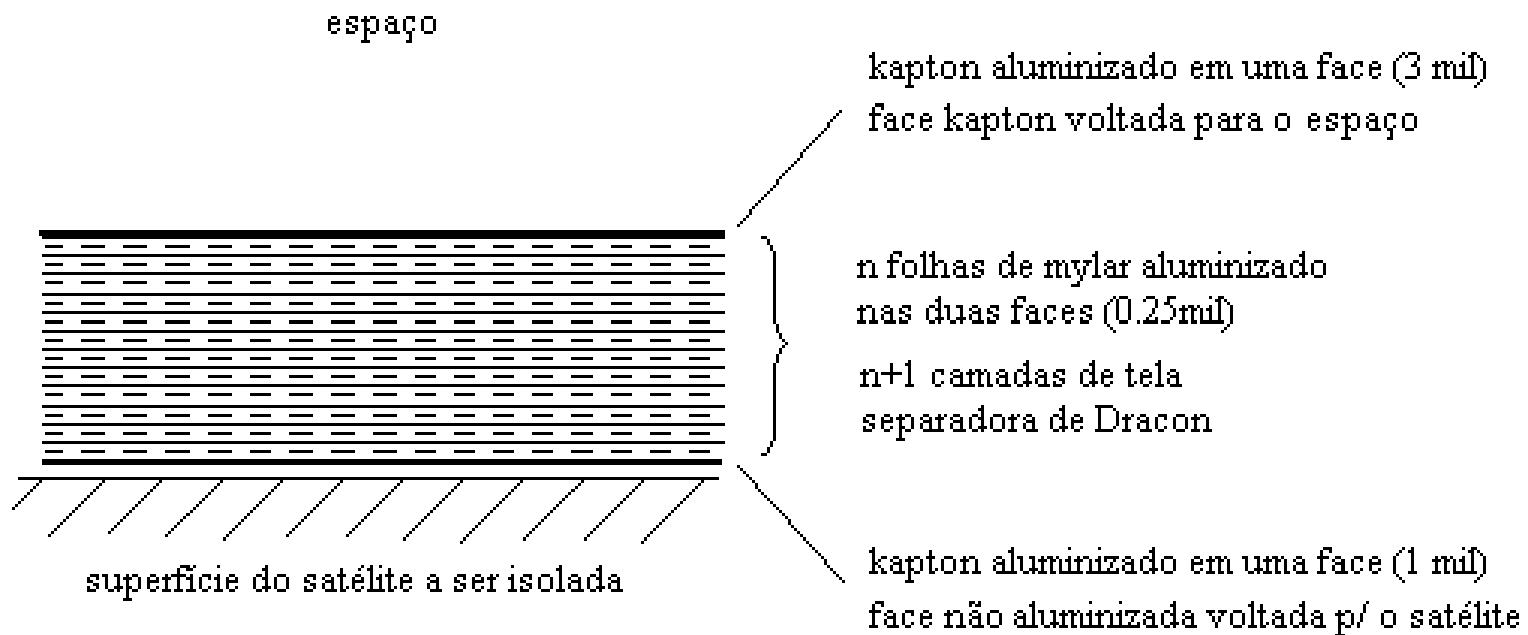
Espessura teflon (μm)	ϵ (típico)
12	0.4
25	0.5
50	0.6
125	0.77

Filme metálico	α
prata	0.06 ~ 0.09
alumínio	0.10 ~ 0.14
cobre	0.20 ~ 0.30
germânio	0.45 ~ 0.55
inconel	0.60 ~ 0.70
cromo	0.70 ~ 0.80

Referência [4]

MLI - Multiyaler Insulation Blanket

$$(\alpha_{\text{eff}} = 0.01 \quad \epsilon_{\text{eff}} = 0.01)$$



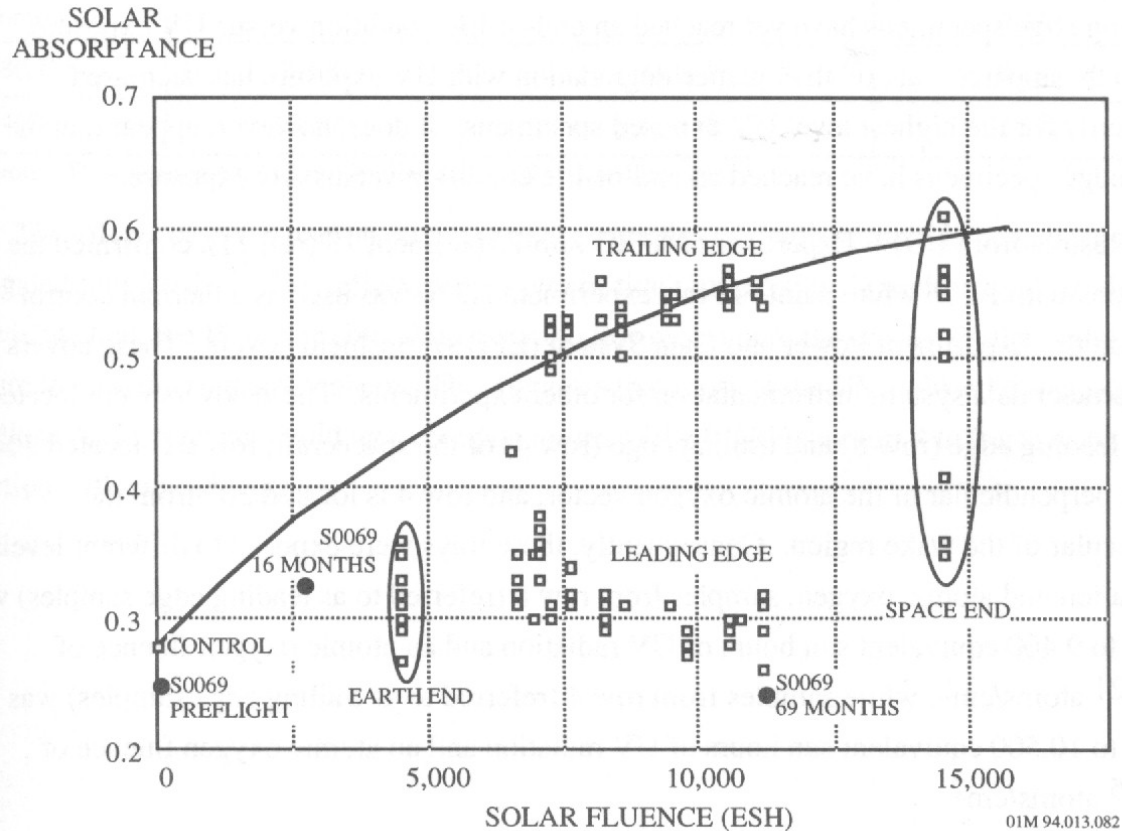
Fatores de Degradação de Revestimento

- Partícula Carregada (Prótons e Elétrons)
 - cinturão de Van Allen
 - radiação cósmica
 - partículas solares
- Radiação UV
 - radiação solar
- Oxigênio Atômico
 - crítico p/ altitudes até 1000 km
- Contaminação
 - degasagem
 - propulsores

Degradação de Refletores Solares

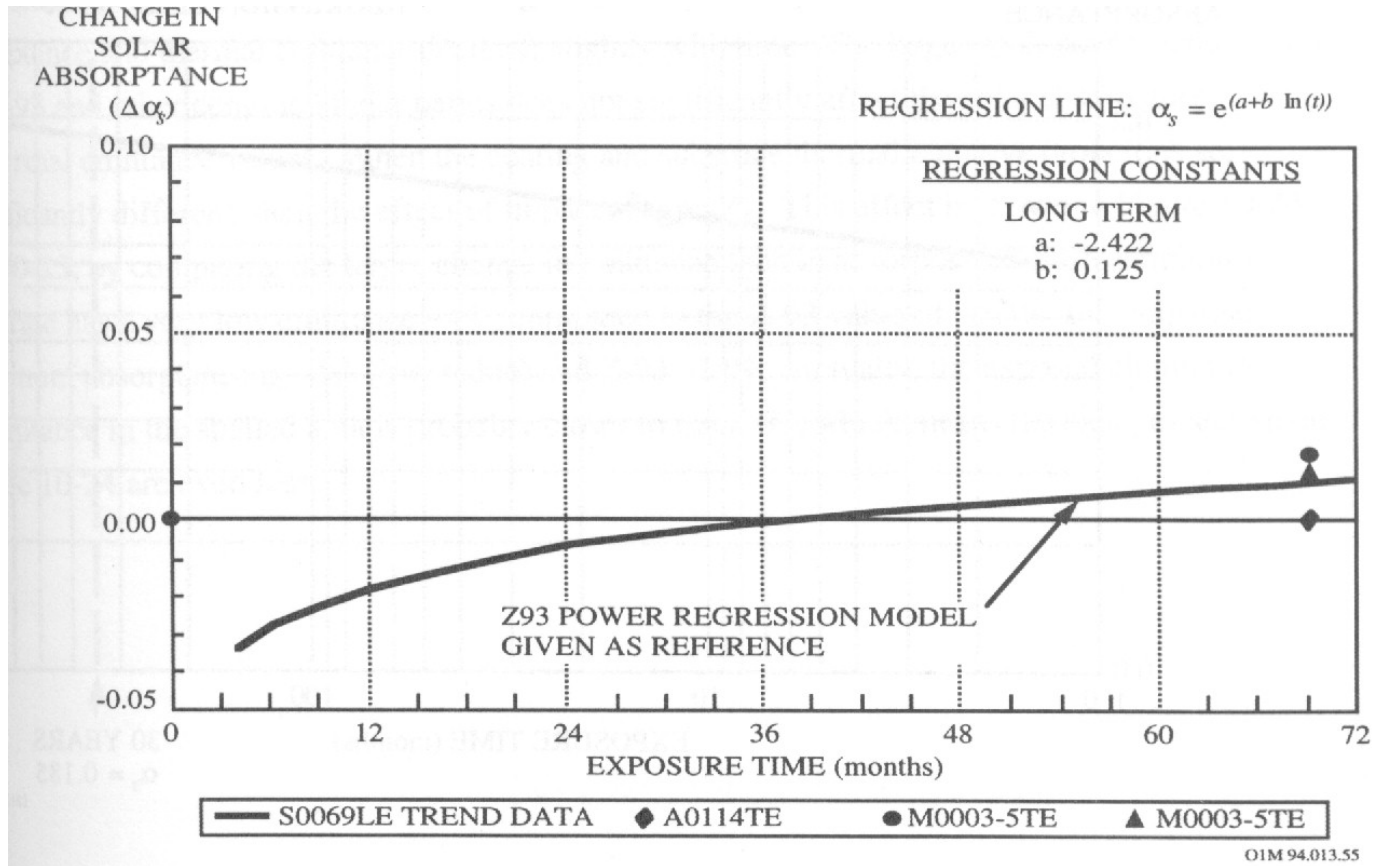
- Tinta Branca
 - Radiação UV
 - Partículas Carregadas
- Teflon Metalizado
 - Partículas Carregadas
 - Contaminação
- Quartz Mirror
 - Contaminação
- Kapton e Mylar Metalizado
 - Oxigênio Atômico
 - Partículas Carregadas

Degradação da Tinta Branca A276



Referência [3]

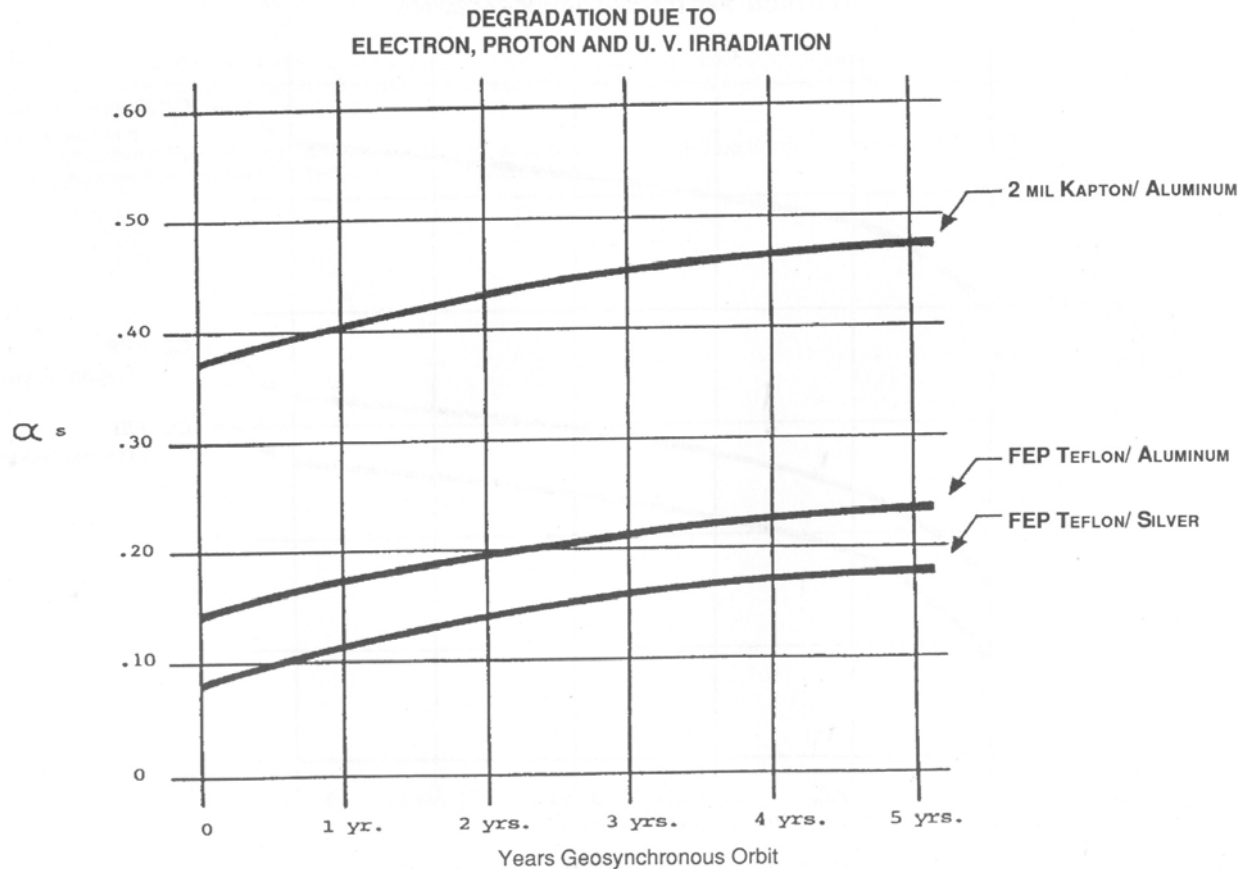
Degradação da Tinta Branca Z93



Referência [3]

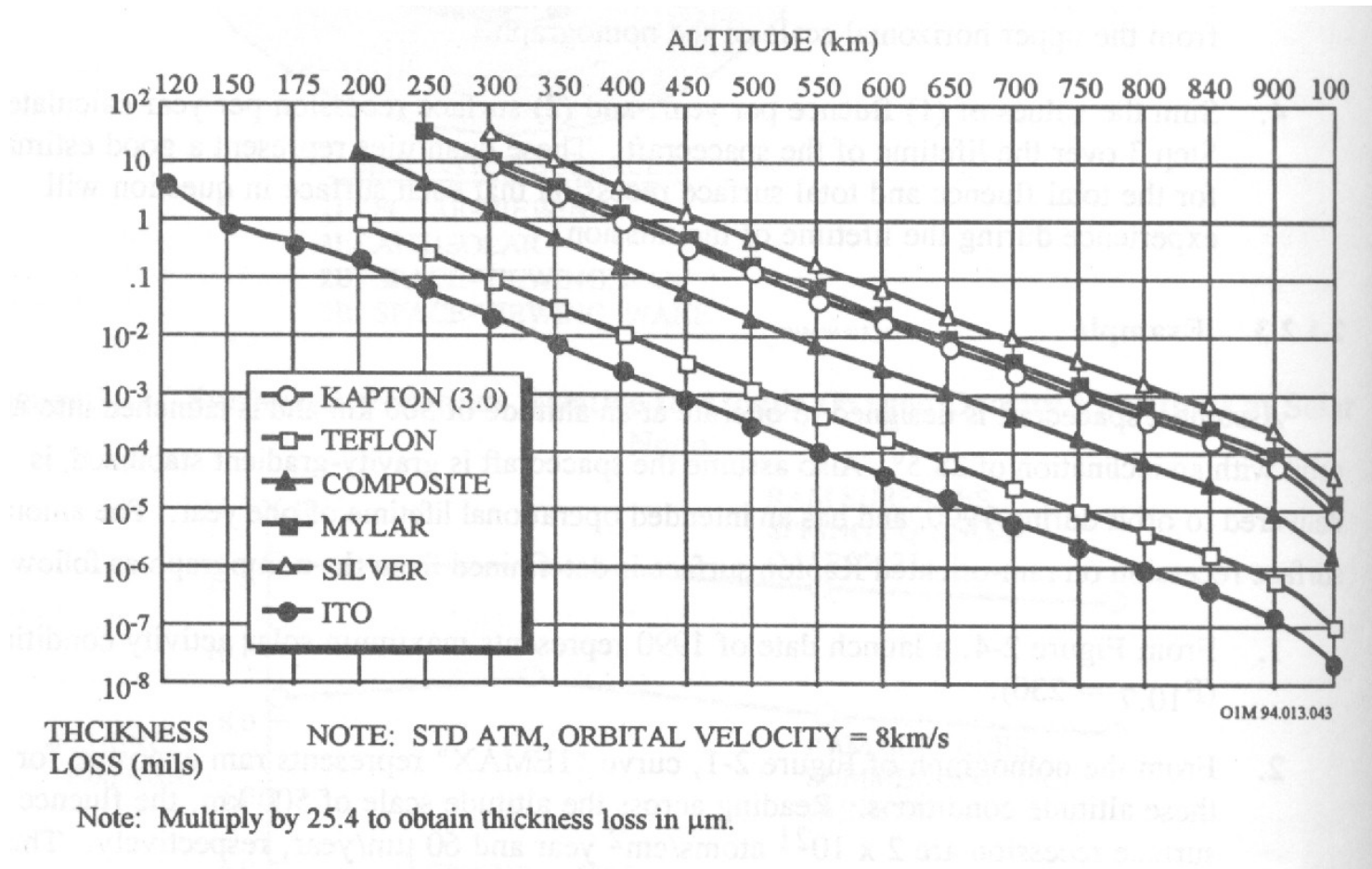
Degradação do Teflon e Kapton Metalizado

Partículas Carregadas + Radiação UV



Referência [4]

Degradação do Teflon e Kapton Metalizado (Erosão por Reação com Oxigênio Atômico, redução da espessura por ano)



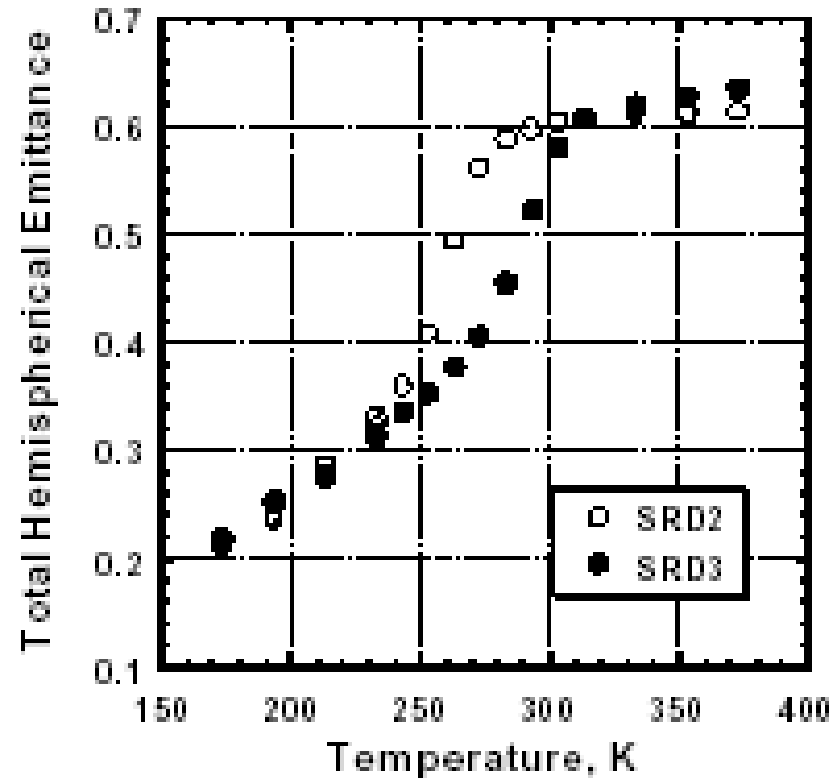
Referência [3]

Revestimentos com Propriedades Óticas Variáveis

- Smart Radiation Device (SRD)
- Electrostatic Switched Radiator
- Electrochromic Material
- MEMS Mini-Louvers

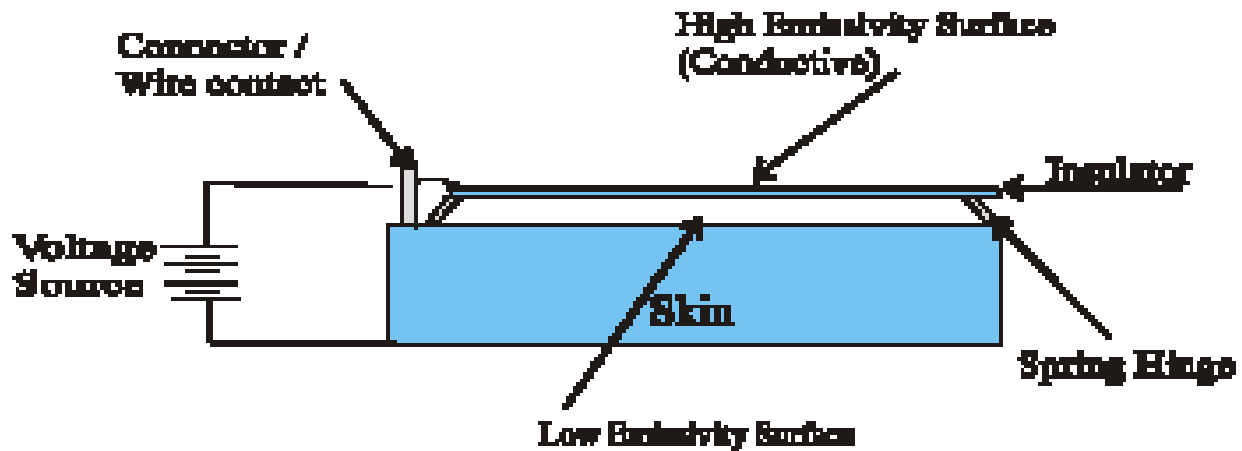
SRD - Smart Radiation Device

- material cerâmico impregnado em um substrato
- variação da emissividade com a temperatura
- espessura de 70 μm , absorvidade solar ~ 0.90



Referência [6]

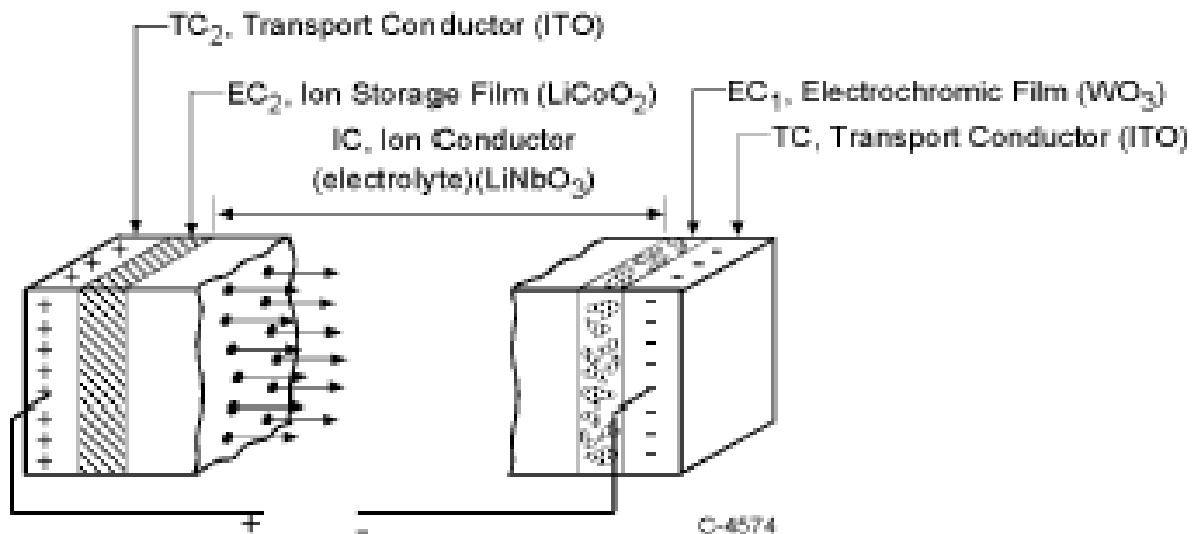
Electrostatic Switched Radiator



Referência [7]

Electrochromic Material

Espessura: 1 ~ 2 μm



Referência [8]

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. Silverman, E.M. "Space Environmental Effects on Spacecraft: LEO Material Selection Guide", 1995. (NASA-CR-4661)
4. Thermal Control Material & Metalized Films - Part number listing and general specifications
Catálogo da Sheldahl
5. Babel, H.W; Jones, C.; David, K. "Design Properties for State-of-the-Art Thermal Control Materials for Manned Space Vehicle in LEO", Acta Astronautica, vol. 39, n. 5, pp. 369-379, 1996.



6. Tachikawa, S. e outros “Smart Radiation Device: Design of Intelligent Material with Variable Emittance”, 31st ICES, 2001 (paper 2001-01-2342)
7. Biter, W.; Oh, S.; Hess, S. “Electrostatic Switched Radiator for Space Based Thermal Control”, Proceedings of 2002 Space Technology and Applications International Forum, Albuquerque, NM, 2002.
8. Joshi, P.B e outros “Light-weight Structural Material with Integral Radiation Shielding, Thermal Control and Electronics”, 44th International SAMPE Symposium and Exhibition, Long Beach, CA, 1999.