



LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



**4º Workshop
Nanoaeroespacial**

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

SIMULADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA TESTES DE CÉLULAS SOLARES (SOLSIM)

**Dr. Célio Costa Vaz, Sócio-fundador e Diretor de Engenharia da
Orbital Engenharia Ltda – orbital@bighost.com.br**

**Dr. Nelson Veissid, pesquisador do LAS do Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais (INPE) – veissid@las.inpe.br**

1 Introdução

2 Descrição e Tipos de Simuladores

***3 Simulação de vários simuladores na caracterização de
diferentes células solares***

4 Resultados

5 Conclusões



LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Introdução: Os sistemas chamados de “Simulador Solar” permitem produzir em laboratório as condições de iluminação da luz solar, as quais são **INTENSIDADE, ESPECTRO, UNIFORMIDADE e ESTABILIDADE TEMPORAL**. Um simulador solar pode ser de luz pulsada ou luz contínua. Dependendo da área de iluminação (10cmX10cm até alguns m²) e da **CLASSE**, o seu preço varia de U\$20.000 até U\$500.000.

Normas de classificação da ABNT NBR 11879, ASTM e IEC

Característica	Classe A	Classe B	Classe C
-Uniformidade da radiação	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 10\%$
-Estabilidade temporal	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 10\%$
-Casamento espectral	$\leq \pm 25\%$	$\leq \pm 40\%$	$\leq +100\%$ e -60%



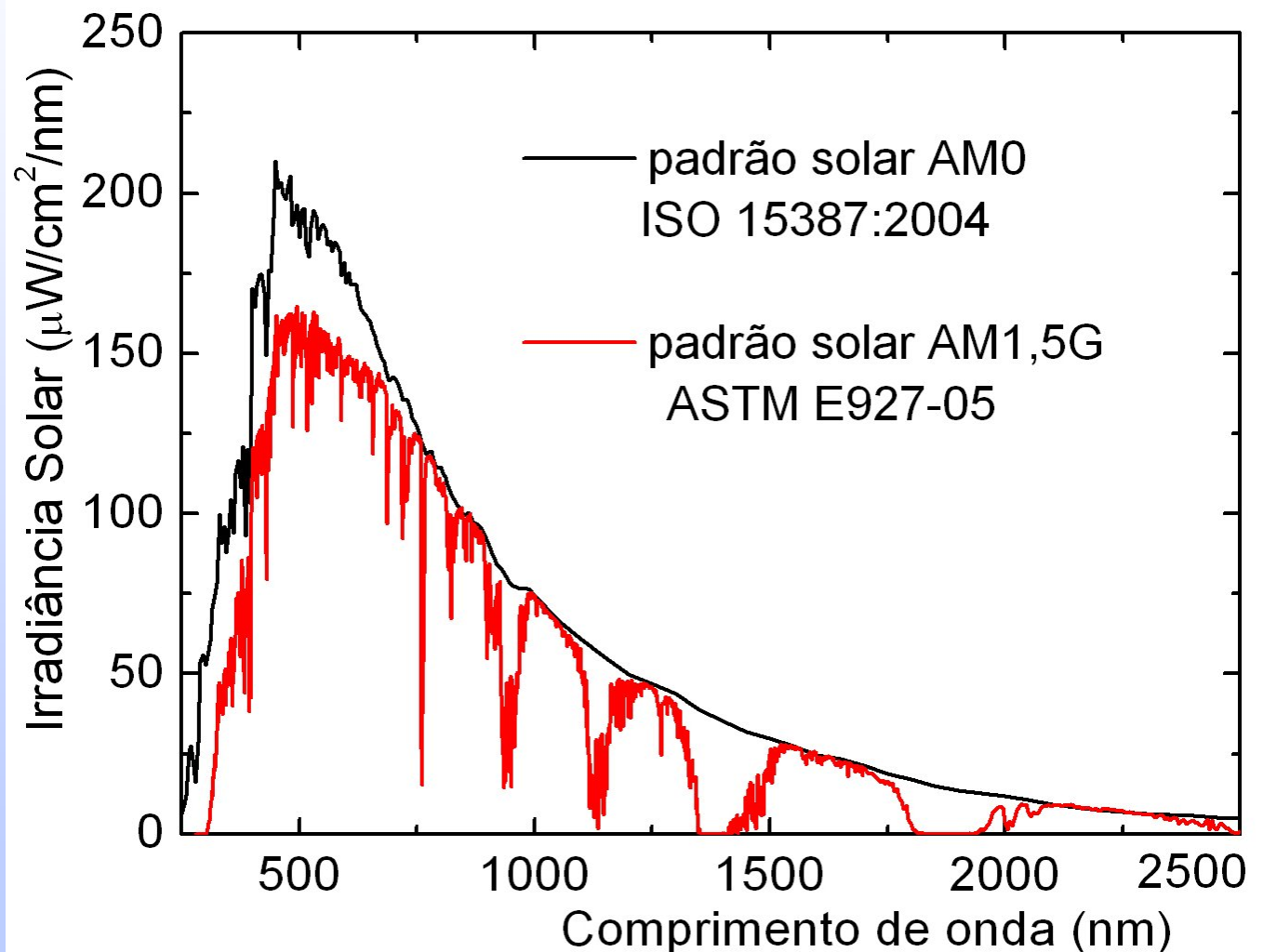
LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Introdução: O espectro solar extraterrestre encontrado em torno da Terra, conhecido como AM0 (air mass null), tem intensidade de 1367 W/m^2 e o espectro terrestre encontrado na superfície, conhecido como AM1,5G, tem uma intensidade de 1000 W/m^2 .





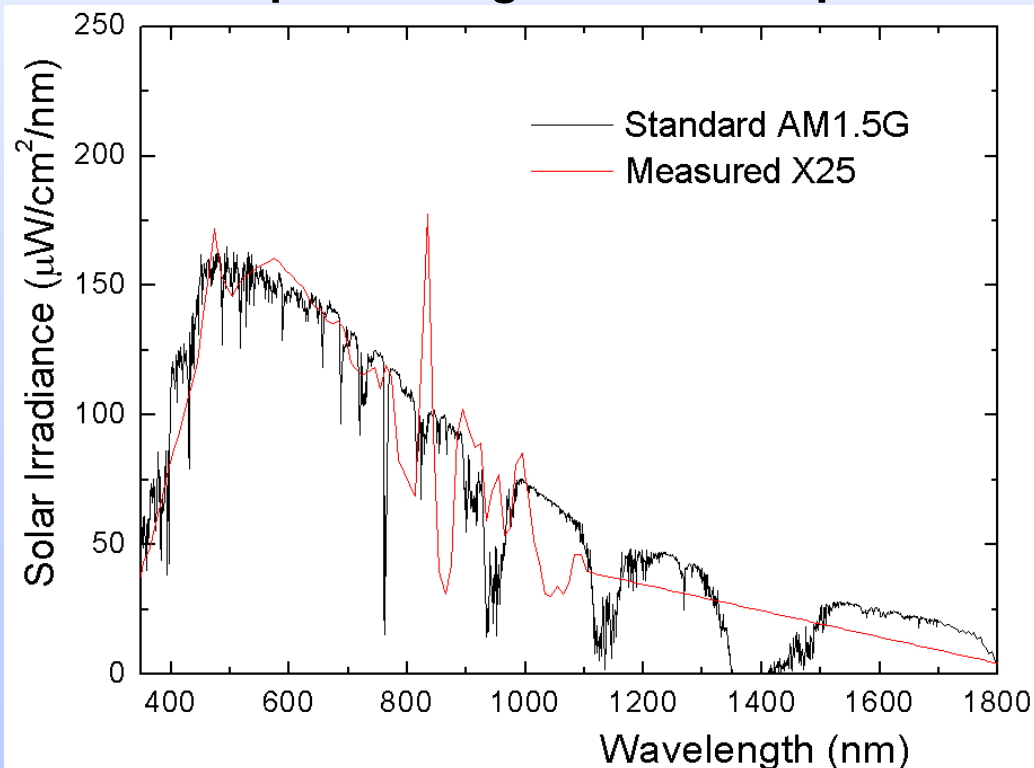
LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Descrição: simulador Spectrolab X-25L (U\$150.000) é de classe A e ilumina uma área de 20cmX20cm e usa lâmpada de descarga em gás Xenon de 3000 W com vida de 1500 hrs. Filtros de alta qualidade garantem o espectro.





LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



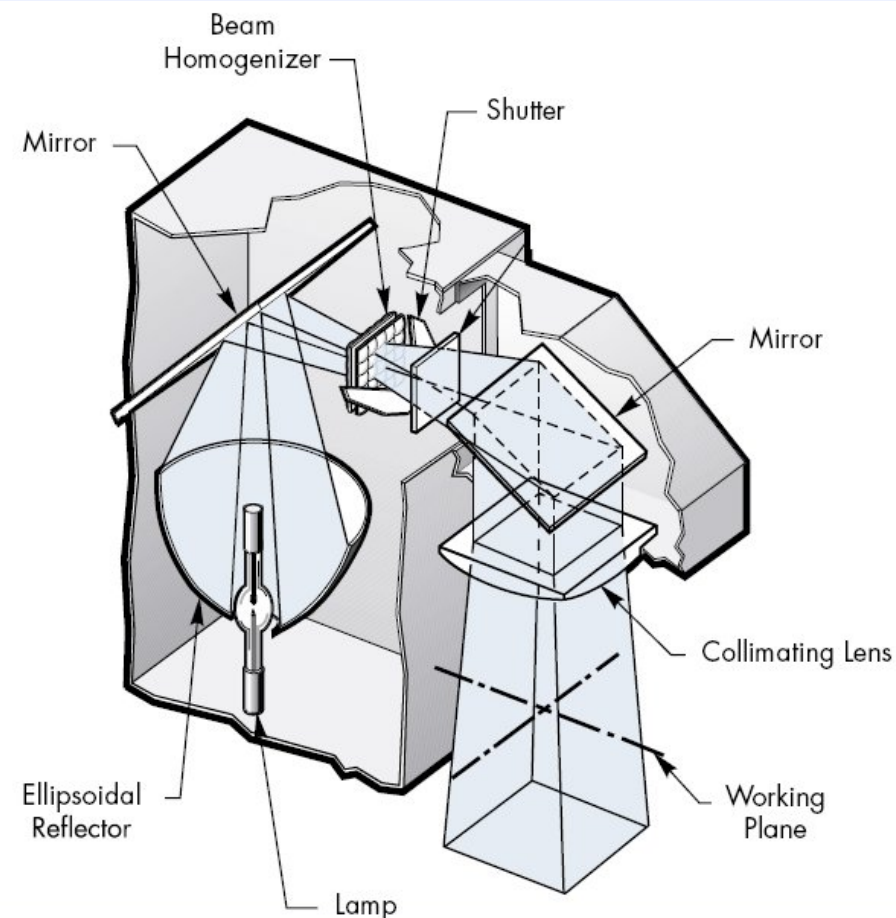
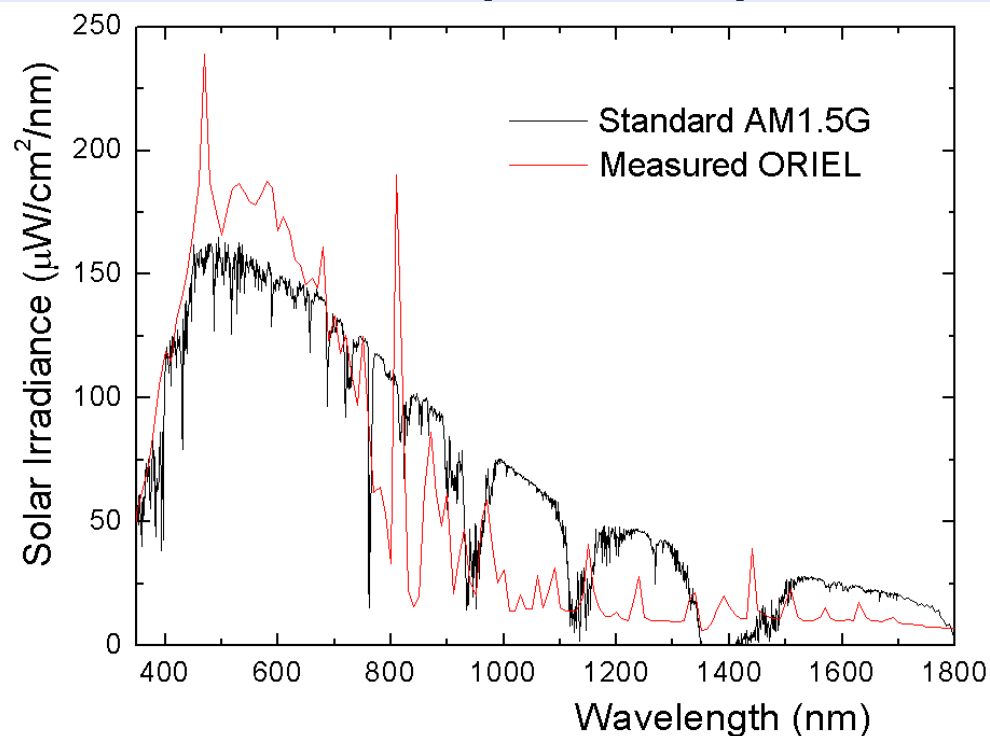
4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Descrição: simulador solar comercial da ORIEL e outras marcas de classe B ou C (U\$30.000 ou U\$50.000), 10cmX10cm ou 15cmX15cm.

Usa lâmpada de Xenon (300W, até 1600W) com vida de 1000 hrs.

Filtros razoáveis produz espectro.





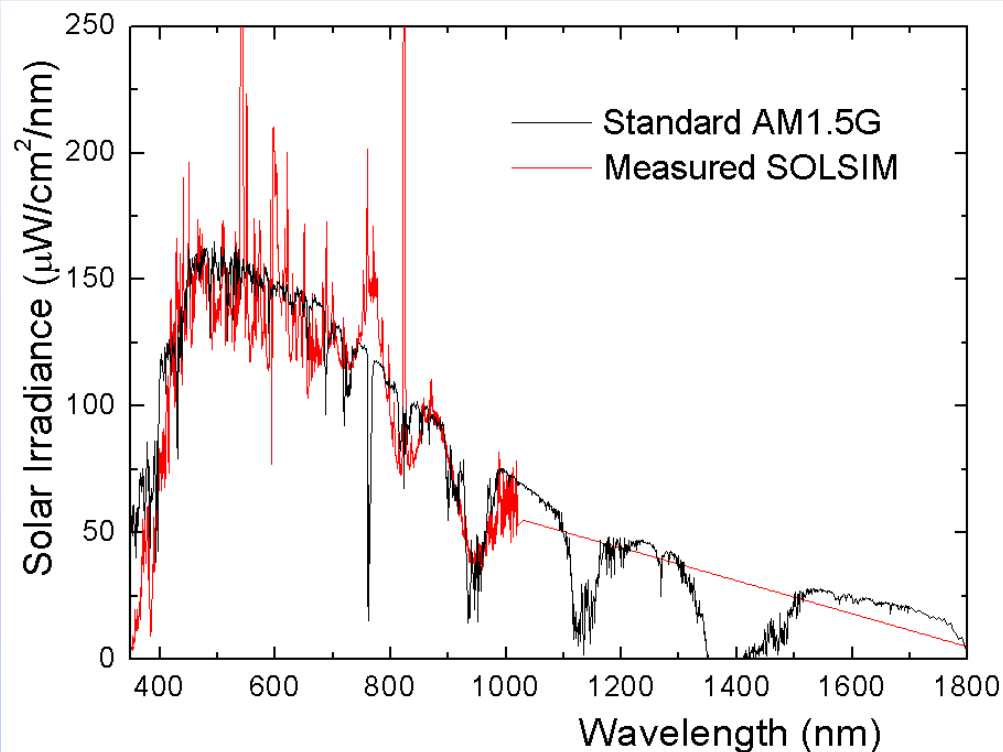
LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Descrição: simulador solar nacional, modelo SOLSIM, da empresa Orbital Eng. Ltda desenvolvido no INPE através de projeto FINEP (U\$15.000), usa dois tipos de lâmpadas com vida de 6000 hrs.





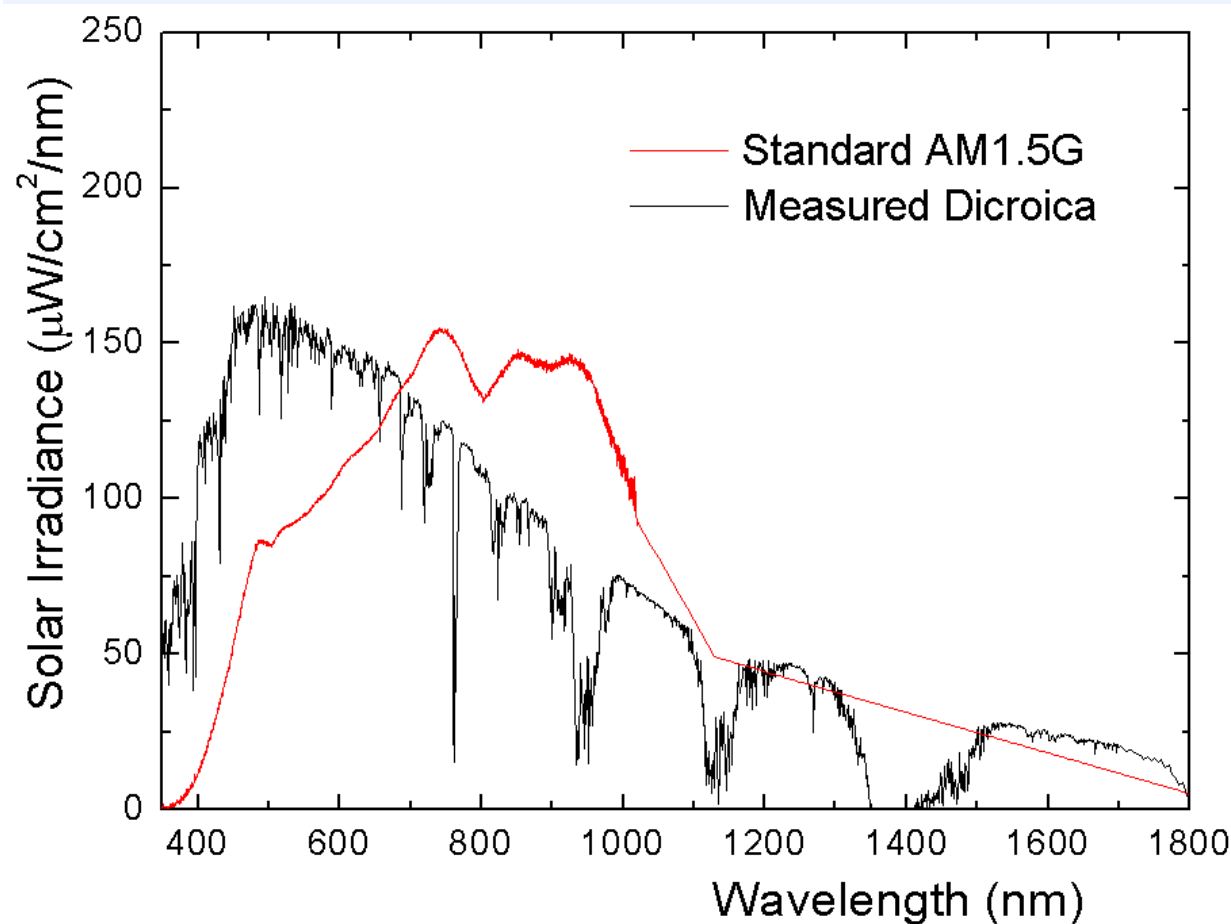
LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

**Descrição: simulador solar “homemade”
montado com lâmpadas dicróicas.**





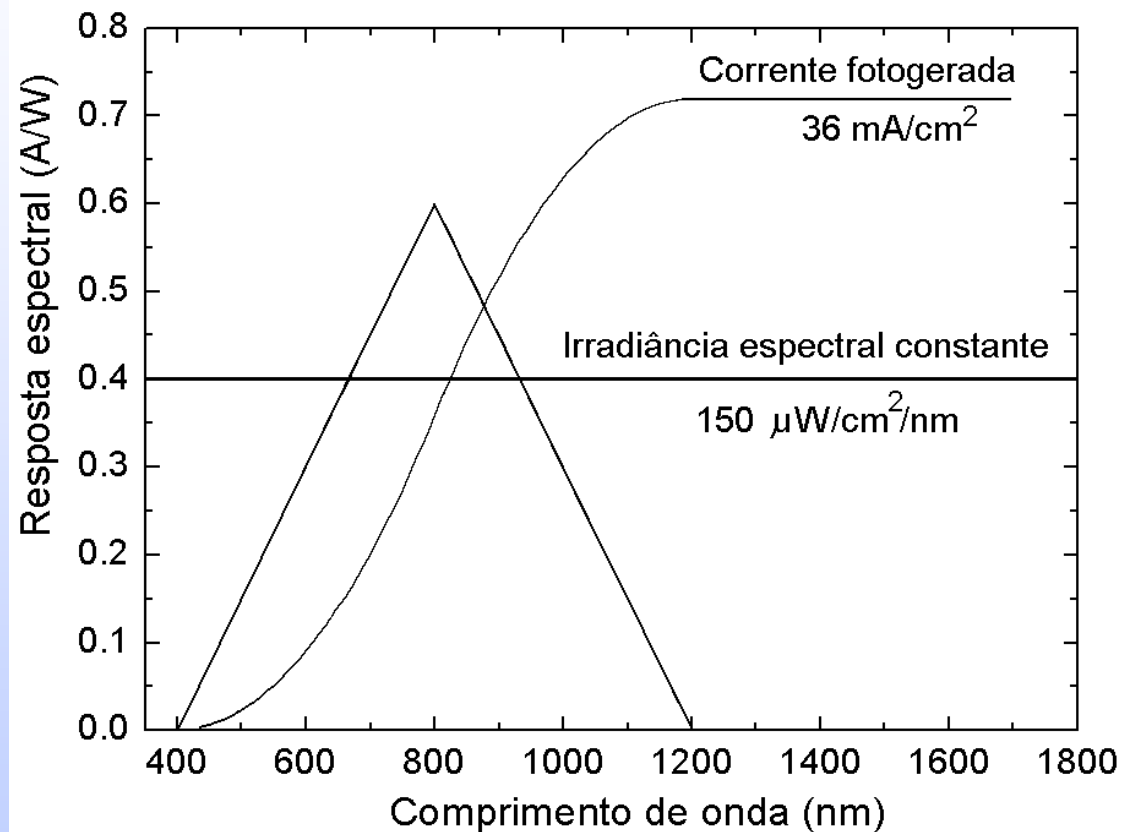
LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

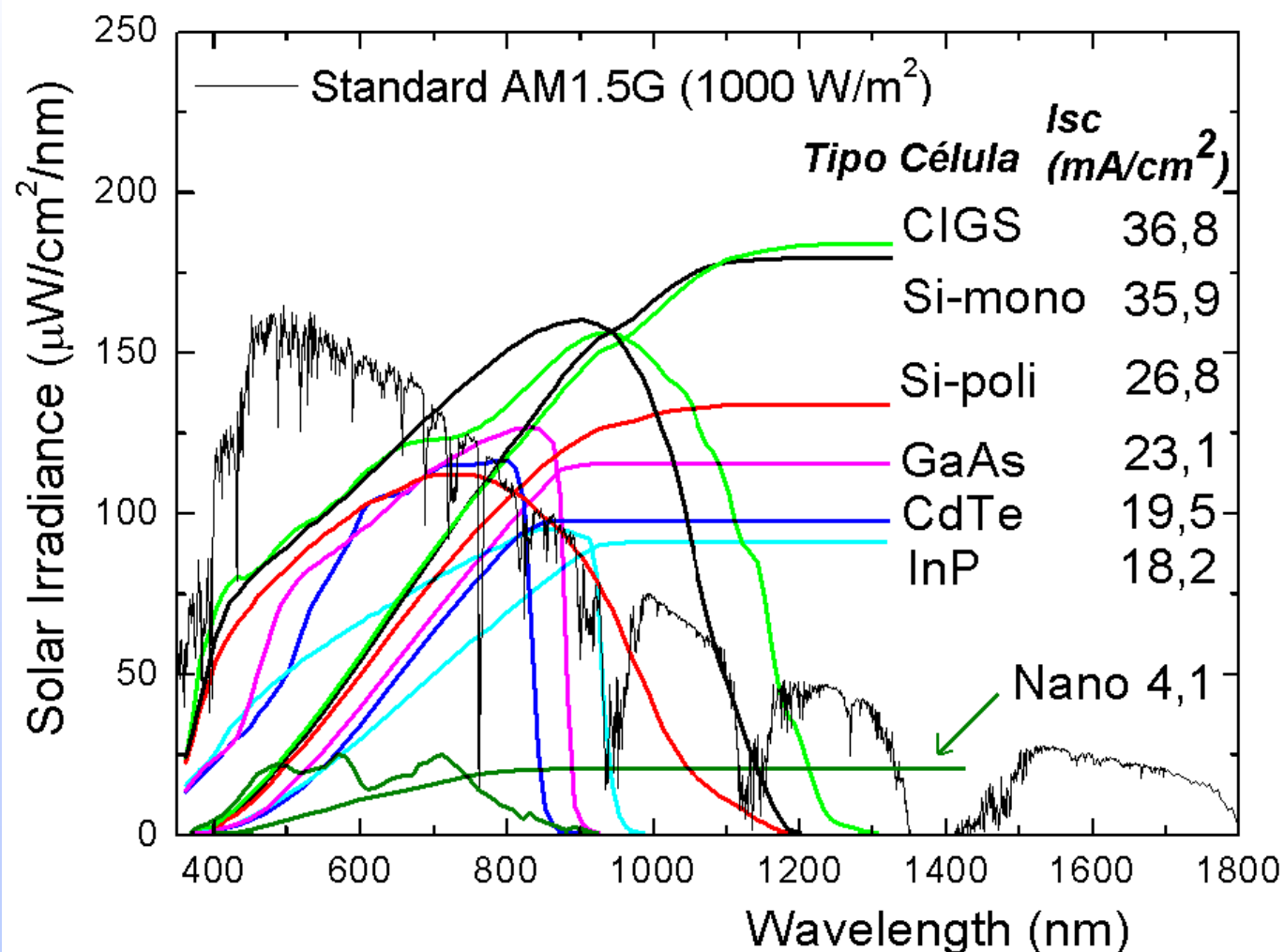
30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Simulação: A corrente fotogerada (mA/cm^2) ou corrente de curto circuito (I_{sc}) de uma célula solar pode ser estimada pela integral do produto da Irradiância Espectral ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$) com a resposta Espectral do dispositivo (A/W). Conforme a seguinte equação:



$$I_{sc} [\text{mA}/\text{cm}^2] = \int_0^{\infty} P(\lambda) RE(\lambda) d\lambda$$

Simulação: o padrão AM1,5G define os valores de referência para as diferentes células solares de monojunção. Este mesmo cálculo realizado com os espectros dos diferentes simuladores solares vai mostrar aquele com menor desvio médio.





LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Resultado: Os valores entre parenteses são os desvios.

Tipo de Célula	Padrão		Tipo de simulador solar		
	(mA/cm ²)	Xenon A	Xenon B	SOLSIM	Homemade
Si-mono	35,90	35,39 (-1,4%)	32,71 (-8,9%)	35,76 (-0,4%)	40,45 (+12,7%)
Si-poli	26,77	26,56 (-0,8%)	26,39 (-1,4%)	26,80 (+0,1%)	26,95 (+0,7%)
CIGS	36,81	36,11 (-1,9%)	32,93 (-10,5%)	36,73 (-0,2%)	41,36 (+12,4%)
GaAs	23,07	22,49 (-2,4%)	23,09 (+0,1%)	23,39 (+1,4%)	22,27 (-3,5%)
CdTe	19,51	19,49 (-0,1%)	20,45 (+4,8%)	19,90 (+2,0%)	18,02 (-7,6%)
InP	18,20	17,98 (-1,2%)	17,64 (-3,1%)	18,39 (+1,0%)	18,83 (+3,5%)
Nano	4,11	4,11 (0%)	4,51 (+9,7%)	4,11 (0%)	3,33 (-19,0%)
DESVIO MÉDIO		1,1%	5,5%	0,7%	8,5%



**LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE**



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Resultado: O SOLSIM da Orbital Eng. Ltda usa inédito sistema composto por dois tipos diferentes de lâmpadas em uma configuração geométrica que permite regulagem para se obter a melhor uniformidade possível.



O sistema tem 4 lâmpadas de descarga em gás (150 W cada) e 20 lâmpadas dicróicas especiais (50 W cada). O sistema é alimentado com 220 V e consome 2000 W. A alimentação das lâmpadas é mantida constante manualmente por VARIAC.



LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE

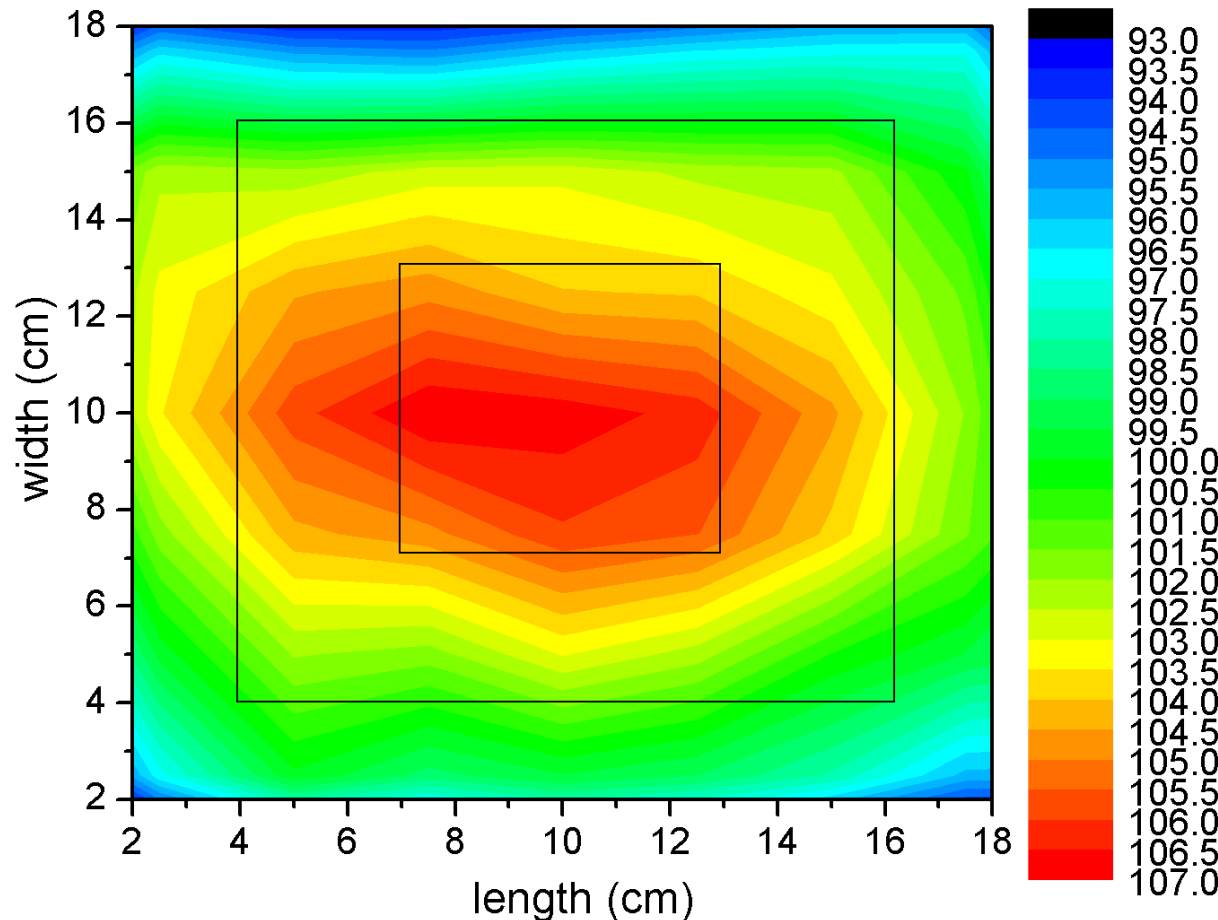


4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Resultado: A (não) uniformidade de um simulador solar é dado por:

$$\text{Unif. (\%)} = 100 \cdot (P_{\text{MAX}} - P_{\text{MIN}}) / (P_{\text{MAX}} + P_{\text{MIN}}) / 2, \text{ Norma ABNT NBR 11879.}$$



O SOLSIM na área de
16cmX16cm, Unif.= 7%;
12cmX12cm, Unif.= 5% e
6cmX6cm, Unif.= 2%.

Portanto, quanto a Uni-
formidade o SOLSIM é :

16cmX16cm, CLASSE C
12cmX12cm, CLASSE B
e 6cmX6cm, CLASSE A.



LABORATÓRIO ASSOCIADO
DE SENSORES E MATERIAIS
LAS/CTE - INPE



4º Workshop Nanoaeroespacial

30 de novembro e 01 de dezembro de 2009
Parque Tecnológico de São José dos Campos - SP

Conclusões:

- Simulador solar fabricado com lâmpada xenon precisa de bons filtros e óptica correta para serem classificados como Classe B ou A.
- O SOLSIM usa dois tipos diferentes de lâmpadas para reproduzir o espectro solar e, desta forma, forma o espectro solar CLASSE A.
- No SOLSIM a uniformidade é obtida por ajuste na unidade de iluminação.
- O sistema é de fácil manutenção pois os componentes são encontrados em lojas de lâmpadas especiais.
- O SOLSIM não necessita de bancadas para sua montagem, pois o sistema está condicionado em rack de 19" com altura de 1,80 m.
- Regulagem manual da intensidade luminosa através da leitura do indicador digital.
- Simulação feita neste trabalho garante medidas melhores do que $\pm 2\%$.
- Preço (U\$15.000) é inferior do que os importados (orbital@bighost.com.br).