

1. Publicação nº <i>INPE-4248-PRE/1121</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>LAS</i>	Programa <i>CELSO/CELSIG</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CÉLULAS SOLARES CÉLULA SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO</i> <i>PAINÉIS SOLARES</i>			
7. C.D.U.: <i>535.215</i>			
8. Título <i>O EXPERIMENTO CÉLULA SOLAR DO PRIMEIRO SATÉLITE DA MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA</i>		10. Páginas: <i>9</i>	
		11. Última página: <i>8</i>	
9. Autoria <i>Paulo Nubile Nelson Veissid Antonio F. Beloto Leonel F. Perondi Afrânio Torres Filho</i>		12. Revisada por <i>Ram Kishore</i> <i>Ram Kishore</i>	
Assinatura responsável <i>Paulo de Siqueira</i>		13. Autorizada por <i>Marco Antonio Käupp</i> <i>Marco Antonio Käupp</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <p><i>O primeiro satélite de coleta de dados da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), cujo lançamento está previsto para o primeiro semestre de 1989, carregará a bordo o Experimento Célula Solar (ECS) que visa demonstrar a capacitação de laboratórios de pesquisa nacionais na produção de células solares e painéis solares de qualificação espacial. O ECS consiste em aproveitar uma área de 61 x 61 mm disponível em um dos oito painéis laterais do satélite para a colocação de três arranjos de duas células solares de 20 x 19 mm em série, num total de seis células solares. Cada arranjo é conectado a uma resistência de carga fixa, forçando a operação das células nos pontos de circuito aberto, curto-circuito e máxima potência, o que permitirá observar a degradação dos parâmetros de interesse (V_{oc}, I_{sc}, I_{mp} e V_{mp}) com os ciclos térmicos e danos de radiação durante a missão.</i></p>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e Ciência (CBRAVIC), 22-24 de julho de 1987, PUC, Rio de Janeiro, RJ.</i>			

O EXPERIMENTO CÉLULA SOLAR DO PRIMEIRO SATÉLITE DA
MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA

Paulo Nubile, Nelson Veissid, Antonio F. Beloto,
Leonel F. Perondi e Afrânio Torres Filho

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Laboratório Associado de Sensores e Materiais - LAS
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

O primeiro satélite de coleta de dados da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), cujo lançamento está previsto para o primeiro semestre de 1989, carregará a bordo o Experimento Célula Solar (ECS) que visa demonstrar a capacitação de laboratórios de pesquisa nacionais na produção de células solares e painéis solares de qualificação espacial. O ECS consiste em aproveitar uma área de 61 x 61 mm disponível em um dos oito painéis laterais do satélite para a colocação de três arranjos de duas células solares de 20 x 19 mm em série, num total de seis células solares. Cada arranjo é conectado a uma resistência de carga fixa, forçando a operação das células nos pontos de circuito aberto, curto-circuito e máxima potência, o que permitirá observar a degradação dos parâmetros de interesse (V_{oc} , I_{sc} , I_{mp} e V_{mp}) com os ciclos térmicos e danos de radiação durante a missão.

1. INTRODUÇÃO

O Experimento Célula Solar será uma carga útil do primeiro satélite da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Foi concebido para avaliar a capacidade de fabricação, por parte da indústria e dos laboratórios de pesquisa nacionais, de painéis solares de qualificação espacial, além de permitir a realização de pesquisas sobre o desempenho das células solares no espaço.

O primeiro satélite da MECB, com lançamento previsto para o início de 1989, deverá ter uma vida útil de seis meses e uma altitude de 750 km, período de órbita de 100 minutos, sendo 60 minutos iluminado pelo Sol e 40 minutos eclipsado, com uma velocidade de rotação em torno de seu eixo de 180 r.p.m. O Experimento Célula Solar (ECS) será incorporado a um dos seus oito painéis laterais.

Este trabalho descreve o ECS e as experiências que com ele se deseja realizar.

2. DESCRIÇÃO DO ECS

Os dados de projeto para a concepção do ECS são os seguintes:

- Área disponível: 61 x 61 mm
- Peso máximo: 300 g
- Número de telemetrias: 3
- Potência disponível para o tratamento dos sinais: 0
- Nível dos sinais de saída: 0 a 5 V.

Considerando tais condições, optou-se pela configuração ilustrada na Figura 1. A área disponível (61 x 61 mm) é suficiente para acomodar seis células solares de 20 x 19 mm cada, formando três arranjos distintos de duas células em série. Os três conjuntos são colados a uma estrutura de alumínio com uma camada isolante intermediária de Kapton.

Um dos arranjos é ligado em paralelo com uma resistência de carga fixa de 2Ω , forçando a operação do arranjo próximo à condição de curto-circuito. O segundo arranjo é ligado a uma resistência de 10Ω , forçando a operação do arranjo próximo à condição de máxima potência. O terceiro arranjo não é ligado a nenhuma resistência, forçando sua operação no ponto de circuito aberto.

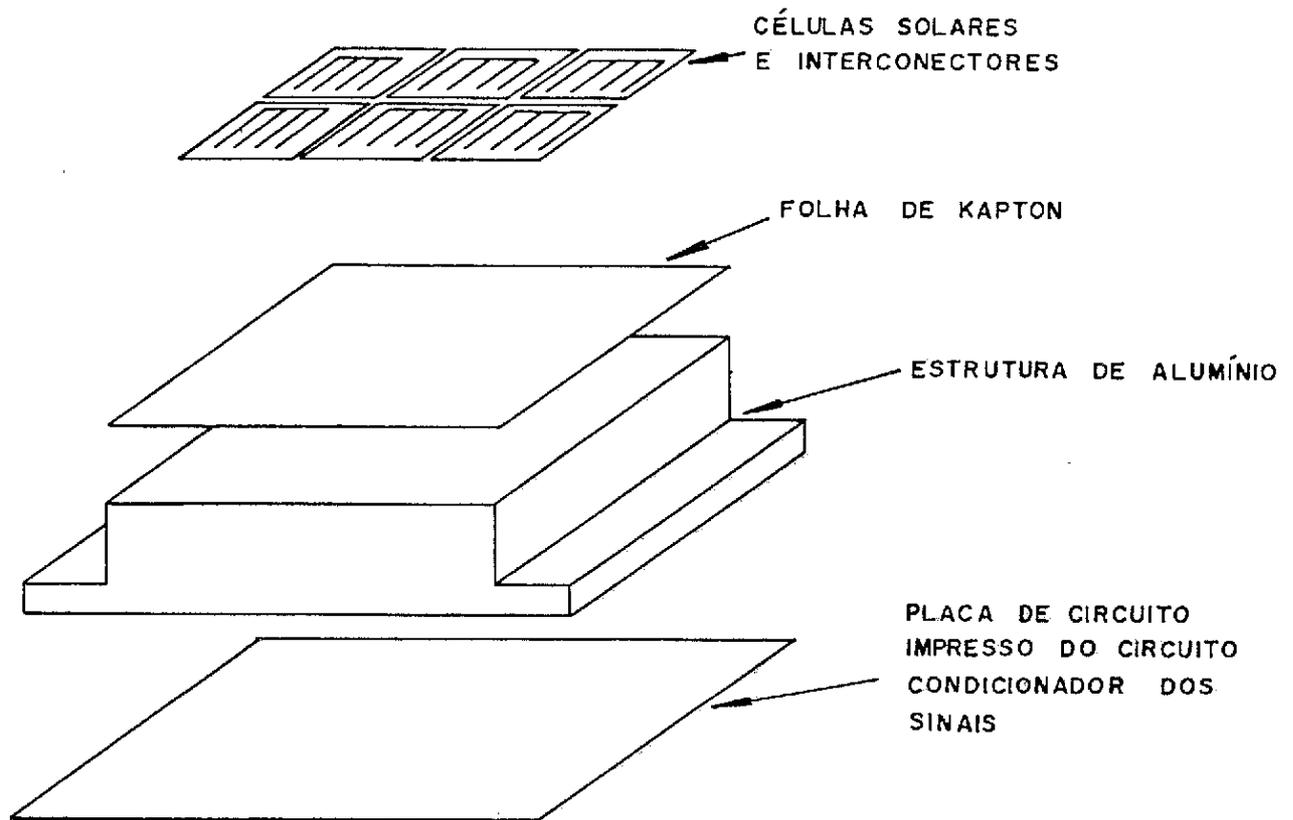
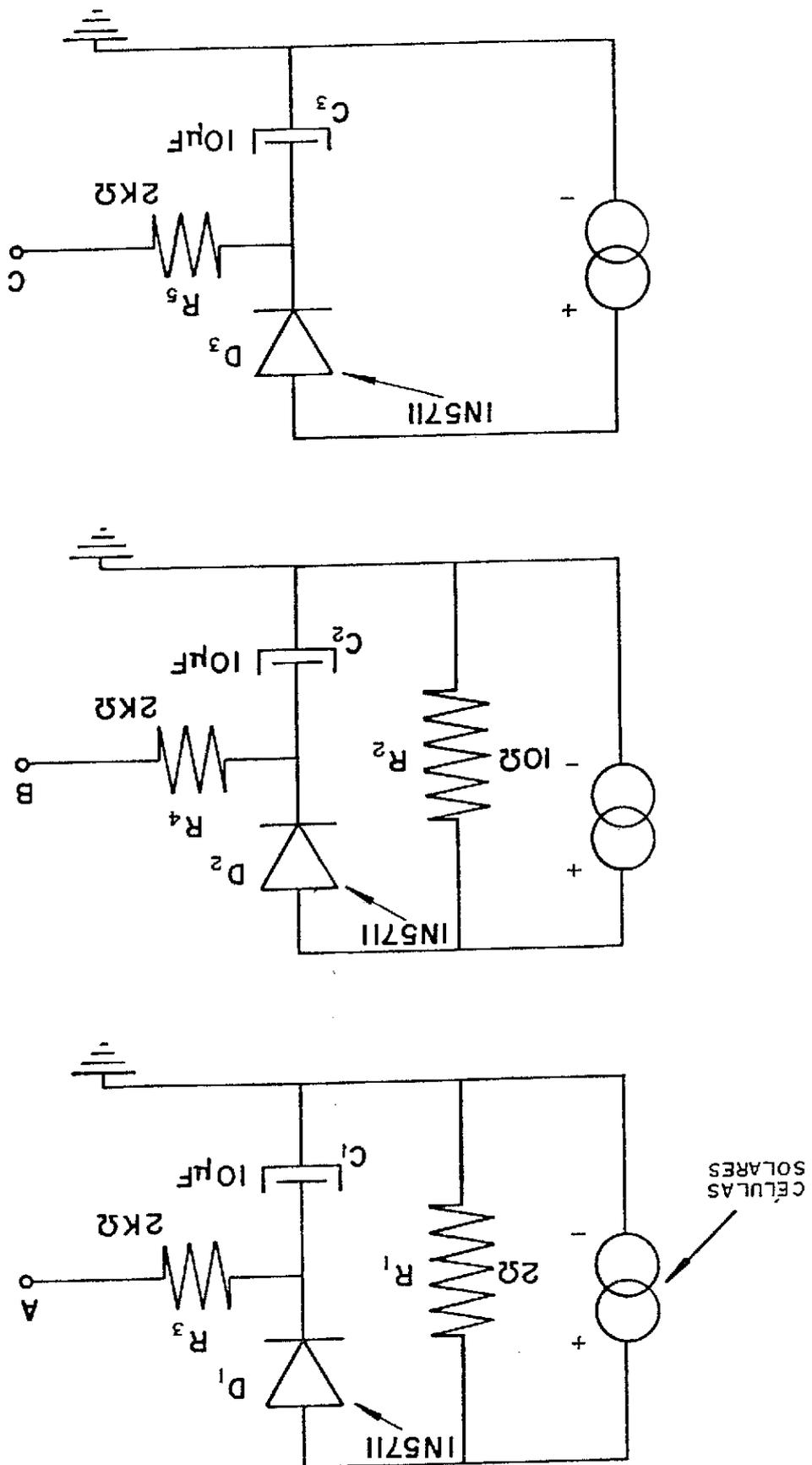


Fig. 1 - Vista explodida do Experimento Célula Solar (ECS).

A Figura 2 mostra o circuito elétrico completo condicionador do sinal do ECS. Os sinais de saída de cada arranjo são injetados em detectores de pico formados pelos diodos e capacitores. Com isto, consegue-se nas saídas A, B e C níveis contínuos proporcionais à tensão de pico em cada arranjo.

Os sinais A, B e C serão amostrados e enviados em intervalos de 500 ms para a estação terrena de Cuiabá. A combinação desses dados com os dados enviados pelos sensores de atitude do satélite e de temperatura do experimento permitirão a avaliação da degradação dos parâmetros V_{oc} (tensão de circuito aberto), I_{sc} (corrente de curto-circuito) e V_{mp} (tensão de máxima potência) ao longo da vida útil do satélite.

Fig. 2 - Esquema elétrico completo do ECS.



3. CÉLULAS SOLARES

As células solares utilizadas no ECS são de silício monocristalino, fabricadas no Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP (LME/USP). Suas características principais são:

- 1) Substrato do tipo P, obtido por fusão zonal, resistividade de 10 Ohm.cm e espessura de 200 μm ;
- 2) Camada difundida de fósforo de 0,1 a 0,3 μm de profundidade, \bar{n}_D mero de doadores da ordem de 10^{19}cm^{-3} ;
- 3) "Back Surface Field" obtido por implantação ou difusão de boro na superfície traseira;
- 4) Metalização dianteira de Ti-Pd-Ag com fator de sobreposição de 5%;
- 5) Metalização traseira de Ti-Pd-Ag;
- 6) Camada anti-refletora de Ta_2O_5 ou TiO_2 .

A Figura 3 ilustra a curva de corrente por tensão de uma célula solar típica utilizada no ECS. Esta curva foi obtida para o AMO a 25°C utilizando o simulador solar ORIEL-1000 W.

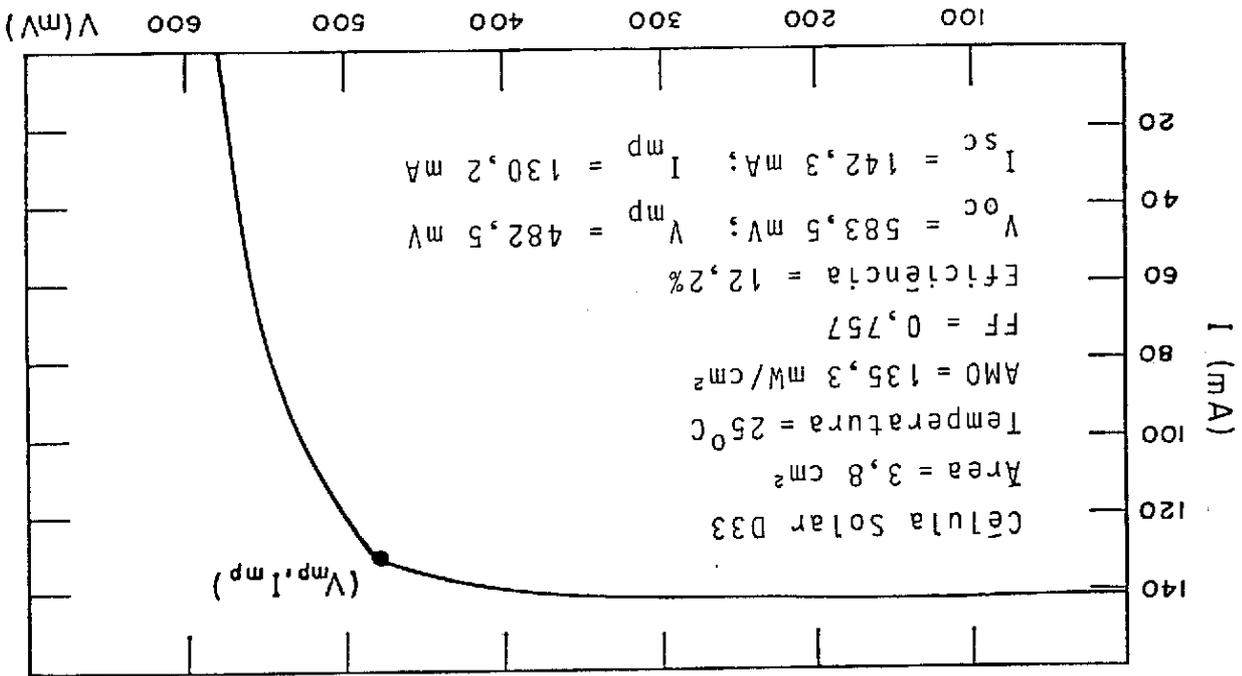


Fig. 3 - Curva de uma célula solar típica usada no ECS.

4. SIMULAÇÃO DO ECS

Para prever o desempenho do ECS e, posteriormente, compará-lo com os dados enviados pelo satélite, foi elaborado um programa de simulação capaz de fornecer os níveis de saída de cada arranjo ao longo de uma órbita, considerando fixa a atitude do satélite em relação ao Sol.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados dessa simulação para o caso em que as laterais são iluminadas frontalmente. A Figura 4 fornece as curvas dos sinais A, B e C em uma órbita para o início de vida, e a Figura 5 mostra as mesmas curvas para o fim de vida (decorridos 6 meses do lançamento).

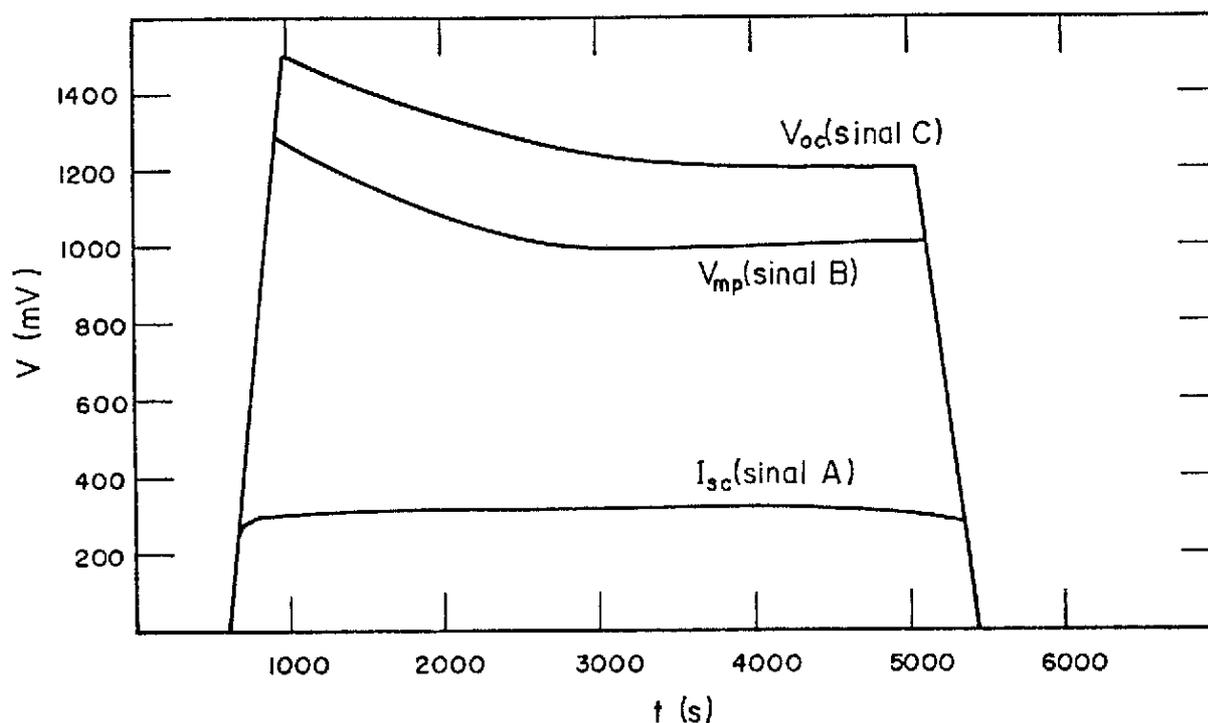


Fig. 4 - Sinais de saída A, B e C ao longo de uma órbita no início de vida útil.

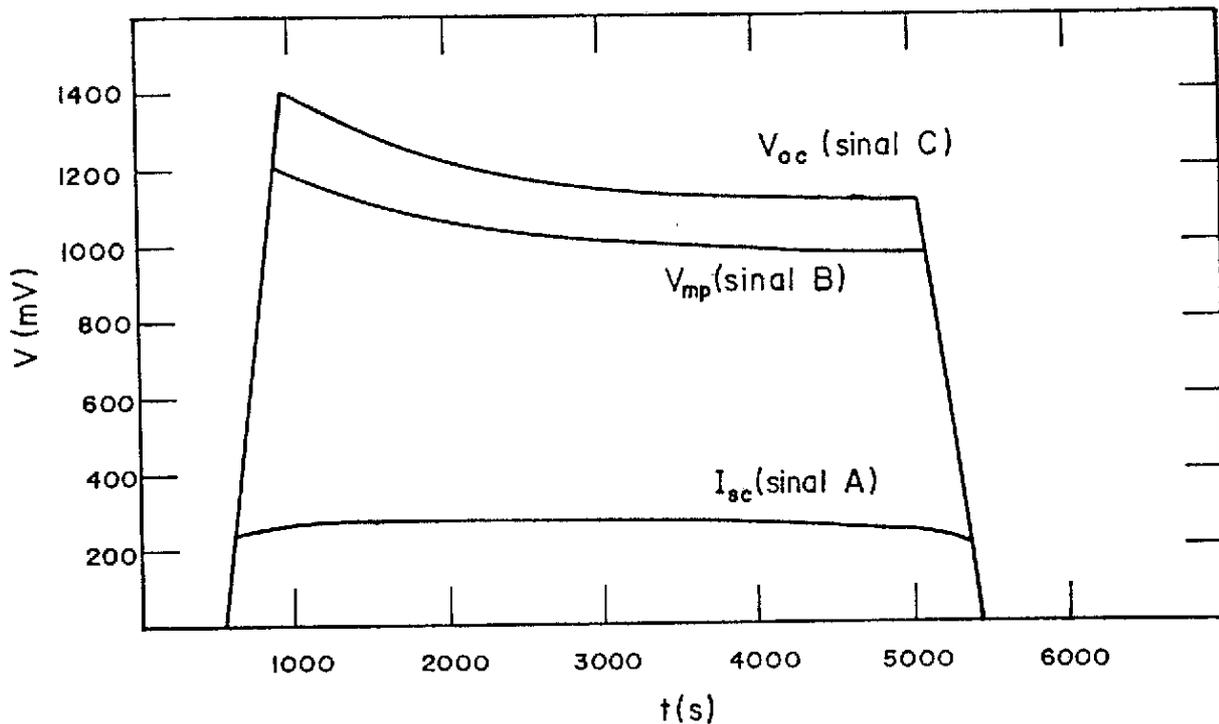


Fig. 5 - Sinais de saída A, B e C ao longo de uma órbita no final de vida útil.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Um primeiro protótipo do ECS foi montado utilizando células solares de silício convencionais (sem o "Back Surface Field"), interconectores de cobre com uma película de ouro eletrodepositada, cobertura protetora contra danos de radiação de vidro de 200 μm de espessura. Os componentes eletrônicos utilizados no circuito de condicionamento do sinal foram do tipo comercial com $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $C_1 = C_2 = C_3 = 10\ \mu\text{F}$, $D_1 = D_2 = D_3 = 1\text{N}5711$ e $R_3 = R_4 = R_5 = 2\ \text{k}\Omega$.

O ECS foi submetido a testes térmicos (cinco ciclos completos de -50°C a $+70^\circ\text{C}$) e testes de vibração. Para avaliar os efeitos da vibração e dos ciclos térmicos foram feitos testes de funcionalidade à temperatura ambiente antes e depois dos testes térmicos e de vibração. Os resultados estão sintetizados na Tabela 1.

TABELA 1

RESULTADOS DOS TESTES DE FUNCIONABILIDADE

TESTE DE FUNCIONABILIDADE	SINAL A (V_{oc} (mV))	SINAL B (V_{mp} (mV))	SINAL C (I_{sc} (mV))
Antes	840	720	30
Depois	835	710	29

Os testes de funcionabilidade foram feitos à temperatura ambiente utilizando uma fonte de luz de tungstênio e um "chopper". A intensidade luminosa foi calibrada através de uma célula solar de referência ORIEL. Os valores de tensão obtidos estão 80 mV abaixo dos valores esperados, o que é atribuído à queda de tensão nos diodos schottky.

Está prevista a fabricação de mais dois protótipos antes da fabricação do modelo de voo. A utilização de células solares com melhorias e a utilização de adesivos qualificados espacialmente deverão melhorar os resultados dos testes de funcionabilidade.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao LME/USP pelo uso de suas facilidades na produção de células solares e aos seus pesquisadores Adnei M. de Andrade, Inês Pereira e Fernando F. Josepetti pelas discussões proveitosas.

TÍTULO

0 experimento célula solar do ^{primeira} 1º satélite da Missão Espacial Completa Brasileira

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

Paulo Nubile, Nelson Veissid, Antonio F. Beloto, Leonel F. Perondi e Afrânio Torres Filho.

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

— / — / —

— / — / —

DIVULGAÇÃO

EXTERNA INTERNA RESTRITA

EVENTO/MEIO

CONGRESSO REVISTA OUTROS

NOME DO REVISOR

Ram Kishore

NOME DO RESPONSÁVEL

Luiz C. M. Miranda, Chefe do LAS

REV. TÉCNICA

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

— / — / —

— / — / —

Ram Kishore

APROVADO

DATA

ASSINATURA

SIM
 NÃO

— / — / —

Luiz C. M. Miranda

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

171

1

01/07/87

Keusa Maria de

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

6

01/07/87

Keusa Maria de

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

— / — / —

Nº DA PUBLICAÇÃO: 4248PRE/1120

PÁG.:

CÓPIAS:

Nº DISCO:

LOCAL:

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

SIM

NÃO

— / — / —

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Submetido para apresentação no 8º CBRAVIC, a ser realizado de 22-24 de julho de 1987, no Rio de Janeiro, RJ.

Palavras chaves: CELULAS SOLARES, PAINÉIS SOLARES, CÉLULA SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.