



**Franciele Braga Machado Túllio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)**

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4

Atena
Editora
Ano 2020





**Franciele Braga Machado Túllio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)**

A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4

Atena
Editora
Ano 2020



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Túllio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-911-0

DOI 10.22533/at.ed.110201301

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Túllio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga. III. Série.

CDD 620.0072

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 4” apresenta dezesseis capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas em diversas áreas de engenharia.

A pesquisa científica é a principal ferramenta para produzir conhecimento e inovação para uso da sociedade.

Esta obra apresenta diversos textos científicos que abordam temas ligados a engenharia aeroespacial, que buscam melhorar materiais, equipamentos e métodos aplicáveis a evolução nessa área do conhecimento.

Diversas aplicações da matemática, estatística e computação também são exploradas pelos pesquisadores nesta obra.

Esperamos que o leitor se deleite nas pesquisas selecionadas e que estas possam contribuir para a produção de ainda mais pesquisas. Boa Leitura!

Franciele Braga Machado Túllio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A RELEVÂNCIA DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA CIENTÍFICA NO ENSINO SUPERIOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA	
Fabiano Battemarco da Silva Martins Patrícia Guedes Pimentel Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
DOI 10.22533/at.ed.1102013011	
CAPÍTULO 2	17
APLICATIVO DEDICADO AO DIMENSIONAMENTO DE PARAQUEDAS	
Rafael Andrade E Silva Maurício Guimarães da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.1102013012	
CAPÍTULO 3	26
APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS ATÉ 2025	
Laina Pires Rosa Leandra Cristina Crema Cruz Pedro Alexandre da Cruz	
DOI 10.22533/at.ed.1102013013	
CAPÍTULO 4	39
APPROACH PROPOSAL FOR CRITICAL SOFTWARE PROCESSES SELECTION FOR SPACE PROJECTS IN VERY SMALL ENTITIES (VSE)	
Gledson Hernandes Diniz Ana Maria Ambrosio Carlos Henrique Netto Lahoz Benedito Massayuki Sakugawa	
DOI 10.22533/at.ed.1102013014	
CAPÍTULO 5	48
APRIMORAMENTO DE UM MÉTODO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS MILITARES E ESPACIAIS	
Carlos Eduardo da Silva Santos Ana Paula de Sá Santos Rabello Marcelo Lopes de Oliveira e Souza	
DOI 10.22533/at.ed.1102013015	
CAPÍTULO 6	57
CADEIA DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO NO BRASIL EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	
Pedro Henrique Beghelli Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos Maria Vitória Duarte Ferrari	
DOI 10.22533/at.ed.1102013016	

CAPÍTULO 7 77

CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO

João Vitor Silveira Cercená
Ana Carolina Marcelo da Silva
Luiz Gustavo de Souza Soares
Vaime Trescher de Moraes Junior

DOI 10.22533/at.ed.1102013017

CAPÍTULO 8 86

EFEITO DA ADIÇÃO DE 0,15%ZR E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA LIGA AL-6%MG NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Beatriz Seabra Melo
Natália Luiza Abucater Brum
Vinicius Silva dos Reis
Victor Lima Melo
Mateus José Araújo de Souza
Carlos Vinicius de Paes Santos
Marielle Maria Medeiros Vital
Adriano Aleixo Rodrigues
Denyson Teixeira Almeida
Altino dos Santos Fonseca
Emerson Rodrigues Prazeres
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.1102013018

CAPÍTULO 9 99

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO AMBIENTE ORGANIZACIONAL DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS DA ÁREA DE SAÚDE

Larissa de Carvalho
Daniele Martins de Almeida
Rubya Vieira de Mello Campos
Rony Peterson da Rocha

DOI 10.22533/at.ed.1102013019

CAPÍTULO 10 110

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA O EMPREGO DE MADEIRAS “ALTERNATIVAS” EM ESTRUTURA TRELIÇADA (BANZOS PARALELOS) PARA COBERTURA (TELHADO DE AÇO – INCLINAÇÃO 10°), COM VÃOS ENTRE 16 A 26 METROS

Allan Christian Alves da Luz
Roberto Vasconcelos Pinheiro
André Luís Christoforo
Francisco Antônio Rocco Lahr

DOI 10.22533/at.ed.11020130110

CAPÍTULO 11 125

METODOLOGIA DE PESQUISA PARA ENGENHARIAS

Ricardo Junior de Oliveira Silva
Dayse Mendes
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

DOI 10.22533/at.ed.11020130111

CAPÍTULO 12	132
PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO	
Márcia de Fátima Morais	
Rony Peterson da Rocha	
Larissa de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.11020130112	
CAPÍTULO 13	147
SATELLITE TELEMETRY AND IMAGE RECEPTION WITH SOFTWARE DEFINED RADIO APPLIED TO SPACE OUTREACH PROJECTS IN BRAZIL	
David Julian Molano Peralta	
Douglas Soares dos Santos	
Auro Tikami	
Walter Abrahão dos Santos	
Edson Wander do Rego Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.11020130113	
CAPÍTULO 14	165
SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ACESSO EM AMBIENTE ESCOLAR PARA CONTROLE DE SEGURANÇA	
Gleison Stopassola	
Alexandre Dalla'Rosa	
DOI 10.22533/at.ed.11020130114	
CAPÍTULO 15	174
TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A	
Bruno Carneiro Junqueira	
Silvio Manea	
Rafael Galhardo Vaz	
Odair Lelis Gonzalez	
DOI 10.22533/at.ed.11020130115	
CAPÍTULO 16	185
UM BREVE ESTUDO SOBRE AS CÔNICAS E SUAS APLICAÇÕES	
Wendell de Queiróz Lamas	
Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia	
DOI 10.22533/at.ed.11020130116	
SOBRE OS ORGANIZADORES	199
ÍNDICE REMISSIVO	200

TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A

Data de aceite: 03/12/2019

Bruno Carneiro Junqueira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo

Silvio Manea

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo

Rafael Galhardo Vaz

Instituto de Estudos Avançados
São José dos Campos – São Paulo

Odair Lelis Gonzalez

Instituto de Estudos Avançados
São José dos Campos – São Paulo

RESUMO: Uma séria dificuldade para sistemas espaciais é a radiação, provocando efeitos de curto e longo prazo em sistemas e componentes eletrônicos. Para uso destes componentes são necessários testes de radiação. Os resultados de testes referentes a Dose Ionizante Total Acumulada em um componente crítico de uso espacial são analisados e comparados com os limites aceitos de acordo com informações técnicas do fabricante do componente, avaliando como se comportaria no ambiente espacial.

PALAVRAS-CHAVE: Transistor 2N2222A; Dose Ionizante Total Acumulada; Ambiente Espacial; Componente de Satélite.

SPACE CRITICAL COMPONENT TESTING: TOTAL IONIZING DOSE (TID) TESTE ON 2N2222A TRANSISTORS

ABSTRACT: A serious difficulty for space systems is radiation, causing short- and long-term effects on electronic systems and components. For use of these components radiation tests are required. Test results for accumulated total ionizing dose in a critical component of spatial use are analyzed and compared to accepted limits according to the component manufacturer's datasheet, assessing how it would behave in the space environment.

KEYWORDS: 2N2222A Transistor; TID - Total Ionizing Dose; Space Environment; Satellite Component.

1 | INTRODUÇÃO

No ambiente espacial os componentes estão expostos a grandes taxas de radiação, e devem suportá-las por toda sua vida operacional. Portanto tais componentes devem ser resistentes à radiação, no nível necessário para atender a missão na qual estão sendo utilizados, durante o tempo de vida do satélite na órbita escolhida.

Para tal comprovação são realizados testes de irradiação no componente, onde o teste TID (Dose Ionizante Total Acumulada) e teste SEE (Efeitos de Evento Único) são testes fundamentais pois os efeitos são potencialmente destrutivos ao componente durante a vida operacional do satélite em órbita. Para mitigar estes danos são utilizadas técnicas de projeto do tipo topologias duplicadas, códigos corretores de erros e blindagens.

Cada vez mais se tem o interesse em componentes de prateleira COTS (*Commercial-Off-the-Shelf*), por já estarem disponíveis para a aquisição e serem em alguns casos os mais modernos no mercado. Porém é um risco utilizá-los sem saber ao certo suas particularidades para operação em ambiente espacial, principalmente qual a sua resistência a radiação. Com a aquisição de um lote, são selecionadas algumas amostras para a realização de testes cujo resultado determinará a resistência média destes componentes.

Esse trabalho apresenta os resultados de testes de radiação em um transistor de tecnologia bipolar com uma dose acumulada de 150 Krads(Si) em uma taxa de dose de 1 krad/h. O objetivo deste ensaio foi investigar sua tolerância aos efeitos da TID na qual o componente estará submetido quando operado em ambiente espacial.

2 | DISCUSSÃO

O espaço é um ambiente hostil e possui algumas características próprias, as principais são radiação, degaseificação, vácuo, microgravidade, oxigênio atômico e variações drásticas de temperatura. O sistema deve ser o mais confiável possível devido a impossibilidade de se fazer algum reparo no sistema depois de lançado. Durante a fabricação devem ser eliminados ou mitigados todos os riscos possíveis.

Por esta razão todas as atividades espaciais são cercadas de muito cuidado, uma falha pode representar o fim da missão. Para todo o processo de desenvolvimento do sistema espacial, deve-se ter um controle rigoroso do atendimento dos requisitos. Cada componente deve atender as especificações para a integração no sistema.

A falha de um simples componente, como transistor abordado neste trabalho, dependendo de qual for a criticidade deste, pode resultar em grandes problemas para o sistema. Por este fato, deve-se assegurar que tal componente terá um desempenho de acordo com o projetado.

2.1 Ambiente espacial (radiação)

O Planeta Terra tem duas principais proteções contra a radiação do espaço, o campo magnético e a atmosfera. O ambiente de radiação espacial varia drasticamente com a altitude, latitude e longitude da órbita e ao decorrer do tempo. A característica geográfica mais proeminente para as órbitas baixas da Terra

é a Anomalia do Atlântico Sul, que é uma área de excepcional densidade de prótons que cobre grande parte da América do Sul e do Oceano Atlântico Sul.

Os sistemas espaciais e seus componentes eletrônicos associados estão expostos ao fluxo de partículas energéticas por todo seu período de operação. Essas partículas incluem elétrons, fótons, prótons e íons pesados. Basicamente provenientes do Sol por vento solar, erupções solares e ejeções de massa coronal ou do espaço profundo por raios cósmicos galácticos.

As partículas de baixa energia, normalmente provenientes do vento solar, acabam presas no campo magnético terrestre, passando a ter um movimento em espiral ao redor das linhas de campo. Estas partículas se concentram em duas regiões chamadas de cinturões de Van Allen interno e externo. Os elétrons se concentram no cinturão mais externo e os prótons por serem mais energéticos se concentram no cinturão mais próximo da Terra, onde o campo magnético é forte o suficiente para capturá-los. Os elétrons presos tem energia de até 7MeV enquanto que os prótons até algumas centenas de MeV (GUSEV, 2003). A Figura 1 ilustra o cinturão de Van Allen, relacionando as órbitas Geoestacionária (GEO - *Geosynchronous Earth Orbit*), média (MEO - *Medium Earth Orbit*) e baixa (LEO - *Low Earth Orbit*).

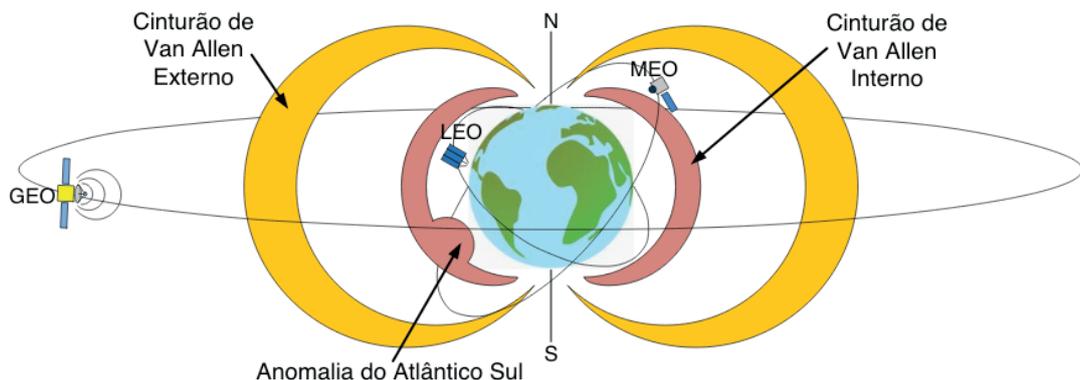


Figura 1: Representação do Cinturão de Van Allen.

Fonte: Autores.

Os cinturões de Van Allen criam uma proteção contra a radiação abaixo deles, porém sistemas espaciais que estão próximos ou em seu interior sofrem drasticamente com suas partículas.

Dependendo da energia da partícula, do seu número de massa e número atômico, causa diferentes efeitos no material que está colidindo. São divididos em três tipos descritos a seguir.

Efeito ionizante de longo prazo

Este efeito está relacionado ao TID (*Total Ionizing Dose*) que representa o total de radiação ionizante absorvido pelo componente. A dose é medida ao longo do tempo que o material ficou exposto a esta radiação, e a consequência é a mudança

das suas características paramétricas.

As partículas ao atingirem o componente, ionizam o material, gerando pares elétrons-lacunas. Os elétrons são rapidamente recombinados por possuírem uma mobilidade significativamente maior e atingem a região condutora devido ao campo elétrico aplicado, enquanto que as lacunas se recombinam muito lentamente nas regiões não condutoras, e ficam acumuladas nesta região. A medida que se tem mais bombardeamento de partículas, há o aumento de lacunas aprisionadas no componente. A Figura 2 ilustra este mecanismo.

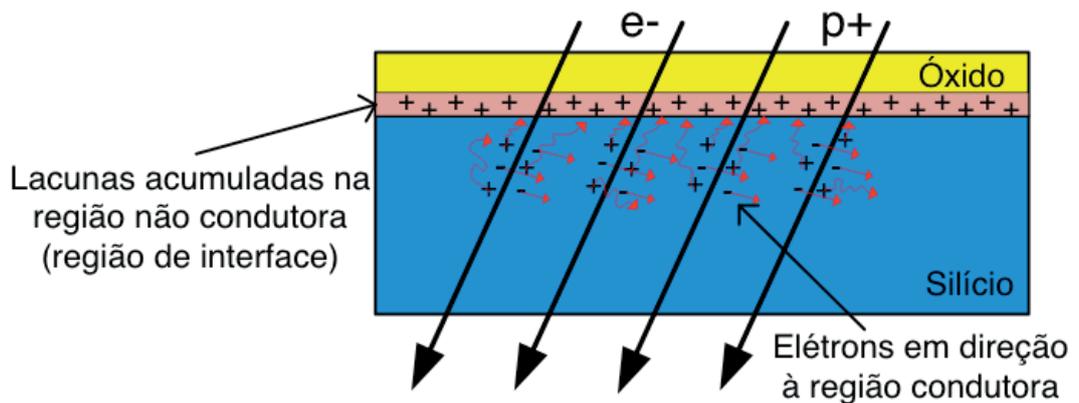


Figura 2: Esquema representativo da Dose Ionizante Total (TID).

Fonte: Autores.

A região não condutora foi dimensionada para que ocorra um salto de corrente a partir de uma determinada tensão. À medida que essas cargas vão aumentando no material, é equivalente a uma polarização permanente retida no isolante e portanto a tensão de disparo reduz, ou seja, ocorre um desvio de parâmetros do componente eletrônico, aumentando a corrente de fuga, reduzindo a imunidade ao ruído e ocorrendo falha funcional (TODD, 2015).

Em componentes antigos (cuja a escala é maior) o acúmulo de carga leva mais tempo para apresentar efeitos relacionados à TID. Já para componentes modernos (menores em escala), não se tem espaço físico suficiente para o acúmulo dessas cargas. A tendência tecnológica de diminuição do tamanho dos componentes, torna os efeitos da TID desprezíveis. Mas para a radiação que causa efeito de evento único esse efeito é considerado importante, podendo gerar falhas como será visto a seguir.

Efeitos não ionizantes de longo prazo

Denominado de Dose de Dano de Deslocamento (DDD - *Displacement Damage Dose*) corresponde a uma quebra de estrutura cristalina do semiconductor, devido ao impacto de prótons, normalmente presos no cinturão de Van Allen, degradando o material a longo prazo, sem que ocorra ionização. A energia gerada pelas partículas incidentes é suficiente apenas para deslocar um átomo da estrutura cristalina (TODD,

2015). A Figura 3 ilustra este mecanismo.

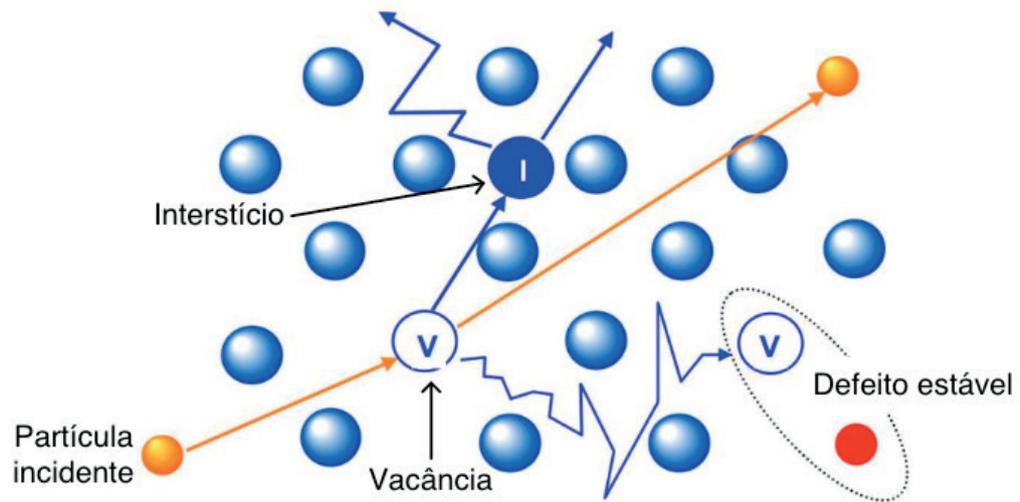


Figura 3: Esquema representativo da Dose de Dano de Deslocamento (DDD).

Fonte: Poivey, 2017.

Efeitos ionizantes de curto prazo

Chamado de efeitos de evento único (SEE - *Single Event Effect*), ocorrem com o impacto de uma partícula, raio cósmico galáctico ou próton com alta energia, transferindo sua energia ao material, produzindo uma trilha de ionização e gerando um pulso transiente de corrente (TODD, 2015). A Figura 4 ilustra este mecanismo.

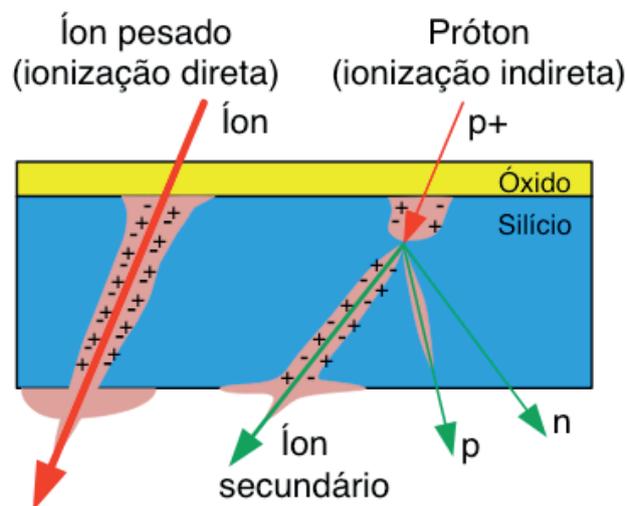


Figura 4: Esquema representativo do Efeito de Evento Único (SEE).

Fonte: Junqueira, 2019.

Testes que reproduzam o SEE tem um custo consideravelmente alto, por exigirem altos níveis de energia e equipamentos complexos e caros. Por este motivo, estes testes não são realizados com tanta frequência. Normalmente a taxa de ocorrência deste efeito é baixa, e geralmente quando não é possível realizar o teste, são inseridas mitigações que protegem o componente ao receber o transiente

de corrente.

2.2 Classe de componentes quanto a radiação

Normalmente os componentes eletrônicos são suscetíveis aos danos provocados pela radiação. Componentes com maior tolerância a estes efeitos possuem algumas variações de construção e fabricação, necessitando de um cuidadoso desenvolvimento e testes em radiação para verificar seu desempenho. Isso aumentando o custo e inviabilizando acompanhar os desenvolvimentos mais recentes dos componentes comerciais.

As classificações dos componentes em relação a sua resistência a radiação estão representados na Tabela 1.

Classe dos componentes	Resistência à Radiação	Orbita / Tempo
Comercial	< 2 Krad	Não recomendado
Tolerante à Radiação	< 30 Krad	700 Km / ~ 4 anos
Resistente à Radiação	> 100 Krad	Missões de longa duração ou interplanetárias

Tabela 1: Classe de componente referente resistência à radiação.

Fonte: TODD, 2015.

A determinação da resistência à radiação, só é comprovada com testes de radiação, componentes comerciais não são submetidos a tais testes, porém alguns destes componentes podem atender aos níveis de radiação previstos em um determinado projeto e obter um bom desempenho em determinada função no tempo estipulado.

2.3 Transistor 2N2222A

O Transistor é um componente fundamental na eletrônica, usando o princípio de controle de corrente, funciona como amplificador ou interruptor de sinais elétricos. Constitui uma estrutura de cristais semicondutores, sendo duas camadas de cristais do mesmo tipo de dopagem intercaladas por uma camada de cristal do tipo de dopagem oposta, correspondendo a base, as camadas externas correspondem ao emissor e coletor.

Pode-se estabelecer três estados do transistor, corte, saturação e região ativa.

Na região ativa pode-se fazer o controle da corrente coletor-emissor pela injeção de corrente na base. A junção coletor-base é polarizada reversamente e a junção base-emissor é polarizada diretamente. Proporcional a corrente de base se estabelece a corrente entre os terminais de coletor-emissor, funcionando como amplificador (BOYLESTAD, 2004).

O estado de corte corresponde à faixa onde a corrente do coletor-emissor é zero, e no estado de saturação a corrente no coletor-emissor permanece máxima mesmo com variação da corrente da base. A utilização do transistor nos seus estados de saturação e corte, de modo a conduzir corrente entre emissor e coletor, é conhecido por operação de chaveamento. A Figura 5 mostra graficamente as regiões do transistor.

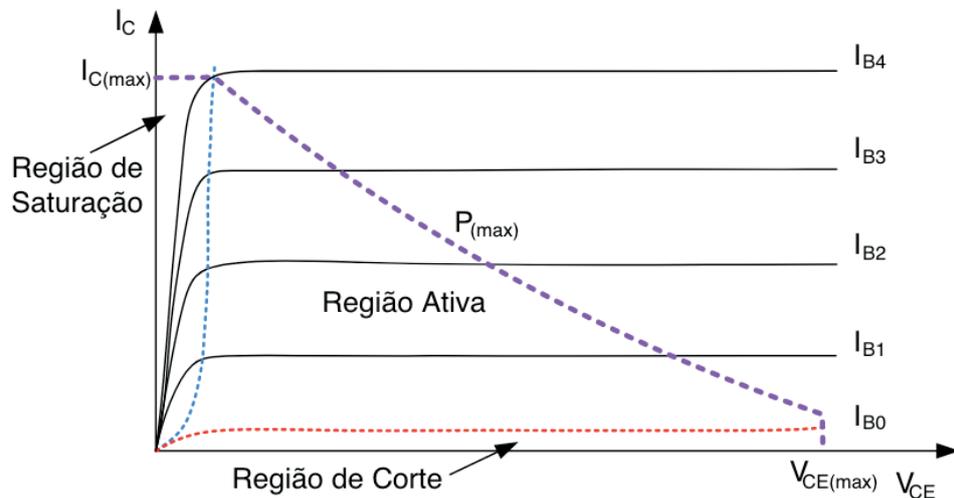


Figura 5: Regiões de operação do transistor.

Fonte: Modificado de BOYLESTAD, 2004.

O transistor analisado no presente trabalho foi o 2N2222A junção NPN, junção bipolar ou BJT (*Bipolar Junction Transistor*), e está representado na Figura 6. Este transistor é utilizado em aplicações de baixa potência, tanto como comutador (chave) como amplificador. O Datasheet desse dispositivo está representado na Tabela 2.



Figura 6: Transistor 2N2222A.

Fonte: Autores.

Parâmetro	Símbolo	Condição de teste	Min.	Max.
Corrente de Corte Coletor-Base	I_{cbo}	$V_{cb} = 75$ Volts		10 μ A
Corrente de Corte Coletor-Emissor	I_{ces}	$V_{ce} = 50$ Volts		50nA
Corrente de Corte Emissor-Base	I_{ebo}	$V_{eb} = 4$ Volts		10nA

Ganho de Corrente DC	Hfe1	Ic = 0.1 mA, Vce = 10 Volts	50	
	Hfe2	Ic = 1.0 mA, Vce = 10 Volts	75	325
	Hfe3	Ic = 10 mA, Vce = 10 Volts	100	
	Hfe4	Ic = 150 mA, Vce = 10 Volts	100	300
	Hfe5	Ic = 500 mA, Vce = 10 Volts	30	
Tensão de Saturação Base-Emissor	Vbesat1	Ic = 150 mA, Ib = 15 mA	0,6	1,2
	Vbesat2	Ic = 500 mA, Ib = 50 mA		2
Tensão de Saturação Coletor-Emissor	Vcesat1	Ic = 150 mA, Ib = 15 mA		0,3
	Vcesat2	Ic = 500 mA, Ib = 50 mA		1

Tabela 2: Datasheet do componente.

Fonte: Datasheet Microsemi.

3 | MÉTODO

Inicialmente, foi avaliado o comportamento dos parâmetros elétricos de 11 amostras do transistor 2N2222A. Em seguida, 5 amostras foram polarizadas na configuração ON e 5 em OFF e irradiadas, conforme a Figura 7. A peça restante ficou como amostra de controle e não foi irradiada e nem alimentada, servindo como referência para as outras amostras (Vaz, 2016).

O Experimento foi realizado nos LRI (Laboratório de Radiação Ionizante) do IEAv (Instituto de Estudos Avançados) à temperatura ambiente de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Os transistores foram expostos à radiação gama de uma fonte de Cobalto 60, a qual possibilita a variação da taxa de dose ajustando a distância do dispositivo da fonte (Vaz, 2016).

O teste foi realizado com uma dose total acumulada de 150 krad, sendo esta aplicada em 9 etapas de irradiação. Após o término da irradiação ficaram 24h à temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) nas mesmas condições de polarização. Depois os transistores tiveram todos os seus terminais aterrados e expostos à 100°C durante 1 semana (168 horas) (Vaz, 2016).

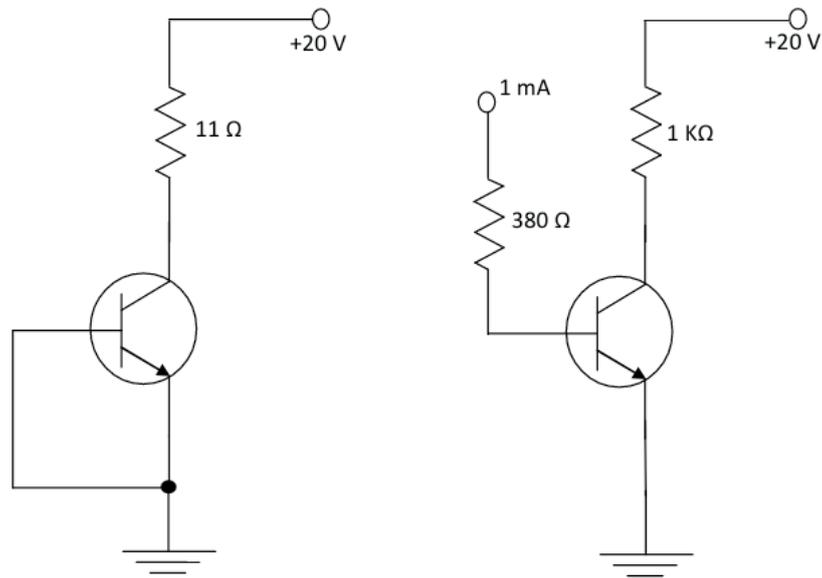


Figura 7: Polarização nas condições respectivamente OFF e ON para o ensaio TID.

Fonte: Autores.

4 | RESULTADOS

Os resultados obtidos ao longo das doses de radiação e do recozimento estão representados nos gráficos a seguir, com as médias das polarizações ON e da polarização OFF, o transistor de referência e os limites dos parâmetros.

Na Figura 8 está representado o parâmetro de Corrente de Corte Emissor-Base, conforme observado, as médias dos transistores nas duas polarizações não ultrapassam o limite estipulado para o componente, também não ocorrem modificações visíveis neste parâmetro.

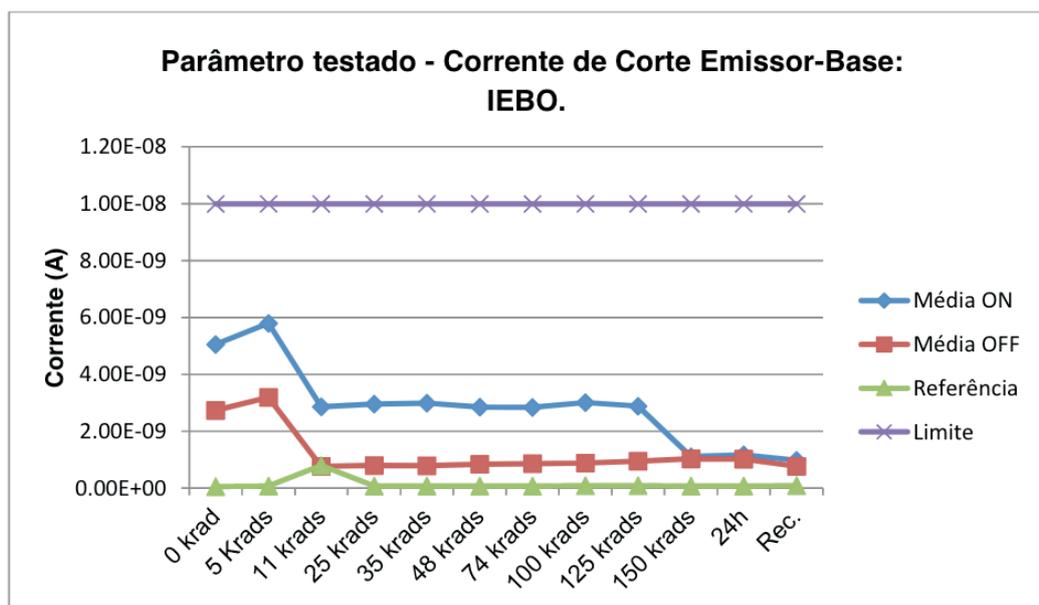


Figura 8: Gráfico do parâmetro Corrente de Corte Emissor-Base.

Fonte: Autores.

Nas situações de corrente de corte, ocorrem gráficos similares, não ultrapassando o valor limite.

Na Figura 9, está representado o parâmetro de ganho de corrente DC, onde fica claro que a medida que o componente foi recebendo dose de radiação seu ganho foi reduzindo drasticamente, no caso da média de polarização OFF depois de 11 Krads ficaram abaixo do limite, e no caso da média de polarização ON depois de 48 Krads ficaram abaixo do limite.

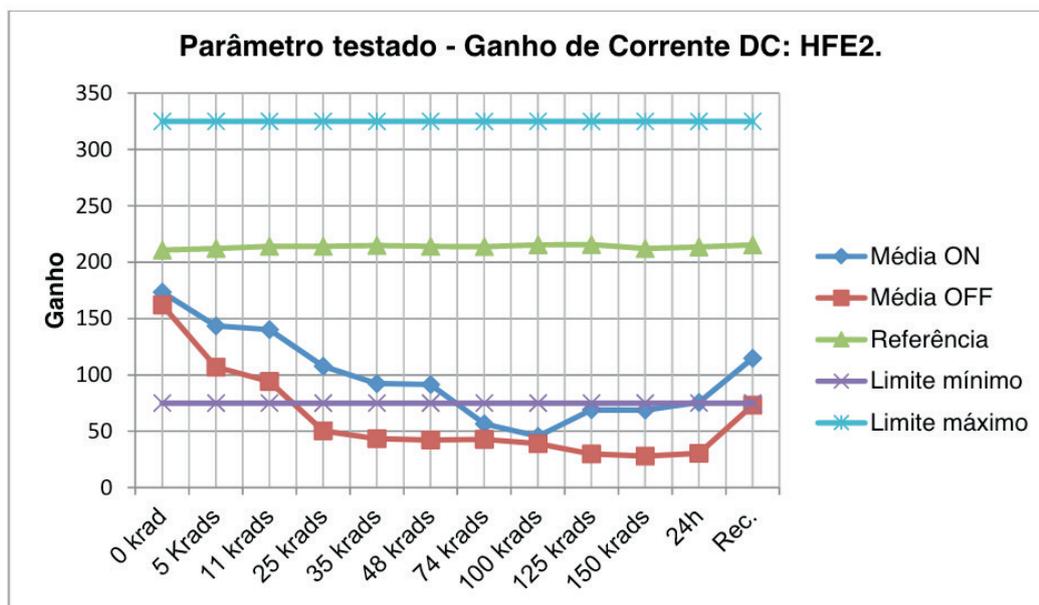


Figura 9: Gráfico do parâmetro de Ganho de Corrente DC.

Fonte: Autores.

Da mesma forma ocorreram nos demais parâmetros de Ganhos de Corrente DC, caindo abaixo do limite mínimo.

O recozimento com o transistor aterrado faz com que gradualmente o componente recupere as características paramétricas. No caso do ganho de corrente, em polarização ON houve uma recuperação parcial e em polarização OFF não houve recuperação.

Os Efeitos TID em transistores de tecnologia BJT são relacionados, principalmente, ao aumento da corrente de base. O que pode ser justificado devido ao aumento da relação geração/recombinação de cargas na base e/ou devido ao aumento da corrente de fuga para a base, especialmente quando há um óxido na superfície entre as regiões coletor-base-emissor, gerando um acúmulo de cargas nessas interfaces. Este aumento na corrente de base resulta em uma diminuição do ganho (Vaz, 2016).

5 | CONCLUSÃO

O presente trabalho constituiu nos testes TID realizados no transistor 2N2222A verificando como foi o comportamento dos transistores irradiados tanto ON quanto OFF, relacionados ao componente de referência e verificando os limites do datasheet.

Conforme observado, os transistores para a função de amplificadores não permaneceram de acordo com as especificações, o que demonstra que os mesmos não são tolerantes aos níveis de radiação aplicados. Porém para uso como chaves a variação dos parâmetros não interferiu significativamente na operação, demonstrando que o componente atende ao uso como chave no sistema eletrônico do satélite.

Os resultados obtidos indicam a necessidade de testes para componentes COTS e significa que estes testes de forma geral são um importante recurso para o desenvolvimento de sistemas e componentes, principalmente para a área espacial, onde a obtenção de componentes resistentes à radiação não é possível para o país.

6 | AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro, ao IEAv, onde foram realizados os testes e ao INPE.

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, Robert L; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

Datasheet Microsemi 2N2222A. Disponível em: <https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/8898-lds-0060-datasheet> Acesso: 20 de julho de 2018.

GUSEV, A. A. et al. **Modeling of Low-altitude Quasi-trapped Proton Fluxes at the Equatorial Inner Magnetosphere**. Brazilian Journal of Physics, v. 33, n. 4, p. 7, 2003.

JUNQUEIRA, B. C. MANEA, S. **Utilização de COTS em Nano Satélites**. II Congresso Aeroespacial Brasileiro, 2019.

POIVEY, C. **TNID Total Non Ionizing Dose or DD Displacement Damage**. ESA – CERN – SCC Workshop, 2017.

TODD, B.; UZNANSKI, S. **Radiation Risks and Mitigation in Electronic Systems**. CERN, 2015.

VAZ, Rafael G.; MANEA, Silvio; GONÇALEZ, Odair L. **Relatório de Ensaio - Dose Total Acumulada (TID): Levantamento de Componentes Críticos para Uso Espacial**. IEAv/INPE. São José dos Campos - SP, 2016.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

Lucio Mauro Braga Machado - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), Licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando na área de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aeroportos brasileiros 57, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74

Álgebra linear 185

ALT 48, 49, 50

Ambiente de tarefa 99, 101, 102

Ambiente espacial 174, 175

Ambiente geral 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108

Automatizado 77, 78, 79, 81, 85

B

Banco de dados 51, 57, 165, 169, 170

C

Cadeia de distribuição 57, 66, 71

Classificação 132, 133

Clima organizacional 99, 103, 104, 105, 106, 108, 109

Componente de satélite 174

Controle de acesso 165

Cortador-de-grama 77

D

Dimensionamento 17, 18, 22, 24, 84, 112, 115, 120, 124

Dose ionizante total acumulada 174, 175

E

Economia 75, 77, 105, 120, 193

Eficiência 23, 77, 85, 185

F

Física da falha 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55

Foguete 17

G

Geometria analítica 185, 197, 198

Ground stations 147, 148, 150

L

LDA 48, 49, 50

Limite de resistência à tração 86, 87, 88, 92, 93, 94

M

Metodologia científica 125, 126, 128, 129, 130, 131, 206

Métodos de pesquisa 125, 126, 129

Métodos de predição da confiabilidade 48, 52

Métodos de solução 132, 133, 138, 140, 144

Modelagem matemática 26, 28, 37, 146

Modelo de malthus 26, 31, 32, 35

Modelo de verhulst 26, 29, 31, 34, 35

P

Panorama 70, 75, 132

Paraquedas 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25

Profiles 39, 41, 43, 46, 47

Programação da produção 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 145

Q

Querosene de aviação 57, 58, 59, 61, 66, 69, 71, 75

R

Refino de grãos 87

S

Satellites 147, 148, 149, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Secções cônicas 185, 186, 187, 188, 197

Segurança 1, 77, 78, 79, 84, 85, 105, 115, 124, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 206

Segurança escolar 165

Servidor web 165, 170

Software defined radio 147, 164

Software processes 39, 41, 43

Soja 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Space systems 147, 174

T

Tocantins 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Transistor 2n2222a 174, 179, 180

V

Vse 39, 41, 42, 46

Z

Zircônio 86, 87, 88, 90, 97

