



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **SÍNTESE DE ANTENA TIPO REFLETOR MOLDADO PARA TRANSMISSÃO DE DADOS NA BANDA – X UTILIZANDO ÓPTICA FÍSICA**

**RELATÓRIO FINAL DE ATIVIDADES DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROCESSO N° 102648/2004-2**

**Diego dos Santos (UFSM, Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT)**

**E-mail: [diego@lacesm.ufsm.br](mailto:diego@lacesm.ufsm.br)**

**Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda (DEA/ETE/INPE - MCT, Orientador)**

**E-mail: [miranda@dea.inpe.br](mailto:miranda@dea.inpe.br)**

**Santa Maria, Julho de 2006.**



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Bolsista:**

Diego dos Santos

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Processo:**

CNPq - 102648/2004-2

**Orientador:**

Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda

Pesquisador Titular - Divisão de Eletrônica Aeroespacial -  
DEA/ETE/INPE - MCT

Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE/INPE -  
MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

**Co-Orientador:**

Dr. Nelson Jorge Schuch

Coordenador da Ação 1275 – Implantação do Centro Regional Sul de  
Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

Chefe da Unidade Regional Sul de Pesquisas Espaciais – RSU/CIE/INPE  
- MCT

**Colaboradores:**

Dr. Otávio S. Cupertino Durão

Pesquisador Titular – Divisão de Mecânica Espacial e Controle -  
DMC/ETE/INPE – MCT

Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE/INPE -  
MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT



Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Professor da Universidade Federal de Santa Maria – DELC/CT/UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT -

UFSM

Luzia Lux Lock

Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Maiquel dos Santos Canabarro

Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Cleomar Pereira da Silva

Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Thiago Brum Pretto

Estagiário CRSPE/INPE - MCT

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto – Parceria INPE - UFSM:**

***Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT***

Laboratório Radiofrequência e Comunicações

Laboratório Eletrônica

***Universidade Federal de Santa Maria - UFSM***

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT - UFSM

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, do MCT, pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica, ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, pela possibilidade de desenvolver minhas potencialidades técnico-científicas.

Obrigado ao Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda, Pesquisador Titular do DEA/ETE/INPE-MCT, em São José dos Campos, SP, Orientador deste Projeto de Pesquisa, por ter colaborado com a formação do acadêmico ao longo deste período.

Agradeço ao Dr. Nelson Jorge Schuch, Coordenador da Ação 1275 de Implantação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais e Chefe do RSU/CIE/INPE – MCT em Santa Maria, por dedicar seu tempo para escutar, entender e aconselhar o Bolsista em seu desenvolvimento pessoal e profissional, e das extensivas revisões dos meus textos técnicos, tais como, artigos, abstracts e relatórios.

Um obrigado especial ao Dr. Natanael Rodrigues Gomes, Professor da Universidade Federal de Santa Maria – DELC/CT/UFSM, Pesquisador do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM, por estar sempre disposto a esclarecer todas as dúvidas prontamente assim que elas surgiam.

Obrigado aos colegas do CRSPE/INPE - MCT, em especial a Luzia Lux Lock, Maiquel dos Santos Canabarro e Cleomar Pereira da Silva, estudantes do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, que atuam no âmbito da Parceria INPE-UFSM, e Alunos da UFSM de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE-CNPq/MCT, que atuam no CRSPE/INPE – MCT, pelas discussões e sugestões sobre diversos assuntos relacionados a este Relatório.

## RESUMO

Um programa de cooperação foi assinado em 6 de julho de 1988 entre a China e o Brasil para desenvolver satélites de Observação da Terra. Esse programa conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) combina os recursos financeiros e de recursos humanos, especialistas dos dois países, para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE/MCT realiza a análise e síntese de antenas do tipo refletor moldado para a transmissão de dados dos satélites CBERS-3 e 4, na Banda – X. Os dados a serem enviados por estas antenas são imagens obtidas por duas câmeras imageadoras utilizadas para a observação da Terra, ocupando uma banda de frequências de 136 MHz. Este tipo de antena irradia níveis de potência de forma uniforme sobre a Terra, desprezando sistemas de servomecanismos avançados. Utilizando-se métodos da Óptica Física e Óptica Física Assintótica, é possível calcular o campo distante espalhado por superfícies refletoras de revolução, quando iluminadas por ondas eletromagnéticas de polarização circular, com características conhecidas. Com o método da Óptica Física, aproxima-se a corrente na superfície refletora, tornando-se possível estabelecer uma equação capaz de determinar o campo espalhado. A Óptica Física Assintótica, apesar de ser limitada nas regiões axiais, utiliza as integrais da Óptica Física para calcular de maneira analítica o campo espalhado através do método da fase estacionária. Estes métodos apresentam a característica de identificar as partes do refletor que mais contribuem para o campo em um dado ponto de observação.

A Divisão de Eletrônica Aeroespacial, DEA/ETE/INPE – MCT, em gestão de cooperação com o Dr. Nelson Jorge Schuch definiram um projeto com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações, do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, na área de Telecomunicações, para efetuar a síntese de antenas do tipo refletor moldado para a transmissão dos dados na Banda – X, que serão aplicadas nos satélites CBERS-3 e 4.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	7
LISTA DE TABELAS .....	8
CAPÍTULO 1 .....	9
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
CAPÍTULO 2 .....	11
<b>PROGRAMA CBERS.....</b>	<b>11</b>
2.1 SATÉLITES .....	12
2.1.1 CBERS 1 .....	12
2.1.2 CBERS 2 .....	13
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES CBERS 1 CBERS 2 .....	13
2.1.4 CBERS 3 E 4.....	14
2.1.5 CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES DAS CÂMERAS DOS SATÉLITES CBERS-3 E 4.....	15
2.1.6 CONTROLE DOS SATÉLITES .....	16
CAPÍTULO 3 .....	18
<b>ANTENAS.....</b>	<b>18</b>
3.1 ANTENAS REFLETORAS .....	18
3.2 SISTEMA REFLETOR.....	22
3.3 ANTENAS COM DOIS REFLETORES CLÁSSICOS AXIALMENTE SIMÉTRICOS .....	24
CAPÍTULO 4 .....	30
<b>ÓPTICA FÍSICA.....</b>	<b>30</b>
CAPÍTULO 5 .....	36
<b>ÓPTICA FÍSICA ASSINTÓTICA.....</b>	<b>36</b>
5.1 AVALIAÇÃO ASSINTÓTICA DAS EQUAÇÕES 5.6 .....	38
5.2 CAMPO TOTAL IRRADIADO.....	39
CAPÍTULO 6 .....	42
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
APÊNDICE A .....	46
<b>TRABALHOS TÉCNICO CIENTÍFICOS APRESENTADOS EM EVENTOS COM A AUTORIA E/OU CO-AUTORIA DO ACADÊMICO .....</b>	<b>46</b>
APÊNDICE B.....	56
<b>PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA.....</b>	<b>56</b>
APÊNDICE C.....	58
<b>CERTIFICADOS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Desenho esquemático da propagação do campo eletromagnético em uma antena refletora parabólica <i>simétrica</i> .....	20
Figura 3.2 – Desenho esquemático da propagação do campo eletromagnético em uma antena refletora parabólica <i>offset</i> .....	20
Figura 3.3 - Exemplo de uma antena com dois refletores <i>Cassegrain</i> .....	21
Figura 3.4 - Exemplo de uma antena com dois refletores <i>Gregorian</i> . ....	22
Figura 3.5 – Desenho esquemático das geratrizes de uma antena ADC. ....	25
Figura 3.6 – Desenho esquemático das geratrizes de uma antena ADH. ....	26
Figura 3.7 – Aspecto tridimensional de uma antena ADC.....	27
Figura 3.8 – Aspecto tridimensional de uma antena ADH.....	27
Figura 4.1 – Geometria para as equações do campo espalhado. ....	30
Figura 4.2 – Superfície de uma Hiperbolóide.....	31
Figura 4.3 – Geometria para o espalhamento da superfície de revolução. ....	33



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Características básicas dos Satélites CBERS-3 e 4. ....	15
Tabela 2.2 – Características da Órbita dos Satélites CBERS-3 e 4. ....	15
Tabela 2.3 – Principais Características das câmeras dos Satélites CBERS-3 e 4. ....	16

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Antenas refletoras, são estruturas largamente utilizadas em telecomunicações, empregadas em diversas aplicações como comunicações terrestres, espaciais e via satélite. Em aplicações de alto desempenho, esses sistemas refletores são caracterizados principalmente pelo seu alto grau de eficiência.

É ideal que as especificações elétricas da antena variem o menos possível com as pequenas mudanças nas condições de operação da mesma, tais como a alteração da frequência e modificações nas superfícies refletoras. A limitação dessa variação é bem sucedida quando se obtém uma linearidade de comportamento da antena a partir de um bom projeto.

A busca por eficiência faz-se mais presente a cada dia, utilizando-se formas para se obter altos desempenhos com mínimos custos. Estes processos de maximização e minimização podem ser chamados a grosso modo de otimização, otimizar significa buscar a ótima solução de um determinado problema.

Existem muitos métodos para otimização e cada um deles alcança melhor resultado em um determinado tipo de problema. A escolha do método depende de uma série de características do problema a ser otimizado.

O objetivo final deste Projeto, será a otimização e síntese de uma antena do tipo refletor moldado, que possui como principal característica um diagrama moldado que fornece uma iluminação uniforme sobre a terra, sendo a Óptica Física e Óptica Física Assintótica, os métodos a serem utilizados.

Neste trabalho são demonstradas as atividades realizadas pelo Bolsista **Diego dos Santos**, durante o período em que o mesmo participou do projeto **“Síntese de Antena tipo Refletor Moldado para transmissão de dados na Banda – X utilizando Óptica Física”**, relacionado à análise e síntese de antenas do tipo refletor moldado para a transmissão de dados na Banda – X para a segunda geração dos Satélites CBRES.

O Capítulo 2 traz questões referentes ao Programa CBERS, assinado em 1988 entre o Brasil e a China, para o desenvolvimento de Satélites de Sensoriamento Remoto,

mostrando as características dos Satélites já em órbita e também dos Satélites a serem lançados.

No Capítulo 3 faz-se uma revisão teórica sobre antenas, dando ênfase a antenas refletoras, assunto que está diretamente ligado ao Projeto de Iniciação Científica PIBIC/INPE – MCT.

No Capítulo 4 apresenta-se a Óptica Física, e no Capítulo 5 a Óptica Física Assintótica, técnicas a serem utilizadas pelo bolsista para a obtenção do campo distante espalhado pelo refletor.

Finalmente no Capítulo 6 é apresentada a conclusão do trabalho com uma análise dos resultados obtidos pelo bolsista durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT.

O Apêndice A contém resumos/textos dos trabalhos desenvolvidos e apresentados, de autoria e co-autoria do bolsista, em eventos nacionais e internacionais.

No Apêndice B encontra-se o Projeto de Iniciação Científica do Bolsista.

Os certificados dos trabalhos apresentados como autor, co-autor e participação em eventos nacionais, internacionais e atividades de extensão se encontram no Apêndice C.

## CAPÍTULO 2

### PROGRAMA CBERS

O assunto descrito neste capítulo é uma adaptação dos textos encontrado no site do programa CBERS na Internet ([www.cbbers.inpe.br](http://www.cbbers.inpe.br)).

A busca por meios mais eficazes e econômicos de observar a Terra motivou o homem a desenvolver os satélites de sensoriamento remoto. Mas os altos custos dessa tecnologia tornam os países em desenvolvimento dependentes das imagens fornecidas por equipamentos de outras nações.

Na tentativa de reverter esse contexto, os governos do Brasil e da China assinaram em 06 de Julho de 1988 um acordo de parceria envolvendo o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). Esta parceria visa o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite), Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.

Com a união de recursos financeiros e tecnológicos entre o Brasil e a China, num investimento superior a US\$ 300 milhões, foi criado um sistema de responsabilidades divididas (30% brasileiro e 70% chinês), tem como intuito a implantação de um sistema completo de sensoriamento remoto de nível internacional.

A união entre os dois países é um esforço bilateral para derrubar as barreiras que impedem o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sensíveis impostas pelos países desenvolvidos. A parceria conjunta rompeu os padrões que restringiam os acordos internacionais à transferência de tecnologia e o intercâmbio entre pesquisadores de nacionalidades diferentes.

No final da década de 80, o governo chinês traçava diretrizes de desenvolvimento intensivo de vários setores, entre eles a indústria e a área espacial. Com o emprego de novas tecnologias, os chineses emergiram de duas décadas de isolamento para elevar o nível de suas competências científicas e tecnológicas.

No Brasil, o avanço nos diversos programas de satélites da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) incentivava as pesquisas na área. O interesse em convergir

os avanços espaciais em aplicações industriais visava fortalecer a economia interna e facilitar a busca por novos parceiros internacionais que colaborassem neste processo.

A experiência chinesa na construção de satélites e foguetes lançadores tornou-se o grande aliado estratégico para o governo brasileiro. Em contrapartida, o Brasil trazia em sua bagagem a familiaridade com a alta tecnologia e um parque industrial mais moderno que o existente no parceiro.

Por outro aspecto, as grandes áreas despovoadas e com vastos recursos naturais dentro do território de ambos os países se somaram à esses interesses. Além dos grandes potenciais agrícolas e ambientais, tanto o Brasil como a China viram a necessidade de monitorar constantemente essas áreas. A ferramenta para isto era Programa CBERS, que trazia em seu projeto sensores específicos para essas atividades científicas.

O Programa CBERS contemplava o desenvolvimento e construção de dois satélites de sensoriamento remoto que também levassem a bordo, além de câmeras imageadoras, repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. O CBERS-1 e 2 são idênticos em sua constituição técnica, missão no espaço e em suas cargas úteis (equipamentos que vão a bordo, como câmeras, sensores, computadores entre outros equipamentos voltados para experimentos científicos).

Os equipamentos foram dimensionados para atender às necessidades dos dois Países, mas também para ingressar no emergente mercado de imagens de satélites até então dominado pelos que integram o bloco das nações desenvolvidas.

## **2.1 SATÉLITES**

### **2.1.1 CBERS 1**

O primeiro satélite desenvolvido, o CBERS-1, foi lançado com grande sucesso pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. O lançamento ocorreu à 1h15 (horário de Brasília).

O satélite é composto por dois módulos. Um é a “carga útil”, onde são acomodadas as 3 câmeras (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI – Câmera Imageadora de Amplo

Campo de Visada) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. O outro é o “serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

Sua órbita é hélio-síncrona a uma altitude de 778 km, e faz cerca de 14 revoluções por dia, e consegue obter a cobertura completa da Terra em 26 dias.

### **2.1.2 CBERS 2**

O CBERS-2 é tecnicamente idêntico ao CBERS-1. O segundo satélite desenvolvido em conjunto com a China, O CBERS-2 foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, partindo do Centro de Lançamento de Taiyuan, na China. O horário do lançamento foi às 11h16 (horário de Pequim), o que corresponde a 1h16 em Brasília.

O CBERS-2 foi integrado e testado no Laboratório de Integração e Testes do INPE.

### **2.1.3 CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES CBERS 1 CBERS 2**

Os satélites CBERS-1 e 2 são compostos por dois módulos. O módulo "carga útil" acomoda os sistemas ópticos (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada) usadas para observação da Terra e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, e o módulo "serviço" que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

Os 1100 W de potência elétrica necessária para o funcionamento dos equipamentos de bordo são obtidos através de painéis solares que se abrem quando o satélite é colocado em órbita e se mantêm continuamente orientados na direção do sol por controle automático.

Para cumprir os rigorosos requisitos de apontamento das câmeras necessários à obtenção de imagens de alta resolução, o satélite dispõe de um preciso sistema de

controle de atitude. Esse sistema é complementado por um conjunto de propulsores a hidrazina que também auxilia nas eventuais manobras de correção da órbita nominal do satélite.

Os dados internos para monitoramento do estado de funcionamento do satélite são coletados e processados por um sistema distribuído de computadores antes de serem transmitidos à Terra. Um sistema de controle térmico ativo e passivo provê o ambiente apropriado para o funcionamento dos sofisticados equipamentos do satélite.

#### **2.1.4 CBERS 3 E 4**

Devido ao sucesso do CBERS-1 e 2, os dois governos decidiram, em novembro de 2002, dar continuidade ao Programa CBERS firmando um novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de mais dois satélites, os CBERS-3 e 4.

Nesse projeto, a participação brasileira será ampliada para 50%. A previsão de lançamento para o CBERS-3 é para 2008, e para o CBERS-4 em 2010.

Os satélites CBERS-3 e 4 representam uma evolução dos satélites CBERS-1 e 2. Para o CBERS-3 e 4, serão utilizadas no módulo carga útil 4 câmeras (Câmera PanMux - PANMUX, Câmera Multi Espectral - MUXCAM, Imageador por Varredura de Média Resolução – IRSCAM, e Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada – WFICAM) com desempenhos geométricos e radiométricos melhorados. A órbita dos dois satélites será a mesma que a dos CBERS-1 e 2.

Os satélites CBERS-3 e 4 serão compostos também por dois módulos. O módulo "carga útil" acomoda os seguintes sistemas ópticos: Câmera PanMux (PANMUX), Câmera Multi Espectral (MUXCAM), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS); Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI). Outros equipamentos como Transmissores de Dados de Imagens (DT); Gravador de Dados Digital (DDR), Transponder de coleta de Dados (DCS) e Monitor Espacial Ambiental (SEM) estão incluídos no módulo de carga útil. O módulo "serviço" contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite.

As características básicas dos satélites CBERS-3 e 4 são apresentados na Tabela 2.1:

<b>Características</b>	
Dimensão	Compatíveis com o veículo lançador LM-4
Peso	2000 kg Máx.
Potência	1500 W min
AOCS	Estabilização em três eixos, apontamento para a Terra
TT&C	Banda-S
OBDH	Sistema Distribuído
Propulsão	Hidrazina

Tabela 2.1 – Características básicas dos Satélites CBERS-3 e 4.

Fonte: [www.cbbers.inpe.br](http://www.cbbers.inpe.br)

<b>Órbita</b>	
Tipo	Compatíveis com o veículo lançador LM-4
Altitude	2000 kg Máx.
Inclinação	1500 W min
Ciclo de Repetição	Estabilização em três eixos, apontamento
Nó Descendente	Banda-S

Tabela 2.2 – Características da Órbita dos Satélites CBERS-3 e 4.

Fonte: [www.cbbers.inpe.br](http://www.cbbers.inpe.br)

### **2.1.5 CARACTERÍSTICAS PRELIMINARES DAS CÂMERAS DOS SATÉLITES CBERS-3 E 4**

O módulo “carga útil” irá acomodar os seguintes sistemas ópticos: Câmera PanMux (PANMUX), Câmera Multi Espectral (MUXCAM), Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS); Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada (WFI).

As principais características destas câmeras são apresentadas na Tabela 2.3.

<b>Sistemas Ópticos dos Satélites CBERS-3 e 4</b>				
	<b>MUXCAN</b>	<b>PANMUX</b>	<b>IRMSS</b>	<b>WFI</b>
Resolução	5 m	20 m/10 m	40 m/80 m	73 m
Largura da Faixa Imageada	120 km	60 km	120 km	866 km

Tabela 2.3 – Principais Características das câmeras dos Satélites CBERS-3 e 4.

Fonte: [www.cbbers.inpe.br](http://www.cbbers.inpe.br)

## **2.1.6 CONTROLE DOS SATÉLITES**

A operação e controle dos satélites do programa CBERS durante a fase de rotina - incluindo as manobras de ajuste de órbita para manter a fase apropriada - são efetuados ora pelo Brasil, ora pela China, em períodos alternados, de acordo com um programa unificado do Centro de Controle de Xian.

As funções relativas à programação das operações das câmeras dos satélites em resposta às solicitações dos usuários são efetuadas pelo Centro de Missão em Cachoeira Paulista. Entretanto, o elemento central de todas as operações relativas aos satélites CBERS e de seu controle de missão é o Centro de Controle de Satélite. As estações TT&C provêm o elo de ligação entre o pessoal de controle e o satélite, além de serem as estações usadas para aquisição dos dados brutos do sistema de coleta de dados do CBERS, em banda S.

O Centro de Controle de Satélites recebe uma variedade de informações do satélite que permite aos controladores manterem-se inteiramente informados sobre o status dos equipamentos do satélite, permitindo assim que executem as ações necessárias para assegurar seu correto funcionamento. Programas especiais para os computadores do Centro de Controle de Satélites permitem a troca de informações com o computador do satélite para programar seus instrumentos por meio de comandos armazenados para serem executados ao longo de muitas órbitas do satélite.

O Segmento de Solo do CBERS apóia as atividades necessárias ao controle dos satélites e ao cumprimento dos objetivos de suas missões de sensoriamento remoto.



Inclui meios para rastreamento, comando e controle dos satélites e para recepção, armazenamento, processamento e distribuição de imagens.

As estações de recepção de imagens e os centros de processamento, no Brasil e na China, são a cadeia principal de recepção de imagens. Podem ser instaladas estações em outros países para estender a cobertura potencial do CBERS.

## CAPÍTULO 3

### ANTENAS

Antena é o dispositivo cuja função é transformar energia eletromagnética guiada pela linha de transmissão em energia eletromagnética irradiada, pode-se dizer que esta lei aplica-se no sentido inverso, isto é, transformar energia eletromagnética irradiada em energia eletromagnética guiada para a linha de transmissão. Portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação onde exista radiofrequência.

Por sua natureza, deduz-se que a antena ocupa sempre o último lugar na cadeia de transmissão e o primeiro lugar na cadeia de recepção, daí a importância de seu estudo e entendimento para as telecomunicações.

No estudo e projeto de antenas, pode-se dizer que não importa em que frequência do espectro eletromagnético seja aplicada, sempre serão usados os mesmos princípios matemáticos, físicos e práticos da teoria eletromagnética, ela é constante, imutável e invariável.

Quanto maior a frequência utilizada nas antenas, maior deve ser a precisão dos dispositivos, equipamentos e medições.

#### 3.1 ANTENAS REFLETORAS

As antenas refletoras produzem uma espécie de magnificação de abertura ao adequar o campo, inicialmente limitado pelo diâmetro da abertura do alimentador, de forma a fazê-lo radiar por uma área dezenas ou centenas de vezes maior, possibilitando o alcance de maiores diretividades através do emprego de alimentadores menos diretivos. O funcionamento de uma antena refletora se baseia na conversão de uma distribuição de energia, usualmente esférica e produzida por algum tipo de irradiador posicionando no foco primário da antena, numa distribuição planar na sua abertura, por meio de sucessivas reflexões ocorridas nas superfícies constituintes do sistema, de acordo com os princípios da Óptica Geométrica (GO) [13, Balanis].

Com isso, a obtenção de uma antena capaz de alcançar um desempenho superior a muitos outros modelos, através de dispositivos mecânicos e eletrônicos e não muito complexos, torna-se possível. Os níveis de eficiência de eficiência atingidos com o uso de modelos adequados tornam as antenas refletoras aptas à recepção e transmissão de sinais em enlaces de longa distância, como no uso de comunicação via-satélite. Basicamente, um sistema refletor pode ser descrito como a composição de um elemento irradiador (ou captador de energia eletromagnética), um conjunto de superfícies refletoras metálicas e a própria estrutura de sustentação do sistema. A presença dessas superfícies refletoras permite a colimação de energia, desde o elemento irradiador até a abertura da antena, quando esta opera como transmissora [10, Barbosa].

As antenas mais comuns utilizadas na maioria dos sistemas de comunicação por microondas são as parabólicas convencionais, *simétricas* (Figura 3.1) ou *offset* (figura 3.2). O modelo simétrico denominado *front-fed*, é composto de apenas uma parabolóide e um alimentador, localizado no foco do refletor. Por ser mais simples, a estrutura é de fácil fabricação e, conseqüentemente mais barata.

Outras categorias de antenas refletoras empregadas em sistemas de comunicações são as Cassegrain (Figura 3.3) e Gregorian (Figura 3.4), configurações clássicas de dois refletores axialmente simétricos bastante conhecidas [15, Hunnan].

Motivada essencialmente por aplicações militares, grande parte da teoria relativa à análise e construção de antenas refletoras se desenvolveu na década de 1940. Novas geometrias de antenas com vários padrões de radiação (*pencil beam*, *shaped beam*, etc.) foram estudadas com o objetivo de serem alcançadas, por exemplo, formas eficientes de varredura numa área investigada por um radar [16, Clarricoats]. Posteriormente, a necessidade de se explorar o espaço estimulou a pesquisa por configurações de antenas mais eficientes para aplicações em Radioastronomia [17, Silver]. Nos anos que se sucederam, antenas refletoras passaram a ser largamente usadas, porém ainda na forma de modelos com um refletor e um alimentador centrado no foco deste refletor.

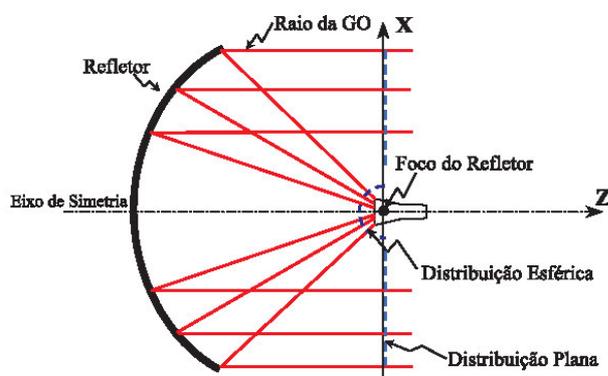


Figura 3.1 – Desenho esquemático da propagação do campo eletromagnético em uma antena refletora parabólica *simétrica*.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.14.

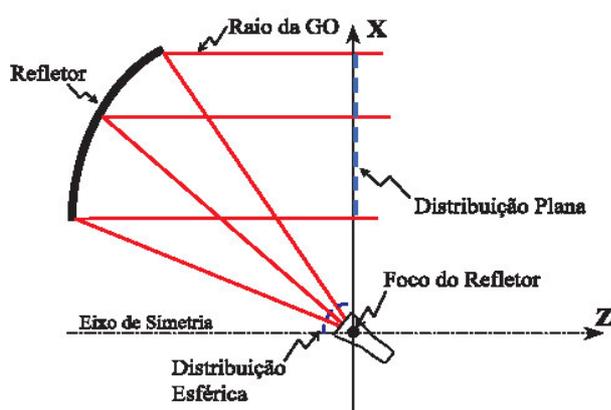


Figura 3.2 – Desenho esquemático da propagação do campo eletromagnético em uma antena refletora parabólica *offset*.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.15.

Antenas refletoras, quando possuem uma distância focal elevada, possibilitam uma menor susceptibilidade do campo distante radiado por elas às perturbações provocadas por pequenas variações da posição do centro de fase do alimentador. Tais variações podem ser causadas por vibrações mecânicas do alimentador devido à ação de agentes externos como o vento, ao efeito da gravidade ou à própria alteração da frequência de operação da antena. Num sistema de único refletor, a distância focal corresponde à real distância compreendida entre o alimentador e a superfície refletora e, portanto um valor elevado deste parâmetro obriga ao posicionamento afastado do

alimentador em relação a essa superfície. Sendo cada vez maior tal afastamento, a amplitude das vibrações mecânicas do alimentador pode se tornar alta, provocando sensíveis quedas na eficiência da antena. Desse modo, existe um compromisso entre a distância focal elevada e as inconveniências associadas à fixação do alimentador.

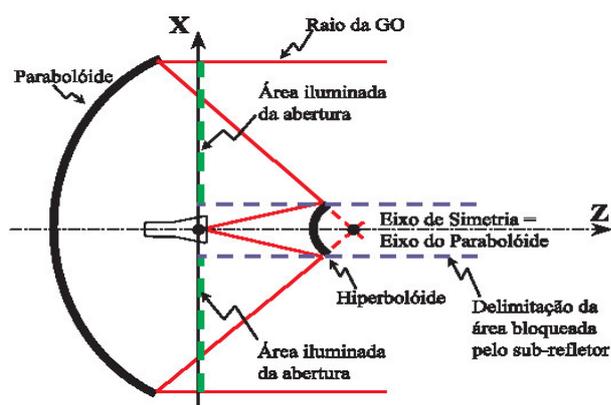


Figura 3.3 - Exemplo de uma antena com dois refletores *Cassegrain*.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.23.

A viabilidade de uso de antenas com dois refletores, como aquela exemplificada pela Figura 3.3, foi verificada logo no início da década de 1960 [16, Clarricoats]. Imediatamente duas vantagens associadas a esse modelo são identificadas: o acesso facilitado do alimentador promovido pelo seu novo posicionamento e a obtenção de uma distância focal equivalente superior à distancia física entre os refletores [13, Balanis]. Esses benefícios implicam na compactação da estrutura, tornando-a mais rígida devido à maior proximidade dos componentes do sistema refletor, sem impossibilitar a obtenção de configurações mais estáveis aos efeitos da desfocalização. Diferentemente das antenas de único refletor, as antenas de duplo refletor permitem o controle simultâneo da distribuição da amplitude e da fase do campo no plano de abertura, através de modelagens do refletor principal e do sub-refletor, tornando sistemas altamente eficientes realizáveis [18, Mitra].

A modelagem, ao possibilitar a otimização do desempenho da antena, permite o alcance de índices de eficiência superiores aos apresentados pelas superfícies clássicas com mesmas dimensões de abertura. Senso assim, dado um valor mínimo de ganho,

requisitado para uma determinada aplicação, pode-se promover uma redução na abertura da antena, visto que a queda da diretividade máxima relativa à menor área disponível na abertura é imediatamente compensada pelo aumento da eficiência proporcionado pela modelagem. Nesse sentido, a redução da abertura implica diretamente em menores diâmetros para os refletores, o que é vantajoso em situações como o envio de satélites ao espaço, uma vez que a estrutura se torna mais leve.

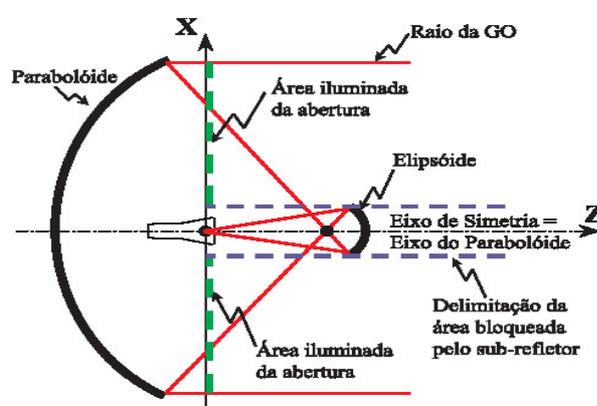


Figura 3.4 - Exemplo de uma antena com dois refletores *Gregorian*.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.23.

## 3.2 SISTEMA REFLETOR

O Sistema refletor tem como papel direcionar a energia proveniente do alimentador até a abertura da antena. Este sistema pode ser composto por um ou mais refletores. Em todos os casos, o refletor parabólico é comumente usado como refletor principal.

Para se obter antenas com ganhos elevados, apropriadas às aplicações de alto desempenho, torna-se fundamental buscar uma distribuição uniforme do campo presente na abertura, principalmente no que se refere à fase. Tanto a distribuição uniforme da amplitude quanto da polarização no campo da abertura contribuem para o alcance da máxima eficiência da antena, embora, na prática, essas duas características exerçam uma menor influência se comparadas à fase. Um desempenho otimizado num sistema refletor só é alcançado se o centro da fase do alimentador e o foco de cada refletor

integrante à estrutura estejam sucessivamente superpostos; isto é, o sistema deve ser confocal. Portanto, antenas com mais de um refletor demandam alinhamentos mais cautelosos e custosos.

A configuração mais simples de antena refletora é a parabólica, apresentada na Seção 3.1. A geometria desse modelo permite alcançar uma distribuição de fase uniforme na abertura da antena sem maiores problemas, de acordo com a Óptica Geométrica, desde que o centro de fase do alimentador se encontre no foco primário. Entretanto, o mesmo não pode ser dito da amplitude. Uma modelagem na superfície do parabolóide pode alterar a densidade de energia no plano da abertura em busca de uma amplitude do campo mais uniformizada. Porém, tal ação afeta a distribuição homogênea da fase já obtida pelo próprio uso do refletor parabólico. Assim, a modelagem dessa antena possibilita o controle da amplitude ou da fase em sua abertura, mas não de ambas simultaneamente. Quanto à uniformidade da polarização na abertura, esta depende estritamente do posicionamento relativo do alimentador em relação ao refletor do sistema e do seu diagrama de radiação [16, Clarricoats]. Existem basicamente dois modelos de único refletor: o *simétrico* e o *offset*. A configuração simétrica, denominada *front-fed*, apresenta bloqueios oferecidos pelo alimentador e pelos estais que o fixam diante do refletor. A geometria *offset*, por sua vez, consegue atingir níveis de eficiência mais elevados pois elimina os bloqueios apresentados pela versão simétrica [3, Rush]. No entanto, a fabricação de uma superfície assimétrica não é tão simples, o que torna uma antena do tipo *offset* mais cara do que antenas com refletor simétrico. A opção por um dos modelos implica num estudo da relação custo-benefício, já que ambas possuem vantagens e aspectos inconvenientes.

No decorrer do século XVII surgiram mais duas novas estruturas de dois espelhos refletores, a *Cassegrain* e a *Gregorian*, propostas pelos astrônomos Cassegrain e James Gregory [19, Bucci]. Estes dois modelos foram as primeiras antenas com dois refletores, constituídas e usadas em aplicações de telecomunicações. Essas duas configurações apresentam algumas vantagens que justificam o seu emprego na prática, sendo que as principais já foram destacadas na Seção 3.1. Entretanto, estas antenas apresentam um bloqueio de energia considerável, criado pela presença do sub-refletor e de sua estrutura de sustentação diante do refletor principal, que obstrui uma porção da área efetiva da

abertura da antena. O bloqueio oferecido pelo sub-refletor, sendo o mais relevante, impede a obtenção de ganhos mais elevados e acaba promovendo um aumento nos níveis dos lóbulos secundários. De maneira semelhante aos sistemas de único refletor, o problema do bloqueio pode ser contornado por meio de configurações *offset* que, do ponto de vista de ganho, são as melhores [3, Rush]. Porém, toda geometria *offset*, por ser assimétrica, não é simples de ser confeccionada e, portanto, o seu preço se torna uma desvantagem a ser levada em conta.

Em configurações de dois refletores axialmente simétricos, os efeitos do bloqueio, oferecidos pelo sub-refletor, podem também ser minimizados através da modelagem das superfícies refletoras ou por meio de geometrias alternativas definidas por geratrizes clássicas (cônicas) deslocadas do eixo de simetria – *ASDRA (Axially-Symmetric Dual Reflector Antenna)*. O grande mérito da geometria *ASDRA* reside no fato de que uma redução considerável da parcela de energia, que provém do refletor principal e intercepta indesejadamente o sub-refletor, é conseguida por intermédio de geratrizes clássicas e sem a perda de simetria do sistema refletor [10, Barbosa].

### **3.3 ANTENAS COM DOIS REFLETORES CLÁSSICOS AXIALMENTE SIMÉTRICOS**

A evolução apresentada pela geometria *ASDRA (Axially-Symmetric Dual-Reflector Antenna)*, em relação às suas antecessoras clássicas, consiste na redução considerável dos efeitos dos bloqueios oferecidos pelo sub-refletor e pelo alimentador, inerentes às configurações simétricas. Obviamente, pode-se então atingir ganhos mais elevados através de alterações acertadas na disposição e forma das superfícies refletoras. Sendo axialmente simétricos e com seções geradas por cônicas, as superfícies refletoras tornam-se menos complexas de ser fabricadas, e fórmulas analíticas fechadas para o projeto são possíveis [20, Moreira].

A característica primordial da superfície *ASDRA* é o deslocamento dos eixos das geratrizes de cada superfície, em relação a um eixo de simetria comum [20, Moreira]. Conseqüentemente, devido à conformação dos refletores pode-se projetar antenas de forma que nenhum dos raios emanados pelo refletor principal tenha sua trajetória, até a





excentricidade  $e$ , a distância inter-focal  $2c$  da hipérbole, e o ângulo  $\beta$  entre os eixos das geratrizes.

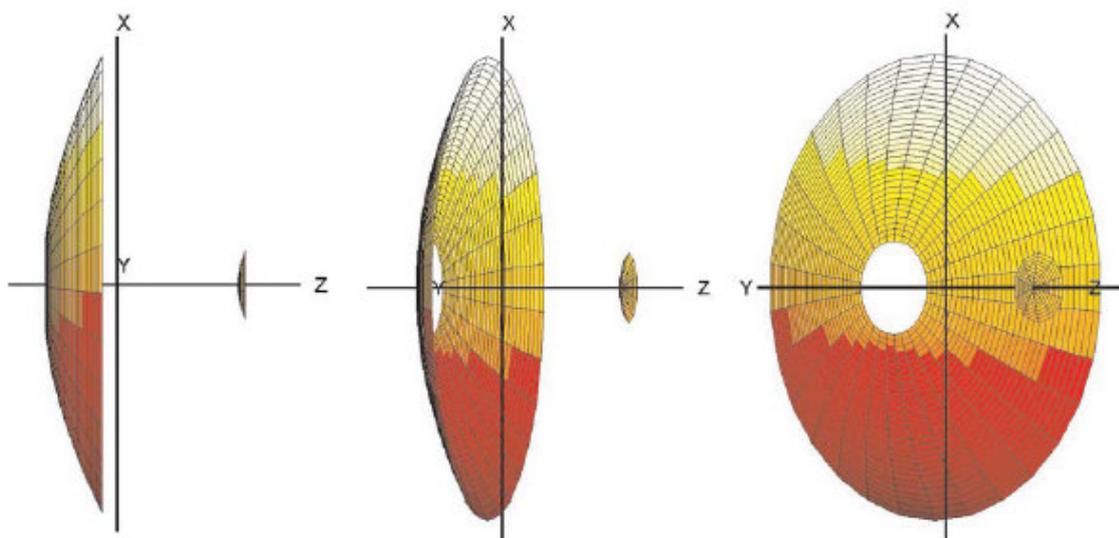


Figura 3.7 – Aspecto tridimensional de uma antena ADC.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.31.

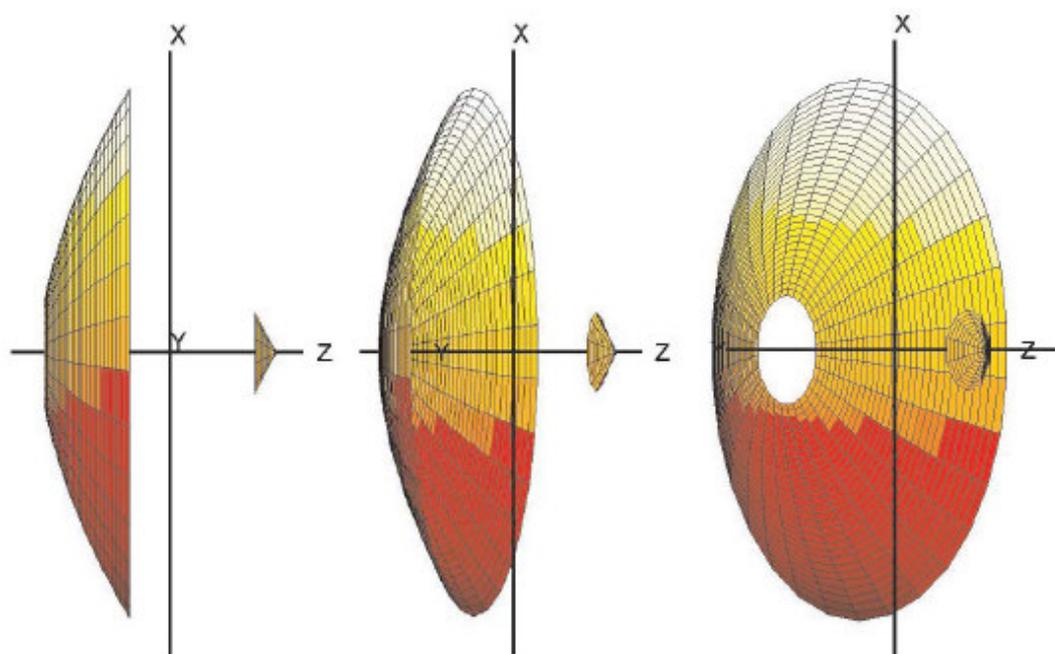


Figura 3.8 – Aspecto tridimensional de uma antena ADH.

Fonte: [10] Barbosa, C. H. N. R., Pg.36.

### 3.4 TÉCNICAS DE ANÁLISE

Nesta secção serão apresentadas as duas técnicas que serão utilizadas na seqüência deste trabalho para se efetuar a análise das antenas. O método da Óptica Física e o método da Óptica Física Assintótica.

O método da Óptica Física é conhecido desde a década de 1940, embora o seu uso estivesse bastante restringido por limitações impostas pelos recursos computacionais disponíveis. Posteriormente, nos anos de 1960, a Óptica Física teve um papel importante como ferramenta para a análise de hiperbolóides num trabalho publicado por RUSH, 73. Na prática, o que ocorre é o uso do computador, na fase do projeto, e as medidas no teste final de verificação do sistema.

Quando as integrais da Óptica Física que fornecem o campo espalhado são calculadas de maneira analítica aproximada pelo método da fase estacionária, denominamos o método de Óptica Física Assintótica, que foi inicialmente usada também por RUSH em 1974.

Com os métodos assintóticos, apesar de serem limitados nas regiões axiais há uma redução apreciável no tempo gasto para o cálculo do campo irradiado. A análise destes, no entanto, é vantajosa para a análise de refletores grandes em relação ao comprimento de onda, pois fornecem os diagramas de radiação com boa precisão, quando comparados com o método da Óptica Física [1, Miranda].

Nesses últimos anos, a concepção de materiais adequados para a construção de grandes superfícies refletoras, assim como o aperfeiçoamento do processo de fabricação e montagem das mesmas têm possibilitado a proposição de configurações com dimensões elétricas cada vez maiores [21, Hoferer]. Nessas situações, as aproximações feitas pela Óptica Geométrica ao analisar tais refletores se tornam cada vez mais apropriadas, produzindo resultados satisfatórios, já que o comprimento de onda é muito menor em relação às dimensões físicas da antena e aos raios de curvatura das superfícies refletoras [19, Mittra].

A combinação dos métodos da Óptica Física e da Óptica Física Assintótica, utilizando-se o primeiro para o cálculo do campo nas regiões onde os métodos assintóticos falham é considerada uma ferramenta rápida e de precisão razoável para um



grande número de problemas reais. Estes métodos apresentam a característica de identificar as partes do refletor que mais contribuem para o campo em um dado ponto de observação, dando assim mais visão de projeto ao engenheiro [1, Miranda].

## CAPÍTULO 4

### ÓPTICA FÍSICA

O método da Óptica Física é baseado, essencialmente na propriedade da equivalência, onde um corpo metálico presente no espaço livre, iluminado por uma ou mais fontes, pode ser substituído por correntes elétricas equivalentes. Para tanto, as superfícies das antenas são admitidas aqui como sendo condutoras elétricas perfeitas.

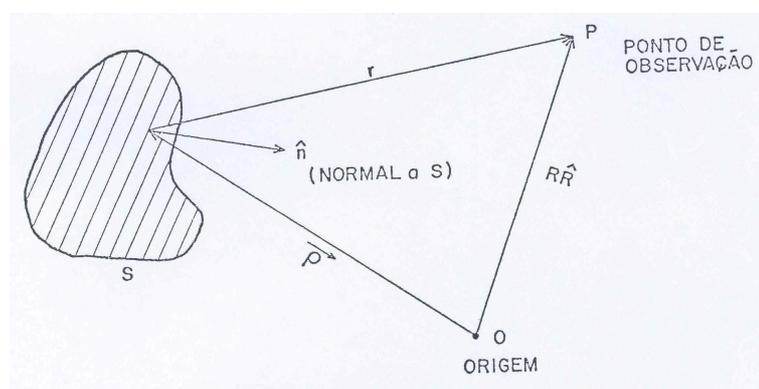


Figura 4.1 – Geometria para as equações do campo espalhado.

Fonte: [1] Miranda, C. A. I., Pg.3.

O processo de cálculo se inicia com a obtenção das correntes equivalentes sobre o sub-refletor, a partir da aproximação da Óptica Física, onde o campo eletromagnético espalhado por esta superfície fica perfeitamente caracterizado se conhecem as densidades superficiais de corrente elétrica nesta superfície:

$$\vec{J}_s = 2(\hat{n} \times \vec{H}_i) \text{ - Nas regiões de iluminadas} \quad (4.1)$$

$$\vec{J}_s = 0 \text{ - Nas regiões de sombra}$$

Onde  $\vec{H}_i$  é o campo magnético incidente conhecido,  $\hat{n}$  é o vetor unitário normal à superfície no ponto considerado, e o fator 2 aparece porque a superfície  $S$  é supostamente de material condutor perfeito.

Uma vez determinadas as correntes no sub-refletor, estas são utilizadas na avaliação do campo espalhado por esta superfície.

Para calcular a corrente  $\vec{J}_s$  na aproximação da Óptica Física, na Equação 4.1, são necessárias as expressões da normal e do campo magnético incidente  $\vec{H}_i$ .

As equações 4.2 e 4.3 apresentam respectivamente o versor  $\hat{n}$  normal à  $S$  e o campo  $\vec{H}_i$  incidente na superfície refletora.

$$\hat{n} = \frac{\hat{\rho} + \frac{g'(\theta')}{g(\theta')} \hat{\theta}'}{\left[ 1 + \left( \frac{g'(\theta')}{g(\theta')} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (4.2)$$

Onde  $\hat{\rho}$  representa o versor da coordenada da superfície refletora e  $g(\theta')$  a função que fornece a superfície refletora.

No caso deste trabalho, a superfície refletora é a Hiperbolóide, observando a Figura 4.2, podemos obter a equação que defini a sua coordenada:

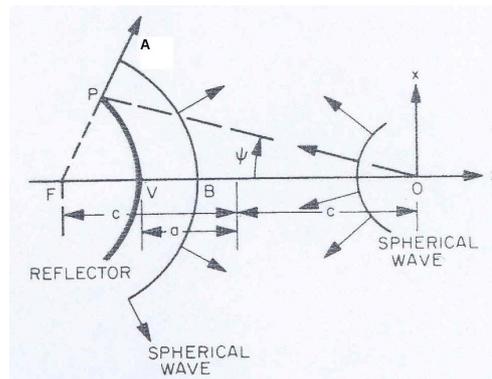


Figura 4.2 – Superfície de uma Hiperbolóide.

Fonte: [3] Rush, W. V. T., Pg.23.

$$\overline{OP} + \overline{PA} = \overline{OV} + \overline{VB} = (c + a) + \overline{VB} \quad (4.3)$$

Devido ao refletor ser esférico com centro em F,

$$\overline{PA} = \overline{FA} - \overline{FP} = \overline{FB} - \overline{FP} \quad (4.4)$$

$$\overline{OP} - \overline{FP} = (c + a) - (\overline{FB} - \overline{VB}) = (c + a) - (c - a) \quad (4.5)$$

$$\overline{OP} - \overline{FB} = 2a \quad (4.6)$$

A equação 4.6 descreve a hiperbolóide com foco em O e F, e com excentricidade  $e$ , onde:

$$e = c/a \quad (4.7)$$

Ainda,

$$OP = \rho = \frac{-ep}{(1 - e \cos \psi)} \quad (4.8)$$

Onde,

$$p = c(1 - 1/e^2) \quad (4.9)$$

Na equação 4.10 temos a impedância de onda no espaço livre sendo  $\eta$  ( $377\Omega$  ou  $120\pi$ ) e o campo elétrico incidente na superfície refletora representado por  $\vec{E}_i$ .

$$\vec{H}_i = \frac{1}{\eta} \hat{\rho} \times \vec{E}_i \quad (4.10)$$

O campo elétrico incidente na superfície refletora é descrito na equação 4.11,

$$\vec{E}_i = -\sqrt{G_f(\theta')}(\mu_{\theta'} \cos \phi' \hat{\theta}' + \text{sen } \phi' \hat{\phi}') \frac{e^{-j\kappa\rho}}{\rho} \quad (4.11)$$

que pode representar um grande número de alimentadores práticos desde que,  $\mu_{\theta'} = 1$ , para alimentadores polarizados como fontes de Huygens, ou seja, cada ponto da frente de onda dará origem a um campo com as mesmas características do emitido pelo alimentador, ou  $\mu_{\theta'} = -\cos \theta'$ , para alimentadores polarizados como dipolos segundo o eixo x.

Na equação 4.11,  $G_f(\theta')$  representa o diagrama de potência do alimentador e o fator  $\kappa$  a constante de propagação do meio, sendo obtido através da equação 4.12.

$$\kappa = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4.12)$$

Considerando a geometria da Figura 4.3, a equação polar geral de uma superfície de revolução segundo o eixo z pode ser representada como:

$$\kappa\rho(\theta') = -1/g(\theta'), \quad \theta_0 < \theta' < \pi \quad (4.13)$$

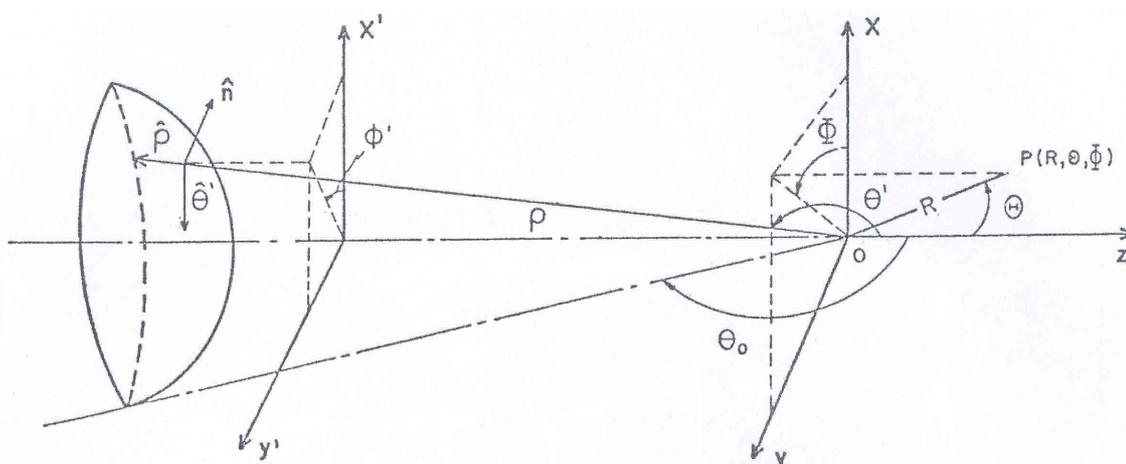


Figura 4.3 – Geometria para o espalhamento da superfície de revolução.

Fonte: [1] Miranda, C. A. I., Pg.5.

Admitindo que o refletor seja o único elemento que cause o espalhamento da onda incidente e considerando somente o campo em região distante, pode-se calcular o campo elétrico e o campo magnético refletido da seguinte forma:

$$\vec{E}_S = \frac{-j\omega\mu_0}{4\pi R} e^{-jkR} \int_S [\vec{J}_S - (\vec{J}_S \cdot \hat{R})\hat{R}] e^{jk\hat{p} \cdot \hat{R}} dS \quad (4.14)$$

$$\vec{H}_S = \frac{j\omega\epsilon_0}{4\pi R} e^{-jkR} \int_S \left[ \left( \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \right)^{1/2} (\vec{J}_S \times \hat{R}) \right] e^{jk\hat{p} \cdot \hat{R}} dS \quad (4.15)$$

Particularizando-se as expressões do campo espalhado, para o uso de alimentadores descritos pela equação 4.11, tem-se:

$$\vec{E}_S = \frac{e^{-jkR}}{R} \{E_\Theta \hat{H} + E_\Phi \hat{\Phi}\} \quad (4.16)$$

Com  $E_\Theta$  e  $E_\Phi$ , componentes do campo elétrico espalhado nas direções  $\Theta$  e  $\Phi$ , dados através das expressões:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} E_\Theta \\ E_\Phi \end{Bmatrix} &= \pm \left( \frac{1}{2} \right) \begin{Bmatrix} \cos \Phi \\ \sin \Phi \end{Bmatrix} \int_{\theta_0}^{\pi} \frac{d\theta' \sqrt{G_f(\theta')} e^{-j\alpha} \sin \theta'}{[g(\theta')]^2} \\ &\begin{Bmatrix} \mu_{\theta'} \begin{bmatrix} \cos \Theta \\ 1 \end{bmatrix} \\ -2j \begin{bmatrix} \sin \Theta \\ 0 \end{bmatrix} \end{Bmatrix} \left[ g'(\theta') \sin \theta' - g(\theta') \cos \theta' \right] [J_0(\beta) \mp J_2(\beta)] \\ &\left[ g'(\theta') \cos \theta' + g(\theta') \sin \theta' \right] J_1(\beta) + g(\theta') \begin{bmatrix} \cos \Theta \\ 1 \end{bmatrix} [J_0(\beta) \pm J_2(\beta)] \end{Bmatrix} \quad (4.17) \end{aligned}$$

Sendo, o parâmetro do termo de fase na integração, definido por:

$$\alpha = (\cos \theta' \cos \Theta - 1) / g(\theta') = \kappa \rho (1 - \cos \theta' \cos \Theta) \quad (4.18)$$

E o parâmetro das funções de Bessel:

$$\beta = -\text{sen } \Theta \text{sen } \theta' / g(\theta') = \kappa \rho \text{sen } \Theta \text{sen } \theta' \quad (4.19)$$

As integrais da equação 4.17 são difíceis de ser calculadas analiticamente e são, em geral, avaliadas numericamente, na forma apropriada em que se encontram, por códigos de quadratura (método de Simpson, por exemplo). A dificuldade aparece quando se deseja calcular o campo de refletores grandes, em pontos de observação afastados do eixo, pois o argumento,  $\beta$ , das funções de Bessel pode tomar valores elevados, o que produzirá oscilações rápidas no integrando da equação 4.17. Por exemplo, para um refletor parabólico de  $120\lambda$  de diâmetro e razão foco/diâmetro igual a 0,4, para um ponto de observação em  $\Theta = 60^\circ$ , tem-se  $\beta \approx 300$ . Supondo-se que na integração numérica toma-se pelo menos 10 pontos do integrando, por período, das funções de Bessel, isto implica aproximadamente 1000 pontos de amostragem do integrando para cada  $\Theta$  de observação. Vê-se logo que o processo de integração numérica demanda um tempo de computação impraticavelmente longo para antenas grande [1, Miranda]. No capítulo seguinte mostra-se um método assintótico para o cálculo rápido das integrais da Óptica Física.

## CAPÍTULO 5

### ÓPTICA FÍSICA ASSINTÓTICA

Notou-se no fim do capítulo 4 que os integrandos da equação 4.17 são funções que oscilam rapidamente para pontos de observação afastados do eixo. Este comportamento é devido à presença do parâmetro  $\beta$  nos argumentos das funções de Bessel. Para a avaliação assintótica daquelas integrais, depois de identificado este parâmetro grande, é necessário coloca-las em uma forma apropriada, isolando nos integrandos, as funções de variação lenta e as de variação rápida. Observa-se, que as funções de Bessel, presentes na equação 4.17 representam os resultados das integrações em  $\phi'$ . Se estas funções de Bessel forem substituídas por suas representações integrais, as integrais da equação 4.17 aparecem como produtos de integrais só em  $\theta'$  e só em  $\phi'$ . As integrais só em  $\phi'$  podem ser avaliadas assintoticamente pelo método da fase estacionária. Encontra-se que a contribuição dos pontos finais é igual a zero e a contribuição dos pontos estacionários localizados em

$$\phi'_+ = \Phi \quad (5.1)$$

e

$$\phi'_- = \Phi + \pi \quad (5.2)$$

fornece a forma assintótica das funções de Bessel:

$$J_m(\beta) = \sqrt{\frac{2}{\pi\beta}} \cos\left(\beta - \frac{m\pi}{2} - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} \left[ e^{j(\beta - \pi/4 - m\pi/2)} + e^{-j(\beta - \pi/4 - m\pi/2)} \right] \quad (5.3)$$

Substituindo-se a equação 5.3 na equação 4.17 e rearranjando-se, pode-se escrever o campo espalhado como a soma das contribuições dos dois pontos estacionários, os componentes do campo elétrico espalhado nas direções  $\Theta$  e  $\Phi$ :

$$E_{\Theta} = E_{\Theta}^{+} + E_{\Theta}^{-} \quad (5.4)$$

$$E_{\Phi} = E_{\Phi}^{+} + E_{\Phi}^{-} \quad (5.5)$$

onde

$$\left. \begin{array}{l} E_{\Theta}^{\pm} \\ E_{\Phi}^{\pm} \end{array} \right\} = \int_{\theta}^{\pi} \begin{pmatrix} h_{\Theta} \\ h_{\Phi} \end{pmatrix} (\theta', \phi'_{\pm}) e^{j\psi(\theta', \phi'_{\pm})} d\theta' \quad (5.6)$$

O núcleo destas integrais é dado por:

$$h_{\Theta}(\theta', \phi'_{\pm}) = j \left\{ \frac{1}{2} \cos \Phi \sqrt{\frac{2Gf(\theta')}{\pi\beta}} \cdot \frac{\text{sen} \theta'}{[g(\theta')]^2} \cdot \mu_{\theta} \left\{ \cos \Theta [g'(\theta') \text{sen} \theta' - \right. \right. \\ \left. \left. - g(\theta') \cos \theta' \right] \mp [g'(\theta') \cos \theta' + g(\theta') \text{sen} \theta'] \cdot \text{sen} \Theta \right\} \right\} e^{\mp j\pi/4} \quad (5.7)$$

$$h_{\Phi}(\theta', \phi'_{\pm}) = j \left\{ \frac{1}{2} \text{sen} \Phi \sqrt{\frac{2Gf(\theta')}{\pi\beta}} \cdot \frac{\text{sen} \theta'}{g(\theta')} \right\} e^{\mp j\pi/4} \quad (5.8)$$

Os termos de fase são dados por

$$\psi(\theta', \phi'_{\pm}) = \frac{2 \text{sen}^2 \frac{\theta' \mp \Theta}{2}}{g(\theta')} = -2\kappa\rho(\theta') \text{sen}^2 \frac{\theta' \mp \Theta}{2} \quad (5.9)$$

As funções  $h_\Theta$  e  $h_\Phi$  variam lentamente com  $\theta'$ , enquanto  $\kappa\rho(\theta')$  pode ser identificado como um parâmetro grande no termo de fase  $\psi(\theta', \phi'_\pm)$ . Conseqüentemente, as integrais da equação 5.6 estão em forma apropriada para avaliação por métodos assintóticos.

A avaliação assintótica das integrais em  $\phi'$  leva a interpretação física de que as contribuições mais importantes para o campo em pontos afastados da direção axial, dado pelas equações 4.14 e 4.15, provêm somente daqueles pontos situados na intersecção do plano  $\phi' = \Phi$  com a superfície  $S$ . A avaliação assintótica das integrais da equação 5.6 identificará, por sua vez, quais as vizinhanças dos pontos em  $\theta'$ , na curva de intersecção da superfície  $S$  com o plano  $\phi' = \Phi$ , que mais contribuem para o campo espalhado.

## 5.1 AVALIAÇÃO ASSINTÓTICA DAS EQUAÇÕES 5.6

As integrais da equação 5.6 podem ser calculadas assintoticamente pelo método da fase estacionária. Os pontos da fase estacionária são aqueles que anulam a derivada do termo de fase. Como

$$\frac{\partial \psi}{\partial \theta'} = \frac{[\cos(\theta' \mp \Theta) - 1]g'(\theta') + \text{sen}(\theta' \mp \Theta)g(\theta')}{[g(\theta')]^2} \quad (5.10)$$

então os pontos estacionários são dados por

$$\theta'_\pm = \pm\Theta \quad (5.11)$$

os quais desaparecem do intervalo de integração ( $\theta_o \leq \theta' \leq \pi$ ), quando o ponto de observação passa pelo limite de sombra. A equação 5.10 fornece ainda um ponto estacionário que corresponde ao ponto de reflexão do raio refletido da Óptica

Geométrica clássica. Fazendo-se o numerador desta equação igual a zero, acha-se o ângulo que o raio refletido faz com o eixo z em função do ângulo que o raio incidente faz com este eixo. Então:

$$\Theta = \theta' - 2 \tan^{-1} \left( \frac{g(\theta')}{g'(\theta')} \right) \quad (5.12)$$

ou

$$\Theta = \theta' - 2 \tan^{-1} \left( -\frac{\rho(\theta')}{\rho'(\theta')} \right) \quad (5.13)$$

A equação 5.6 pode ser escrita assintoticamente como:

$$E_{\Theta}^{\pm} = I_{e\Theta}^{\pm} + I_{S\Theta}^{\pm} W(S_{\pm} e^{j\pi/4}) \quad (5.14)$$

$$E_{\Phi}^{\pm} = I_{e\Phi}^{\pm} + I_{S\Phi}^{\pm} W(S_{\pm} e^{j\pi/4}) \quad (5.15)$$

onde a única contribuição de pontos finais é devida aos pontos em  $\theta' = \theta_0$ , uma vez que os núcleos das integrais 5.6 tornam-se iguais a zero para  $\theta' = \pi$ . Nas regiões de sombra e iluminada, a função W torna-se igual à unidade ou zero, respectivamente, para pontos de observação afastados do limite de sombra.

## 5.2 CAMPO TOTAL IRRADIADO

O campo total irradiado por uma superfície refletora é igual à soma do campo direto do alimentador com o campo espalhado, dado pelas equações 5.14 e 5.15. Pode-se escrever então:

$$E_{\Theta}^t = E_{\Theta}^+ - E_{\Theta}^- - I_{S\Theta}^+ U(\Theta - \pi/2) + I_{S\Theta}(\Theta, \theta', \phi'_+) \cdot W(S_{\theta_0} e^{j\pi/4}) \quad (5.16)$$

$$E'_{\Phi} = E_{\Phi}^{+} - E_{\Phi}^{-} - I_{S_{\Phi}}^{+} U(\Theta - \pi/2) + I_{S_{\Phi}}(\Theta, \theta', \phi') \cdot W(S_{\theta_o} e^{j\pi/4}) \quad (5.17)$$

onde o campo do alimentador é expresso na forma da contribuição do ponto estacionário. O último termo da equação 5.16 e 5.17 corresponde ao ponto estacionário relativo ao campo refletido da superfície refletora. Para pontos de observação  $\pi/2 < \Theta < \theta_o$ , os campos  $E_{\Theta}^{+}$  e  $E_{\Theta}^{-}$  são dados por:

$$E_{\Theta}^{+} = I_{e_{\Theta}}^{+} + I_{S_{\Theta}}^{+} W\left(|s^{+}| e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) U(\theta_o - \Theta) \quad (5.18)$$

$$E_{\Theta}^{-} = I_{e_{\Theta}}^{-} + I_{S_{\Theta}}^{-} W\left(|s^{-}| e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.19)$$

Para a região  $\Theta > \theta_o$  tem-se:

$$E_{\Theta}^{+} = I_{e_{\Theta}}^{+} + I_{S_{\Theta}}^{+} \left(1 - W\left(|s^{+}| e^{j\pi/4}\right)\right) U(\Theta - \theta_o) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.20)$$

$$E_{\Theta}^{-} = I_{e_{\Theta}}^{-} + I_{S_{\Theta}}^{-} W\left(|s^{-}| e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.21)$$

Os campos  $E_{\Phi}^{+}$  e  $E_{\Phi}^{-}$ , para  $\pi/2 < \Theta < \theta_o$ , são dados por:

$$E_{\Phi}^{+} = I_{e_{\Phi}}^{+} + I_{S_{\Phi}}^{+} W\left(|s^{+}| e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) U(\theta_o - \Theta) \quad (5.22)$$

$$E_{\Phi}^{-} = I_{e_{\Phi}}^{-} + I_{S_{\Phi}}^{-} W\left(|s^{-}| e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.23)$$

Para a região  $\Theta > \theta_o$  tem-se:

$$E_{\Phi}^{+} = I_{e_{\Phi}}^{+} + I_{S_{\Phi}}^{+} \left(1 - W\left(|s^{+}| e^{j\pi/4}\right)\right) U(\Theta - \theta_o) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.24)$$



$$E_{\Phi}^{-} = I_{e\Phi}^{-} + I_{s\Phi}^{-} W\left(s^{-1} e^{j\pi/4}\right) U(\Theta - \pi/2) \quad (5.25)$$

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

Durante o período de vigência da Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT, o bolsista realizou: estudo teórico sobre Antenas, com enfoque em Antenas para Satélites, sendo as Refletoras o item mais aprofundado no estudo; pesquisou e estudou a Óptica Física e Óptica Física Assintótica, metodologias a serem utilizadas no cálculo do Campo Espalhado pela superfície de revolução.

Os conhecimentos adquiridos possibilitaram ao bolsista participar em congressos de Iniciação Científica, totalizando sete (07) trabalhos apresentados, sendo que em dois (02) trabalhos é o autor principal.

O Bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, cumpriu a primeira parte do cronograma estabelecido no Projeto, encontrando-se no momento na Programação do Método para a determinação do Campo Distante Espalhado pela Antena, onde está fazendo pequenas análises com o uso das equações da Óptica Física.

Por fim, é importante ressaltar que este trabalho propiciou ao bolsista uma oportunidade única até o momento no campo do estudo de antenas, trazendo ao aluno conhecimentos teóricos sobre antenas e modalagens matemáticas para a determinação de seus parâmetros, adquirindo o bolsista um *background* para futuros trabalhos nesta área.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Miranda, C. A. I. *Teoria Assintótica de Espalhamento de Refletores Axialmente Simétricos*. Dissertação de Mestrado em Eletrônica e Telecomunicações, INPE-2402-TDL/089, 1982.

[2] Esteves, Luiz Claudio. *Antenas – Teoria Básica e Aplicações*. McGraw – Hill Book Company, São Paulo, 1981.

[3] Rush, W. V. T., Potter, P.D. *Analysis of Reflector Antennas*. Electrical Science Series, Academic Press, New York, 1970.

[4] Collin, R. E., Zucker, F. J. *Antenna Theory, Part 2*. Inter-University Electronics Series, McGraw – Hill Book Company, New York, 1969.

[5] Butkov, E. *Mathematical Physics*. Copyright 1968 by Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

[6] Mendes, C. *Sistemas Radiantes*. Instituto Superior de Engenharia Elétrica de Lisboa, Engenharia de Sistemas das Telecomunicações e Electrónica, Secção de Sistemas de Telecomunicações, 2005.

[7] Ávila, S. L. *Algoritmos Genéticos Aplicados na Otimização de Antenas Refletoras*. Dissertação Submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

[8] Ávila, S. L., Junior, W. P. C. *Antenas Refletoras – Otimização para uma Aplicação Dedicada*. Grupo de Concepção e Análise de Dispositivos Eletromagnéticos, Departamento de Engenharia Elétrica UFSC.

[9] Silva, T. C. D., Mayrink, M. A. S., Moreira, F. J. S., *ASDRA – Axially-Symmetric Dual-Reflector Antennas: Projeto e Análise Interativos*. Universidade Federal de Minas Gerais, Dpto. Engenharia Eletrônica, Belo Horizonte.

[10] Barbosa, C. H. N. R., *Estudo e Análise de Aberrações em Antenas com dois Refletores Clássicos Axialmente Simétricos*. CPDEE/UFMG, Dissertação Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

[11] Lima, A. C., *Fundamentos de Telecomunicações, Teoria Eletromagnética e Aplicações*. Universidade Federal da Bahia, UFBA, 2002.

[12] Carvalho, W. J., Soares, G. F., Moreira, F. J. S., Bergmann, J.R., *Síntese e Análise de Antenas de Duplo-Refletores Clássicos para Cobertura Omnidirecional*.

[13] Balanis, C. A., *Antenna Theory, Analysis and Design, Second Edition*. Arizona State University, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.

[14] Kraus, J. D., *Antennas, Second Edition*. McGraw-Hill Book Company, 1988.

[15] Hunnan, P. W., *Microwave Antennas Derived from Cassegrain Telescope*. IRE Trans. Antennas Propagat., Vol.AP-3, Nº 2, pp. 172-153, 1931.

[16] Clarricoats, P. J. B., *Microwave Horns and Feeds*. New York, Institute of Electrical Engineer, 1994.

[17] Silver, S., *Microwave Antenna Theory and Design*. London, McGraw-Hill Book Company Inc., 1949, 1<sup>st</sup> edition.

[18] Mittra, Raj & Galindo-Israel V., *Shaped Dual Reflector Synthesis*. IEEE Antennas Propagat. Society Newsletter, pp. 4-9, August 1980.

[19] Bucci, O., Pelosi, G., Selleri, S., *Cassegrain*. IEEE Antennas Propagat. Magazine, vol. 41, N° 3, pp. 7-13, June 1999.

[20] Moreira, F. J. S., Prata, A. J., *Generalized Classical Axially-Symmetric Dual-Reflector Antennas*. IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 49, N° 4, pp. 547-554. April 2001.

[21] Hoferer, R., Rahmat-Samii, Y., *A GO-subreflector implementation methodology using a Fourier-Jacobi surface expansion*. IEEE Trans. Antennas Propagat., pp. 2328-2333. 1999.

## APÊNDICE A

### TRABALHOS TÉCNICO CIENTÍFICOS APRESENTADOS EM EVENTOS COM A AUTORIA E/OU CO-AUTORIA DO ACADÊMICO

O Apêndice A contém resumos/textos dos trabalhos desenvolvidos e apresentados, de autoria e co-autoria do bolsista, em eventos nacionais e internacionais, durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT no CRSPE/INPE – MCT.

- **EVENTO: IAGA 2005 Scientific Assembly** – Realizado de 18 a 29 de julho de 2005 - Toulouse, França.

1 - USE OF METEOR SHOWER RADIANTS TO CALIBRATE THE ALIGNMENT OF METEOR RADAR ANTENNAS; Thiago Brum Pretto, *Barclay Robert Clemesha*, **Diego dos Santos**, Paulo P. Batista, Nelson J. Schuch.

- **EVENTO: XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2005** - Realizado de 05 a 07 de novembro de 2005, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

2 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA - X PARA A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS; **Diego dos Santos**, *Carlos Alberto Iennaco Miranda*, Luzia Lux Lock, Nelson J. Schuch.

3 - ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE ANTENAS DE HÉLICES QUADRIFILARES; Luzia Lux Lock, *Carlos Alberto Iennaco Miranda*, **Diego dos Santos**, Thiago Brum Pretto, Nelson J. Schuch.

4 - DESENVOLVIMENTO DE ANTENAS DIPOLO DO SISTEMA LOFAR PARA ESTUDO DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL; Cleomar Pereira da Silva, *Nelson J. Schuch*, Maiquel S. Canabarro, **Diego dos Santos**, Luzia Lux Lock, Thiago Brum Preto.

- **EVENTO: XX Jornada Acadêmica Integrada – JAI** - Realizado de 08 a 10 de março de 2006, na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

5 - ÓPTICA FÍSICA APLICADA A SÍNTESE DE ANTENAS TIPO REFLETOR MOLDADO PARA OS SATÉLITES CBERS-3 E 4; **Diego dos Santos**, *Carlos Alberto Iennaco Miranda*, Luzia Lux Lock, Nelson J. Schuch.

6 - OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS TIPO HÉLICE QUADRIFILAR PARA APLICAÇÃO ESPACIAL; Luzia Lux Lock, *Carlos Alberto Iennaco Miranda*, **Diego dos Santos**, Thiago Brum Preto, Nelson Jorge Schuch.

- **EVENTO: 57th International Astronautical Congress 2006 – IAC 2006** – A ser realizado de 02 a 06 de outubro de 2006 – Valência, Espanha.

7 - ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF QUADRIFILAR ANTENNAS FOR BRAZILIAN SATELLITES; Luzia Lux Lock, *Carlos Alberto Iennaco Miranda*, **Diego dos Santos**, Thiago Brum Preto, Nelson Jorge Schuch.

## **USE OF METEOR SHOWER RADIANTS TO CALIBRATE THE ALIGNMENT OF METEOR RADAR ANTENNAS**

**T. B. Preto (1,2), D. dos Santos (1,2), B. R. Clemesha (3), P. P. Batista (3),  
N. J. Schuch (2)**

(1) Universidade Federal de Santa Maria – Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM, Santa Maria, RS, Brazil

(2) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE-MCT, Santa Maria, RS, Brazil

(3) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Aeronomia – DAE/INPE-MCT, São José dos Campos, SP, Brazil.

SKiYMET meteor radars are now operating in three locations in Brazil: São João do Cariri (37 W, 7 S), Cachoeira Paulista (45 W, 23 S) and Santa Maria (54 W, 30 S). These radars provide 24 - hour data on upper atmosphere winds between 80 and 100 km, with a time resolution of about 1 hour. All three radars are located at comparatively remote, poorly surveyed sites. For this reason there exist some doubts as to the precision with which their interferometric antennas systems are aligned. A precise knowledge of the alignment of the antennas with respect to geographic north is necessary to be able to accurately determine the meridional and zonal components of the winds. This knowledge is even more important if the radar data is to be used for the study of meteor shower radiants. In this paper we use the radar data for shower meteors to estimate the error in antenna alignment. To do this we make a series of small software adjustments to the assumed antenna alignment and, for each adjustment, calculate the meteor count at the radiant peak. It is then assumed that the adjustment giving maximum meteor count corresponds to the correct value for the antenna alignment. This process was repeated for sequences of days during several different showers for each radar. Averaging the results over the various showers measured provides a final antenna alignment value for each radar.

## **ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA – X PARA A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS**

Diego dos Santos, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Luzia Lux Lock, Nelson Jorge Schuch, [diego@lacesm.ufsm.br](mailto:diego@lacesm.ufsm.br), Universidade Federal de Santa Maria

Um programa de cooperação foi assinado em 6 de julho de 1988 entre a China e o Brasil para desenvolver dois satélites de Observação da Terra. Esse programa conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS), combina os recursos financeiros e de especialistas dos dois países, para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto, que é competitivo e compatível com o presente cenário internacional. O programa CBERS foi concebido como modelo de cooperação horizontal e intercâmbio entre países em desenvolvimento. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto, obtendo desta forma, uma poderosa ferramenta para monitorar seu território de dimensões continental, com satélites próprios, buscando consolidar autonomia no segmento de Observação da Terra. O Programa CBERS contemplou num primeiro momento dois satélites, CBERS-1 e 2, com o sucesso, ambos os Governos decidiram expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria Sino-Brasileira. A participação Brasileira que antes era de 30%, passa a ser ampliada para 50%, o que leva o Brasil a uma condição de igualdade com a China. A Divisão de Eletrônica Aeroespacial, DEA/ETE/INPE – MCT, propôs um projeto com o Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT, na área de Telecomunicações, para efetuar a análise e síntese de antenas do tipo refletor moldado para a transmissão dos dados na Banda – X, que serão aplicadas nos satélites CBERS-3 e 4. A metodologia a ser empregada será a Óptica Física Assintótica para o cálculo do campo espalhado pelo refletor e a otimização de sua superfície com métodos de otimização não lineares.

## **ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DE ANTENAS DE HÉLICES QUADRIFILARES**

Luzia Lux Lock, Diego dos Santos, Thiago Brum Pretto, Carlos Alberto Iennaco Miranda, Nelson Jorge Schuch,  
luzia@lacesm.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

O Brasil possui um sistema de coleta de dados ambientais, com base na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo Território Nacional. Os satélites SCD-1, o SCD-2 e o CBERS-2 desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT trabalham coletando os dados das PCDs e os retransmitindo para as estações receptoras, em Cuiabá e Alcântara. Seus Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) requerem antenas que forneçam uma cobertura quase omnidirecional, tanto na recepção, quanto na transmissão. Estas coberturas são obtidas montando pares de hélices quadrifilares com polarização circulares opostas nos painéis superior e inferior do satélite. Tendo em vista a aplicação em outros satélites em desenvolvimento, o objetivo deste projeto é realizar a análise e otimização dos parâmetros deste tipo de antena, levando em consideração os materiais utilizados em sua fabricação, bem como de sua estrutura. O Projeto prevê, no desenvolvimento das antenas, a modelagem e otimização, utilizando-se o método de elementos finitos em eletromagnetismo, incorporado em programas de simulação de estruturas em alta frequência.

## **DESENVOLVIMENTO DE ANTENAS DIPOLO DO SISTEMA LOFAR PARA ESTUDO DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL**

Cleomar Pereira da Silva, Maiquel dos Santos Canabarro, Diego dos Santos, Luzia Lux Lock, Thiago Brum Pretto, Nelson Jorge Schuch, cleomar@lancesm.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria

Radiotelescópios são equipamentos projetados para observar os fenômenos cósmicos através do monitoramento do espectro eletromagnético dentro de uma determinada faixa de frequências. O Sistema LOFAR é um radiotelescópio digital que está sendo projetado e desenvolvido na Europa para trabalhar na faixa de frequências de 10 a 240 MHz. É composto por um conjunto de antenas dipolos omnidirecionais e por um computador central capaz de simular um telescópio físico de até 350 km de raio. No projeto planejado no âmbito da Parceria INPE - UFSM e em andamento no Observatório Espacial do Sul, OES/CRSPE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS, está sendo estudada a viabilidade de instalação de algumas antenas similares as do LOFAR. Estudos de rádio interferência vêm sendo realizados periodicamente no Observatório Espacial do Sul com o uso de antenas monopolos. O objetivo desta segunda etapa é adquirir o conhecimento necessário ao projeto e construção de um Sistema Protótipo similar ao Sistema LOFAR, com início na confecção de antenas dipolo similares as utilizadas pelo Sistema Europeu. Estas antenas servirão para a realização de um novo estudo de rádio interferência e comparação com os resultados anteriores. Como metodologia esta sendo efetuada uma revisão da literatura para obter informações atualizadas sobre as antenas que estão sendo utilizadas no Sistema LOFAR. Será escolhido um modelo de antena dipolo para a aquisição do nível de rádio interferência. O nível de rádio interferência assim obtido será comparado com o nível de rádio interferência obtido a partir de uma antena monopolo. A avaliação dos parâmetros da antena a ser construída será realizada com *Network Analyzer* e o *Spectrum Analyzer*. São esperados como resultados a consolidação de um modelo de antena dipolo eficiente na avaliação das características de rádio interferência do local. É importante termos dados atualizados a respeito do nível de rádio interferência no Observatório, visto que a instalação de antenas do Sistema LOFAR na região poderia servir de complemento à pesquisa, fornecendo informações sobre o Hemisfério Sul Celeste que não poderiam ser obtidas com a atual configuração do Sistema que está sendo instalado na Holanda, no Hemisfério Norte.

## **ÓPTICA FÍSICA APLICADA A SÍNTESE DE ANTENAS TIPO REFLETOR MOLDADO PARA OS SATÉLITES CBERS-3 E 4<sup>1</sup>**

Diego dos Santos<sup>2</sup>, Luzia Lux Lock<sup>3</sup>, Carlos Alberto Iennaco Miranda<sup>4</sup>,  
Nelson J. Schuch<sup>5</sup>

O Programa CBERS nasceu de uma parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto, obtendo desta forma, uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar autonomia neste segmento.

O Programa CBERS desenvolveu dois satélites de sensoriamento remoto, CBERS-1 e 2, e com o sucesso obtido, ambos os governos decidiram expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria sino-brasileira.

Nesse projeto, a participação brasileira que antes era de 30 %, está sendo ampliada para 50%, o que leva o Brasil à uma condição de igualdade com o parceiro. A previsão de lançamento para o CBERS-3 é para 2008, e para o CBERS-4 em 2010.

Este trabalho, proposto pela Divisão de Eletrônica Aeroespacial, DEA/ETE/INPE – MCT, visa apresentar as bases de um novo projeto em desenvolvimento no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT. A primeira parte do projeto tem como objetivo a síntese e análise de uma antena do tipo refletor moldado, para a transmissão dos dados na Banda – X, nos satélites CBERS-3 e 4, utilizando-se a Óptica Física e Óptica Física Assintótica. O objetivo final é a comparação com resultados obtidos através de um modelo desta mesma antena desenvolvida na Divisão de Eletrônica Aeroespacial em São José dos Campos, onde se fez uso da Óptica Geométrica.

1 - Trabalho desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT, em parceria com o LACESM/CT – UFSM

2 - Apresentador: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica LACESM/CT - UFSM

3 - Co-autora: Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica LACESM/CT - UFSM

4 - Orientador: Dr. Pesquisador DEA/ETE/INPE - MCT

5 - Co-orientador: Coordenador da Ação 1275 PNAE, Implantação do CRSPE/INPE - UFSM

## **OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS TIPO HÉLICE QUADRIFILAR PARA APLICAÇÃO ESPACIAL <sup>1</sup>**

Luzia Lux Lock <sup>2</sup>, Diego dos Santos<sup>3</sup>, Thiago Brum Pretto<sup>4</sup>,  
Carlos Alberto Iennaco Miranda<sup>5</sup>, Nelson J. Schuch<sup>6</sup>

O estudo de antenas para aplicações em satélites é tecnologicamente relevante para o Brasil. O País possui a Missão de Coleta de Dados, cujo objetivo é fornecer um sistema de coleta de dados ambientais, com base na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo Território Nacional.

Subsistemas de Coleta de Dados (DCS) e de Telecomunicações de Serviço (TMTC) requerem antenas que forneçam uma cobertura quase omnidirecional, tanto na recepção, quanto na transmissão. Estas coberturas são obtidas a partir da montagem de pares de hélices quadrifilares com polarizações circulares opostas nos painéis superior e inferior do satélite. Dessa forma, o Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, INPE – MCT, o qual possui satélites próprios em órbita, tais como o SCD-1, SCD-2 e o CBERES 2, vem desenvolvendo projetos para otimizar os parâmetros deste tipo de antena. Neste projeto, está sendo realizado o estudo de antenas, em especial das quadrifilares, com modelagens por meio de programas como o Solid Works e o High Frequency Structure Simulator (HFSS). O objetivo é analisar e otimizar este tipo de antena, levando em consideração os materiais utilizados em sua fabricação, bem como de sua estrutura.

1 - Trabalho desenvolvido no Laboratório de Radiofrequência e Telecomunicações do CRSPE/INPE – MCT, em Parceria com o LACESM/CT – UFSM.

2 - Apresentador: Acadêmica do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

3 – Co-autor: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

4 – Co-autor: Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica - LACESM/CT/UFSM

5 - Orientador: Dr. Pesquisador DEA/ETE/INPE – MCT, São José dos Campos, SP.

6 - Co-Orientador: Pesquisador e Coordenador da Ação 1275, PPA 2004-2007, do PNAE – Implantação do CRSPE/INPE – MCT.

## 57th International Astronautical Congress 2006

Materials and Structures Symposium (C2.)  
Poster Session on Materials and Structures - Part I (P.1.)

Author: Mss. Luzia Lux Lock

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
luzia@lacesm.ufsm.br

Dr. Carlos Alberto Iennaco Miranda

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - MCT, São José dos Campos, Brazil,  
miranda@dea.inpe.br

Mr. Thiago Brum Pretto

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
thiago@lacesm.ufsm.br

Mr. Diego dos Santos

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, LACESM/CT - UFSM and Centro  
Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, Brazil,  
diego@lacesm.ufsm.br

Mr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRSPE/INPE - MCT, Santa Maria, RS, Brazil,  
njschuch@lacesm.ufsm.br**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF QUADRIFILAR ANTENNAS FOR  
BRAZILIAN SATELLITES**

## Abstract

Data Collecting (DCS) and Service Telecommunication (TMTC) systems require antennas that provide omni-directional coverage, in reception and transmission. Such coverage is obtained mounting for each system, a pair of quadrifilar helices on opposite sides of the satellite with right and left hand circularly polarization respectively. The Satellites SCD-1, SCD-2, as well their antennas, designed and developed by National Institute for Space Research – INPE/MCT, and CBERS-2, designed and developed through a partnership between Brazil and China, use this type of antenna to accomplish the telemetry transmission and command (TTC) and data transmission. This paper presents analysis and optimization of quadrifilar antennas, and the results compared with the models used on the satellites constructed by INPE. The quadrifilar antenna is composed by two orthogonal bifilares fed in phase quadrature. The bifilar used is a two elements helical antenna. Each element is a half-turn, half-wavelength helix. As with all coaxially fed balanced antennas the bifilar requires a balun.

The method used was the “infinite balun” which employs a semi-rigid coaxial cable as one of the elements of the bifilar. At the feed point the center conductor of the coax is soldered to the opposite wire, whose material is copper clad steel. The balun’s function is to distribute equal currents of opposite phase to flow on the outer surfaces of the coaxial cable and adjoining wire. The 90 degree phase relationship between bifilars needed to produce the quadrifilar can be achieved by the self-phased method. The desired 90° degree phase difference is obtained by designing the orthogonal bifilars such that one bifilar is larger relative to the desired resonant frequency length and, therefore, inductive while the other bifilar is smaller and, therefore, capacitive. The antennas project developed by INPE, haven’t considered the effects of the materials used on their structure. With the modeling of this antenna, using the Solid Works Software®, and doing the simulation with the High Frequency Structure Simulator® (HFSS) software, the parameters are adjusted for the antenna optimization, thus becoming, more practical and advantageous the construction of the antenna.

## **APÊNDICE B**

### **PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

Neste anexo está apresentado o Projeto correspondente à bolsa de Iniciação Científica do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT:

#### **Nome do Orientador**

Carlos Alberto Iennaco Miranda

#### **C.P.F.:**

851544908-00

#### **Título do Projeto**

Síntese de antena tipo refletor moldado para transmissão de dados na Banda – X utilizando Óptica Física

#### **Palavras-chaves**

1. Antenas
2. Antenas para Satélites
3. Hélices Quadrifilares

#### **Área do conhecimento (de acordo com o formulário CNPq)**

1. Engenharia
2. Engenharia Aeroespacial
3. Antenas para Satélites

#### **Objetivos Específicos**

O INPE desenvolve uma antena tipo refletor moldado, para a transmissão de dados na Banda – X, nos satélites CBERS 3 & 4. O objetivo do trabalho é a síntese deste tipo de antena, utilizando a Óptica Física e Óptica Física Assintótica.

**Metodologia**

- 1 – Óptica Física
- 2 – Óptica Física Assintótica

**Plano de Trabalho do Bolsista**

- 1- Estudo de Óptica Física e Óptica Física Assintótica.
- 2- Programação do método para a síntese de uma antena tipo refletor moldado.

**Cronograma de Atividades**

Julho/2005 - Janeiro/2006 - Estudo dos Fundamentos de Óptica Física e Óptica Física Assintótica.

Julho/2005 - Fevereiro/2006 - Programação do método.

Janeiro/2006 - Junho/2006 - Síntese de uma antena tipo Refletor Moldado e comparação com resultados da Óptica Geométrica.

**Resultados Esperados**

- 1 - Estudo de Óptica Física e Óptica Física Assintótica.
- 2 - Estudo de Antenas para Satélites.
- 3 - Análise e síntese de antenas tipo Refletor Moldado e comparação com resultados do modelo desenvolvido no INPE para os satélites CBERS 3 & 4.

**Referências Bibliográficas:**

- 1 - Rusch, W.V.T.; Potter, P.D. Analysis of reflector antennas. New York, N.Y., Academic Press, 1970.
- 2 - Miranda, C.A.I. Teoria Assintótica de Espalhamento de Refletores Axialmente Simétricos. INPE - 2402-TDL/089, Maio 1982.



## **APÊNDICE C**

### **CERTIFICADOS**

Este Apêndice C apresenta os certificados dos trabalhos apresentados como autor em eventos e atividades de extensão dos quais o aluno participou durante o período de vigência da Bolsa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, no CRSPE/INPE – MCT, em Santa Maria.

# CERTIFICADO

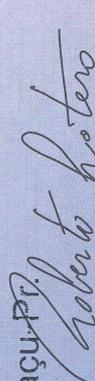
O Centro de Engenharias e Ciências Exatas da  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Confere o Presente certificado à

## DIEGO DOS SANTOS

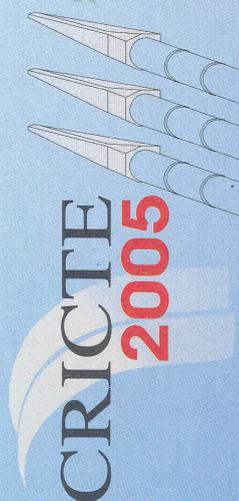
por ter participado e apresentado o trabalho:

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE ANTENAS OPERANDO NA BANDA - X PARA  
A SEGUNDA GERAÇÃO DOS SATÉLITES CBERS**

no XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia -  
CRICTE 2005, realizado nos dias 05, 06 e 07 de novembro de 2005  
no Campus da UNIOESTE/Foz do Iguaçu.



Prof. Roberto Cayetano Lotero, Dr.  
Presidente Comissão Organizadora XX CRICTE



XX CONGRESSO REGIONAL  
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA  
V FEIRA DE PROTÓTIPOS  
5 a 7 de novembro - Foz do Iguaçu

Realização:



Certificado



Certificamos que

DIEGO DOS SANTOS  
CARLOS ALBERTO IENNACO MIRANDA  
LUZIA LUX LOCK  
NELSON JORGE SCHUCH

Participou da XX Jornada Acadêmica Integrada da UFSM,  
nos dias 8, 9 e 10 de março de 2006, com o trabalho

ÓPTICA FÍSICA APLICADA A SÍNTESE DE ANTENAS  
TIPO REFLETOR MOLDADO PARA OS SATÉLITES  
CBERS-3 E 4

Comissão Executiva  
Março de 2006