



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS
GEOMAGNÉTICAS DE BAIXO RUÍDO A BORDO DE SATÉLITES
CIENTÍFICOS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO**

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

PROCESSO Nº. 102965/2011-0

Tális Piovesan

Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

Laboratório de Eletrônica

LE/CRS/CCR/INPE-MCT

Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas

LFSMIM/CRS/CCR/INPE – MCT

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

e-mail: talis.piovesan@lacesm.ufsm.br

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra - Orientador

Divisão de Geofísica Espacial

DGE/CEA/INPE – MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

e-mail: dutra@dge.inpe.br

Santa Maria, Julho de 2011



**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

PROJETO

**DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS
GEOMAGNÉTICAS DE BAIXO RUÍDO A BORDO DE SATÉLITES
CIENTÍFICOS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO**

PROCESSO: 102965/2011-0

Relatório elaborado por **TÁLIS PIOVESAN** relatando as atividades executadas por:

Tális Piovesan- Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

e-mail: talis.piovesan@lacesm.ufsm.br

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra - Orientador

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT

e-mail: dutra@dge.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-Orientador

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT

e-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Bolsista:

Tális Piovesan

Acadêmico de Engenharia Elétrica .
Centro de Tecnologia
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Processo:

PIBIC/INPE – CNPq/MCT 102965/2011-0

Orientador:

Dr. Severino Luiz Guimarães Dutra

Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT

Co-Orientadores:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT

Colaboradores:

Tardelli Ronan Coelho Steckel

Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal de Santa Maria -
UFSM

Andirlei Claudir da Silva

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura – UFSM

José Paulo Marchezi

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura – UFSM

Tiago Bremm

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura – UFSM

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Eletrônica – LE/CRS/CCR/INPE - MCT

Laboratório de Física Solar do Meio Interplanetário e Magnetosferas -
LFSMIM/CRS/CCR/INPE – MCT.

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT.

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE/MCT - UFSM, através do
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM.



Grupo de Pesquisa

Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

<u>Identificação</u>	<u>Recursos Humanos</u>	<u>Linhas de Pesquisa</u>	<u>Indicadores do Grupo</u>
----------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------

Identificação

Dados básicos

Nome do grupo: Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/03/2011 14:37

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch
Natanael Rodrigues Gomes

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de





Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Australia (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geo espaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos

Pesquisadores

Total: 46

[Ademar Michels](#)

[Jean Pierre Raulin](#)

[Alan Prestes](#)

[Joao Paulo Minussi](#)

[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)

[Jose Humberto Andrade Sobral](#)

[Alisson Dal Lago](#)

[Juliano Moro](#)

[Antonio Claret Palerosi](#)

[Lucas Ramos Vieira](#)

[Barclay Robert Clemesha](#)

[Mangalathayil Ali Abdu](#)

[Caitano Luiz da Silva](#)

[Marcelo Barcellos da Rosa](#)

[Carlos Roberto Braga](#)

[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)





Cassio Espindola Antunes	Marcos Vinicius Dias Silveira
Clezio Marcos De Nardin	Nalin Babulal Trivedi
Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eurico Rodrigues de Paula	Odim Mendes Junior
Ezequiel Echer	Osmar Pinto Junior
Fabiano Luis de Sousa	Otavio Santos Cupertino Durão
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Pawel Rozenfeld
Fernanda de São Sabbas Tavares	Petrônio Noronha de Souza
Fernando Luís Guarnieri	Polinaya Muralikrishna
Gelson Lauro Dal' Forno	Rafael Lopes Costa
Hisao Takahashi	Rajaram Purushottam Kane
Ijar Milagre da Fonseca	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Jean Carlo Santos	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes

Total: 24

Bruno Knevitz Hammerschmitt	Leonardo Zavareze da Costa
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Camponogara Viera
Claudio Machado Paulo	Lucas Lopes Costa
Dimas Irion Alves	Lucas Lourencena Caldas Franke
Edson Rodrigo Thomas	Mauricio Rosa de Souza
Eduardo Escobar Bürger	Nikolas Kemmerich
Eduardo Weide Luiz	Pietro Fernando Moro
Felipe Cipriani Luzzi	Roger Hatwig de Lima
Guilherme Grams	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Guilherme Simon da Rosa	Tális Piovesan
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel
José Paulo Marchezi	William do Nascimento Guareschi

Técnicos

Total: 2

Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

Linhas de pesquisa

Total: 4

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)



Relações com o setor produtivo	Total: 0
---------------------------------------	-----------------

Indicadores de recursos humanos do grupo

Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	46
Estudante(s)	24
Técnico(s)	2



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

Linha de pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

Nome do grupo: [Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

Palavras-chave: CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

[Ademar Michels](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernando Luís Guarnieri](#)
[Ijar Milagre da Fonseca](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)





[Lucas Ramos Vieira](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odim Mendes Junior](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

Estudantes:

[Dimas Irion Alves](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Guilherme Grams](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Igor Freitas Faundes](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tális Piovesan](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

Setores de aplicação:

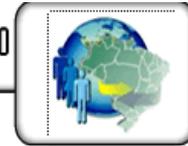
Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Linha de pesquisa

MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO

Nome do grupo: [Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

Palavras-chave: Anomalia Magnética do Atlântico Sul - AMAS;
Desenvolvimento de Instrumentação Espacial; Eletricidade Atmosférica - Descargas Elétricas; Física Magnetosferas, Física Solar e Heliosférica; Geomagnetismo; Magnetômetros;

Pesquisadores:

[Alisson Dal Lago](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Jean Carlo Santos](#)
[Joao Paulo Minussi](#)
[Mangalathayil Ali Abdu](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Osmar Pinto Junior](#)
[Pawel Rozenfeld](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)

Estudantes:

[Claudio Machado Paulo](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Edson Rodrigo Thomas](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Camponogara Viera](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tális Piovesan](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)



Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica; Geofísica Aplicada;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Geofísica Espacial;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;

Setores de aplicação:

Produtos e Serviços Voltados Para A Defesa e Proteção do Meio Ambiente, Incluindo O Desenvolvimento Sustentado

Objetivo:

Pesquisas: acoplamento da Heliosfera, Meio Interplanetário e Magnetosferas Planetárias, com dados de sondas espaciais e nas magnetosferas; modelos físicos/estatísticos; variação secular do Campo Total-F, 22883 nT no OES, na razão -28 nT/ano; deslocamento para oeste da AMAS observado desde 1985, via Cooperação: UFSM-ON-INPE com o SERC/KU-Japão; pulsações contínuas e/ou impulsivas observadas na componente H amplificadas pela precipitação na região da AMAS. Vice-Líder: Nalin Babulau Trivedi.



AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Nelson Jorge Schuch pela oportunidade de ingressar no CRS/CCR/INPE – MCT, por todo o seu apoio, incentivo e comprometimento durante a vigência do Projeto de Pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Dr. Severino Dutra pelo seu apoio e oportunidade única de desenvolver um Projeto de Pesquisa de I. C. & T. no âmbito do INPE/MCT.

Aos meus colegas de laboratório, Andirlei Claudir da Silva, José Paulo Marchezi, Tiago Bremm, e o Engenheiro Eletricista Tardelli Ronan Steckel pelo companheirismo, auxílio pessoal, profissional e conhecimentos adquiridos durante o andamento do projeto.

Ao Programa de Iniciação Científica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pelo financiamento do Projeto de Pesquisa e o auxílio fornecido neste período.



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
1- RESUMO	12
2- INTRODUÇÃO.....	13
3- CAMPO GEOMAGNÉTICO	14
4- MAGNETÔMETROS	18
5- APLICAÇÕES ESPACIAIS	25
6- CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS DO PROJETO.....	27
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ANEXOS	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Representação do magnetismo terrestre e o dipolo magnético ..	18
Figura 3.2 - Magnetosfera terrestre e a interação com o sol	18
Figura 3.3 - Componentes ortogonais do campo magnético terrestre	19
Figura 3.4 - Anomalia magnética do atlântico sul	19
Figura 3.5 - Área onde ocorre a maior parte dos danos em satélites ao redor do globo	20
Figura 4.1 - Curva de histerese de um material ferromagnético mole	22
Figura 4.2 - Domínios magnéticos não orientados	22
Figura 4.3 - Domínios magnéticos do núcleo orientados	23
Figura 4.4 - Representação do núcleo e a bobina de excitação	24
Figura 4.5 - Sinal aplicado para a excitação da bobina primária	24
Figura 4.6 - Bobina de detecção	25
Figura 4.7 - Sensor composto pelas duas bobinas e o núcleo de alta permeabilidade magnética	25
Esquema 4.1 - Topologia dos circuitos elétricos envolvidos no magnetômetro fluxgate	26
Esquema 5.1 - Esquema da determinação de atitude de um satélite utilizando magnetômetros	27



1- RESUMO

O Planeta Terra é circundado por uma camada protetora denominada Magnetosfera, advinda de correntes do plasma internos à crosta terrestre que geram um campo magnético e da interação com os outros planetas do sistema solar.

A intensidade deste campo magnético não permanece constante ao redor do Globo, e sofre alterações diárias com a interação solar, como as tempestades solares e demais partículas advindas do meio espacial. Tal fenômeno faz com que haja uma região que apresenta os menores índices de indução magnética, denominada Anomalia Magnética do Atlântico Sul, que possui seu ponto crítico no Paraguai, porém, afeta em algumas partes da região sul do Brasil, principalmente o Rio Grande do Sul, onde a precipitação de partículas espaciais é maior do que em outras partes do mundo.

O monitoramento destes fenômenos acontecem com o uso de magnetômetros, no qual faz a medição das componentes ortogonais do campo magnético, H(norte-sul), D(leste-oeste), Z(vertical), podendo assim quantificar as variações das mesmas e prever, por exemplo, fortes tempestades solares, que podem prejudicar de maneira considerável o setor de telecomunicações, transmissão de energia elétrica, setor aéreo, dentre outros.

Outro uso dos magnetômetros acontece no setor espacial, onde suas medições servem para orientar satélites científicos em sua órbita espacial, sendo um dos principais componentes do controle de atitude dos mesmos.

Em meio a sua importância, são estudados no Laboratório de Eletrônica do CRS/CCR/INPE-MCT, magnetômetros de núcleo saturado, ou *fluxgate*, de baixo custo e baixos índices de ruído para o estudo do campo geomagnético.

2- INTRODUÇÃO

O Projeto de Pesquisa trata de áreas importantes, tais como, estudo das **Propriedades dos Materiais**, o **Eletromagnetismo**, e a **Geofísica**, que apresenta grandes importâncias em nossas vidas. Por exemplo, na aviação são necessárias cartas magnéticas para a localização e precisão na hora do voo, visto que instrumentos como bússolas sofrem influências de materiais ferromagnéticos, de modo a por em dúvida sua confiabilidade. Na prospecção mineral são usados magnetômetros para identificar novos poços de petróleo, dentre outros minerais, de modo a evitar escavações e gastos desnecessários sem o prévio conhecimento dos custos e benefícios.

Os objetivos do projeto de pesquisa “**DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS DE BAIXO RÚIDO A BORDO DE SATÉLITES CIENTÍFICOS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO**” são o desenvolvimento de novas tecnologias, com um baixo custo, um bom rendimento e confiabilidade.

O Relatório descreve as seguintes abordagens:

- **campo magnético terrestre**, ressaltando algumas de suas particularidades;
- **funcionamento dos magnetômetros**, principalmente os do tipo *fluxgate*;
- **aplicações espaciais**;
- **perspectivas e continuação do projeto**;

3- CAMPO GEOMAGNÉTICO

No Relatório são ressaltados vários fenômenos elétricos e magnéticos, portanto, para começarmos a análise devemos ter em mente a definição de circuito concentrado. Em fenômenos que envolvem eletricidade, a velocidade da transmissão da corrente elétrica é considerada igual à velocidade da luz, ou seja, $c = 300000km/s$, sendo assim, um circuito, ou fenômeno, é considerado concentrado quando suas dimensões não ultrapassam a 10% do tamanho do comprimento de onda, expresso em (1).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Para circuitos concentrados podemos fazer as análises de tensão, corrente, potência, através das Leis de Kirchhoff. Como o Planeta Terra é de grandes dimensões, devemos utilizar as leis de Maxwell para estudar seus fenômenos eletromagnéticos.

Maxwell desenvolveu quatro leis fundamentais que regem todos os princípios dos fenômenos elétricos e magnéticos, e suas inter-relações, expressas em (2), (3), (4), (5).

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (5)$$

Como explicado, o Planeta Terra apresenta ao seu redor um campo magnético, advindo de três fontes, onde a principal delas é gerada a partir das

correntes de plasma que circulam no interior do planeta, gerando uma corrente elétrica e conseqüentemente um campo magnético, tal fenômeno é conhecido como **Geodínamo**, e é responsável por até oitenta por cento da intensidade campo magnético total. As outras fontes são a interação com outros planetas do sistema solar e rochas magnéticas internas ao manto terrestre. A indução magnética está relacionada com a intensidade do campo magnético \vec{H} , e da permeabilidade magnética do meio, expresso em (6) e a indução total é representada em (7).

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (6)$$

$$\vec{B}_t = \vec{B}_{geo} + \vec{B}_{plan} + \vec{B}_{min} \quad (7)$$

Onde :

\vec{B}_t : representa a indução magnética total;

\vec{B}_{geo} : indução magnética advinda do geodínamo;

\vec{B}_{plan} : indução magnética advinda da interação com outros planetas;

\vec{B}_{min} : indução magnética proveniente dos minerais;

A Terra pode ser considerada então como um grande imã, Figura 3.1, onde o norte magnético, ou o local onde saem as linhas de campo, é o sul geográfico.

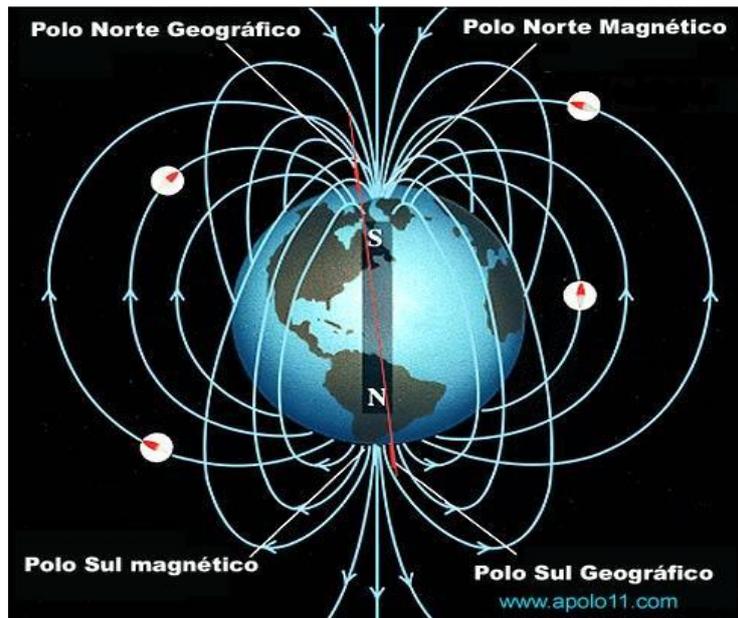


Figura 3.1: Representação do magnetismo terrestre e o dipolo magnético [6]

Porém, as linhas do campo magnético não seguem uniformes devido à interação solar e outros fatores. O resultante desta interação faz com que a magnetosfera sofra um estreitamento, formando uma espécie de cauda, Figura 3.2.

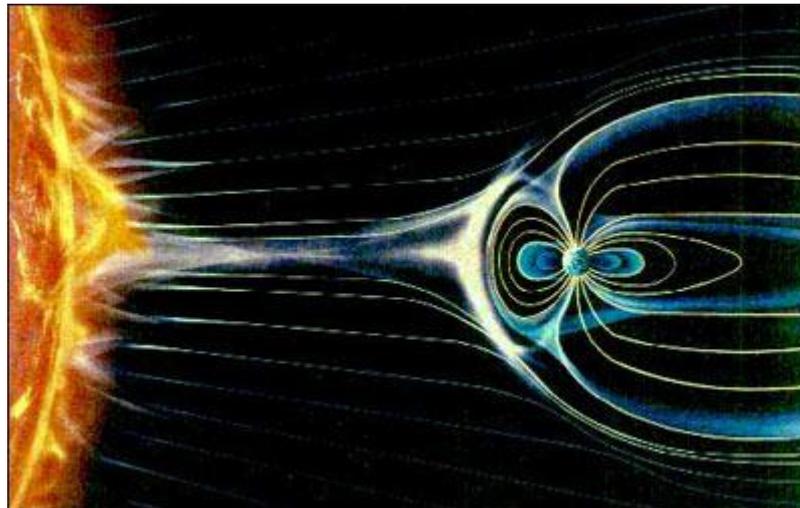


Figura 3.2: Magnetosfera terrestre e a interação com o sol[7]

O campo geomagnético apresenta as componentes H(norte-sul), D(leste-oeste) e Z(vertical) de intensidades variáveis ao redor do globo terrestre, Figura 3.3.

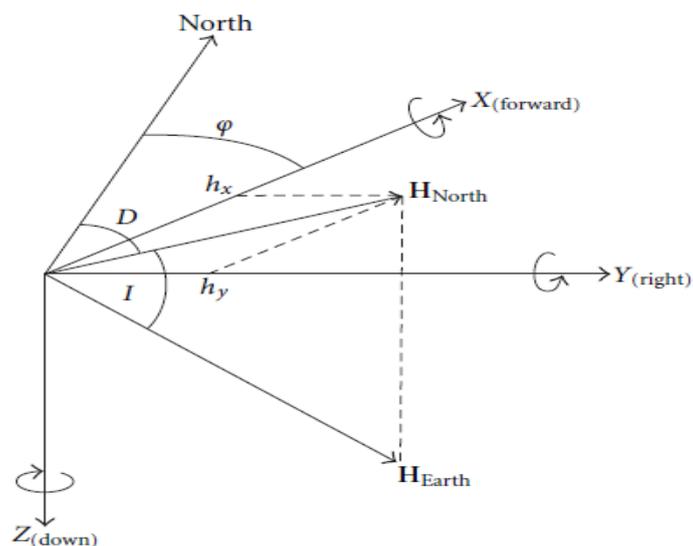


Figura 3.3: Componentes ortogonais do campo magnético terrestre [2]

Uma região particular a ser retratada é a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA), que apresenta os menores níveis da indução magnética do Planeta Terra, algo em torno de 22500 nT, onde este valor crítico situa-se no Paraguai, e abrange alguns estados da região Sul do Brasil, Figura 3.4, como o Rio Grande do Sul, o que faz com que o índice de precipitações advindas do espaço sejam maiores do que em outras regiões do mundo.

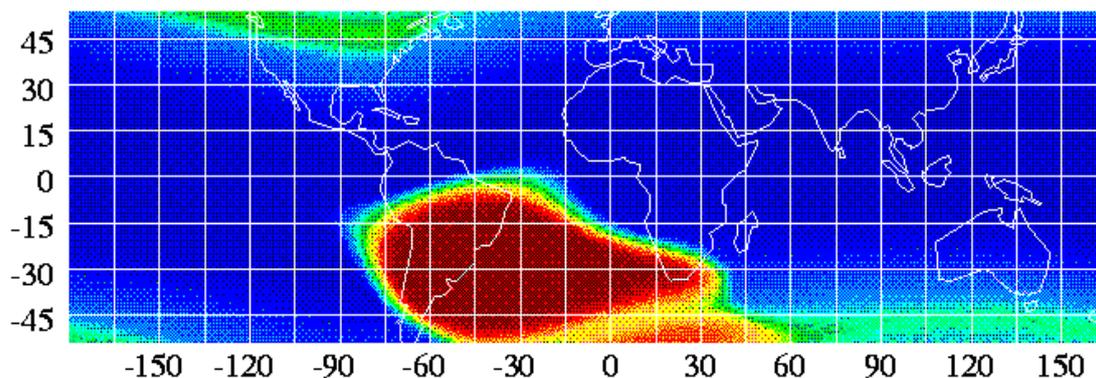


Figura 3.4: Anomalia magnética do atlântico sul, representada pela cor vermelha [10]

Um fato que comprova esta informação é a Figura 3.5, que representa que a área que engloba a Anomalia Magnética do Atlântico sul é a responsável pelo maior índice de danos e quebra de satélites.

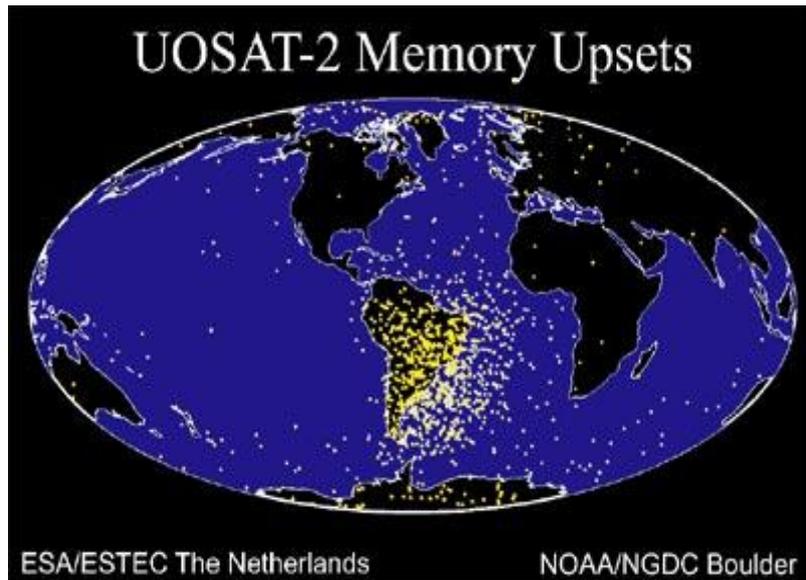


Figura 3.5: Área onde ocorre a maior parte dos danos em satélites ao redor do globo, representada pelos pontos amarelos [8]

4- MAGNETÔMETROS

Os magnetômetros são instrumentos de medição que medem a intensidade ou a variação do campo magnético terrestre. Existem vários gêneros e aplicações atualmente no mercado. Antigamente, na segunda guerra mundial, estes instrumentos eram usados para encontrar minas terrestres, ou monitorar o deslocamento de tanques de guerra adversários. Hoje, um dos seus maiores objetivos é de monitorar a atividade solar, fazer estudos paleomagnéticos, identificando o comportamento geomagnético do passado, também em aplicações espaciais e militares.

Os mesmos dividem-se em dois tipos, devido à sua forma de medição:

- **Magnetômetros escalares** - Medem apenas a intensidade do Campo Magnético. Dentre eles estão os magnetômetros de indução, precessão de prótons e de bombeamento ótico;

- **Magnetômetros vetoriais** - Além de informar a intensidade do campo, esta classe informa a sua direção já que é composto da medida dos três eixos que formam o vetor Campo Magnético. Nesta, encontram-se magnetômetros de efeito Hall, SQUIDs, e o fluxgate.

Os tipos mais utilizados no estudo geofísico são dos tipos **Magnetômetro de Prótons** e o **Magnetômetro de Núcleo Saturado**, ou **Fluxgate**, devido à sua alta confiabilidade nas medições, um baixo índice de ruídos e um custo razoavelmente baixo.

- Magnetômetro de Prótons:

São utilizados para fazer medições absolutas da intensidade total do campo geomagnético. Seu funcionamento está relacionado ao fato de o núcleo de hidrogênio mudar sua orientação do seu eixo de rotação quando um campo magnético é aplicado. Desta forma é possível medir o momento angular do núcleo que admite valores específicos. Com base neste princípio é possível medir a intensidade de um campo magnético aplicado a um líquido rico em átomos de hidrogênio pela medição do momento magnético gerado pelo movimento dos núcleos atômicos.

- Magnetômetro de Núcleo Saturado ou Fluxgate:

O Magnetômetro de Núcleo Saturado ou Fluxgate, que é o objetivo do Projeto de Pesquisa, utiliza das propriedades ferromagnéticas dos elementos sensores para mensurar a variação das componentes H, D, Z do campo geomagnético.

Um material ferromagnético é aquele que após ser magnetizado apresenta um magnetismo residual, ou seja, seus domínios magnéticos ficam em grande parte orientados no sentido da aplicação do fluxo magnético. Este ponto pode ser melhor visualizado na curva de histerese, Figura 4.1, que representa a indução magnética do material em meio à aplicação de um campo magnético \vec{H} . A área desta curva representa a energia gasta por ciclo para orientar os domínios magnéticos do material que posteriormente será usado como o núcleo sensor do campo magnético, que será de um material ferromagnético mole, ou seja, apresenta uma baixa coercibilidade, que neste caso será no formato de anel, para concentrar a maior parte do fluxo gerado e diminuir o ruído nas medições.

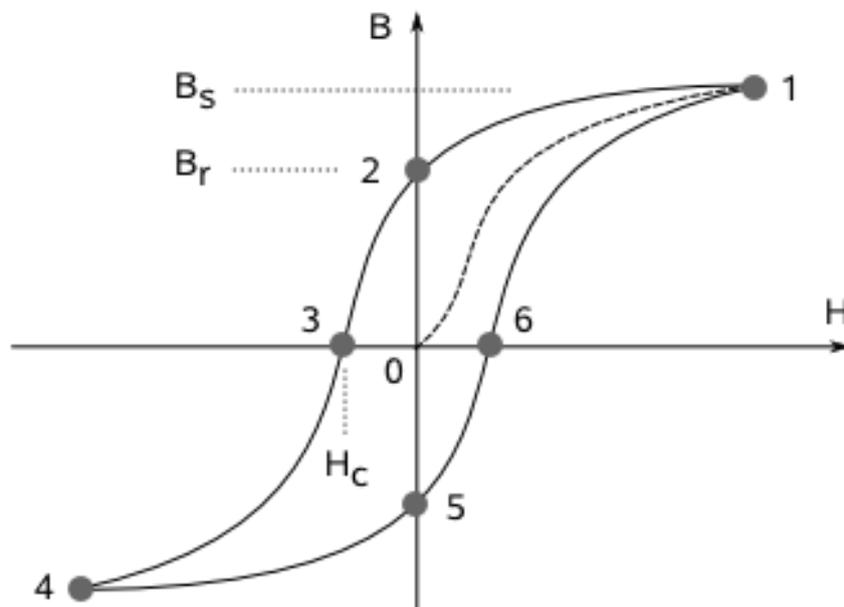


Figura 4.1: Curva de histerese de um material ferromagnético mole [9]

Onde :

- (1) Representa o ponto de saturação do material
- (2) Representa o Magnetismo residual
- (3) Representa a Coercibilidade

Os domínios magnéticos do núcleo do sensor em meio a aplicação de uma corrente à bobina de excitação são representados nas Figuras 4.2 e 4.3.

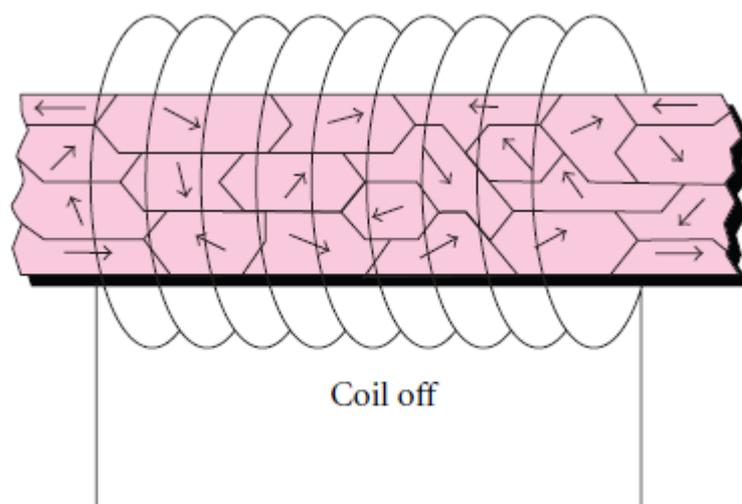


Figura 4.2: Domínios magnéticos não orientados [2]

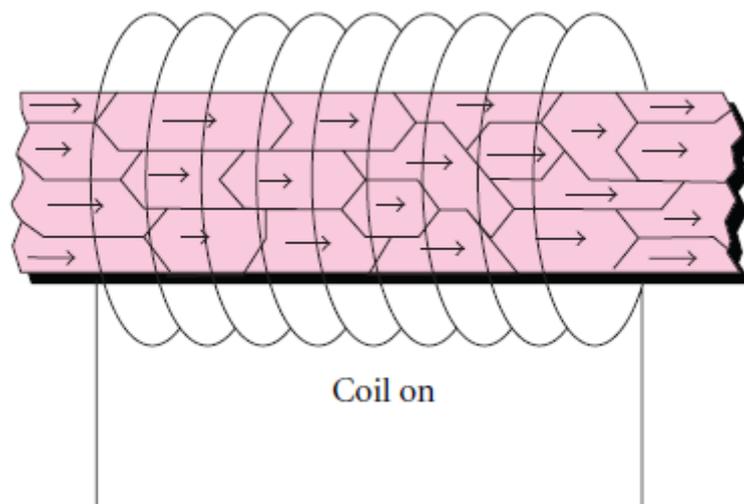


Figura 4.3 :Domínios magnéticos do núcleo orientados [2]

Faraday, em seus estudos descobriu que um condutor imerso em um campo magnético variável induz uma tensão nos terminais, ou seja, a variação do campo magnético terrestre, em suas três componentes ortogonais irá induzir tensões induzidas nas bobinas sensoras do mesmo.

O magnetômetro fluxgate com o sensor em anel possui em cada um dos seus sensores duas bobinas e um núcleo com alta permeabilidade magnética.

Uma das bobinas enroladas no núcleo é responsável pela excitação do núcleo, Figura 4.4, ou seja, ela controla a saturação e a orientação dos domínios magnéticos ao longo do tempo.

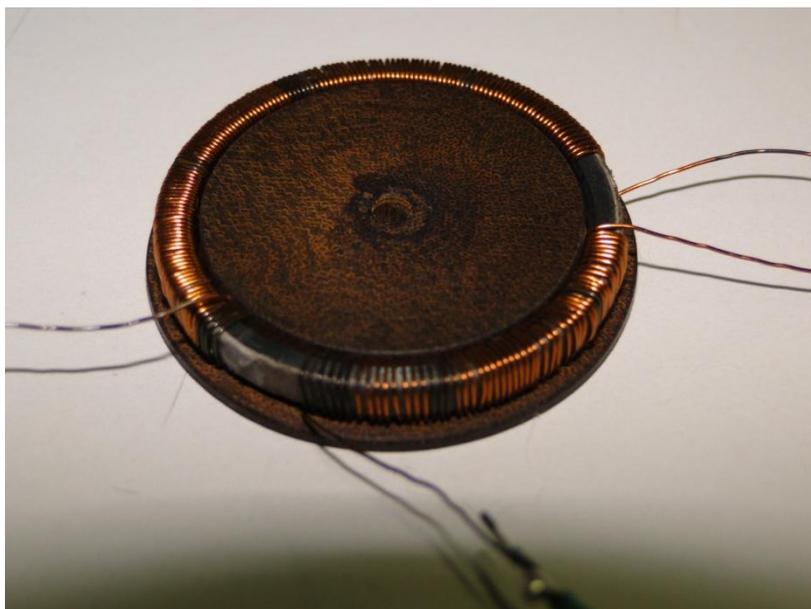


Figura 4.4: Representação do núcleo e a bobina de excitação desenvolvidos no Laboratório de Eletrônica do CRS/INPE-MCT

O sinal aplicado à esta bobina deve ser variável no tempo, como uma onda quadrada com uma frequência na faixa de kHz, Figura 4.5, assim a cada ciclo de excitação, é gerada nos terminais da bobina sensora uma tensão induzida.

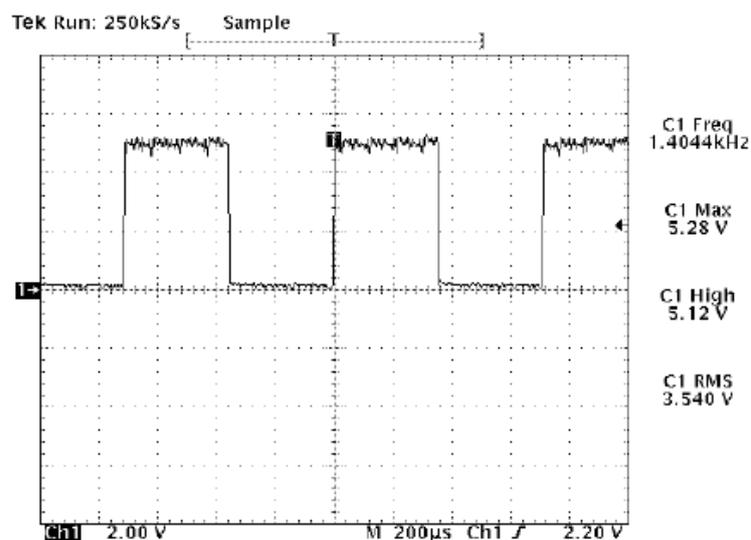


Figura 4.5: sinal de excitação da bobina primária utilizado no projeto do ex-bolsista Eduardo Andriguetto

A outra bobina envolvida no processo tem a finalidade de detectar a variação do campo magnético e gerar tensões induzidas em seus terminais, expressa na Figura 4.6, e o arranjo das duas bobinas e o núcleo são visualizados na Figura 4.7.

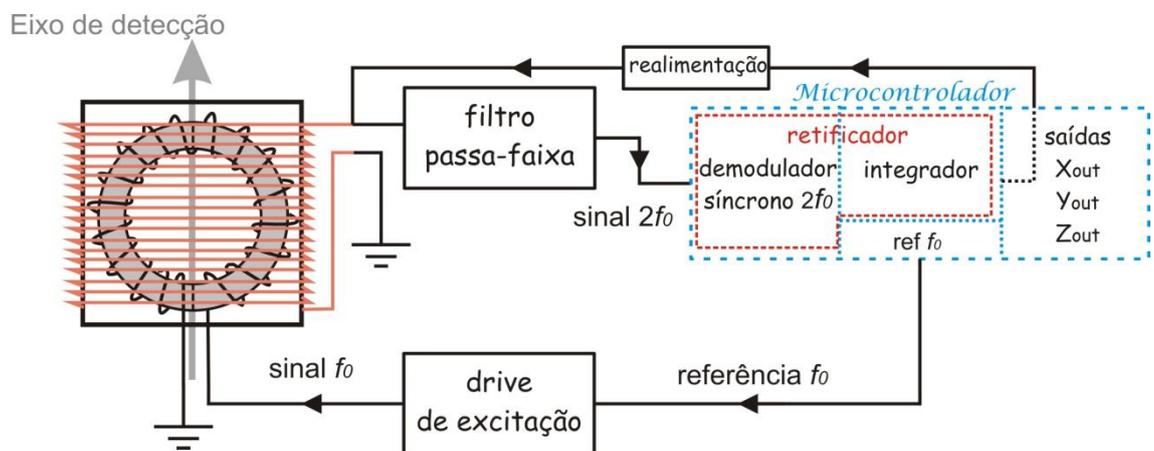


Figura 4.6: Bobina de detecção desenvolvida no Laboratório de Eletrônica do CRS/INPE-MCT



Figura 4.7: Sensor composto pelas duas bobinas e o núcleo de alta permeabilidade magnética desenvolvidos no Laboratório de Eletrônica do CRS/INPE-MCT

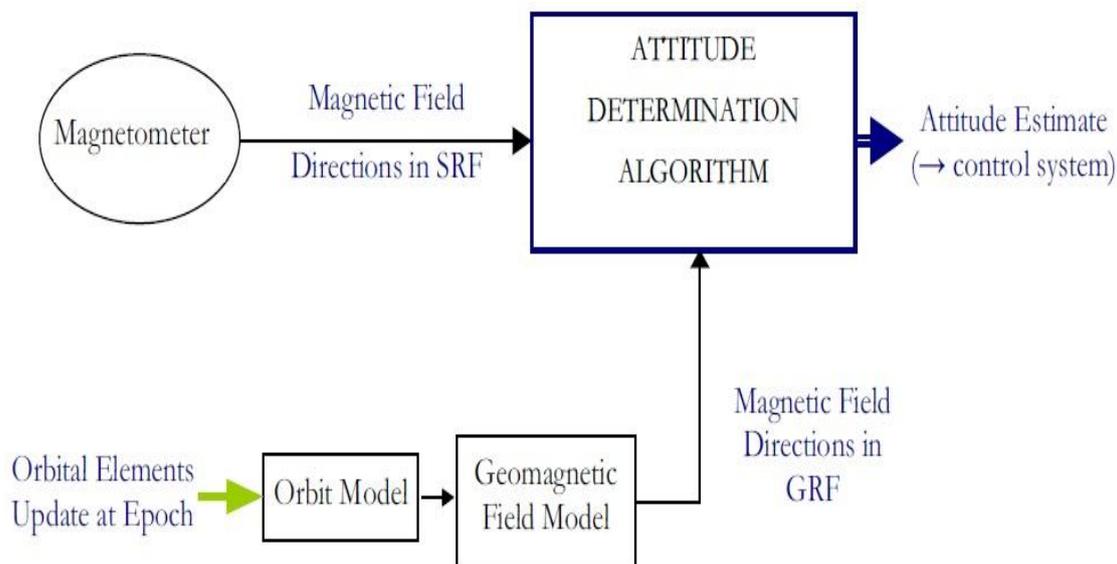
O sinal detectado terá o dobro da frequência de excitação, visto que são induzidas tensões na bobina sensora nos dois momentos em que o núcleo ferromagnético passa do estado de saturação para magnetismo nulo. O mesmo apresenta sinais harmônicos, e ruídos, que necessitam serem filtrados, afim de obter medidas concisas para a devida análise. O Esquema 4.1 representa a topologia dos circuitos envolvidos no magnetômetro fluxgate.



Esquema 4.1 : Topologia dos circuitos elétricos envolvidos no magnetômetro fluxgate, desenvolvido pelo ex-bolsista Cássio Antunes Espíndola.

5- APLICAÇÕES ESPACIAIS

Atualmente uma das mais importantes aplicações dos magnetômetros é no setor espacial, para o controle de satélites e outros elementos teleguiados no controle de atitude, que entende-se como a obtenção ou aproximação de uma matriz de rotação, ou quatérnios, que represente o deslocamento da orientação de um satélite em relação a uma série de vetores de referência inercial [3]. Os vetores de referência serão as medições obtidas pelo magnetômetros, e os vetores previamente determinados no micro controlador do satélite. Enquanto houver uma diferença entre estas medições, ou erro, o sistema controlador de atitude do satélite estará atuando. O Esquema 5.1, representa os elementos envolvidos no sistema determinador de atitude de um satélite.



Esquema 5.1: Esquema da determinação de atitude de um satélite utilizando magnetômetros[5]

O aprimoramento dos magnetômetros é de fundamental importância ao setor espacial, visto que é cada vez mais frequente o lançamento de satélites e



nano satélites ao espaço pra fins científicos e comerciais, o que exige cada vez mais a sua miniaturização, eficiência, precisão e baixos custos.

6- CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS DO PROJETO

No período compreendido entre fevereiro de 2011 e julho de 2011 o bolsista substituto Tális Piovesan fez a revisão bibliográfica sobre o projeto **“DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS DE BAIXO RUÍDO A BORDO DE SATÉLITES CIENTÍFICOS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO”** de modo que não foi possível desenvolver testes eletrônicos precisos e simulações em alguns elementos que envolvem o magnetômetro fluxgate, como analisar a curva de histerese dos sensores, desenvolver os circuitos de excitação e detecção do mesmo.

No ano de 2005 o ex-aluno de iniciação científica Eduardo Andriguetto desenvolveu um protótipo e expôs as topologias de seus circuitos com vários elementos analógicos, como transistores, e outros elementos descentralizados denominados circuitos integrados.

As perspectivas do andamento do projeto são de fazer adaptações ao projeto substituindo elementos analógicos por um micro controlador que execute estas mesmas funções, minimizando o número de componentes, diminuindo a área do circuito e as perdas de energia pelo Efeito Joule.



7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAMPBELL, W. H. **Introduction to Geomagnetic Fields**, Cambridge University Press, New York, 1997.
- [2] RENAUDIN, V.; AFZAL, M. H.; LACHAPELLE, G. **Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain**. University of Calgary, 2010.
- [3] STEKEL, T. R. C. **Estudo e Projeto de um Sistema Determinador de Atitude para Pequenos Satélites empregando sensor magnético**, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, 2010.
- [4] ANDRIGUETTO, E. **Desenvolvimento de Instrumentação para Medidas Geomagnéticas de baixo ruído a bordo de satélites científicos – Magnetômetro de Núcleo Saturado**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil, 2005.
- [5] FILIPSKI, M. N; ABDULLAH, E. J. **Nanosatellite Navigation with the WMM2005 Geomagnetic Field**. Faculty of Engineering University Putra Malaysia, Malaysia, 2005.
- [6] <http://biblioblogue.wordpress.com/2011/03/30/bibliciencia-19-%E2%80%93-%E2%80%9Ccampo-magnetico-terrestre%E2%80%9D-por-davide-lourenco/>, acesso em 12 de julho de 2011.
- [7] <http://ciencia.hsw.uol.com.br/auroras2.htm>, acesso em 12 de julho de 2011.
- [8] http://www.esa.int/esaEO/SEM6K71Y3E_index_1.html, acesso em 12 de julho de 2011
- [9] <http://www.mspc.eng.br/elemag/eletrm0260.shtml>, acesso em 12 de julho de 2011.
- [10] http://heasarc.nasa.gov/docs/rosat/gallery/misc_saad.html, acesso em 12 de julho de 2011.



ANEXOS

- Trabalhos publicados em congressos:

No período compreendido entre fevereiro de 2011 até julho de 2011 o bolsista substituto Tális Piovesan publicou os seguintes trabalhos científicos:

Piovesan, T; Schuch, N. J.; Durão, O. S. C.; Dutra, S. G.; Trivedi, N. B.; Mendes, O. Jr.; Antunes, C. S.; Steckel, T. R. C.; da Silva, A. C.; Marchezi, J. P.; Bremm, T., ***The NANOSATC-BR Magnetometer Systems***, In: I Magnet Brazil, 2011. Búzios, Rio de Janeiro, Brasil.