MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS ESPACIAIS DE SANTA MARIA

# ESTUDOS EXPERIMENTAIS VISANDO O DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO

**Eduardo Andrighetto**

Bolsista PIBIC/CNPq/INPE – UFSM
Curso de Engenharia Elétrica

**Orientador:** Dr. Nalin Babulal Trivedi
**Co-autores:** Cassio Espindola Antunes, Everton Frigo,
Elias Fernado Berra, Nelson Jorge Schuch

# INTRODUÇÃO

- A apresentação dará enfoque a implementação eletrônica de um magnetômetro utilizando sensores fluxgate em barra linear para detecção do campo magnético na ordem de frações de nanoteslas;

- Os resultados finais obtidos com o magnetomêtro são apresentados na forma de gráficos diários obtidos na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT em São Martinho da Serra, RS.

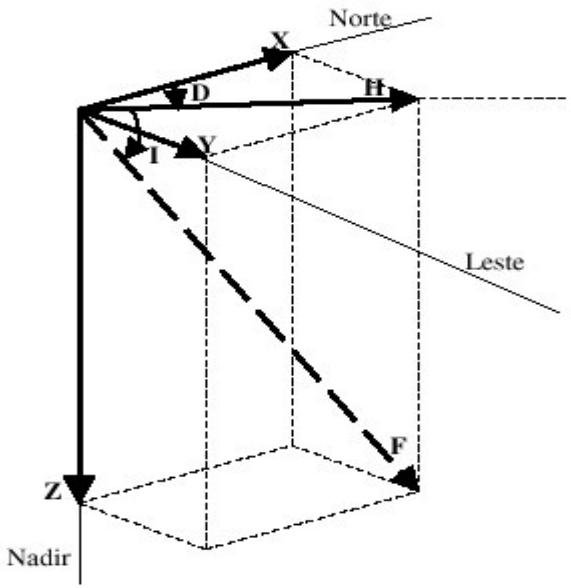
# OBJETIVOS

- Estudar técnicas de medição das variações de Campo Magnético Terrestre para realizar estudos na área de Geofísica Espacial;
- Desenvolver estudos experimentais visando o desenvolvimento de instrumentação para medidas geomagnéticas – magnetômetro de tipo "*fluxgate*" de três componentes;
- Operar o magnetômetro "*fluxgate*" na Estação Geomagnética do Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS;

# Fundamentos Geofísicos

- **Campo Magnético Terrestre**: Similar a um dipolo magnético, 99% do seu total é supostamente originado por correntes elétricas que circulam na parte líquida do núcleo da Terra.
- **Elementos do Campo Geomagnético:** Podemos dizer que o campo geomagnético é um campo vetorial, já que provoca a orientação da agulha de uma bússola a uma determinada direção, com magnitude, direção e sentido.

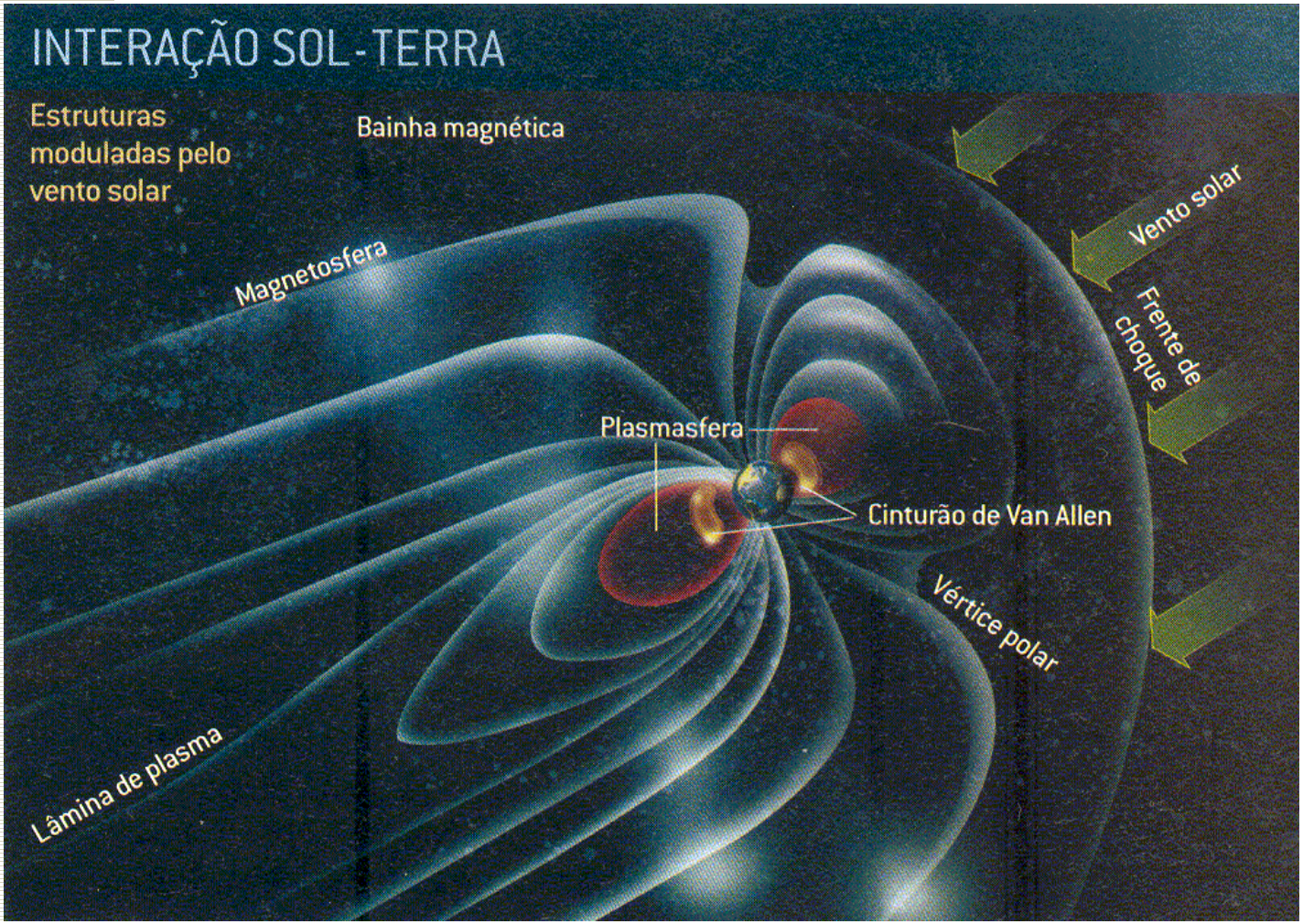
**Elementos lineares:**
*X* – componente magnética norte;
*Y* – componente magnética leste;
*Z* – componente magnética vertical;
*H* – componente magnética horizontal;
*F* – intensidade total do campo magnético.
**Elementos angulares:**
*D* – declinação magnética;
*I* – inclinação magnética.



# Fundamentos Geofísicos

- **Vento Solar:** Plasma eletricamente neutro e magnetizado que preenche o espaço interplanetário, formado basicamente de hidrogênio ionizado, prótons e elétrons**.**
- **Magnetosfera:** Região delimitada pelo fluxo de plasma do vento solar nas linhas do campo magnético terrestre.
- **Variação Diurna:** Variação diária causada principalmente pelas correntes fluindo na ionosfera, onde o movimento devido aos ventos e marés na atmosfera resulta na ação do dínamo, gerando campos e correntes na ionosfera.
- **Pulsações Geomagnéticas:** Interações entre o vento solar, plasma solar, e o campo geomagnético que ocorrem na fronteira da região que constitui a magnetosfera terrestre. Variam aproximadamente de 1 mHz até 10 Hz

# Interação Sol-Terra



# Fundamentos Tecnológicos

- **Os magnetômetros podem ser classificados em dois grupos**:

  **Magnetômetros escalares** - medem apenas a intensidade do campo magnético;

  **Magnetômetros Vetoriais** - Informam a intensidade e a direção do campo magnético (Ex.: *Fluxgate*).

- **Princípio de Funcionamento dos Magnetômetros *Fluxgate*:**

  Consiste em variar a permeabilidade do núcleo magnético sensor (Altamente permeável) através de um campo magnético de excitação

# Fundamentos Tecnológicos

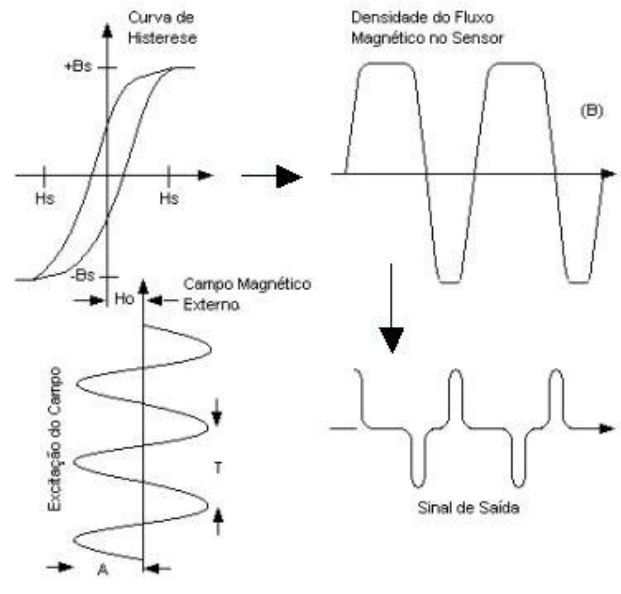
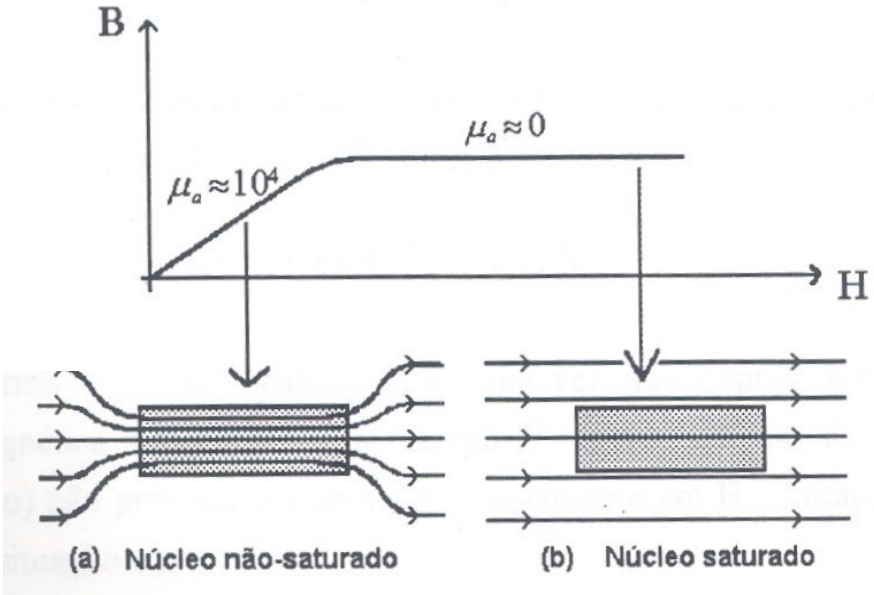



Gráfico da detecção do Campo Magnético $H_0$
Fonte: Campbell, 1997




A variação da permeabilidade do núcleo induz pulsos de corrente no secundário

# Fundamentos Tecnológicos

- **Método de Deteccão:**

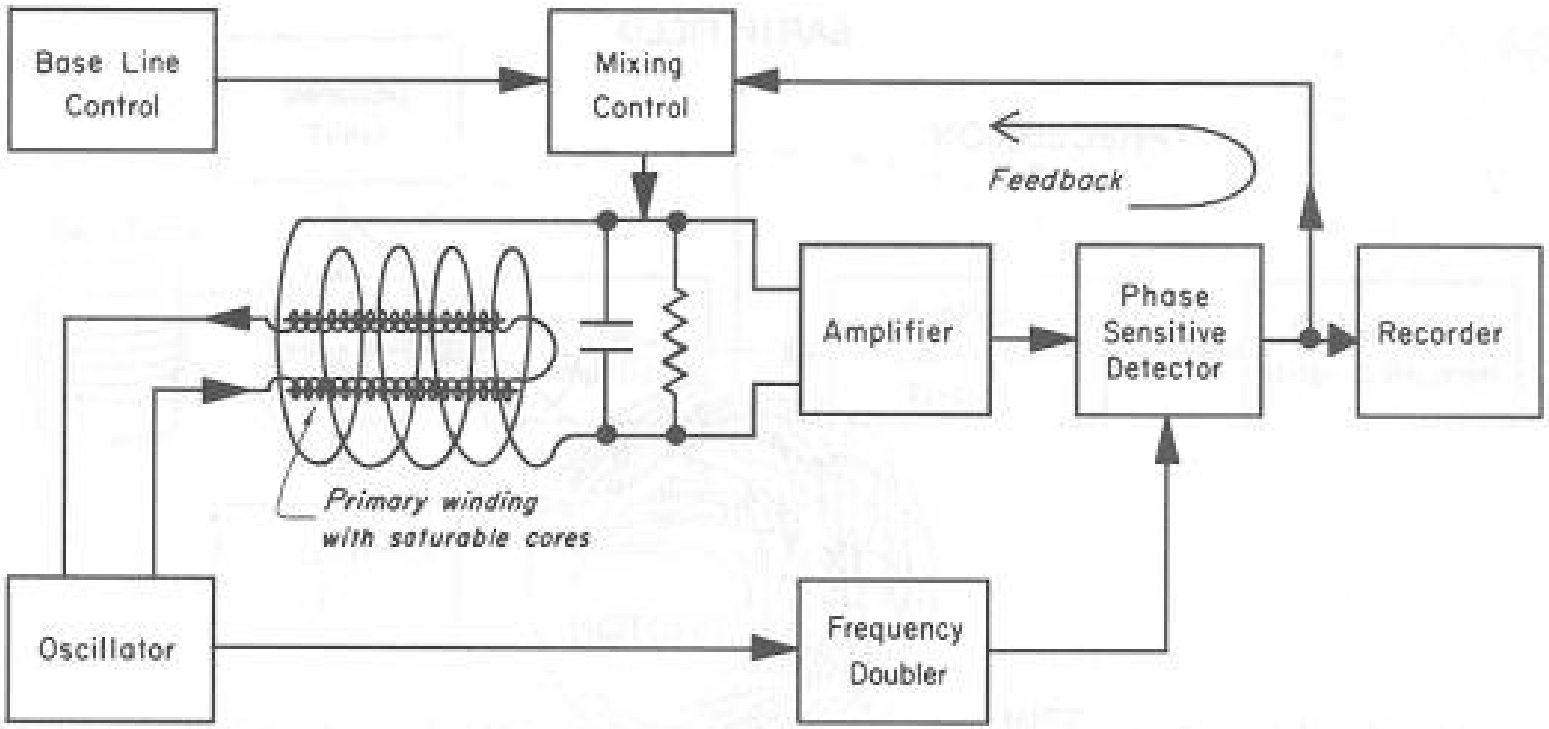
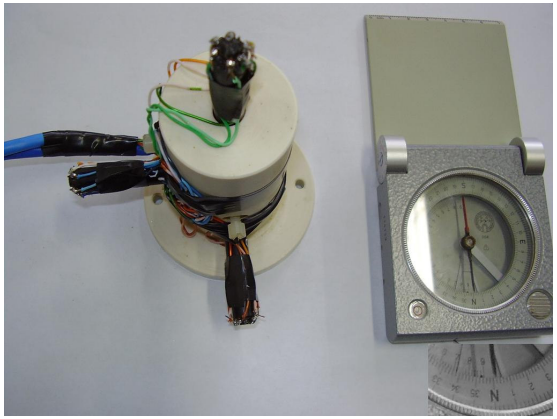



Diagrama de blocos de um Magnetômetro *Fluxgate*

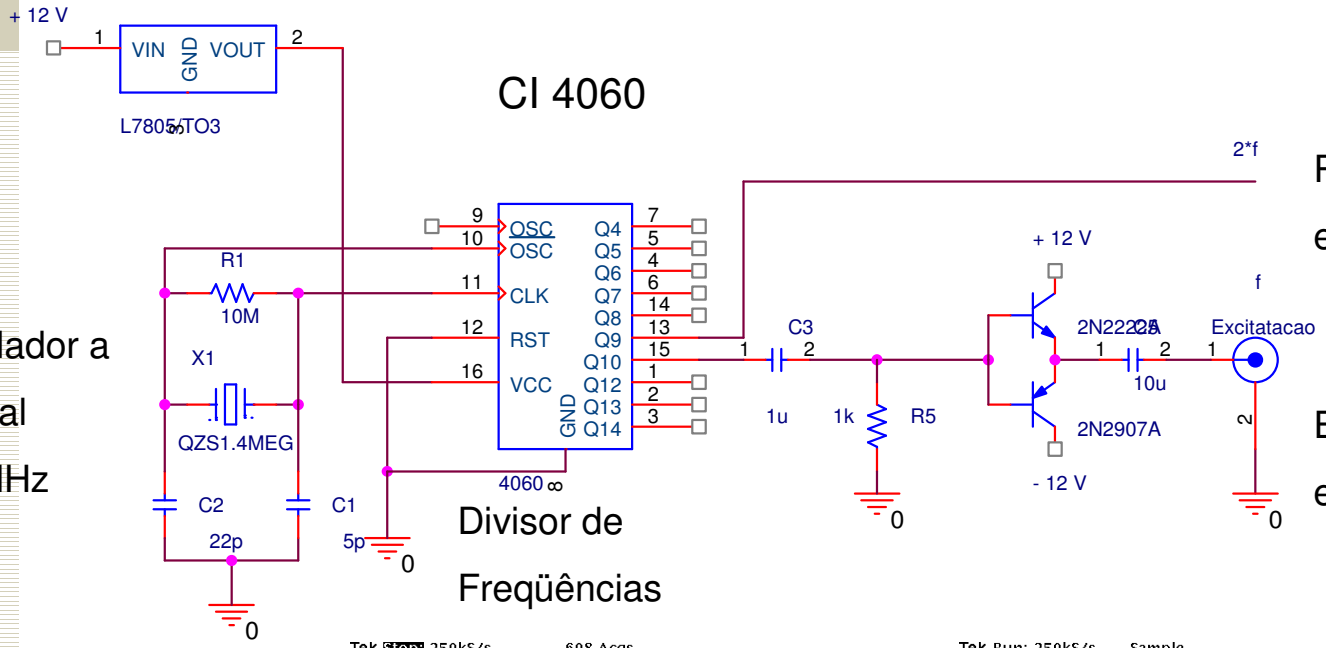
Fonte: Campbell, 1997

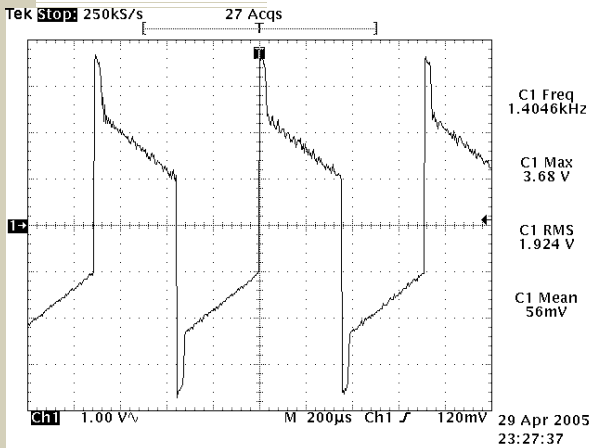
# O Sensor

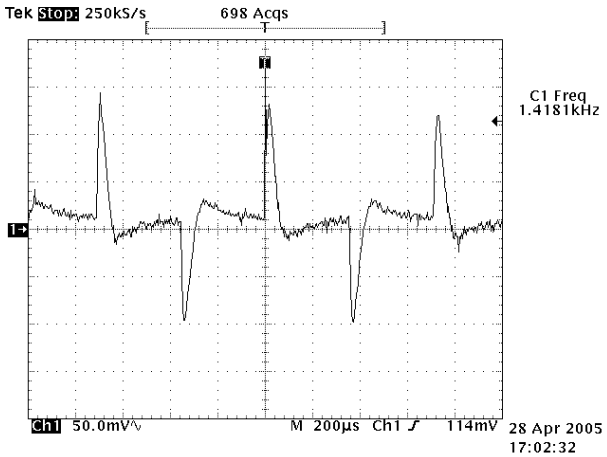
Fabricado por S.Smith & Sons (England) Ltd. O LFG – A13 é constituído de uma barra ferromagnética linear com alta permeabilidade magnética e enrolada por três bobinas em que se compõem a excitação, a detecção e a realimentação para a desmagnetização do núcleo.

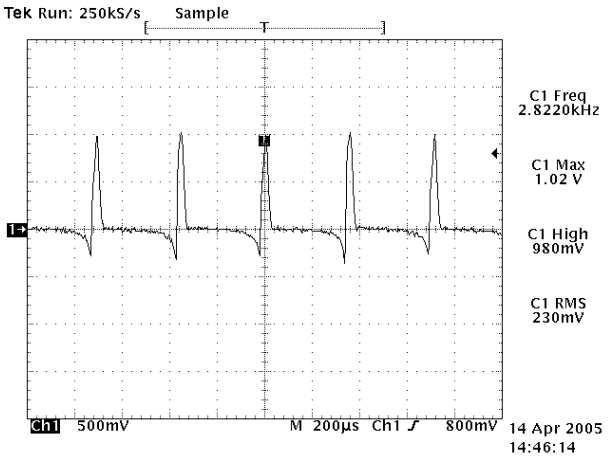


# Excitação Magnética do Sensor



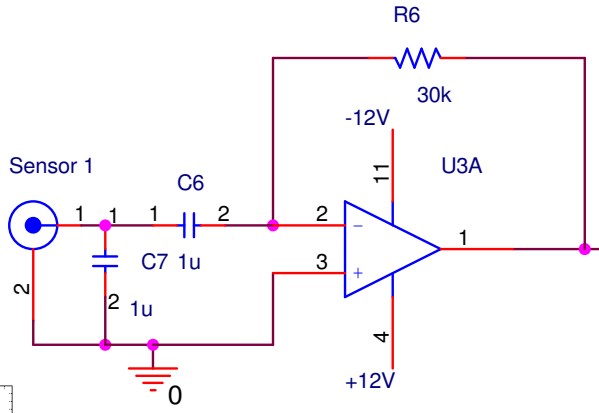
# Processamento do Sinal

- O circuito responsável pelo tratamento do sinal é exposto numa seqüência de estágios que ao final informa um nível de tensão contínuo que varia linearmente com o campo magnético, ao qual está submetido numa escala de 10000 nT para cada 1 Volt de sinal gerado no final.
- Utiliza-se uma referência com o dobro de freqüência de excitação para comparação com o sinal obtido no sensor porque este é induzido em freqüência dobrada.

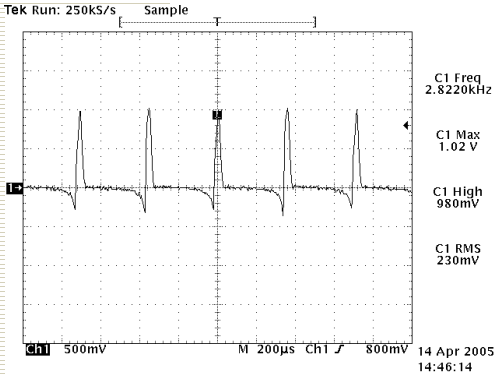
# Processamento do Sinal

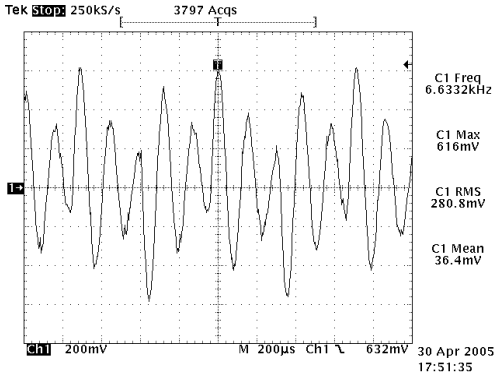
- **Circuito de Conversão – Corrente/Tensão:**
  - Um para cada barra sensora

Pulsos de corrente induzidos no secundário




Sinal convertido em tensão com várias harmônicas

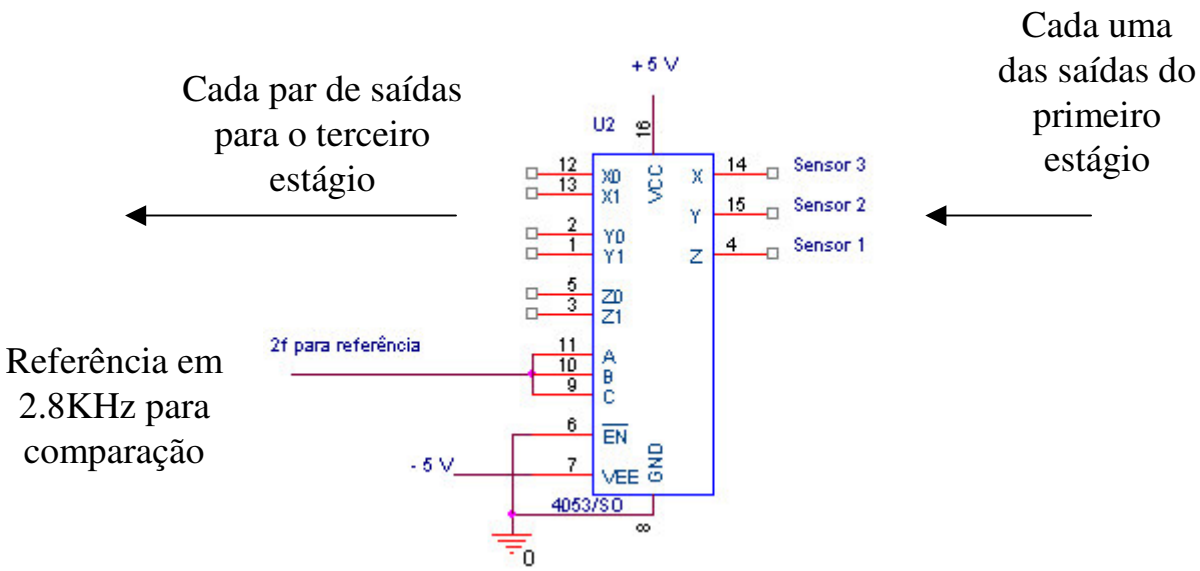


# Processamento do Sinal

- **Multiplexador Analógico:**

  - Gera pares de saída com o 2º harmônico da referência e da excitação



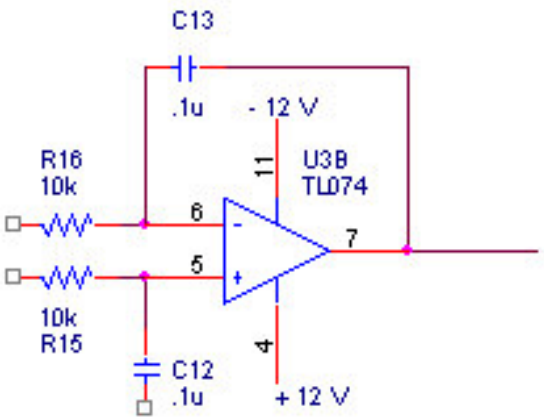

CI 4053

# Processamento do Sinal

- **Integrador**:

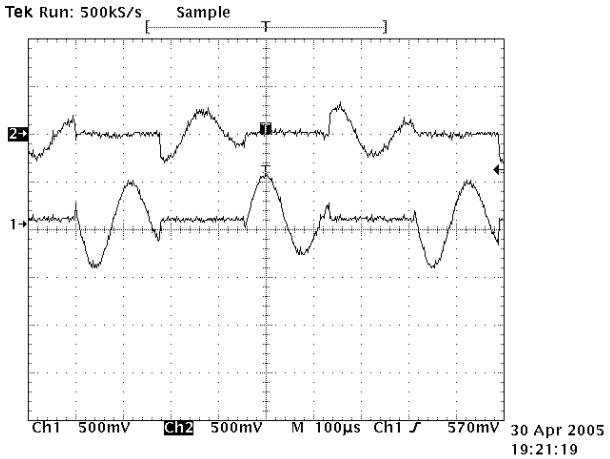
  - Integra a diferença de fase entre os 2º harmônicos gerando um nível contínuo. Utiliza-se 3 integradores, 1 por sensor.

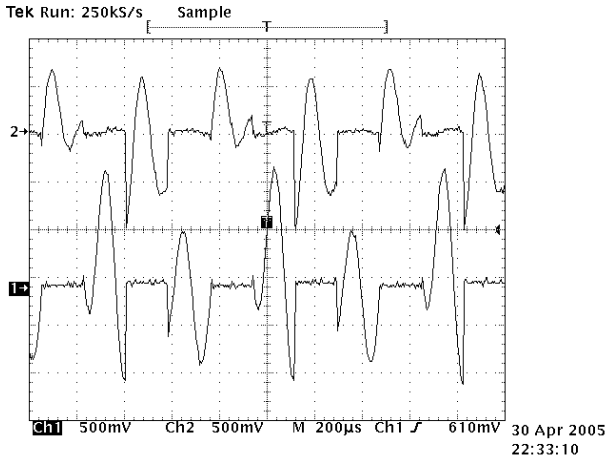
Par de uma das saídas do CI 4053

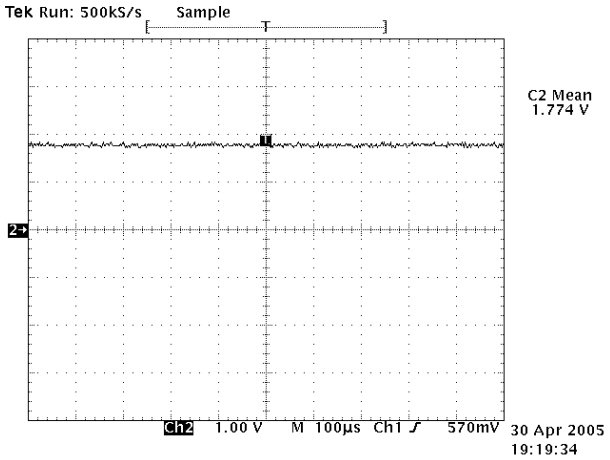


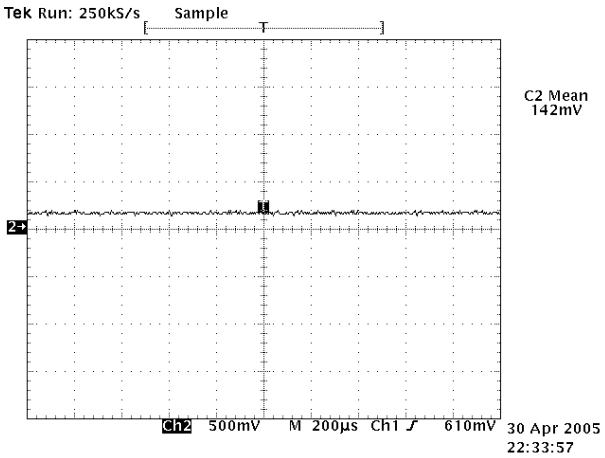

Ponto comum para filtro passa baixa e a realimetação, terceira bobina que desmagnetiza o núcleo e garante a linearidade do sensor

# Processamento do Sinal



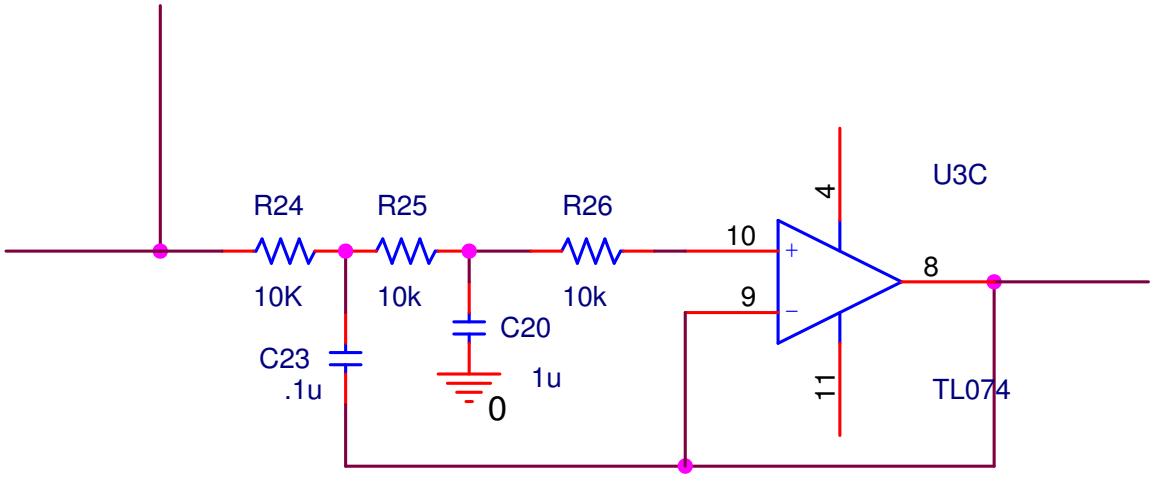



# Processamento do Sinal

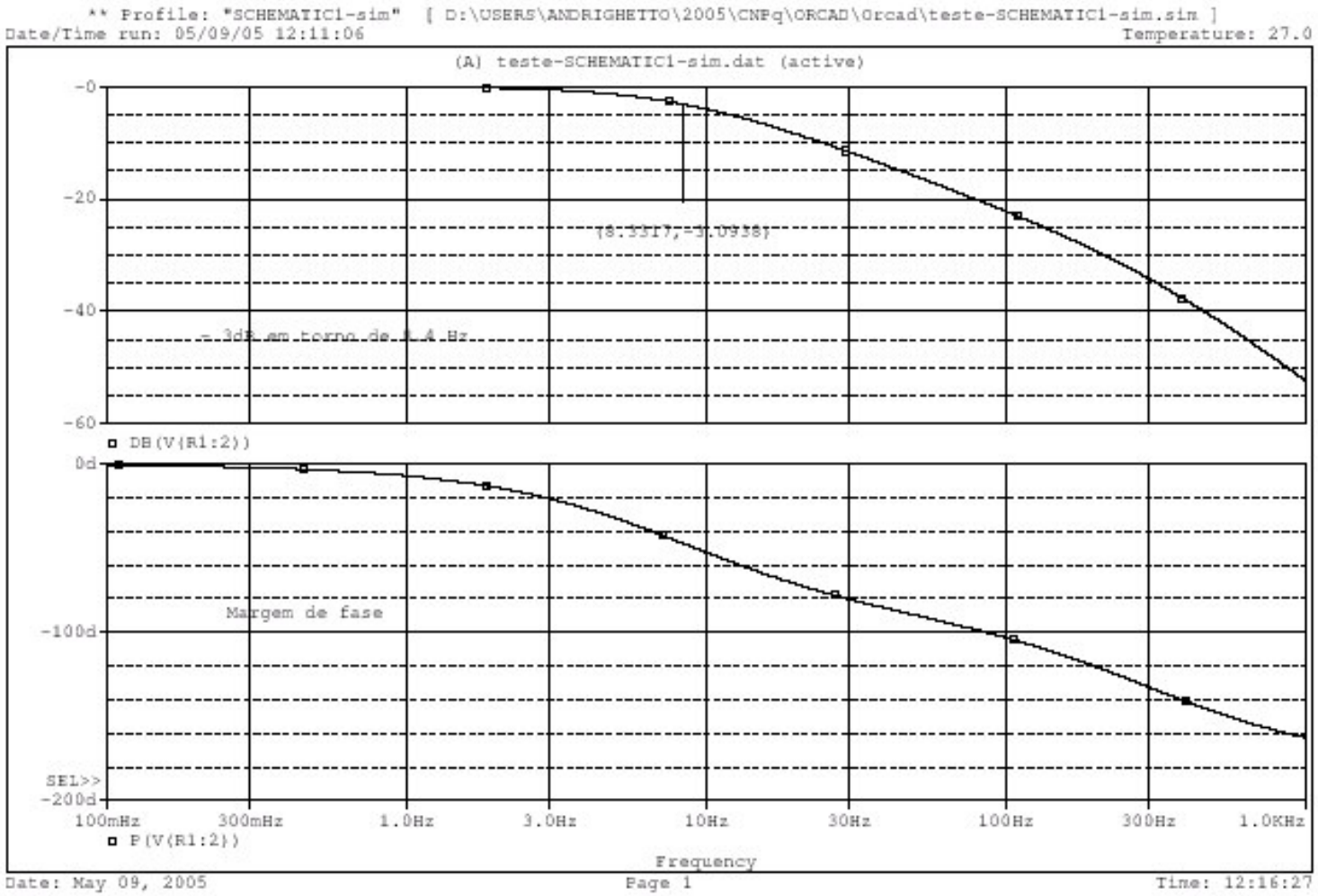
- **Filtro Passa-baixa:**

  - Corta freqüências acima de 10 Hertz já que a variação do Campo Geomagnético varia lentamente. Utiliza-se 3 filtros, 1 para cada sensor.




Filtro passa-baixa de 2ª ordem de Sallen & Key

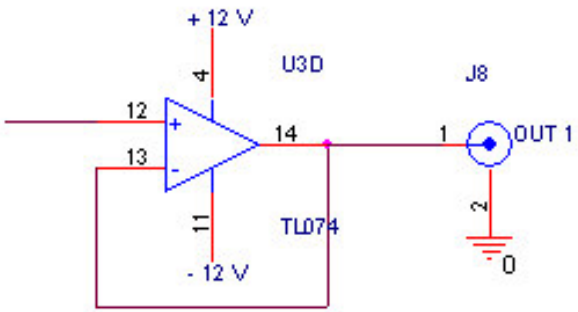
# Processamento do Sinal



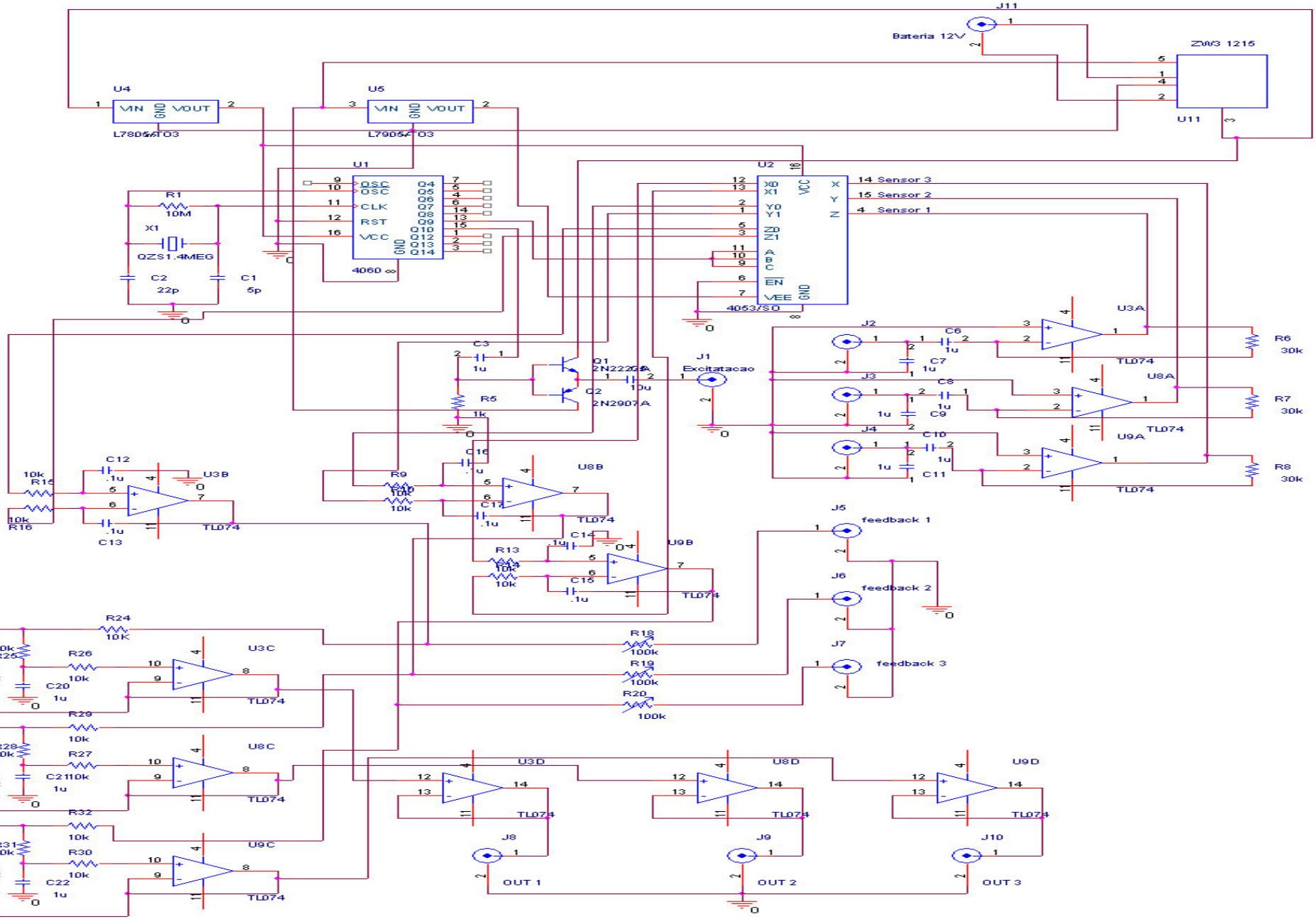
# Processamento do Sinal

- **Buffer:**

  - Após a filtragem é utilizado um seguidor unitário para permitir a conexão de cabos longos entre o sensor e a estação de operação. Utiliza-se 3 buffer, 1 para cada sensor.




Saída para o conversor A/D

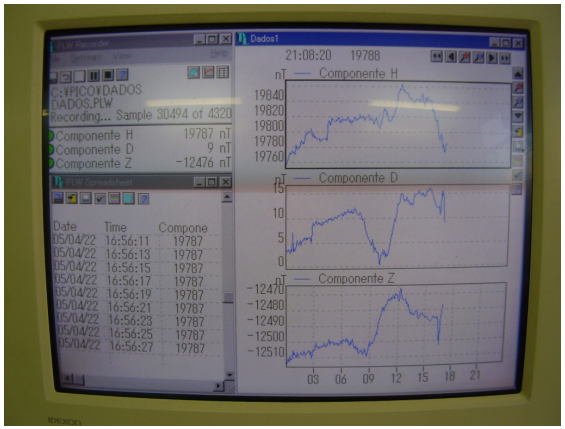



| | |
|---|---|
| Title | MAGNETOMETRO FLUXGATE |
| Size | Document Number<br>Doc = Eduardo Andrighetto |
| Rev | |

# Processamento do Sinal

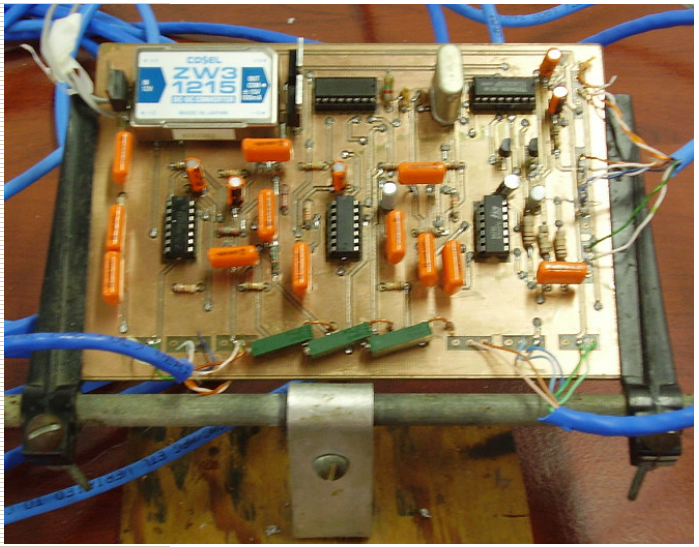
- **Conversão Analógica/Digital e Interface com PC:**

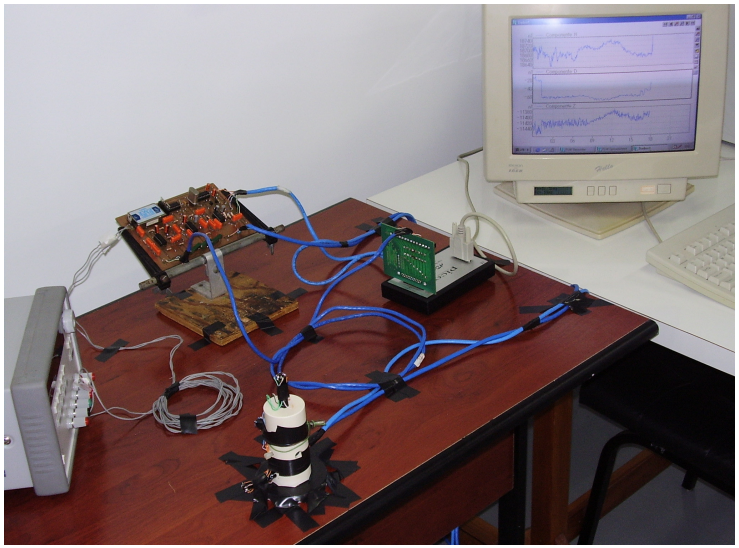
  Foi utilizado um conversor A/D de 16 bits para suprir a necessidade de se ter medidas com grandezas da ordem de 20000nT.




O conversor ADC16 *High Resolution Data Logger* fabricado pela empresa PICO *Technology Limited*

# Resultados Obtidos



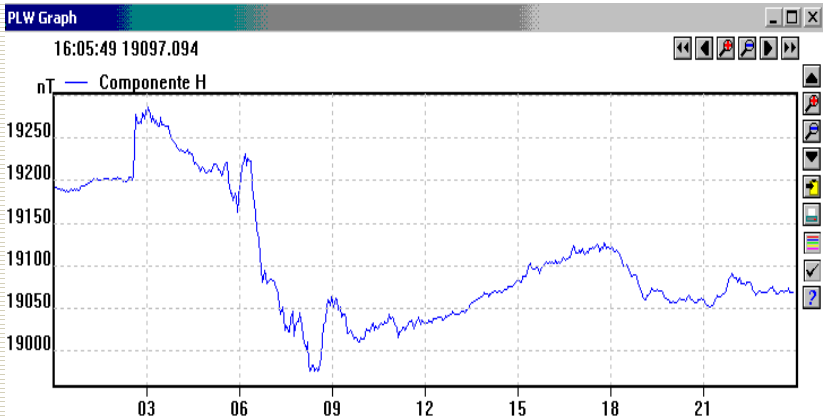
Sistema em operação para análises e testes no Laboratório de Física Solar, do Meio Interplanetário e Magnetosferas do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT

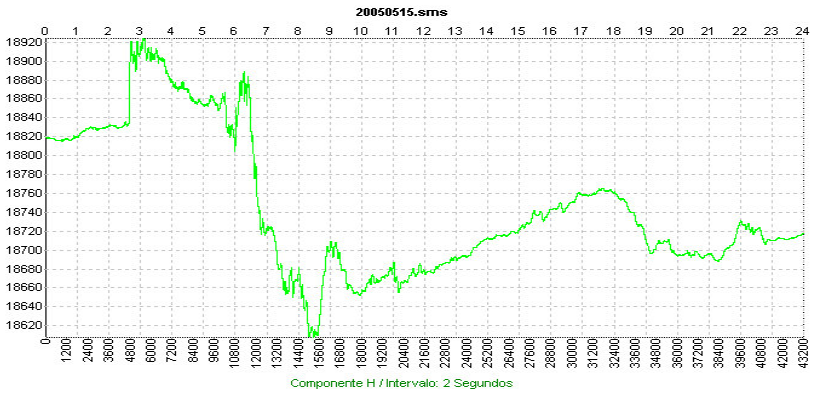
# Resultados Obtidos

- Para a análise dos resultados obtidos pelo magnetômetro implementado neste Projeto, estão sendo utilizados os dados coletados pelo magnetômetro NAROD fabricado pela *Narod Geophysics do Canadá* e instalado no Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT pela Divisão de Geofísica Espacial – DGE/CEA/INPE – MCT e que opera segundo a taxa de variação de 1Volts para 10000nT, admitindo a sua ótima confiabilidade para uma linearidade de medidas bastante satisfatória.

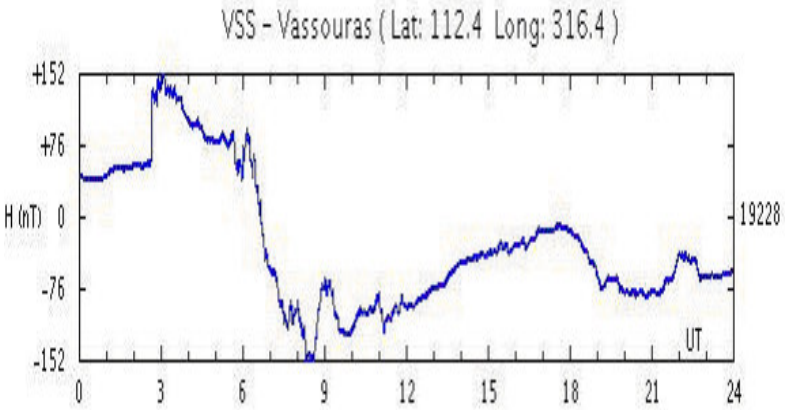
Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE - MCT

# Resultados Obtidos

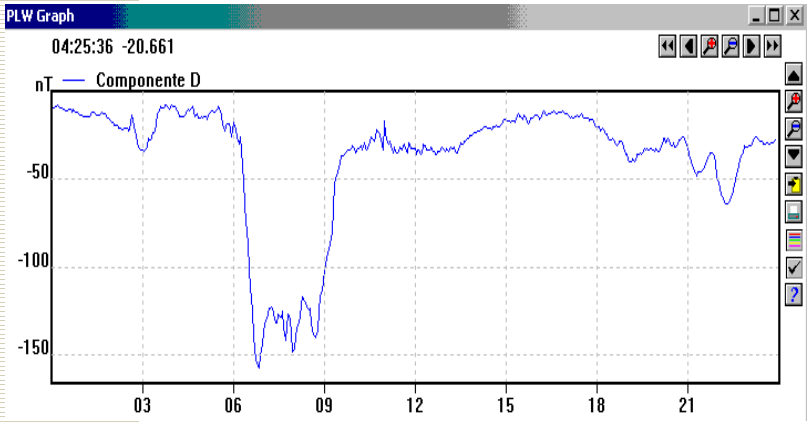


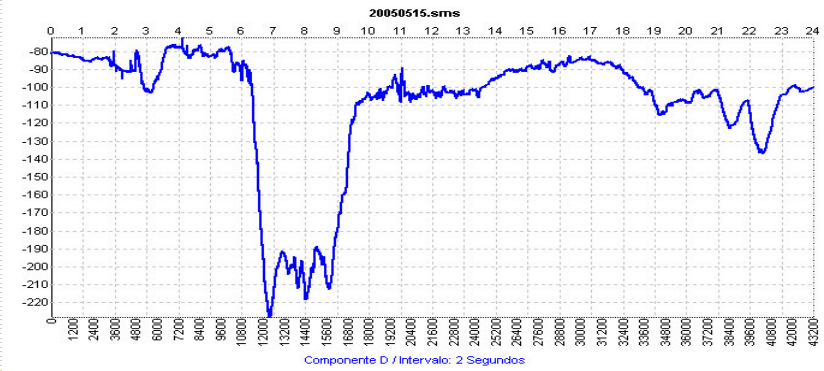

- Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção Norte obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.

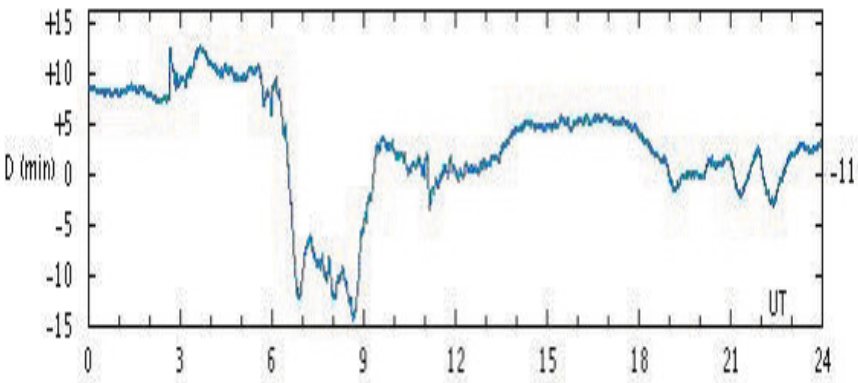


# Resultados Obtidos

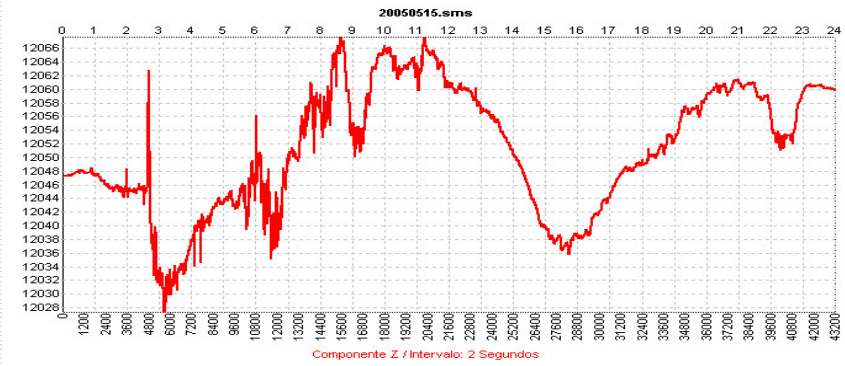



- Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção Leste obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.

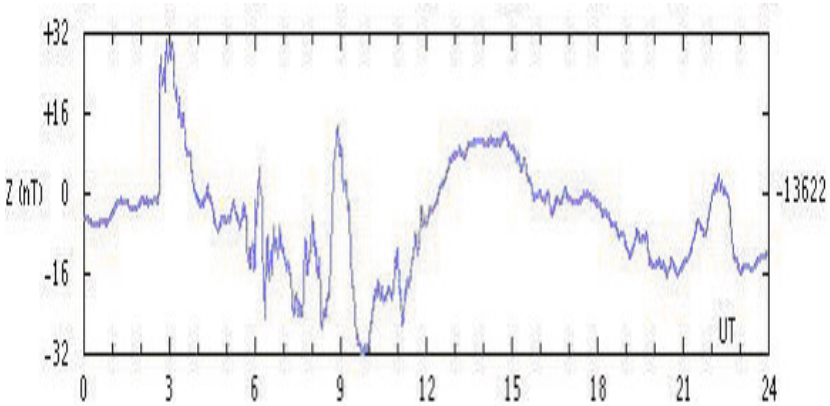


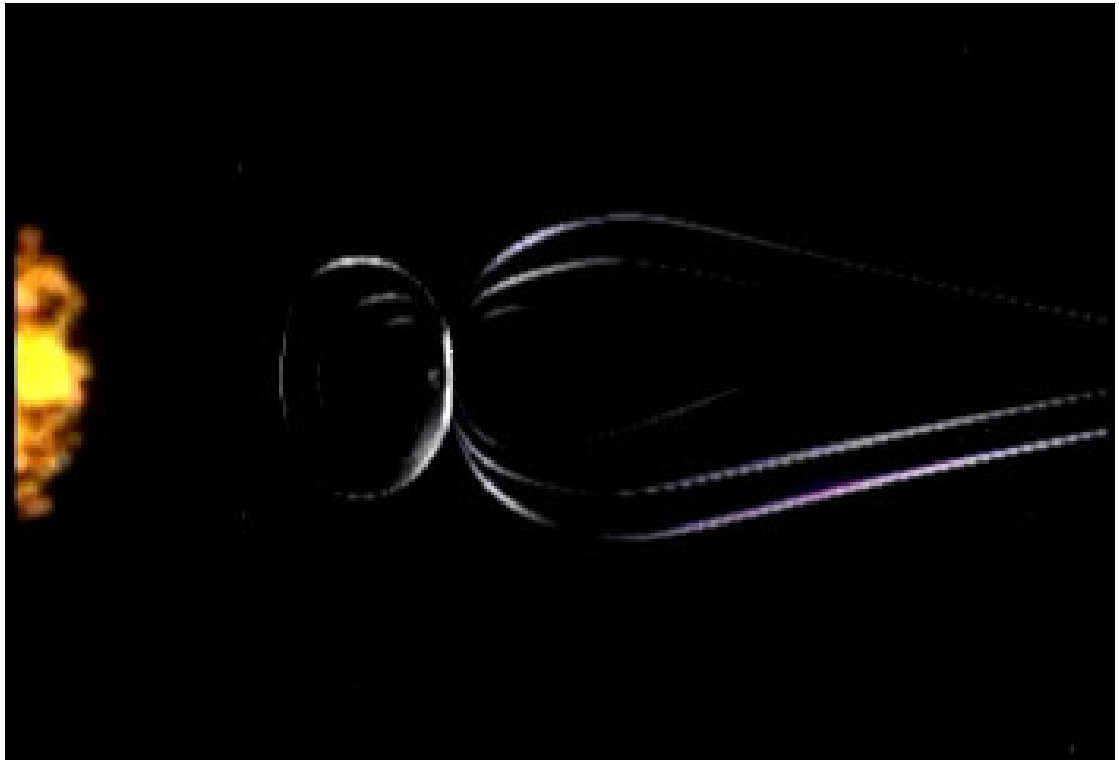
# Resultados Obtidos




- Tempestade magnética do dia 15/05/2005 na direção vertical obtida através do magnetômetro implementado em São Martinho do Serra, RS.



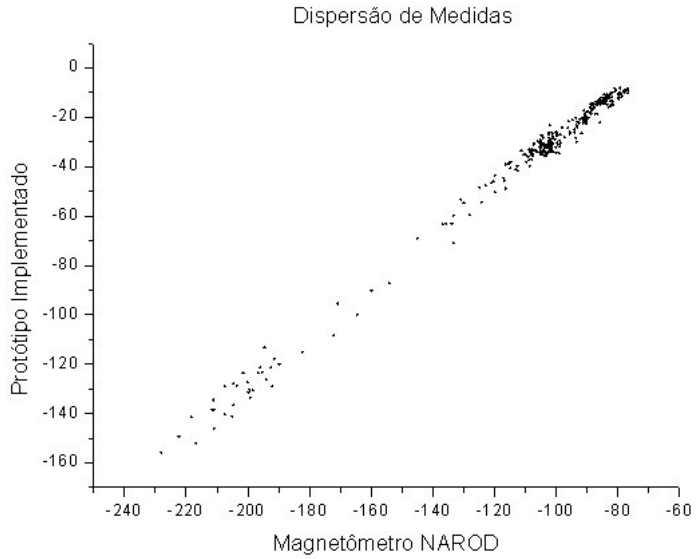
# Simulação de uma Explosão Solar



# CONCLUSÕES

- Podemos concluir que o Sistema desenvolvido e implementado no CRSPE/INPE – MCT tem um funcionamento bastante satisfatório e uma linearidade muito similar entre os dois magnetômetros. Dessa forma, sendo a variação geomagnética observada pelo magnetômetro NAROD de ótima confiabilidade, é comparável e idêntica ao registro da variação geomagnética adquirida pelo magnetômetro construído no CRSPE/INPE – MCT.

O protótipo apresentou um baixo custo de implementação comparado a Magnetômetros *Fluxgate* comerciais.



# AGRADECIMENTOS


- Ao programa PIBIC/CNPq.
- Ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.


## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS


- **Campbell, W. H.** Introduction to Geomagnetic Fields, Cambridge University Press, New York, 1997.
- **Primdahl, F., Peterson, J. R., Olin, C. And Anderson, K. H.,** The Short-circuited Fluxgate Output Current, J.Phys.E:Sci.Instrum., n.22, p.349-354, 1989.
- **Primdahl, F.**, Instrumentos Geomagnéticos, Publicações do Observatório Nacional, Publicação Especial, N$^0$ 09, 1986.
- **Trivedi, N.B.; Russell, C.T.; Barbosa, M.J.F.; Dutra, S.L.G.; Teixeira, N.R.; Means, J.D.; Neri J.A.** - 2000 - Geomagnetic field measurements on a polar microsatellite SACI-1, Advances in Space Research, 25 (7/8), 1315-1323.