

Características da Amplificação das Pulsações Geomagnéticas Observadas na Região Equatorial Brasileira

Marcelo Luciano Batista

Aluno da Universidade de Taubaté (UNITAU) - Bolsa PIBIC/CNPq

Orientador: Dr. Antonio Lopes Padilha, Pesquisador, DGE

As flutuações do campo geomagnético, com períodos desde décimos até centenas de segundos, são variações transitórias de pequena amplitude (usualmente menores que uma parte em 10^4 do campo magnético total) e denominadas pulsações geomagnéticas. Essas pulsações podem sofrer variações em amplitude e fase na superfície da Terra, dependendo da localização e da distância entre as estações onde foram medidas. A partir de vários resultados apresentados na literatura científica (Jain & Srinivasacharya, 1975; Sastry et al., 1979), sabe-se que a amplitude da componente Norte-Sul das pulsações geomagnéticas observadas durante o dia na região equatorial é consideravelmente amplificada quando comparada com essas mesmas pulsações observadas em estações distantes dessa região. Esse efeito é atribuído à influência do Eletrojato Equatorial, um vasto fluxo diurno de correntes elétricas intensas e complexas situadas na região E da ionosfera equatorial e que é responsável por variações anômalas do campo geomagnético horizontal na região de aproximadamente $\pm 10^\circ$ de Inclinação Magnética ("Dip") em torno do equador magnético).

Com o objetivo de detalhar as características desse efeito do Eletrojato, fez-se uso neste trabalho de dados geomagnéticos coletados em diversas estações que o INPE vem operando já há vários anos em todo o território brasileiro. Essas estações contam com um magnetômetro triaxial (medindo as variações geomagnéticas em três componentes ortogonais) e um sistema de aquisição de dados acoplado, o qual permite a obtenção dos dados digitalizados em intervalos de amostragem de 3 segundos. Para verificar a influência do Eletrojato, consideramos inicialmente os dados de apenas 3 estações: Presidente Médici ("Dip" de 0.1°), Cuiabá (-11.0°) e Santa Maria (-32.7°), respectivamente sob o centro das correntes ionosféricas do Eletrojato, na borda da área de influência do Eletrojato e totalmente fora de sua influência. Esperava-se com isso observar o Eletrojato atuando claramente na amplificação das pulsações diurnas medidas em Presidente Médici, em menor escala em Cuiabá e sem qualquer efeito em Santa Maria. Nessa análise, dois meses de dados coletados em Setembro e Outubro de 1994 nessas estações foram inicialmente filtrados nas faixas de períodos das pulsações Pc3 (10-45 s), Pc4 (45-150 s) e Pc5 (150-600 s). Uma posterior análise de variância e inspeção visual foi efetuada para localizar a ocorrência de pulsações.

Observou-se que apenas as pulsações diurnas Pc4 e Pc5 apresentaram o comportamento esperado, com as amplitudes medidas na estação Presidente Médici sendo consideravelmente superiores àquelas observadas em Cuiabá, que por seu turno são também maiores que em Santa Maria, comprovando assim o efeito do Eletrojato nessas pulsações. Surpreendentemente, as pulsações Pc3 apresentaram resultado bem mais complexo, observando-se inclusive uma redução na amplitude das pulsações diurnas observadas em Presidente Médici.

Para detalhar melhor esse comportamento das pulsações Pc3, foram escolhidos alguns eventos representativos de diferentes intervalos: durante a noite, ao amanhecer e durante o dia. Além das 3 estações anteriormente citadas, 4 outras estações foram utilizadas nessa análise: Porto Velho ("Dip" de $5,6^\circ$), Ariquemes ($3,8^\circ$), Vilhena ($-3,6^\circ$) e Colibri ($-5,5^\circ$). Essas estações, foram escolhidas por estarem todas situadas na região de influência do Eletrojato e em pares aproximadamente equidistantes do centro do Eletrojato. Com isso procurou-se mapear o comportamento das pulsações em toda a região equatorial.

A figura anexa apresenta um exemplo dos resultados obtidos. São mostradas as variações geomagnéticas observadas na componente Pc3 (sinal filtrado entre 10 e 45 s) para eventos observados entre 15:00 e 16:00 UT (correspondendo a um intervalo de tempo entre 12:00 e 13:00 em tempo local) do dia 15 de Outubro. No gráfico, o eixo da abscissa corresponde ao

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL
DE PESQUISAS ESPACIAIS

**RELATÓRIO DE BOLSA
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC**

Assunto: Variações do campo geomagnético na região da anomalia
magnética do Atlântico Sul

Orientador: Antônio Lopes Padilha

Aluno: Marcelo Luciano Batista

Período da Bolsa: 01/08/1998 até 31/07/1999

1.INTRODUÇÃO

O Eletrojato Equatorial, um fluxo imenso de correntes elétricas intensas e complexas, é responsável por variações anômalas do campo geomagnético na região do equador magnético, em uma faixa de $\pm 5^\circ$ de latitude magnética. Isso faz com que micropulsações geomagnéticas observadas em superfície, em locais que se diferem pela sua latitude magnética, apresentem variação em amplitude na dependência da posição relativa da estação e da área de abrangência do eletrojato. Essa característica já havia sido mostrada no relatório anterior.

A pesquisa agora prossegue no intuito de verificar como essa variação no sinal se comporta a medida que nos afastamos do centro do Eletrojato. Dados de estações situadas a diferentes latitudes magnéticas são estudados para se avaliar a variação dos sinais. Com isso pretende-se encontrar alguma possível relação entre a amplitude da pulsação e a distância desde o Eletrojato. Em uma primeira etapa comparamos os resultados obtidos nas estações de Santa Maria – SMA (fora do Eletrojato), Cuiabá – CUI (na borda do Eletrojato) e Presidente Médici – PRM (próxima ao centro do Eletrojato), para as micropulsações filtradas do tipo Pc3, Pc4 e Pc5.

2.DESENVOLVIMENTO

2-1.ANÁLISE DE DADOS

Para se chegar a alguma conclusão sobre a forma de atuação das correntes do Eletrojato Equatorial sobre as micropulsações geomagnéticas, foi desenvolvido um longo processo de análise. Esse processo inclui desde o cuidado na coleta de dados no campo (feitas por magnetômetros de alta sensibilidade), o processamento desses dados em laboratório (utilizando as ferramentas matemáticas descritas no relatório anterior) e por fim a análise dos resultados que deve permitir chegar à interpretação física do fenômeno em estudo. Neste relatório é apresentada principalmente a continuidade da Segunda etapa do processo: processamento dos dados.

2-1-1.PROCESSAMENTO DE DADOS

Os dados geomagnéticos adquiridos nas estações são disponíveis na forma de arquivos separados, cada um contendo uma série temporal de 24 horas de dados com intervalo de amostragem de 3 segundos. Esse arquivo, plotado num gráfico de intensidade versus tempo, constitui a chamada variação diurna do campo. Porém, como o conteúdo deste trabalho reside em estudar as micropulsações do campo geomagnético, torna-se necessário filtrar o sinal da variação diurna de modo que passem somente os sinais de micropulsações.

Para fins de filtragem de sinais digitais existem filtros que operam no domínio do tempo, deixando passar somente o sinal acima ou abaixo de uma determinada frequência. Para estudar as micropulsações necessita-se somente do sinal em uma banda de frequência limitada por cada um dos intervalos das

micropulsões. Por isto usou-se um filtro passa banda que deixa passar apenas os sinais nas bandas de frequência de interesse (de acordo com o tipo de micropulsão específica).

2-1-2.RESULTADOS

Conforme apresentado no relatório anterior, os dados são inicialmente filtrados nas faixas específicas dos diferentes tipos de micropulsões Pc3 (10 – 45 s), Pc4 (45 – 150 s) e Pc5 (150 – 600 s). Posteriormente efetuam-se análises de variância sobre os dados filtrados de uma das estações, para detectar a presença de micropulsões. Os intervalos escolhidos são a seguir analisados mais cuidadosamente para verificar a característica dos eventos detectados e sua variação nas diferentes estações.

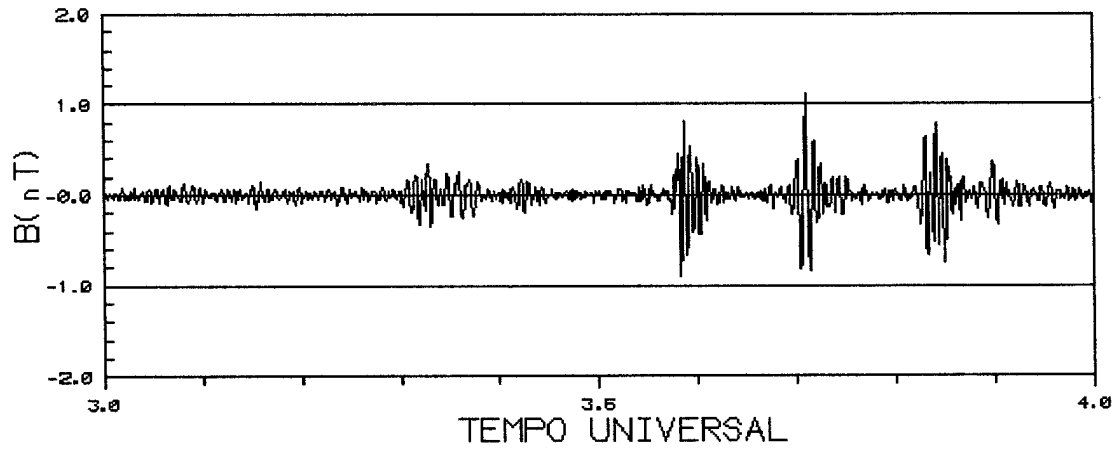
Para mostrar como os sinais detectados são influenciados diferentemente pelo Eletrojato nas várias estações, utilizamos técnicas diferentes de exibição dos resultados. Na primeira constroem-se gráficos de eventos específicos, sobrepondo-se os resultados das diferentes estações para permitir uma inspeção visual das características dos sinais. As Figuras 1, 2 e 3. Essas figuras mostram eventos de pulsações Pc3, Pc4 e Pc5, respectivamente, detectados simultaneamente nas 3 estações SMA, CUI e PRM. As características da amplificação das correntes diurnas do Eletrojato são bastante nítidas nas Figuras 2 e 3 (Pc4 e Pc5), com as amplitudes das pulsações aumentando significativamente de SMA para CUI e destas para PRM. No caso das micropulsões Pc3 apresentadas (Figura 1), os eventos apresentados são noturnos (3 a 4 h UT, correspondendo a 0 a 1 h LT). Nesse as correntes do Eletrojato não são significativas e poderia levar ao fato da amplificação equatorial não ser evidenciada nessa figura.

Uma outra forma de representar a evidente variação dos sinais é através de tabelas. Nesse caso as pulsações magnéticas são divididas de acordo com o tipo na classificação morfológica (Pc3, Pc4 e Pc5). As tabelas 1, 2 e 3, correspondendo respectivamente aos 3 tipos de pulsações, mostram exemplos dessa forma de apresentação dos dados. As tabelas apresentam 3 colunas principais:

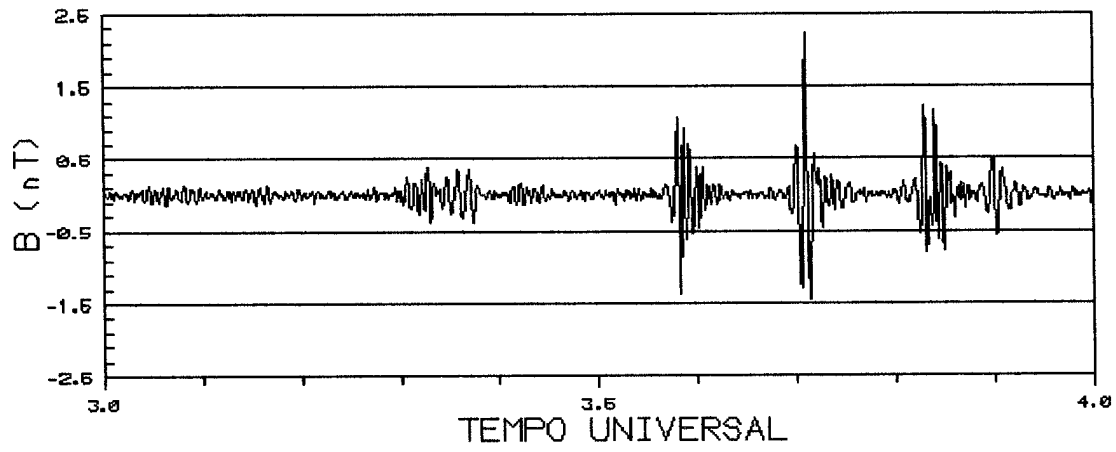
- na primeira mostra-se a data em que foi detectado o evento, sendo que os dois primeiros dígitos representam o tipo de Pc e os restantes mostram o dia, o mês e a hora, respectivamente, onde se observou o evento; assim, P3031016 equivale a um evento Pc3 observado em 03 de outubro entre 15 e 16 h;
- na segunda mostram-se mais especificamente os intervalos de tempo nos quais a pulsação foi observada;
- e na terceira (subdividida em 3 partes) apresentam-se a variação da amplitude dos sinais nas 3 estações.

Novamente, a amplificação equatorial nas pulsações Pc4 e Pc5 é claramente vista nas Tabelas 2 e 3; os eventos diurnos (entre 9 e 21 h UT) mostram uma clara amplificação quanto mais próximo a estação se encontra do centro do Eletrojato (PRM > CUI > SMA). No caso porém das Pc3 (Tabela 1) esse resultado não parece evidente. Em vários dos eventos diurnos observa-se que CUI (borda do Eletrojato) tem aproximadamente a mesma amplitude (ou um pouco maior) que SMA; PRM, porém, apresenta na maioria dos casos amplitude inferior às duas outras estações (CUI \geq SMA > PRM). Contrariamente ao esperado, esse resultado indica um amortecimento do Eletrojato para as pulsações de menor período. Esse resultado necessita ser ainda melhor investigado considerando as demais estações do arranjo.

PRESIDENTE MEDICI



CUIABA



SANTA MARIA

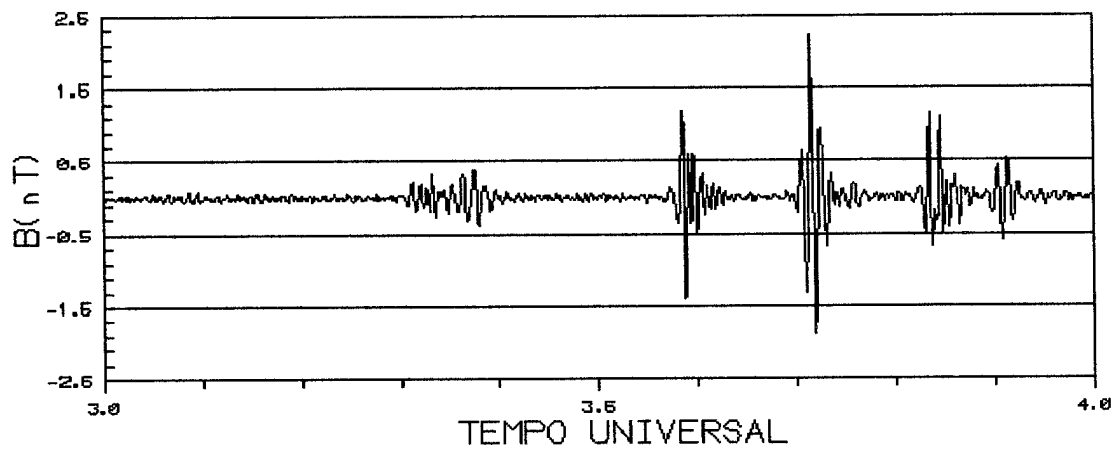
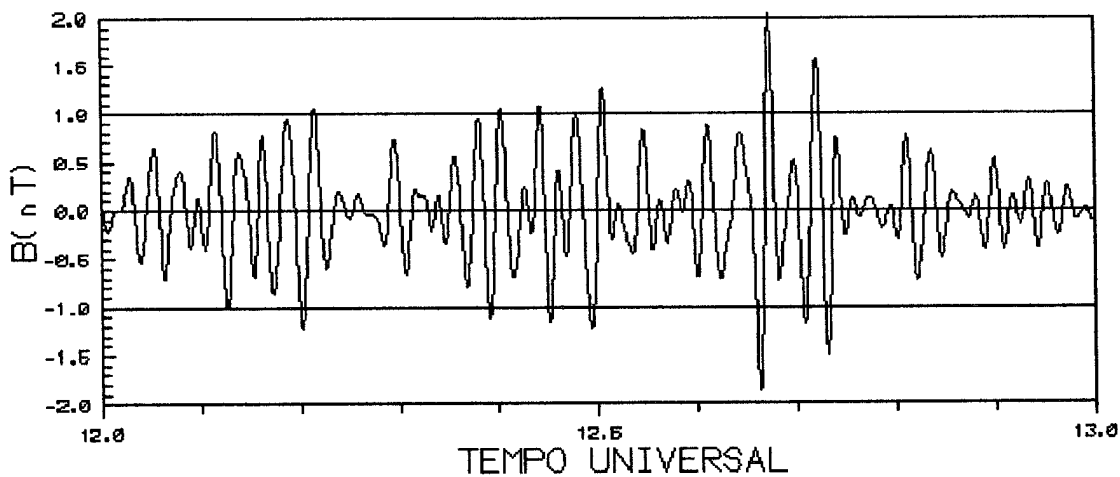
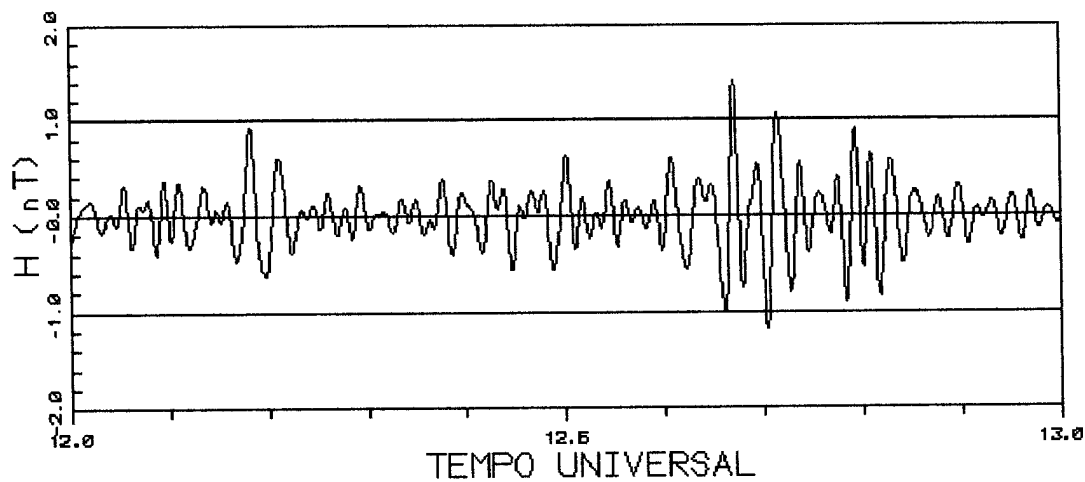


Figura 1. Dados correspondentes à pulsações magnéticas tipo Pc3 (10-45s) na data de 08/09 (entre 3 e 4 h UT).

PRESIDENTE MEDICI



CUIABA



SANTA MARIA

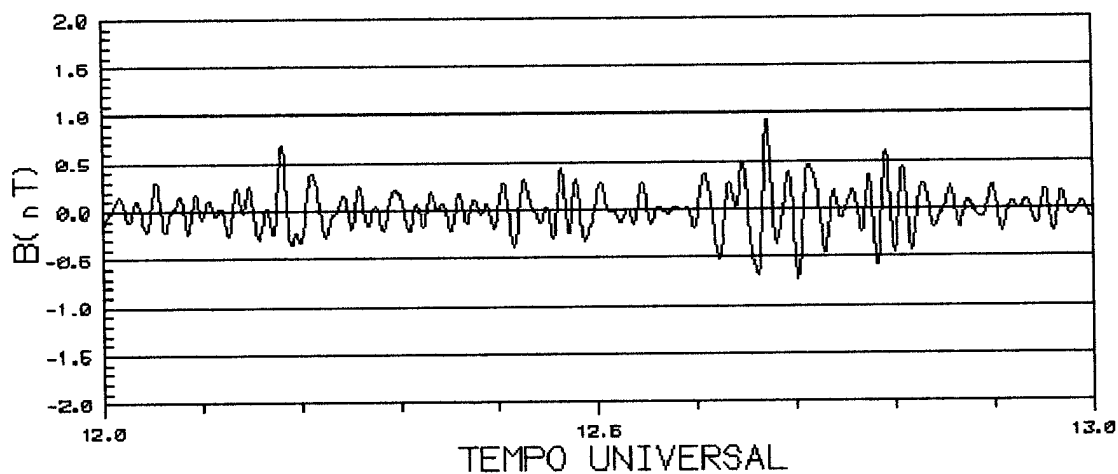
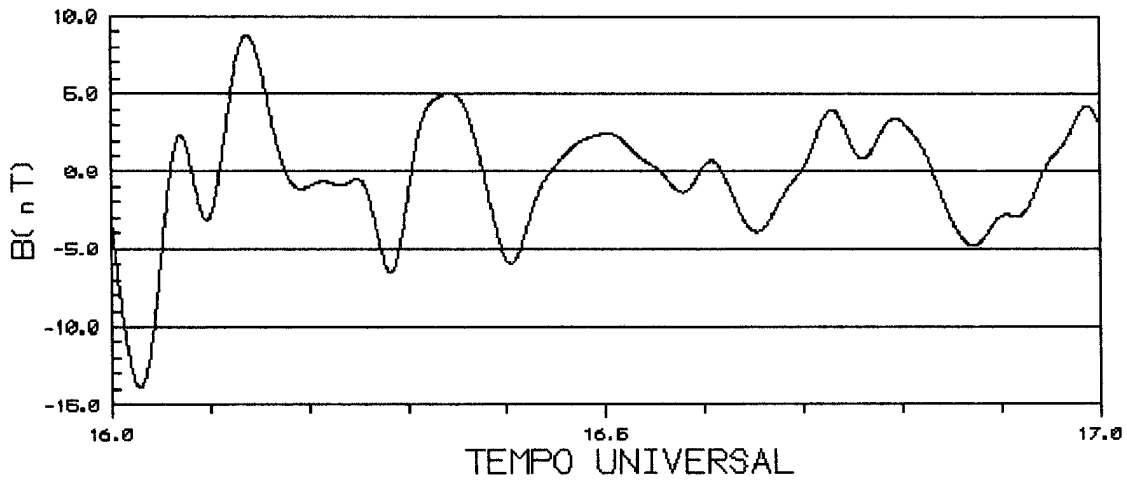
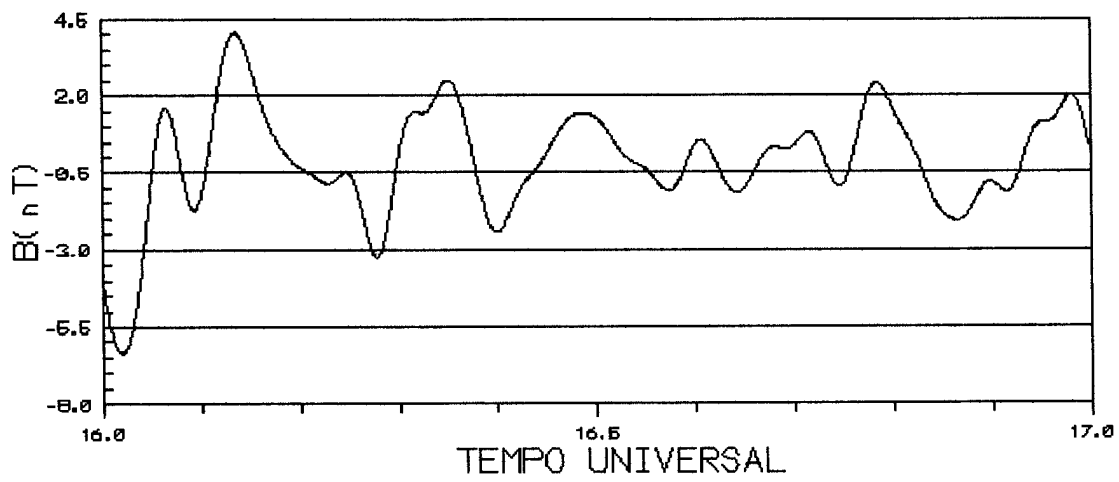


Figura 2. Dados correspondentes à pulsações magnéticas tipo Pc4 (45-150s) na data de 15/10 (entre 12 e 13 h UT).

PRESIDENTE MEDICI



CUIABA



SANTA MARIA

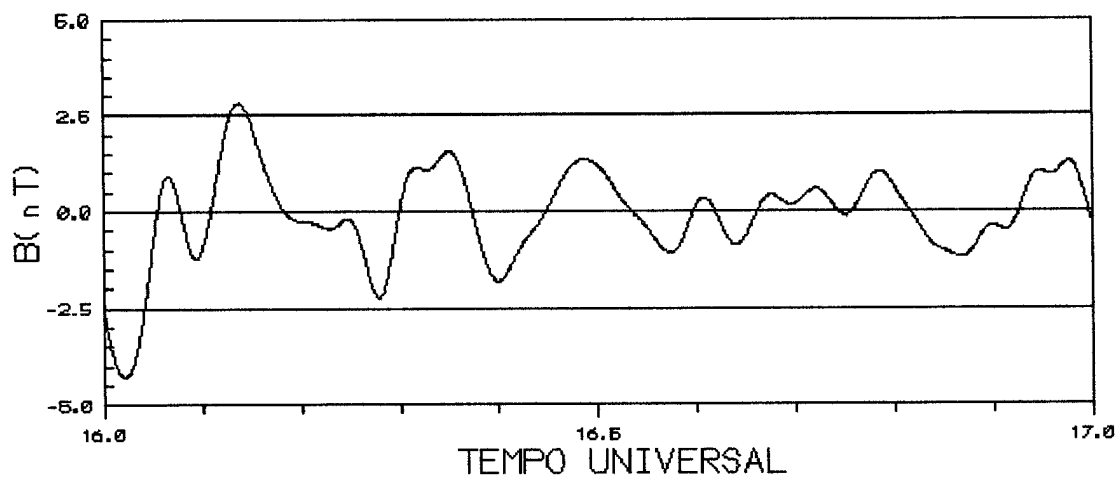


Figura 3. Dados correspondentes à pulsações magnéticas do tipo Pc5 (150-600s) na data de 03/10 (entre 16 e 17 h UT).

PC3				
PROGRAMA	HORA (X)	AMPLITUDE (Y)		
		PRM	CUI	SMA
P3031016	15,2 - 15,25	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,5 / 0,5 (1,0)	-0,5 / 0,5 (1,0)
	15,4 - 15,5	-0,2 / 0,3 (0,5)	-0,5 / 0,4 (0,9)	-0,5 / 0,4 (0,9)
	15,6 - 15,75	-0,5 / 0,3 (0,8)	-0,7 / 0,6 (1,3)	-0,7 / 0,6 (1,3)
P3041017	16,25 - 16,3	-0,5 / 0,5 (1,0)	-0,8 / 0,8 (1,6)	-0,5 / 0,6 (1,1)
	16,375 - 16,425	-0,6 / 0,4 (1,0)	-0,8 / 1,6 (2,4)	-0,5 / 0,3 (0,8)
	16,55 - 16,75	-0,8 / 0,7 (1,5)	-1,4 / 1,3 (2,7)	-1,3 / 1,2 (2,5)
P3051024	23,45 - 23,5	-0,8 / 0,8 (1,6)	-1,1 / 1,2 (2,3)	-0,6 / 0,6 (1,2)
	23,6 - 23,7	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,6 / 0,6 (1,2)	-0,3 / 0,3 (0,6)
P308094	3,3 - 3,4	-0,3 / 0,3 (0,6)	-0,3 / 0,4 (0,7)	-0,4 / 0,4 (0,8)
	3,55 - 3,625	-0,9 / 0,8 (1,7)	-1,3 / 1,0 (2,3)	-1,4 / 1,2 (2,6)
	3,675 - 3,725	-0,8 / 1,1 (1,9)	-1,4 / 2,2 (3,6)	-1,9 / 2,2 (4,1)
	3,8 - 3,875	-0,7 / 0,7 (1,4)	-0,8 / 1,2 (2,0)	-0,7 / 1,1 (1,8)
P3151018	17,025 - 17,1	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,6 / 0,6 (1,2)	-0,4 / 0,4 (0,8)
	17,65 - 17,75	-0,4 / 0,4 (0,8)	-0,7 / 0,7 (1,4)	-0,5 / 0,6 (1,1)
	17,9 - 17,975	-0,3 / 0,3 (0,6)	-0,5 / 0,4 (0,9)	-0,3 / 0,3 (0,6)
P3260922	21,0 - 21,025	-0,6 / 0,6 (1,2)	-0,2 / 0,1 (0,3)	-0,1 / 0,1 (0,2)
	21,05 - 21,1	-0,8 / 1,1 (1,9)	-0,3 / 0,4 (0,7)	-0,1 / 0,1 (0,2)
	21,1 - 21,3	-1,5 / 1,3 (2,8)	-0,2 / 0,2 (0,4)	-0,1 / 0,1 (0,2)
P3300910	9,1 - 9,175	-0,8 / 0,4 (1,2)	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,2 / 0,1 (0,3)
	9,2 - 9,25	-0,8 / 0,5 (1,3)	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,1 / 0,2 (0,3)
	9,675 - 9,725	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,2 / 0,2 (0,4)	-0,2 / 0,1 (0,3)
P3301018	17,1 - 17,15	-0,6 / 0,6 (1,2)	-1,3 / 0,9 (2,2)	-1,0 / 0,7 (1,7)
	17,45 - 17,5	-0,4 / 0,3 (0,7)	-0,7 / 0,6 (1,3)	-0,6 / 0,5 (1,1)
	17,625 - 17,675	-0,3 / 0,5 (0,8)	-0,7 / 0,8 (1,5)	-0,5 / 0,6 (1,1)

Tabela 1. Dados correspondentes à pulsações magnéticas tipo Pc3 (10-45s).

PC4				
PROGRAMA	HORA (X)	AMPLITUDE (y)		
		PRM	CUI	SMA
P4021016	15,0 - 15,1	-0,7 / 0,6 (1,3)	-0,5 / 0,5 (1,0)	-0,3 / 0,3 (0,6)
	15,2 - 15,275	-2,9 / 3,6 (6,5)	-2,6 / 3,4 (6,0)	-1,9 / 2,3 (4,2)
	15,3 - 15,525	-0,8 / 0,7 (1,5)	-0,5 / 0,7 (1,2)	-0,3 / 0,5 (0,8)
	15,575 - 15,825	-1,1 / 1,0 (2,1)	-1,1 / 0,8 (1,9)	0,6 / 0,4 (1,0)
P4041018	17,0 - 17,15	-1,7 / 1,5 (3,2)	-1,5 / 1,5 (3,0)	-0,8 / 1,1 (1,9)
	17,175 - 17,35	-1,6 / 2,2 (3,8)	-2,0 / 2,0 (4,0)	-1,3 / 1,5 (2,8)
	17,6 - 17,875	-1,3 / 1,2 (2,5)	-1,7 / 1,6 (3,3)	-1,3 / 1,2 (2,5)
P413095	4,4 - 4,45	-1,0 / 0,8 (1,8)	-1,7 / 1,4 (3,1)	-2,0 / 1,7 (3,7)
	4,475 - 4,7	-1,5 / 1,5 (3,0)	-1,2 / 1,7 (2,9)	-1,1 / 1,9 (3,0)
	4,7 - 4,9	-1,9 / 1,5 (3,4)	-2,9 / 2,2 (5,1)	-2,5 / 2,0 (4,5)
P4151013	12,0 - 12,225	-1,2 / 1,0 (2,2)	-0,6 / 0,9 (1,5)	-0,3 / 0,6 (0,9)
	12,25 - 12,575	-1,2 / 1,3 (2,5)	-0,6 / 0,6 (1,2)	-0,4 / 0,4 (0,8)
	12,6 - 12,75	-1,8 / 2,0 (3,8)	-1,2 / 1,4 (2,6)	-0,7 / 0,9 (1,6)
P4201018	17,0 - 17,225	-0,9 / 0,8 (1,7)	-0,7 / 0,5 (1,2)	-0,3 / 0,3 (0,6)
	17,25 - 17,45	-1,7 / 1,6 (3,3)	-1,1 / 1,0 (2,1)	-0,6 / 0,6 (1,2)
P4210924	23,7 - 23,8	-2,4 / 1,7 (4,1)	-3,4 / 2,9 (6,3)	-2,8 / 2,6 (5,4)
	23,825 - 24,0	-1,4 / 1,8 (3,2)	-2,3 / 2,3 (4,6)	-1,9 / 1,9 (3,8)
P4291016	15,2 - 15,375	-1,5 / 1,6 (3,1)	-1,3 / 1,4 (2,7)	-0,8 / 1,1 (1,9)
	15,4 - 15,525	-1,5 / 1,5 (3,0)	-2,0 / 1,6 (3,6)	-1,4 / 1,1 (2,5)
	15,525 - 15,675	-1,2 / 1,5 (2,7)	-1,5 / 1,7 (3,2)	-1,2 / 1,2 (2,4)
	15,7 - 15,9	-3,2 / 4,4 (7,6)	-3,0 / 2,4 (5,4)	-2,4 / 3,0 (5,4)
P4301016	15,35 - 15,5	-1,5 / 2,5 (4,0)	-2,0 / 2,5 (4,5)	-1,3 / 1,6 (2,9)
	15,55 - 15,725	-0,7 / 0,9 (1,6)	-1,1 / 1,2 (2,3)	-0,8 / 0,7 (1,5)

Tabela 2. Dados correspondentes à pulsações magnéticas tipo Pc4 (45-150s).

PC5				
PROGRAMA	HORA (X)	AMPLITUDE (y)		
		PRM	CUI	SMA
P5011015	14,0 - 14,125	-2,5 / 2,4 (4,9)	-1,5 / 1,5 (3,0)	-1,0 / 1,1 (2,1)
	14,2 - 14,325	-2,0 / 4,0 (6,0)	-1,2 / 2,3 (3,5)	-0,7 / 1,5 (2,2)
P5021014	13,275 - 13,475	-2,4 / 1,3 (3,7)	-1,5 / 1,0 (2,5)	-1,2 / 0,7 (1,9)
	13,475 - 13,725	-3,5 / 2,7 (6,2)	-1,5 / 2,2 (3,7)	-1,2 / 1,8 (3,0)
	13,725 - 13,825	-2,6 / 3,2 (5,8)	-0,9 / 1,8 (2,7)	-0,8 / 1,5 (2,3)
	13,825 - 14,0	-2,0 / 1,3 (3,3)	-1,3 / 0,9 (2,2)	-1,1 / 0,6 (1,7)
P5031017	16,025 - 16,275	-13,9 / 8,8(22,7)	-6,3 / 4,0 (10,3)	-4,2 / 2,8 (7,0)
	16,275 - 16,4	-6,5 / 5,0 (11,5)	-3,2 / 2,5 (5,7)	-2,2 / 1,6 (3,8)
	16,65 - 16,875	-4,8 / 4,0 (8,8)	-2,1 / 2,4 (4,5)	-1,2 / 1,0 (2,2)
	16,875 - 17,0	-4,8 / 4,2 (9,0)	-2,1 / 2,0 (4,1)	-1,1 / 1,3 (2,4)
P5041015	14,0 - 14,15	-2,7 / 3,0 (5,7)	-1,5 / 1,7 (3,2)	-1,2 / 1,2 (2,4)
	14,225 - 14,35	-3,0 / 3,1 (6,1)	-1,4 / 1,8 (3,2)	-1,1 / 1,2 (2,3)
	14,775 - 14,875	-2,8 / 3,9 (6,7)	-0,5 / 1,2 (1,7)	-0,4 / 1,1 (1,5)
P5060915	14,05 - 14,25	-3,5 / 3,6 (6,1)	-2,0 / 1,4 (3,4)	-1,5 / 0,9 (2,4)
	14,25 - 14,5	-3,5 / 3,0 (6,5)	-2,0 / 1,5 (3,5)	-1,5 / 1,2 (2,7)
	14,5 - 14,725	-3,0 / 6,0 (9,0)	-1,3 / 2,6 (3,9)	-1,1 / 2,3 (3,4)
	14,725 - 15,0	-2,6 / 2,0 (4,6)	-1,0 / 0,9 (1,9)	-0,9 / 0,7 (1,6)
P5070913	12,05 - 12,25	-3,8 / 4,0 (7,8)	-2,2 / 1,4 (3,6)	-1,2 / 0,7 (1,9)
	12,25 - 12,4	-3,8 / 3,4 (7,2)	-2,2 / 1,3 (3,9)	-0,9 / 0,5 (1,4)
	12,55 - 12,725	-4,6 / 3,5 (8,1)	-2,8 / 1,8 (4,6)	-1,9 / 1,6 (3,5)
	12,725 - 12,885	-5,3 / 5,0 (10,3)	-2,9 / 3,5 (6,4)	-1,9 / 2,7 (4,6)
	12,885 - 13,0	-5,3 / 5,1 (10,4)	-2,9 / 3,1 (6,0)	-1,1 / 2,1 (3,2)

Tabela 3. Dados correspondentes à pulsações magnéticas do tipo Pc5.

3.CONCLUSÕES PRELIMINARES

Os resultados alcançados pela análise até agora efetuada evidenciam a já esperada amplificação por parte das correntes do Eletrojato Equatorial para as pulsações Pc4 e Pc5. Surpreendentemente, porém, as mesmas análises mostram um resultado oposto para o caso das pulsações Pc3. Nesse caso, embora as pulsações pareçam ligeiramente amplificadas na borda da área de abrangência do Eletrojato (estação CUI), sob o centro do Eletrojato elas apresentam resultado oposto (redução da amplitude em PRM). Esse resultado vai ser melhor explorado no próximo período da Bolsa de Iniciação Científica, quando pretendemos estudar especificamente a característica do amortecimento das Pc3 na região equatorial. Para isto vamos utilizar os dados das outras estações posicionadas entre CUI e PRM e verificar estatisticamente como esse resultado se altera ao longo do dia.