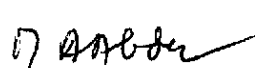


1. Publicação nº INPE-2346-PRE/088	2. Versão	3. Data Março, 1982	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DGA/DII	Programa IONOSFERA/ELIS		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) PERTURBAÇÃO IONOSFÉRICA TEMPESTADES MAGNÉTICAS			
7. C.D.U.: 523.4-853			
8. Título AUMENTO DA PRECIPITAÇÃO DE PARTÍCULAS NA REGIÃO DA ANOMALIA MAGNÉTICA BRASILEIRA, ASSOCIADO A TEMPESTADES MAGNÉTICAS ATRAVÉS DE MEDIDAS DE FASE EM VLF		10. Páginas: 16	
		11. Última página: 9	
9. Autoria Mangalathayil Ali Abdu Inez Staciarini Batista Liliana Rizzo Piazza Oswaldo Massambani*		12. Revisada por  Rene A. Medrano-B.	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  Nelson de Jesus Parada Diretor	
14. Resumo/Notas Os sinais de VLF, em 13,6 KHz, transmitidos de Golfo Nuevo, Argentina (43°S , 65°W), são registrados em Atibaia, Estado de São Paulo (23°S , 46°W). A trajetória do sinal fica, assim, quase totalmente confinada à região da anomalia do Atlântico Sul. Foram analisadas simultaneamente a fase de VLF, registrada em Atibaia, e os parâmetros $f_t E_s$ e $f_b E_s$, da camada E esporádica, registrada em Cachoeira Paulista, Estado de São Paulo (22°S , 45°W). Os registros de fase mostram perturbações significativas que indicam o abaixamento do nível de reflexão de VLF, imediatamente após o início de uma perturbação magnética. Também são observados aumentos nos parâmetros, $f_t E_s$ e $f_b E_s$, da camada E esporádica, porém com algum atraso em relação ao início da perturbação, conforme já foi encontrado em um trabalho anterior de Batista e Abdu, em 1977. Os resultados da análise mostram a ocorrência de aumentos de ionização entre, aproximadamente, 110 km até 70 km de altura, associados a tempestades magnéticas e que foram atribuídos à precipitação de partículas energéticas carregadas na região da anomalia geomagnética do Atlântico Sul. Os resultados obtidos sugerem, também, alguma variabilidade diária na abundância de íons metálicos e/ou na dinâmica da região E em estudo.			
15. Observações Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), através do convênio FINEP CT 537. * Instituto de Astronomia e Geofísica, Universidade de São Paulo.			

ABSTRACT

Phase recordings at Atibaia, Brazil, (23°S , 46°W) of 13.6 KHz VLF signal transmitted from Golfo Nuevo, Argentina (43°S , 65°W), a trajectory confined almost completely within the South Atlantic Anomaly region, show significant perturbations, indicative of the lowering of the VLF reflection level, following the onset of magnetic disturbances. Simultaneous measurements of the E-layer parameters, $f^{\text{t}}\text{E}_\text{S}$ and $f^{\text{h}}\text{E}_\text{S}$, over Cachoeira Paulista (22°S , 45°W) also show enhancements, with some delay with respect to the magnetic disturbance onset, as was found in an earlier work of Batista and Abdu in 1977. These results show magnetic storm associated ionization enhancements taking place in a height region from approximately 110 km down to 70 km, which we interpret as having been produced by precipitation of high energy charged particles in the South Atlantic Magnetic Anomaly. The results also suggest some degree of day to day variability in the abundance of metallic species, and/or in the dynamics of the E-region over this region.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>RESULTADOS</u>	2
3 - <u>DISCUSSÃO E CONCLUSÕES</u>	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Variações diurnas da fase de VLF, recebida em Atibaia, e das frequências, f_{bE_s} e f_{tE_s} , da camada E esporádica, registradas em Cachoeira Paulista durante distúrbios magnéticos	4
2 - Alguns exemplos dos ionogramas que mostram aumentos da camada E esporádica, durante distúrbios magnéticos	5
3 - Alguns exemplos da resposta de sinais de VLF a tempestades magnéticas	6
4 - Os resultados de análises em épocas superpostas da resposta de VLF a tempestades magnéticas	7

1. INTRODUÇÃO

A região da anomalia magnética do Atlântico Sul é caracterizada por um mínimo de intensidade no valor do campo magnético terrestre. Isto permite que partículas quase aprisionadas no cinturão de radiação interno, durante sua deriva longitudinal, precipitem-se atingindo baixos níveis da atmosfera sobre a região anômala (Ginzberg et alii, 1962; Imhof and Smith, 1965; Seward et alii, 1973).

Recentemente (Batista and Abdu, 1977) foi estudado o comportamento da camada esporádica E, durante períodos com distúrbios magnéticos sobre Cachoeira Paulista, S.P., localizada próximo ao Centro da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Foram observados aumentos significativos nos parâmetros $f_t E_s$ e $f_b E_s$, durante períodos de 1 hora a 3 horas após 1 dia a 3 dias do início de um distúrbio magnético de intensidade moderada. Durante alguns eventos, os aumentos da densidade eletrônica da região E noturna são comparáveis aos máximos valores diurnos produzidos pela radiação solar. Além disso, os traços E_s assemelham-se aos usualmente observados em altas latitudes, na região da aurora, sob condições com distúrbios. Tais efeitos foram interpretados como causados pela precipitação de partículas do cinturão interno de radiação na Anomalia do Atlântico Sul, durante períodos com distúrbios magnéticos. Um trabalho posterior, baseado na média mensal das características da camada E_s , indicou que a precipitação de partículas carregadas constitui-se em fonte regular de ionização noturna na região E, sobre Cachoeira Paulista (Abdu and Batista, 1977). Conclui-se que casos específicos de aumento da camada E_s indicam correspondentes aumentos na razão de precipitação de partículas carregadas, sob condições com distúrbios magnéticos.

Neste trabalho, realiza-se a análise acima com o intuito de verificar em que grau a precipitação de partículas, detetada na altura da região E, pode ser estendida para regiões mais baixas (região D). Isto é feito através da análise dos dados de fase VLF.

Os dados aqui analisados são registros de fase de sinais de VLF provenientes do Golgo Nuevo, Argentina (43°S , 65°W), e recebidos em Atibaia, S.P. Esta trajetória está situada em baixa latitude, localizada na região da anomalia magnética. Anteriormente, haviam sido feitos estudos de propagação durante períodos com distúrbios magnéticos, utilizando-se dados obtidos na região da Anomalia, mas através da utilização de trajetos de propagação muito longos, comparados com a extensão da Anomalia, e, em tais casos, a identificação precisa dos distúrbios de propagação, que poderiam ser atribuídos à influência da Anomalia, era usualmente difícil (Abdu et alii, 1973; Gough, 1976; Mendes and Ananthakrishnan, 1972). Agora como a trajetória Golfo Nuevo-Atibaia está situada totalmente dentro da região da Anomalia, a dificuldade acima parece estar totalmente superada.

2. RESULTADOS

Na Figura 1 apresenta-se um gráfico das variações diárias do sinal de VLF, recebidos em Atibaia, durante período onde ocorreram alguns distúrbios magnéticos, indicados através do índice Kp, sendo que as variações eram superpostas à média de 5 a 7 dias "calmos", que precederam ao período analisado. O efeito observado é um avanço do sinal de fase, que significa um abaixamento da camada de reflexão, observado imediatamente após o início dos distúrbios magnéticos especialmente quando estes últimos ocorrem no período noturno, diferindo dos efeitos conhecidos para a região D em latitudes médias.

Como as alturas de reflexão durante o dia e durante a noite são, respectivamente, 70 e 90 km, a variação da altura de reflexão foi da ordem de ~ 10 km em um dos dias considerados. A resposta do sinal de VLF a um aumento do índice magnético Kp é observada somente durante as horas noturnas, apesar de tais distúrbios ocorrem indistintamente tanto à noite como durante o dia. Estão também plotados na Figura 1 os valores de $f_b E_s$, a frequência de bloqueamento da camada E_s e $f_t E_s$, a maior frequência refletida na camada E_s , sobre Cachoeira Pau

lista, obtidos simultaneamente com as observações de VLF, e que apresentam aumentos observados em associação com distúrbios magnéticos.

Na Figura 2 são apresentados os ionogramas que mostram traços E_s durante alguns dos distúrbios. O espalhamento dos traços E_s são regularmente observados sobre Cachoeira Paulista, após distúrbios magnéticos de intensidade moderada.

Na Figura 3 apresentam-se 3 casos distintos de respostas dos sinais de fase em VLF aos distúrbios magnéticos (K_p), mostrando a variação aparente do atraso entre 1 hora e 2 horas, entre o início do distúrbio magnético e as mudanças de fase em VLF.

Na Figura 4 apresenta-se o gráfico de $\Delta\phi(=\phi_{\text{calmo}} - \phi_{\text{dist.}})$, correspondente a nove eventos arbitrariamente selecionados. Na parte (a) mostra-se a precedência de aproximadamente um dia dos distúrbios magnéticos em relação às perturbações de fase em VLF; a resposta diurna que se segue ao início da tempestade (SSC) que ocorre durante o dia é significativamente menor do que a resposta noturna. Nota-se também que o distúrbio noturno domina a resposta do sinal de fase em VLF, e a amplitude dos distúrbios parece ser mais pronunciada durante as horas anteriores à meia-noite. Na parte (b) mostra-se que a resposta ocorre imediatamente após o início da tempestade magnética.

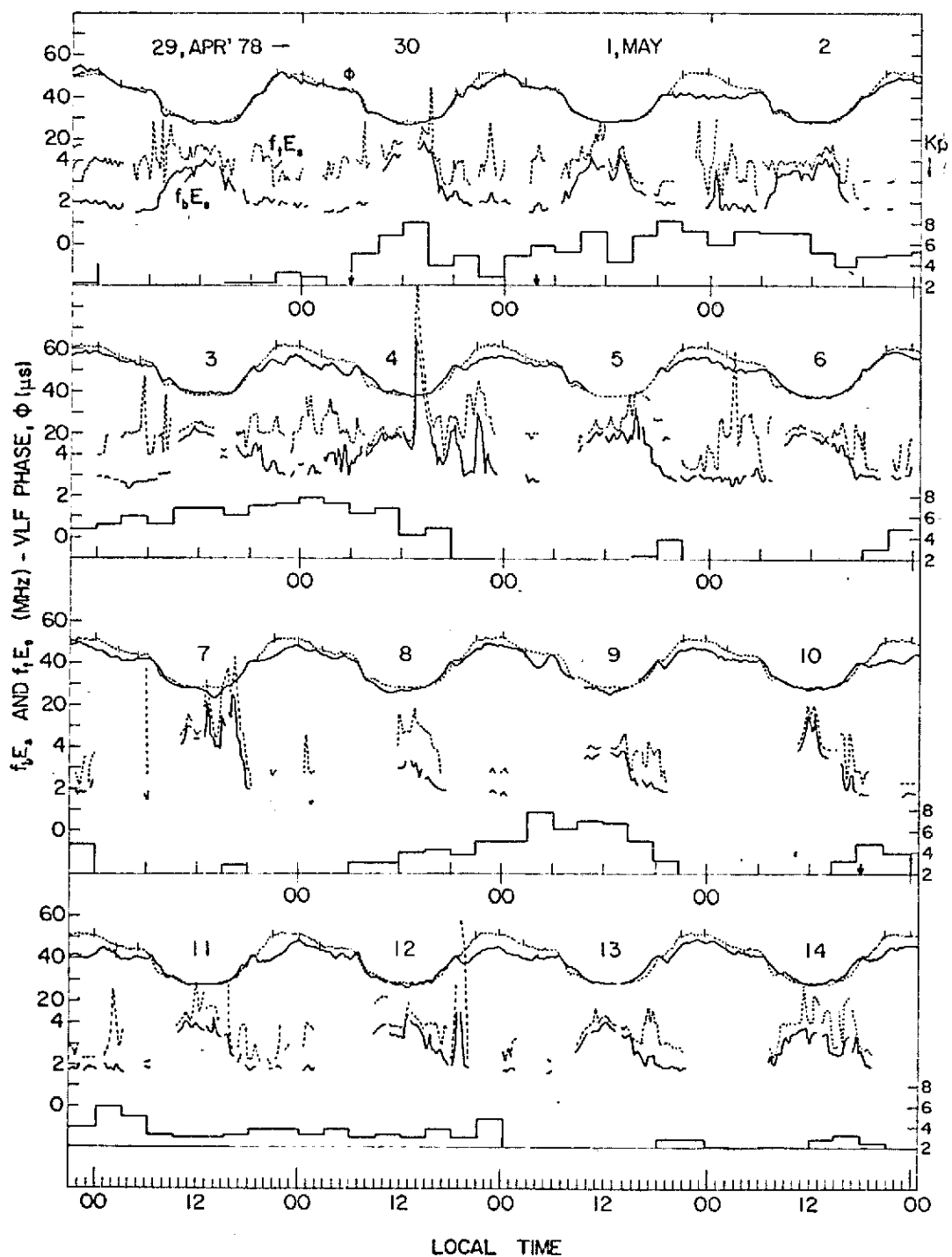


Fig. 1 - Variações diurnas de fase de VLF, recebida em Atibaia, e das frequências, f_{Es} e f_{Es} , da camada E esporádica, registradas em Cachoeira Paulista durante distúrbios magnéticos.

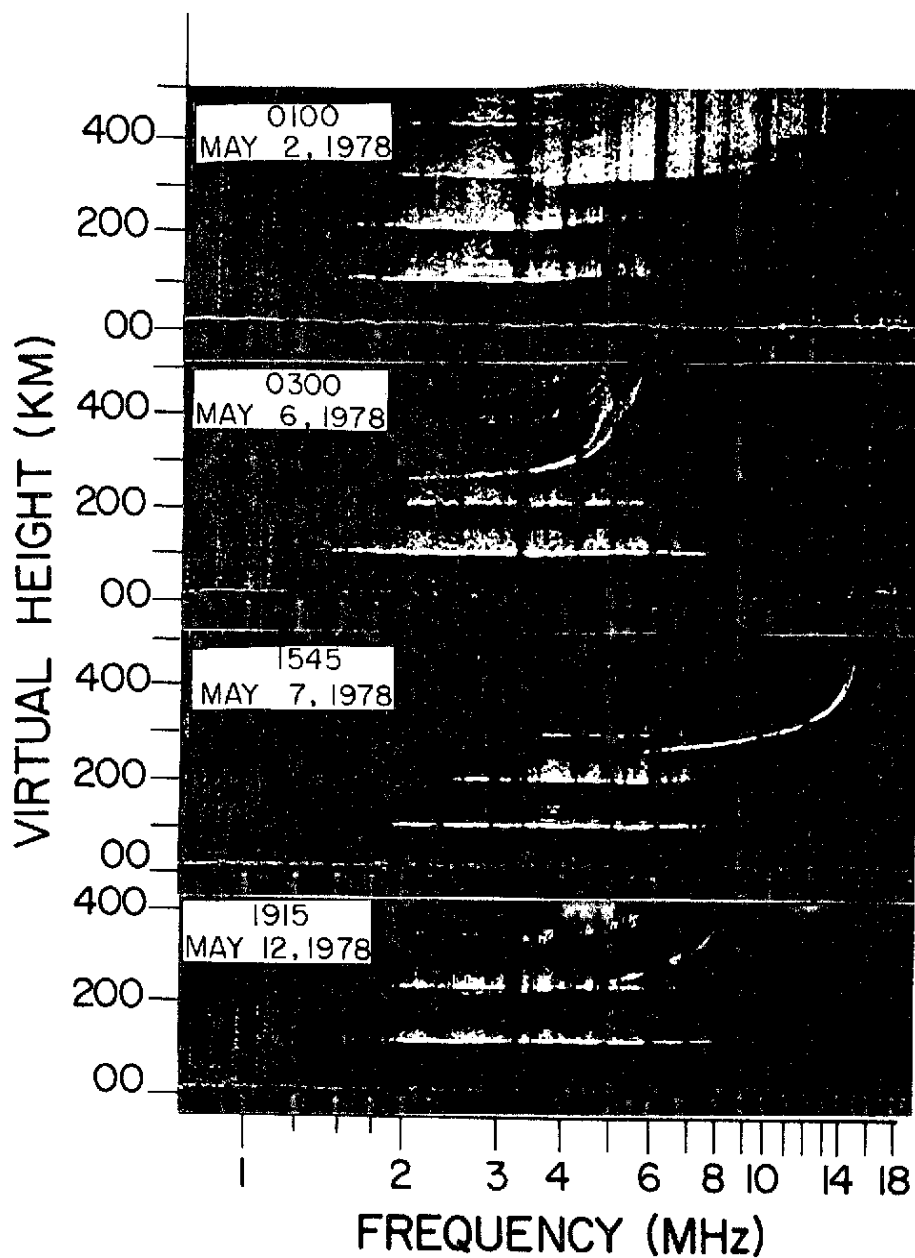


Fig. 2 - Alguns exemplos dos ionogramas que mostram aumentos da camada E esporádica, durante distúrbios magnéticos.

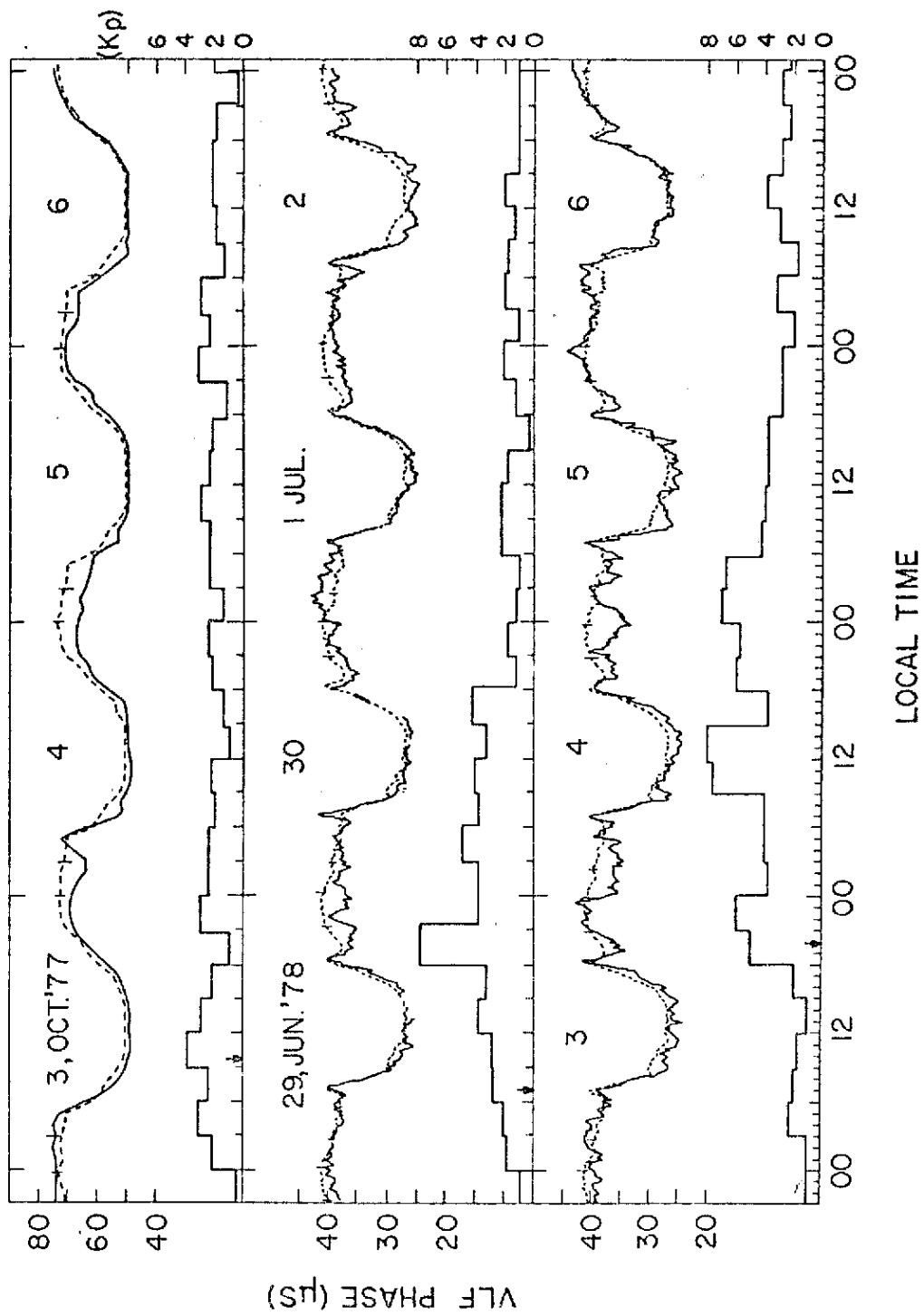


Fig. 3 - Alguns exemplos da resposta de sinais de VLF a tempestade magnética.

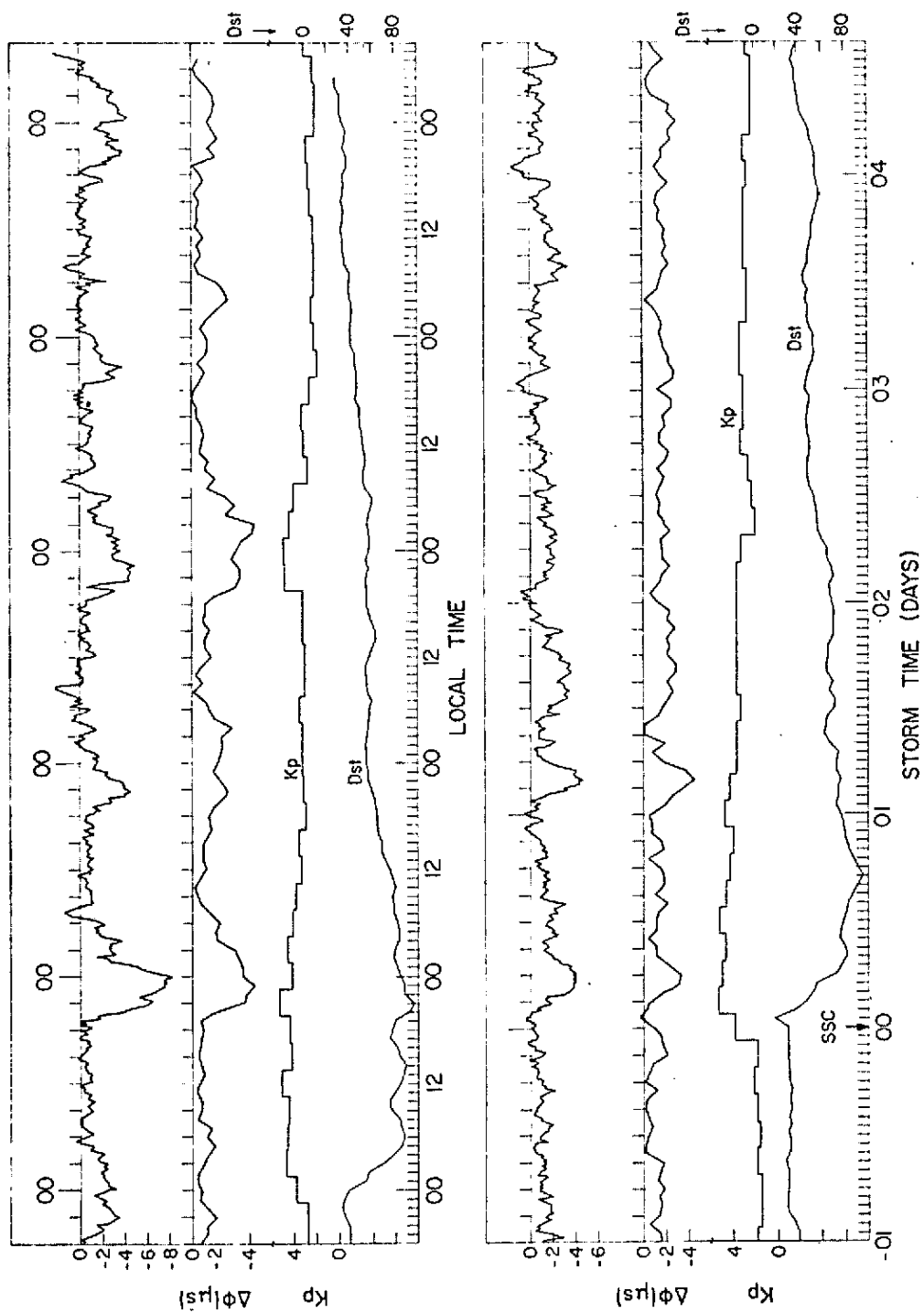


Fig. 4 - Os resultados de análises em épocas superpostas da resposta de VLF a tempestades magnéticas.

3. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Estes resultados demonstram claramente a evidência das perturbações de fase de VLF associadas a tempestades magnéticas. A ocorrência simultânea entre os distúrbios de fase em VLF e os aumentos da camada E_s definem uma certa faixa de altura (70 - 110 Km), na qual ocorre o aumento de ionização associado à tempestade. O limite inferior refere-se à altura de reflexão diurna dos sinais de VLF, e o superior refere-se às alturas das camadas E_s . Os resultados aqui apresentados não são sensíveis às mudanças fora desta região. Entretanto, a associação entre o aumento de ionização com os distúrbios magnéticos sugere, como fonte de ionização, as partículas energéticas.

São feitas várias considerações qualitativas sobre densidades eletrônicas diurnas e noturnas, alturas de reflexão e processos de recombinação na baixa ionosfera, para estudar quais as fontes de aumento de produção de ionização que podem ser atribuídas à precipitação de partículas de alta energia e que são compatíveis com os dados observados na região de latitude aqui considerada.

Resumindo, sugere-se que estes efeitos podem ser importantes na região situada entre 70 e 110 Km de altura. O efeito do aumento da precipitação parece ocorrer imediatamente após o início do distúrbio magnético e continua, em geral, após o fim do distúrbio. As características do aumento da camada esporádica E são similares às do efeito em VLF, exceto que o início do aumento de E_s é geralmente atrasado de 1 dia a 3 dias em relação ao início do distúrbio magnético. Tal atraso, talvez possa ser atribuído às variabilidades diárias dos constituintes metálicos e/ou à dinâmica da região E.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDU, M.A.; ANANTHAKRISHNAN, S.; COUTINHO, E.F.; KRISHNAN, B.A.; REIS, E.M.S. Azimuthal drift and precipitation of electrons into the South Atlantic Geomagnetic Anomaly during and SC magnetic storm. *Journal of Geophysical Research*, 78(25):5830-5835, Sep. 1973.
- ABDU, M.A.; BATISTA, I.S. Sporadic E-layer phenomena in the Brazilian Geomagnetic Anomaly: Evidence for a regular particle ionization source. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 39(6):723-731, June 1977.
- BATISTA, I.S.; ABDU, M.A. Magnetic storm associated delayed sporadic E enhancements in the Brazilian Geomagnetic Anomaly. *Journal of Geophysical Research*, 82(29):4777-4783, Oct. 1977.
- GINZBERG, V.L.; KURUSOVA, L.V.; LOGACHEV, V.I.; ROZOREROV, A.A.; SIROTKIN, I.A.; FRADKIN, M.I. Investigation of charged particle intensity during the flight of the second and third space ship. *Planetary and Space Science*, 9, 845-854, Nov. 1962.
- GOUGH, M.P. Particle precipitation in the South Atlantic Anomaly deduced from VLF propagation path measurements. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 37(10):1379-1383, Oct. 1975.
- IMHOF, W.L.; SMITH, R.V. Longitudinal variations of high energy electrons at low altitudes. *Journal of Geophysical Research*, 70(63):569-577, Feb. 1965.
- MENDES, A.; ANANTHAKRISHNAN, S. VLF phase changes produced by particle precipitation into the geomagnetic anomaly during solar proton events, *Radio Science*, 7(4):465-468, Apr. 1972.
- SEWARD, F.D.; GRADER, R.J.; TOOR, A.; BURGINYUN, G.A.; HILL, R.W. *Electrons at low altitudes. A difficult background problem for soft X-ray astronomy.* Livermore Cal., Lawrence Livermore Laboratory, Univ. Cal., 1973. (UCRL-51456).