

1 INTRODUÇÃO

- Cintilações ionosféricas são rápidas variações aleatórias em fase e amplitude de ondas de rádio transionosféricas, como no caso dos sinais transmitidos a partir de satélites GNSS (*Global Navigation Satellite System*), e são causadas por irregularidades na densidade do plasma ionosférico. Cintilação forte pode causar séria degradação na performance do GNSS, levando inclusive à perda de sinal.
- Normalmente, essas irregularidades estão localizadas na camada F equatorial da ionosfera entre 200 e 600 km de altitude.
- Em dias magneticamente calmos, devido a Anomalia de Ionização Equatorial, se formam cristas em ambos os lados do equador geomagnético nas quais a densidade do plasma é significativamente alta e não homogênea. Após o pôr do sol a altura da camada ionizada se eleva, devido ao pico pré-inversão da deriva vertical, e logo cai gerando irregularidades que podem causar cintilação forte.
- Existem eventos solares como CMEs (*Coronal Mass Ejections*) que podem mudar o comportamento das irregularidades. Uma tempestade geomagnética causada por uma CME tem efeitos globais podendo produzir tanto um efeito positivo na formação de irregularidades quanto uma inibição de irregularidades equatoriais dependendo, na maioria dos casos, da fase principal da tempestade.
- Aarons (1991) desenvolveu um sistema de classificação no qual as tempestades geomagnéticas foram divididas em três categorias baseadas na fase principal da tempestade (máximo valor negativo do índice Dst) e no efeito da corrente de anel sobre a geração ou inibição de irregularidades na camada F durante a atividade magnética.
- Categoria 1: se a máxima excursão negativa do índice Dst acontece durante horas de dia e bem antes do pôr do sol, a elevação normal em altura da camada F é perturbada e irregularidades serão inibidas durante a noite.
- Categoria 2: se a máxima excursão ocorre no período de tempo após a meia noite durante a madrugada, a camada F se eleva em altura e como essa perturbação dura pouco tempo a altura da camada cai e gera irregularidades.
- Categoria 3: se a máxima excursão ocorre entre o pôr do sol e a meia noite, não há perturbação na altura da camada já que ela já caiu depois do pôr do sol assim o padrão normal de elevação em altura não é perturbado e irregularidades se formam do mesmo jeito como em noites magneticamente calmas.

2 OBJETIVO

- Esta pesquisa tem por objetivo fazer uma análise do comportamento das irregularidades ionosféricas sobre a cidade de Porto Alegre, no período de alta atividade solar do ciclo 24, durante a severa tempestade geomagnética que aconteceu no dia 9 de março de 2012 utilizando dados ionosféricos.

3 CIGALA

- Para o estudo utilizaram-se dados ionosféricos obtidos do projeto CIGALA (*Concept for Ionospheric scintillation mitiGAtion for professional GNSS in Latin America*) (<http://cigala.galileoic.org/>).
- O projeto CIGALA consiste numa parceria de europeus e brasileiros com o objetivo de apoiar o desenvolvimento do conhecimento das causas e implicações de distúrbios ionosféricos em baixas latitudes, modelar seus efeitos e desenvolver novas contramedidas a serem implementadas nos receptores GNSS.
- Com este propósito uma rede de receptores GNSS para monitoramento de cintilação foi implantada no Brasil. O projeto inclui uma medição em larga escala e uma campanha de testes que está sendo realizada com o apoio de várias parcerias acadêmicas. O projeto envolve a medição de diversos parâmetros ionosféricos cobrindo a região das cristas da Anomalia de Ionização Equatorial e seus arredores.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

- No dia 7 de março de 2012 às 00:28 UT (*Universal Time*) houve uma explosão solar classificada como X5 que liberou no espaço uma CME, a qual atingiu o campo magnético do nosso planeta aproximadamente às 11:00 UT do dia 8 de março desencadeando, assim, uma tempestade magnética e uma tempestade ionosférica devido a entrada de energia nos polos pelo processo de reconexão magnetosférica.
- Durante a tempestade o índice Dst alcançou um valor mínimo de -133 nT entre 08:00 e 09:00 UT do dia 9 de março, como é apresentado na Figura 1, este decréscimo é devido a um aumento na quantidade de partículas na magnetosfera que são capturadas pela corrente de anel causando, desse modo, um decréscimo na intensidade horizontal do campo geomagnético. Além disso, o índice Kp chegou a atingir o valor 8o entre 06:00 e 09:00 UT do dia 9 de março, como mostrado na Figura 1, esse índice estima a entrada de energia global na magnetosfera. Sendo, portanto, considerada uma tempestade geomagnética severa.

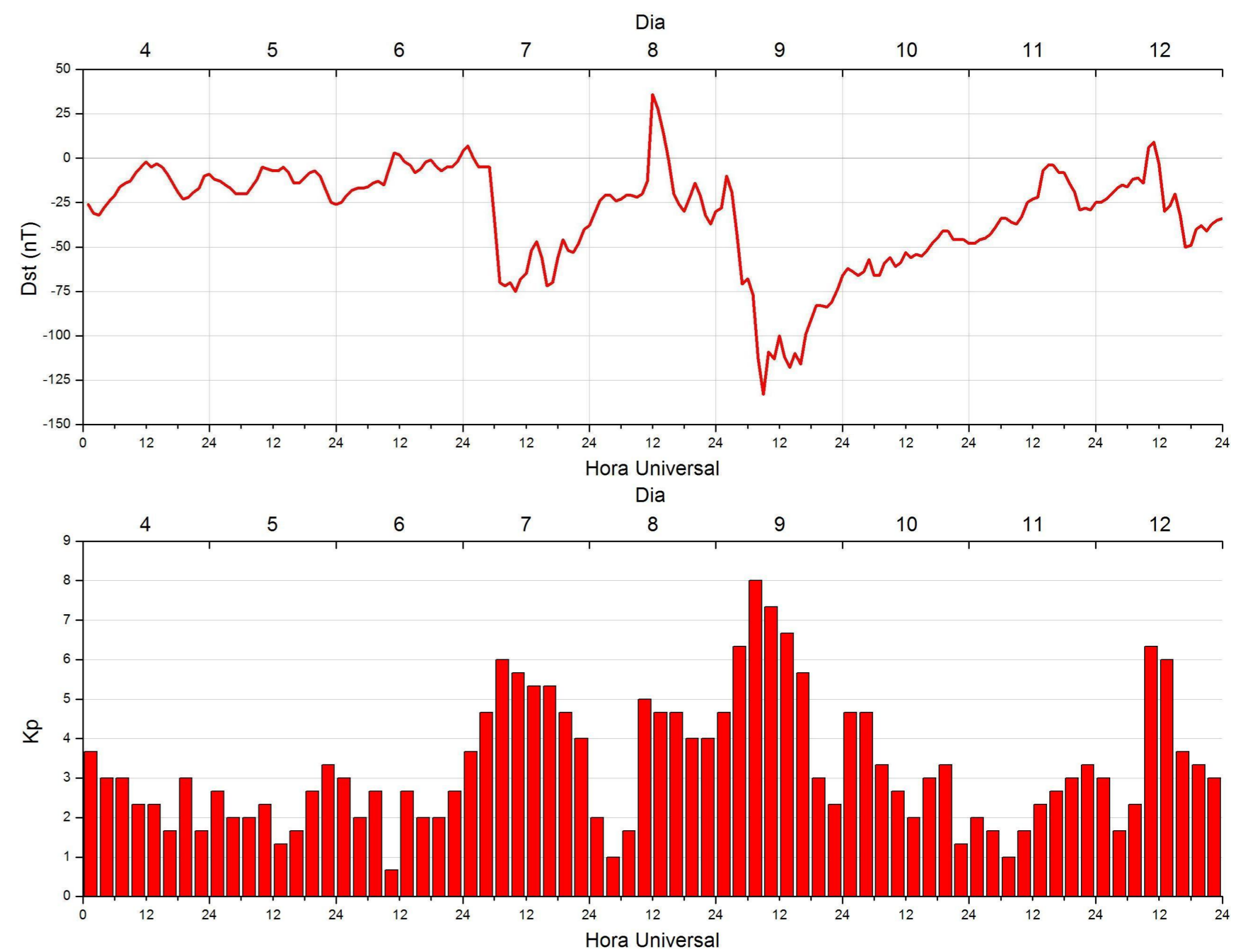


Figura 1 - Gráficos dos índices geomagnéticos Dst e Kp entre 4 e 12 de março de 2012.

- A principal característica de uma tempestade geomagnética é um decréscimo na intensidade horizontal do campo geomagnético, causado por uma intensificação na corrente de anel, e sua subsequente recuperação.
- Durante a fase principal o valor do índice Dst atinge seu valor mínimo o que significa que há um pico de excursão da corrente de anel que acaba afetando a intensidade e direção do campo elétrico equatorial e a intensidade do campo geomagnético horizontal. Interferindo, assim, na deriva vertical do plasma que afeta diretamente o levantamento ou queda da camada F da ionosfera e, conseqüentemente, a geração de irregularidades.
- O GNSS nos fornece uma ótima maneira de medir os efeitos da cintilação devido ao fato de que as ondas de radio transionosféricas transmitidas pelos satélites estão continuamente disponíveis e podem ser medidas simultaneamente ao longo de diversos caminhos através da atmosfera.

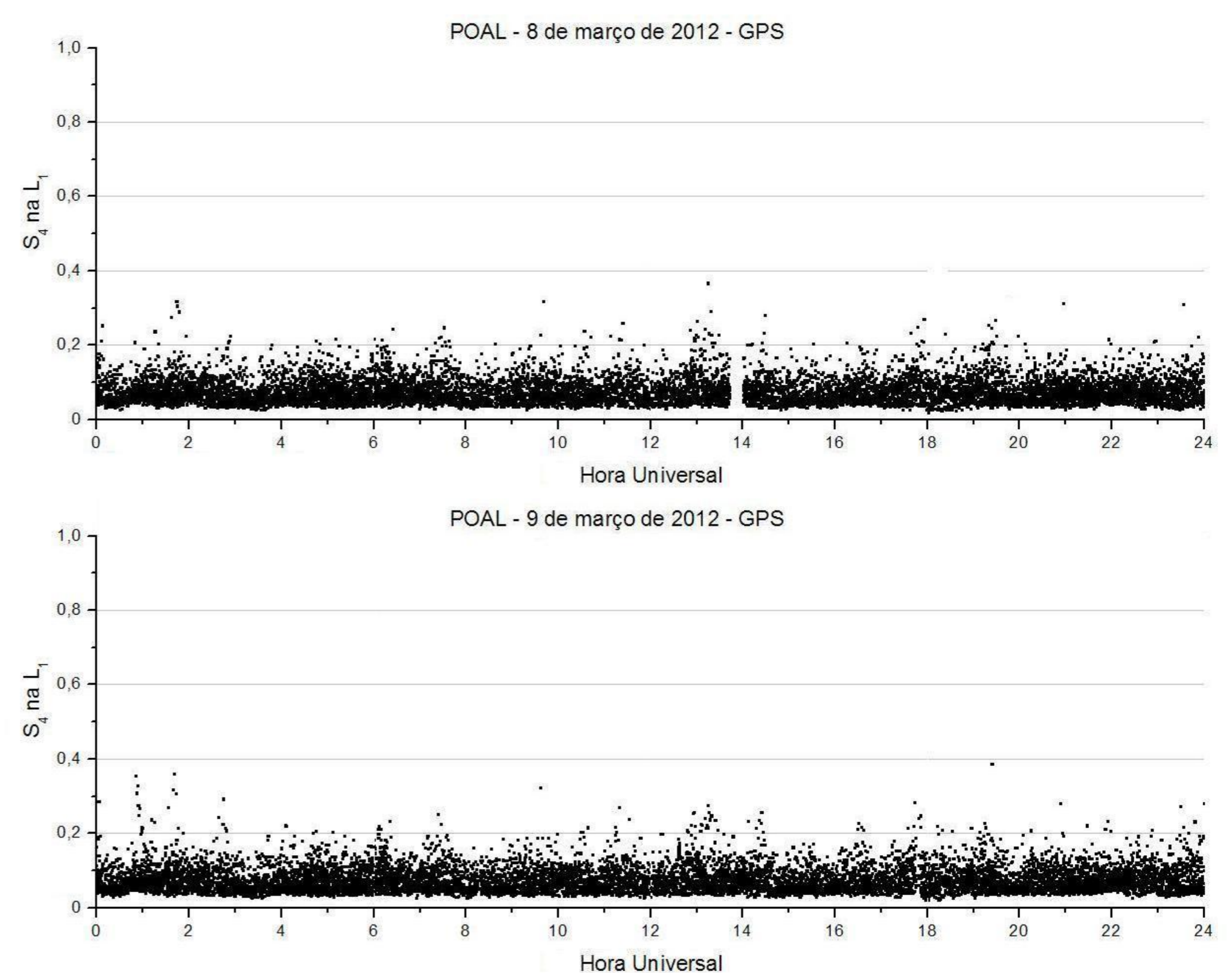


Figura 2 - Gráficos do índice de cintilação S_4 para os dias 8 e 9 de março de 2012.

- Na Figura 2 são apresentados os gráficos do índice de amplitude de cintilação S_4 sobre a portadora L_1 do GPS (*Global Positioning System*) para os dias 8 e 9 março de 2012. Os valores do índice S_4 foram calculados para o intervalo de 1 minuto e são somente de satélites da constelação GPS com grau de elevação maior ou igual a 15°. Praticamente não é observada cintilação forte (valores de S_4 maiores do que 0,2) e os poucos pontos com valores entre 0,2 e 0,4 são pouco significativos e esparsos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A análise dos resultados obtidos demonstrou que a atenuação de cintilação causada pela severa tempestade de 8 de maio de 2012 resultou numa melhoria do sinal. Durante a tempestade o índice Dst alcançou um valor mínimo de -133 nT durante horas de dia e desse modo a tempestade pode ser classificada na categoria 1 de Aarons (1991). Devido ao pico negativo do índice Dst ter ocorrido em horas de dia a elevação normal em altura da camada F ionizada foi perturbada e por causa disso irregularidades foram inibidas nas noites de tempestade.