

Variações na densidade eletrônica no pico da camada F ionosférica em São José dos Campos durante o ciclo solar 23

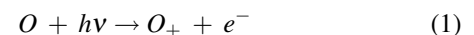
Felipe Antonio Cardoso,* Yogeshwar Sahai, Fernando L. Guarnieri, Rodolfo de Jesus, e Joyce Viera Prudente Ramos da Silva
*IP&D Departamento de Física e Astronomia, Universidade do Vale do Paraíba,
 Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova, São José dos Campos - SP*

Nesta investigação foram utilizados os dados obtidos em São José dos Campos (23.2°S, 45.9°O), estação localizada na região da crista sul da anomalia equatorial ionosférica, através de ionossonda digital CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde), em diferentes períodos do ciclo solar 23. Este trabalho analisa o comportamento ionosférico na região da camada F, em baixa latitude no setor brasileiro. Utilizando os dados de frequência máxima no pico da camada F (foF2), durante os períodos de alta atividade solar, média atividade solar e baixa atividade solar, podemos verificar como a ionosfera na região da camada F se comportou durante as variações do ciclo solar. Dados de emissão solar de extremo-ultravioleta foram obtidos pelo satélite SOHO equipado com o Solar Extreme-Ultraviolet Monitor (SEM). Foram comparadas as emissões de raios na banda EUV - 26-34 nm com a frequência máxima do pico da camada F observada em São José dos Campos, que indica diminuição em foF2 e na emissão de raios na banda EUV 26-34 nm com atividade solar sendo que EUV 26-34 nm não mostra variações sazonais observadas em foF2.

I. INTRODUÇÃO

É bem conhecido que a radiação extremo ultra-violeta (EUV), emitido continuamente pelo Sol, é uma das principais radiações ionizantes da ionosfera, principalmente para a camada F. Um dos principais parâmetros ionosféricos estudados por vários investigadores é o índice de densidade eletrônica no pico da camada F (foF2). A radiação EUV não pode ser medida na superfície terrestre justamente por que a maior parte dela é absorvida durante o processo de fotoionização dos átomos e moléculas dos gases presentes na região da alta atmosfera, devido a isso para realização deste estudo foi necessário utilizar o equipamento “Solar Extrem - Ultraviolet Monitor (SEM)”, que foi instalado no satélite “Solar and Heliospheric Observatory (SOHO)”, que esta além dos limites da atmosfera terrestre. Kane (2006) indica que a radiação EUV entre 26-34nm é um fator relevante para o parâmetro ionosférico foF2 [1]. A ionosfera, também, atua como uma importante camada refletora de ondas de alta frequência, sendo assim fundamental para comunicações de rádio de longa distância, sendo que a frequência gerada pelos elétrons da camada F ionosférica fica abaixo de 30 MHz. Quando nos referimos à propagação de ondas de alta frequência utilizamos o índice de frequência crítica na camada F (foF2) que é a frequência mais alta que a camada reflete em determinado momento, frequências abaixo de foF2 são refletidas e frequências acima deste índice atravessam a camada F. Radiação EUV, na faixa de 26-34 nm, é a principal radiação ionizante da camada F enquanto que raios-X agem de forma mais marcante para camadas mais baixas da ionosfera. A principal fonte ionizante da camada F é o oxigênio atômico, quando radiação EUV colide com estes átomos e com moléculas de gases (principalmente os N2) presentes nesta região, ocorre a fotoionização que libera elétrons no ambiente, estes chamados elétrons livres. O pico de densidade eletrônica da ionosfera ocorre geralmente entre 12 ho-

ras e 16 horas (hora local). Entre estes horários a densidade eletrônica chega a uma taxa de 106 a 107 elétrons/cm³. Como a fotoionização é um processo que depende da radiação solar, durante a noite o processo se inverte e elétrons livres voltam a se unir com moléculas positivas, fenômeno conhecido como recombinação. [2,3]. A Camada F é uma das três camadas que constituem a ionosfera e é dividida em duas regiões chamadas de F1 e F2 (durante o dia). A fotoionização do N2 é a segunda maior fonte ionizante da camada F e o oxigênio atômico, predominante nesta camada, é a principal fonte íons O+ e elétrons [2,4]. Este processo é dado pela seguinte transformação (para oxigênio atômico):



onde:

O = oxigênio atômico.

hν = radiação EUV.

e⁻ = elétron livre.

A densidade eletrônica, na camada F, obtida através deste processo é verificada utilizando-se o índice de frequência crítica na camada F (foF2), que normalmente pode chegar até 20 MHz. Atividade solar é um fator determinante na incidência de raios EUV na atmosfera. Apesar das emissões de radiação EUV, que ocorrem durante todos os períodos do ciclo solar, chegar no topo da atmosfera terrestre em poucos minutos, vemos que durante o período de ocorrência de solar flares ocorre o aumento das emissões de radiação EUV [5]. Solar flares ocorrem quando duas manchas solares de polaridades opostas, que surgem graças à tensão magnética do Sol, se aproximam o suficiente para que haja uma reconexão de linhas de campo magnético. Essa reconexão quebra as linhas de fluxo do campo magnético das manchas e causa emissão de uma enorme quantidade de energia em forma de radiação que abrange as emissões em faixa de hertz a gigahertz (Ex: raios gama, raios-X, EUV, UV, luz visível, etc...) [6, 7]. Ejeções de massa coronal (CMEs) são associadas com flares solares. CMEs ejetam matéria que compõe o plasma solar e isso aumenta o número de partículas e a velocidade do vento solar.

*felipe.antonio.cardoso@gmail.com

Estas partículas não afetam a ionosfera diretamente, mas podem levar à ocorrência de tempestades geomagnéticas devido a partículas energeticamente carregadas que atingem o campo magnético terrestre cerca de dois dias depois da ocorrência da ejeção de massa coronal. Tsurutani et al. (2006) consideram o grande flare ocorrido no dia 28 de Outubro de 2003, este flare causou grande aumento no conteúdo eletrônico total (TEC) no setor africano que se encontrava entre os horários de 1100 e 1108 UT, logo após a esse horário o índice TEC retornou a níveis normais, este aumento breve ocorreu devido a maior incidência de raios EUV sobre aquele setor durante o acontecimento do grande flare solar [8]. Este fato mostra que apesar de flares causarem aumento na emissão de EUV (26-34 nm) os efeitos observados em foF2 são muito breves e por esse motivo não são visíveis nos gráficos deste trabalho.

II. METODOLOGIA

Utilizando dados de reflexão de frequências enviadas à ionosfera através de uma ionosonda digital do tipo “Canadian Advanced Digital Ionosonde” (CADI), localizada em São José dos Campos, que consiste nos seguintes equipamentos: Cartão de síntese digital direta (SDD) que gera os sinais de rádio frequência (RF), transmissor que fornece aplicação de potência dos sinais de RF, o sistema de antenas para transmitir e receber os sinais refletidos, e os cartões receptores que amplificam e modulam os sinais refletidos. A CADI é uma ionosonda digital avançada desenvolvida pela Rede Canadense de Pesquisas Espaciais e é um equipamento que pode ser utilizado tanto para monitoramento ionosférico rotineiro como para pesquisa científica. O funcionamento da CADI consiste no processo de envio e recepção de sinais de rádio frequências, sendo que a CADI envia 40 pulsos de frequência entre 1 e 20 MHz durante um período de 40 ms. As frequências enviadas são refletidas no momento em que encontram uma região da ionosfera onde a oscilação dos elétrons livres gere a mesma frequência do sinal enviado, quando isso acontece a frequência é refletida e captada pelas antenas receptoras que fazem parte da CADI. Os dados de foF2 foram reduzidos manualmente através do programa UNIVAP Digital Ionosonde Data Analysis, com o qual é possível obter dados de altura da base da camada F (h'F), a altura máxima da camada F (hpF2) e frequência crítica no pico da camada F (foF2) [3]. Como indicado por Susanda Basu et al. (2001) a crista da anomalia equatorial se afasta do equador à medida que o horário local avança, assim a camada F no equador se desloca para altas altitudes e atinge o máximo desenvolvimento durante as horas do entardecer [9]. Considerando Susanda Basu et al. (2001) os valores de foF2 obtidos em São José dos Campos, para este estudo foram extraídos do horário de 14:00, 15:00 e 16:00 horas local (Local Time - LT) durante várias estações ao longo do ciclo solar 23 [9]. As Figuras 1a, 1b, 1c e 1d indicam que o valor de foF2 observado em São José dos Campos é máximo em horários bem próximos a o de 16:00 LT, neste caso as medições foram realizadas durante o período de média atividade solar e esse comportamento observou-se em todas as estações do ano. Observamos através dos gráficos que a média máxima do foF2 é observada durante: o Inverno esteve entre 9

e 10 MHz; a Primavera esteve entre 12 e 13 MHz; o Verão esteve entre 12 e 13 MHz; o Outono esteve entre 13 e 14 MHz. É possível notar que índices diários mais altos de foF2 são obtidos durante o equinócio. Verifica-se, também, que o índice foF2 máximo de inverno é atingido mais rapidamente do que o foF2 máximo de Outono e Primavera. O processo de recombinação de elétrons livres, átomos e moléculas positivas acontecem mais rapidamente durante o Inverno e Outono.

Foram utilizados valores diários de foF2 obtido em 16:00 LT para o período de Setembro 2000 a Agosto 2001 (Alta Atividade Solar; AAS), Junho de 2003 a Junho de 2004 (Média Atividade Solar; MAS), e Setembro de 2007 a Agosto 2008 (Baixa Atividade Solar; BAS).

Os valores de h'F e hpF2 utilizados são obtidos através de duas equações. Quando a CADI recebe a frequência enviada o seguinte cálculo é efetuado:

$$h'F = C \cdot (\Delta T) / 2 \quad (2)$$

Onde:

C = Velocidade da Luz.

(ΔT) = Intervalo tempo de até recepção da frequência enviada.

$$hpF2 = 0.834XfoF2 \quad (3)$$

Expressão indicada por Jesus (2005), onde:

0.834 = constante de correção, vácuo - meio, de velocidade eletromagnética.

foF2= Frequência máxima refletida pela camada F.

Os dados radiação de EUV na faixa de 26-34 nm, obtidos pelo satélite SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) equipado com o Solar Extreme - Ultraviolet Monitor (SEM) foram obtidos com resolução temporal de 15 em 15 minutos através dos canais 1 e 3 [10]. As médias diárias de EUV (26-24 nm) na Figura 2 foram obtidos com os valores obtidos de 15 em 15 minutos. Os valores de EUV (26-34 nm) foram obtidos durante os mesmos períodos nos quais foram obtidos dados de foF2 as 16:00 LT da ionosonda CADI. As relações entre os níveis de densidade eletrônica e fluxo de radiação, foram feitas a partir de dados da ionosonda coletadas às 16:00 LT, durante os períodos do ciclo solar, com dados brutos do satélite SOHO.

III. RESULTADOS

É bem conhecido que na região de anomalia equatorial ionosférica o pico de densidade eletrônica é observado após o meio-dia local, [11, 9]. Devido ao fato indicado por Lyon & Thomas (1963), e Susanda Basu et al.(2001) obtivemos primeiramente dados das 14 horas, 15 horas e 16 horas (Horário Local) para verificar em qual horário a região de São José dos Campos alcançou os maiores níveis de foF2 durante os anos que mais evidenciam as fases do ciclo solar. Trabalhos anteriores confirmam que os picos de densidade eletrônica na camada F se afastam do equador à medida que o horário local avança, deste modo à região F se move do equador para altas latitudes e atinge o pico próximo aos horários da tarde, [11,9].

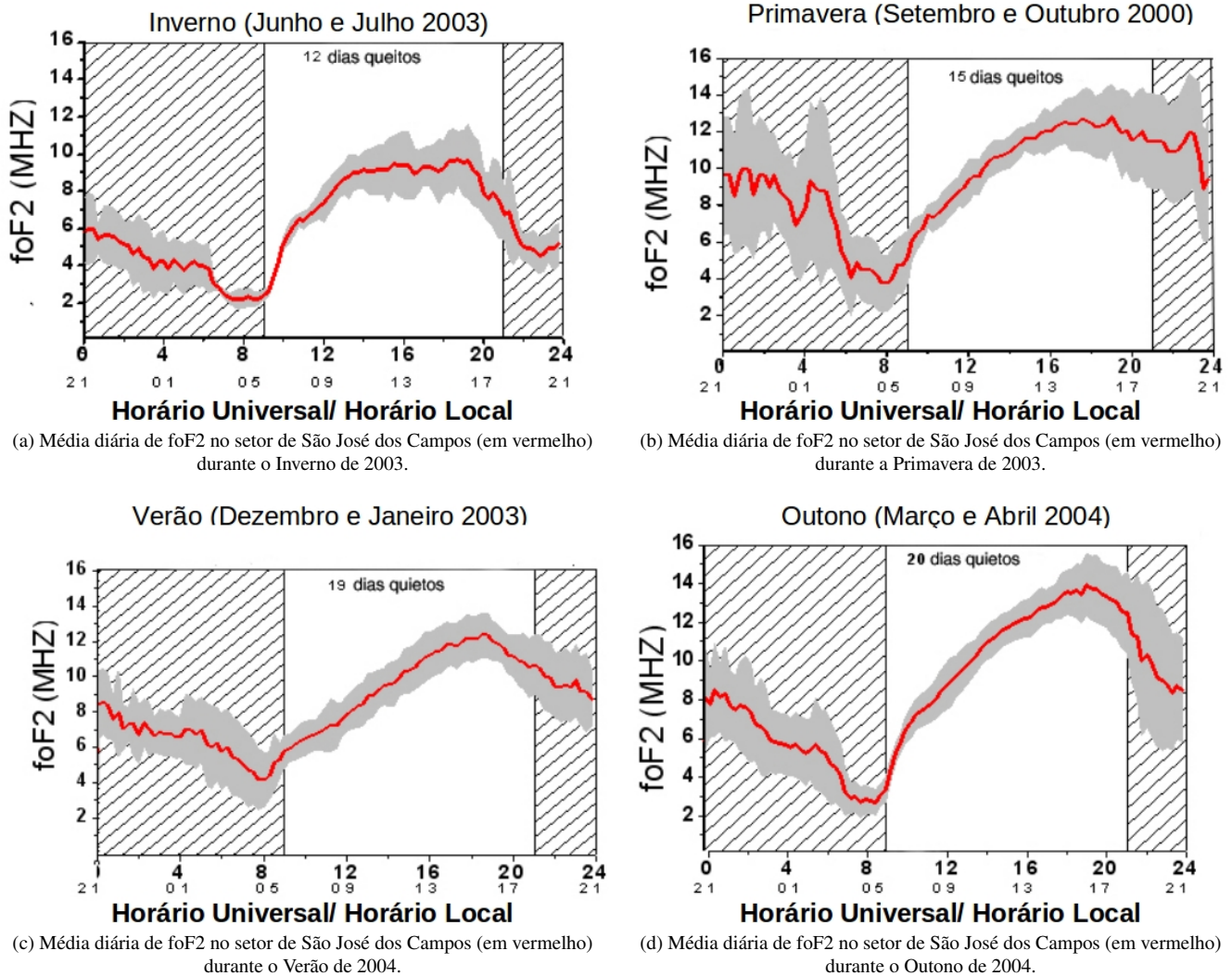


Figura 1

Na figura 2 temos representado os dados de foF2 obtidos dentro do período de AAS durante um ano, de Setembro de 2000 a Agosto de 2001, e é possível ver que durante o máximo solar do ciclo 23 os índices de foF2 alcançaram o seu maior valor no horário das 16 horas, existe pouca diferença entre os três horários, porém a diferença observada às 16 horas mostrou-se suficiente para termos este horário como referência para as comparações que serão feitas mais adiante neste trabalho. Assim como na Figura 2 e com os mesmos horários, esta comparação foi feita para MAS e BAS (não é mostrado) e em todos eles o horário das 16 horas se destacou dos demais o que reforçou a utilização dos dados obtidos deste horário para realizar a comparação com os dados de EUV (26-34nm) obtidos pelo SOHO. A Figura 3 nos mostra os períodos de Alta Atividade Solar, entre Setembro de 2000 e Agosto de 2001, observamos a ocorrência de um pico de contagens de EUV, no dia 9 de novembro de 2000 (314/365), que elevou a média

diária a uma taxa de aproximadamente 1600 contagens por segundo. Este evento não se trata de um flare, mas de contaminação de partículas no sensor SEM (como mostrado em mais detalhe na Figura 6). Pode-se perceber ainda a influência sazonal na variação de densidade eletrônica na ionosfera (curva azul) onde os picos ocorreram na primavera do ano 2000 e no outono do ano de 2001. Não é possível observar variações sazonais nos dados coletados pelo satélite SOHO, justamente, por que o mesmo não sofre nenhum tipo de modificação em seu posicionamento em relação ao Sol, pois se encontra no ponto Lagrangeano L1. Portanto os efeitos de sazonalidade nos dados ionosféricos não podem ser comparados com os dados de radiação obtidos através do SOHO. Durante o outono e o início da primavera de 2000 a máxima frequência refletida na camada F chegou a 16.0 MHz. Isso indica que durante estes períodos a radiação solar começou a incidir mais intensamente sobre a estação de São José dos Campos.

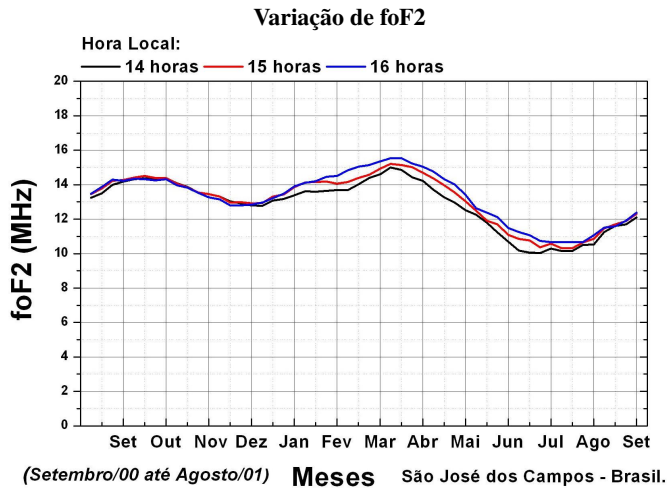


Figura 2: Variação diária dos valores de foF2 durante o período de Setembro de 2000 a Agosto de 2001. É possível ver o destaque dos valores das 16:00 LT (em azul) em relação aos outros horários.

Alta Atividade Solar

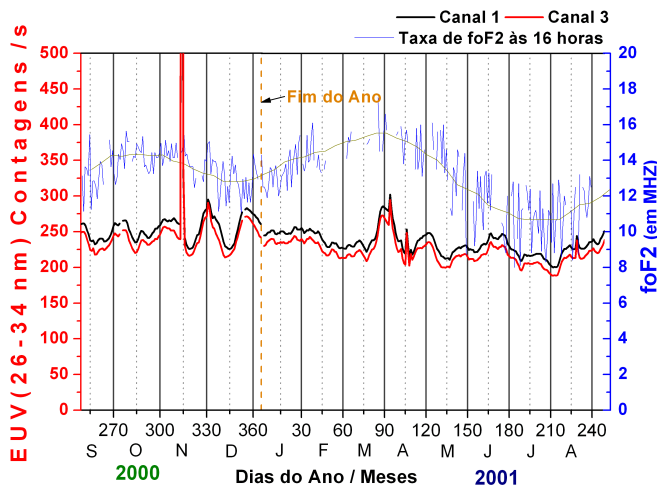


Figura 3: Comparação entre índices de foF2 obtidos no horário das 16:00 (em azul) em São José dos Campos e radiação EUV na faixa de 26-34 nm obtidos pelo satélite SOHO/SEM (em vermelho) entre Setembro/2000 e Agosto/2001 durante o período de AAS.

Além disso, houve um breve intervalo de tempo no qual o Sol esteve mais ativo, que foi de meados de Março a meados de Maio de 2001. Apesar disso, não é possível relacionar este aumento na atividade solar como o aumento na taxa de foF2 registrada no período de Janeiro a Maio. Durante o verão de 2001 observamos as frequências na ordem de 14 - 16 MHz sendo refletidas indicando uma possível saturação na taxa de

Média Atividade Solar

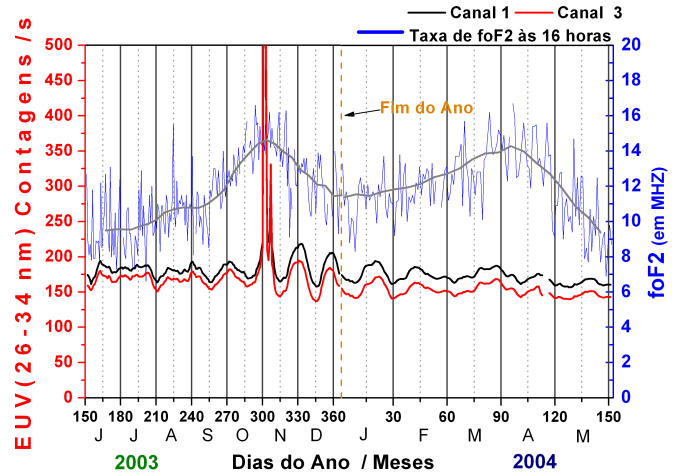


Figura 4: Comparação entre índices de foF2 obtidos no horário das 16:00 (em azul) em São José dos Campos e radiação EUV na faixa de 26-34 nm obtidos pelo satélite SOHO/SEM (em vermelho e preto) entre Junho/2000 e Maio/2001 durante o período de MAS.

ionização da ionosfera e, logo após, no começo do inverno no hemisfério sul, somente as frequências, mais baixas, na ordem de 10-14 MHz são refletidas indicando baixa densidade eletrônica e baixa incidência de raios EUV. Na Figura 4, que apresenta o período de MAS, temos a distribuição dos dados ao longo de um ano e podemos verificar que no final de outubro de 2003, houve um pico de contagens de radiação. Novamente este pico está relacionado a partículas energéticas incidentes no sensor SEM. Juntamente com este pico de partículas ocorreram dois flares de alta intensidade e vários outros de intensidade moderada. Estes flares ocorreram dentro de um período de quatro meses no qual o Sol esteve mais ativo, este pico não está relacionado com os picos de foF2 mostrados no gráfico, pois, no intervalo de 8 de setembro 2003 (251/365) à 3 de janeiro 2004 (003/366), a atividade solar sofreu um forte aumento que pode ser comprovado através do aparecimento áreas com intensos campos magnéticos na superfície solar, que deram origem a gigantescas manchas solares, grupos denominados: 10486, 10487, 10488, 10484 e 10482. Parte do aumento na atividade solar foi refletido nos índices de foF2 capturados pela ionossonda CADI, que chegaram a uma frequência de 16.6 MHz, durante a primavera e início de verão de 2003, porém os picos de ionização ocorreram durante um período muito curto que corresponde apenas ao período em que os grupos de manchas solares alcançaram a plena atividade e estavam liberando energia na direção do planeta Terra. Logo após a intensa atividade registrada, o gráfico mostra níveis normais de ionização pra o período de média atividade solar com frequências de 8 à 14 MHz sendo refletidas e mais adiante, no final de Abril, tanto nos dados do SOHO quanto

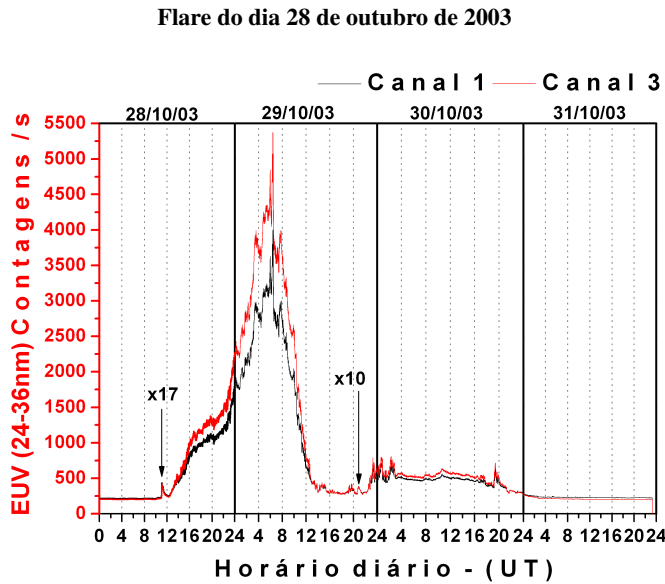


Figura 5: As setas indicam os flares ocorridos nos dias 28 e 29 de Outubro de 2003. Note que os flares são as menores estruturas presentes na figura. O grande pico ocorrido ao longo do dia 29 corresponde a chegada ao sensor de partículas energéticas produzidas no local do flare.

nos da ionossonda, observamos uma precipitação que indica uma calmaria solar que inicia o período de baixa atividade. Podemos notar um período, em MAS, no qual há falta de dados de EUV, esse período dá-se do dia 23 de abril de 2004 (113) e o dia 28 de abril de 2004 (118), neste dias o SOHO não registrou nenhum dado devido, provavelmente, a problemas de funcionamento. A Figura 5 mostra mais detalhadamente o que ocorre nos eventos de contaminação de partículas presente na Figura 3 e 4, em AAS e MAS. Neste caso, está sendo apresentado um gráfico ampliado das contagens do SEM para o período do grande pico presente em MAS, que ocorreu nos dias 28, 29, 30, 31 de Outubro de 2003. O gráfico mostra a ocorrência de um flare por volta de 11:10 UT do dia 28 de Outubro, que atingiu aproximadamente 500 contagens/s e 17×10^{-3} Watts/ m^2 (medida de fluxo de EUV), e logo depois uma elevação nas contagens que duram aproximadamente 24 horas. Esse aumento desproporcional foi causado por partículas energéticas solares aceleradas na região do flare e que acabaram incidindo nos canais do sensor SEM, produzindo falsas contagens. Um segundo flare de grande intensidade ocorreu no dia 29 de Outubro entre 20:37 e 21:01 UT. Este flare atingiu uma magnitude $\times 10.0$, indicando que as contagens chegaram a valores de 10×10^{-3} Watts/ m^2 , e após a ocorrência deste flare vemos um período de 24 horas no qual ocorrem sucessivas contaminações, de menor efeito, nos sensores SEM. O período de Baixa Atividade Solar, mostra do na Figura 6, compreendendo os anos de 2007 e 2008 distribuídos através do eixo horizontal que mostra os dias do ano em relação ao calendário Juliano.

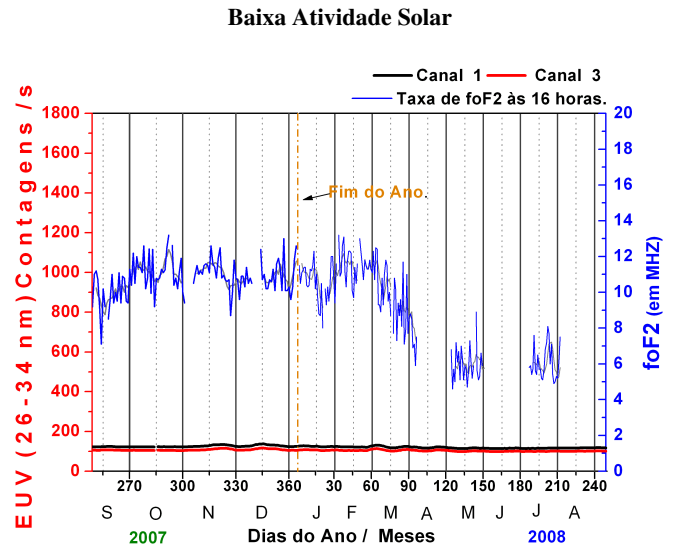


Figura 6: Comparação entre índices de foF2 obtidos no horário das 16:00 (em azul) em São José dos Campos e radiação EUV na faixa de 26-34 nm obtidos pelo satélite SOHO/SEM (em vermelho e preto) entre Setembro/2007 e Maio/2008 durante o período de BAS.

Observamos através deste gráfico que durante o período de atividade solar mínima houve uma diminuição e estabilização expressiva da emissão de radiação provinda do Sol. Notamos que os índices de fluxo obtidos pelo SOHO mantêm-se com valores entre 100 e 150 contagens por segundo, isso caracteriza uma calmaria típica na atividade solar durante este período onde a ocorrência de flares e CME's diminui. Houve pouca variação nos valores de fluxo radiação EUV, por outro lado vemos que a densidade eletrônica registrada pela a ionossonda CADI é bem variada no decorrer dos dias, porém, com uma variação menor e mais estável do que a registrada nos anos de 2000 e 2001, 2003 e 2004. Essa diminuição já é esperada, mas o fato marcante nestes dados é a visível queda na taxa de ionização a partir do mês de Março de 2008, quando temos a chegada do outono, e, além disso, estabilização das emissões de radiação a uma taxa de aproximadamente 99 e 105 contagens/s. A variação de densidade encontrada aqui é um fator muito influenciado pela variação sazonal, pois como a atividade solar é mínima o único fator capaz de alterar os índices de foF2, de tal forma, é a variação de posicionamento da terra em relação ao Sol, ou seja, a mudança das estações. Estudando um intervalo de tempo diferente do mostrado na Figura 6 em BAS, porém ainda dentro do período de BAS, obtivemos alguns valores da altura da base da camada F, frequência crítica da camada F e altura máxima da camada F, com estes valores é possível fazer uma comparação mais clara do quanto à variação sazonal influencia na densidade eletrônica da camada F. Na Tabela 1 temos as médias de h'F (Altura da base da camada F), foF2 (Frequência crítica da camada F) e hpF2 (Altura pico da camada F) para o período de verão de

Tabela I: Comparação de taxas de h'f, foF2 e hpF2, para as estações de verão e inverno, essas intercaladas, no período de baixa atividade solar.

Novembro de 2006 até Fevereiro de 2007				
Fator	Média da estação	Desvio Padrão + ou -	Unidade de medida	Estação
h'f	214,5	12,17	km	verão
foF2	10,77	0,88	MHz	verão
hpF2	358,06	29,36	km	verão
Maio de 2007 até Agosto 2007				
h'F	206,79	6,81	km	inverno
foF2	6,95	1,33	MHz	inverno
hpF2	290,89	27,94	km	inverno
Novembro de 2007 até Fevereiro de 2008				
h'F	219,50	12,20	km	verão
foF2	10,19	0,92	MHz	verão
hpF2	363,17	44,09	km	verão
Maio de 2008 até Agosto de 2008				
h'F	207,79	7,59	km	inverno
foF2	6,68	1,39	MHz	inverno
hpF2	305,051	37,99	km	inverno

2006 e 2007, inverno de 2007, verão de 2007 e 2008 e inverno de 2008, respectivamente. Comparando os dados fica clara a relação entre mudança sazonal e ionosfera, pois vemos que os três parâmetros (h'f, foF2 e hpF2) estudados entre o verão de 2006 e 2007 e o verão de 2007 e 2008 têm pouquíssima variação enquanto na relação entre inverno e verão a diferença é bem maior.

Vemos na Tabela 1, que a camada F da ionosfera se mantém mais alta durante o verão, tendo sua base com início em torno de 214 km e 219 km de altura e o pico por volta de 358km a 363km de altura. As frequências máximas refletidas entre 10,77 e 10,19 MHz, em 2006 e 2007, respectivamente, bem diferente do inverno, onde a base da camada F começa entre 206 e 207 km com pico entre 290 e 305 km de altura, com reflexão de frequências entre 6,95 e 6,68 MHz, em 2007 e 2008 respectivamente, isso mostra que a variação sazonal pode ser observada mais claramente durante o período de baixa atividade solar quando a emissão de radiação solar é baixa o suficiente para não interferir de forma a mascarar a variação sazonal.

IV. DISCUSSÃO

Com os estudos realizados para este trabalho, foi possível ver que as mudanças na densidade eletrônica não são influenciadas apenas pela radiação EUV, mas como já demonstrado em trabalhos anteriores, também sofrem influência da densidade neutra, temperatura de elétrons, ventos neutros, campos elétricos e todos estes fatores, que também, são influenciáveis pelo EUV, portanto a relação entre densidade eletrônica e emissão EUV não podem ser lineares [1]. Na investigação realizada por Susanda Basu et al. (2001) é mostrada e o principal fator influente nos índices de foF2, além do EUV (26-34 nm) pode ser os ventos na região da termosfera. Segundo Ruiping Ma et al. (2009) em médias e altas latitudes a circulação

meridional de ventos no sentido Verão para Inverno induz a ascensão no hemisfério em que o verão esta em andamento e a descensão no hemisferio no qual o inverno esta em andamento, essa ascensão causa o aumento do componente molecular, reduzindo a taxa de relação entre oxigênio atômico e nitrogênio (O/N2). Por outro lado a descensão no inverno causa o crescimento da taxa de O/N2 e isso causa uma menor recombinação e consequentemente altos índices de densidade eletrônica. Este processo mostra a tendência da densidade eletrônica realizar crescimento não linear junto com a atividade solar em médias e altas latitudes. Os resultados de Ruiping Ma et al. (2009) mostram que a circulação meridional da termosfera tem uma das principais contribuições para o efeito de crescimento não linear e aos efeitos de variação sazonal e latitudinal [12]. Variações, tantos de picos quanto de baixas frequências, como as registradas no fim de março de 2001, no fim de outubro de 2003 e em Abril de 2004, podem ser provocadas por influência não somente da radiação, mas por outros fatores [13]. Vemos que em Novembro e Dezembro de 2003 (Figura 4) há uma queda nas frequências refletidas que ocorreram ao mesmo tempo em que a emissão de radiação alcançava altos índices e, além disso, o período de ionização foi menor do que o período de alta atividade registrado em 2003. Isso ocorreu durante a primavera e o verão no hemisfério sul, o que nos mostra que a radiação solar não influi de forma linear na taxa de ionização. Outro fato observado é a influência de fortes flares sobre os índices de foF2. O flare mostrado na Figura 5 causou um aumento acima da média, em um breve período depois do ocorrido (a resolução de dados para foF2 utilizado nas figuras deste trabalho não permitiu a captação deste breve aumento) nos índices de foF2. Vemos que o grande flare de 2003 (Figura 5) ocorreu durante um período no qual a atividade solar estava acima da média para o período, assim, também, se confirma o fato de que fortes flares liberam uma quantidade de radiação EUV (26-34nm) que influenciam diretamente no foF2. De forma oposta ao ano de 2003, temos os dados do ano 2000, onde, durante o começo do outono temos as frequências mais altas sendo refletidas, frequências essas que chegaram a ser equivalente a do período de verão. Isso, também, comprova a não linearidade dos fatores radiação e densidade eletrônica. Kane (2003) considera, também, que nem sempre o parâmetro ionosférico foF2 é afetado pelas variações de 27 dias (Rotação Solar no equador) o que se comprova neste trabalho, pois as variações do EUV (26-34nm) registradas durante o período de MAS não influem diretamente nos índices de foF2 mostrados na mesma figura, já que e visível a queda nos valores de foF2 ao mesmo tempo em que a emissão de EUV(26-34nm) crescia.

V. CONCLUSÃO

Concluímos que as variações de foF2, em São José dos Campos, foram bem evidentes em todos os períodos do ciclo solar 23, caracterizadas pelos picos de verão e primavera registrados em AAS, onde os valores de foF2 estiveram entre 14 e 18 MHz, e pelo pico gerado no intervalo de alta atividade solar registrado em MAS, no qual os valores de foF2 estiveram entre 12 e 16 MHz, sendo que ambos os fatos ocorreram próx-

imo a períodos de equinócio. Em BAS observamos que apenas os efeitos sazonais influem nas mudanças nos índices de foF2, sendo que os índices no verão e inverno se diferenciam mais claramente neste período. Esta investigação mostrou que os valores mais altos de foF2 são obtidos no equinócio e esses mesmos valores acompanham linearmente os níveis de AAS, MAS e BAS, pois observamos que os valores de foF2 e EUV (26-34 nm) decaem juntos com o decorrer do ciclo solar, na mesma seqüência dada acima. Índices de emissão de EUV na faixa 26-34 nm, obtidos pelo SOHO/ SEM se mantiveram em 200-250 c/s em AAS, em 140-210 c/s em MAS, e em 100-

140 c/s em BAS.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof. P.R.Fagundes, Chefe do Laboratório de Física e Astronomia, UNIVAP, pelo apoio durante a realização deste trabalho. Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro (Bolsa IC). Os dados apresentados do SOHO/SEM foram obtidos através do website: http://www.usc.edu/dept/space_science/.

-
- [1] R. P. Kane, J. Atmos. Terr. Phys., **68**, 877 (2006).
 - [2] Robert W. Schunck and Andrew F. Nagy, *Ionospheres: Physics, Plasma Physics and Chemistry*, Cambridge University, (2002).
 - [3] Valdir Gil Pillat, *Estudo da ionosfera em baixas latitudes através do modelo computacional Lion e comparação com parâmetros ionosféricos observados*, Brasil, São José dos Campos: UNIVAP,(2006). (Dissertação de Mestrado)
 - [4] S. K. Mitra, *The Upper Atmosphere*, India:Calcutta,The Asiatic Society Calcutta, p. 289, (1952).
 - [5] Y. Sahai, F. Becker-Guedes, P. R. Fagundes, W. L. C. Lima, A.J.Abreu, F.L Guarnieri, C. M. N Candido e V.G. Pillat., *Ann. Geophys*, **25**, 2497 (2007).
 - [6] Steven T. Suess, Bruce T. Tsurutani, *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays*, American Geophysical Union, Washington DC,(1998).
 - [7] Adriana V.R. Silva, *Nossa estrela: O Sol*, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.
 - [8] B. T. Tsurutani, A. J. Mannucci, B. Lijima, F. L. Guarnieri, W. D. Gonzales, D. L. Judege, P. Gangopadhyay, J. Pap, *Adv. Space Res.*, **37**, 1583 (2006).
 - [9] Sunanda Basu, Santimay Basu, C. E. Valladares H. C. Yeh, S. Y. Su, E. MacKenzie, P. J. Sultan, J. Arons, F. J. Rich, P. Doherty, K. M. Groves, and T. W. Bullett, *J. Geophys. Res.*, **106**, 30389 (2001).
 - [10] Website: University of Southern California, Space Sciences Center, http://www.usc.edu/dept/space_science/.
 - [11] A. J. Lyon & L. Thomas, *J. Atmos. Terr. Phy.*, **25**, 373, (1963).
 - [12] Ruiping Ma, Jiyao Xu, Wenbin Wang and Wei Yuan, *J. Geophys. Res.*, **114**, A10303, (2009). [doi:10.1029/2009JA014343]
 - [13] R. P. Kane, *Adv. Space Res.*, **32** (9), 1713 (2003).
 - [14] H. Rishbeth and M.Mendillo, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **63**, 1661, (2001).
 - [15] R. de Jesus, Yogeshwar Sahai, *Livro do IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós graduação da UNIVAP*, **1**, 1 (2005).