

Variação sazonal da camada-E na região equatorial e de baixa latitude no setor brasileiro

Artur Cristiano Arantes Filho^{1,*} e Yogeshwar Sahai^{1,†}

¹Universidade do Vale do Paraíba/IP&D, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, São José dos Campos, SP, 12244-000

Este trabalho tem a finalidade de estudar a ocorrência e a variação sazonal da camada-E esporádica (“sporadic-E (Es)”) observado em Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O), perto do equador magnético, e São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O), localizada na região de anomalia equatorial ionosférica. Os dados referentes à Es são adquiridos a partir de ionossondas digitais em operação rotineira em PAL e SJC. Os períodos investigados são de solstício de inverno (Julho 2003), equinócio de primavera (Outubro 2003), solstício de verão (Janeiro 2004) e equinócio de outono (Abril 2004). Nesse estudo foram utilizados apenas dados de dias geomagneticamente calmos (“quiet days”), no intervalo de tempo com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte, em LT (“local time”). Pode-se mencionar que as ocorrências de Es foram muito baixas durante o dia. A variação sazonal estudada indica máxima presença simultânea de Es em PAL e SJC durante o solstício de inverno.

The objective of this work was to study the occurrence and seasonal variation of the sporadic-E (Es) layer observed at Palmas (PAL, 10.2 S, 48.2 W), close to the magnetic equator and São José dos Campos (SJC, 23.2 S, 45.9 W), localized in the region of the equatorial ionospheric anomaly. The data regarding the Es were obtained through digital ionosondes operating on a routine basis at PAL and SJC. The periods investigated were July 2003 (winter solstice), October 2003 (spring equinox), January 2004 (summer solstice) and April 2004 (autumn equinox). In the present study only data obtained on geomagnetically quiet days and interval of time between 18 L.T. to 06 L.T. (next day) were used. It should be mentioned that the occurrence of Es during daytime was very small. The seasonal variation studied indicates maximum presence of Es at both PAL and SJC during winter solstice month.

Palavras-chaves: Camada-E esporádica, Esporádica em baixas latitudes, Ionossonda Digital, Es

1. INTRODUÇÃO

Em 1902, Oliver Heaviside sugeriu a existência de uma camada contida na alta atmosfera onde nela existiam cargas elétricas livres que causavam reflexão das ondas de rádio partidas da terra, em 1926 essa camada recebeu o nome de ionosfera, termo sugerido por R.A. Watson-Watt. Essa é uma região da atmosfera terrestre formada pela interação dos átomos e moléculas neutras existentes com as fontes ionizantes solares e cósmicas resultando em um plasma com aproximadamente 1% de parte ionizada, que é chamado de plasma ionosférico.

A ionosfera mostrada na figura 1 é um constituinte minoritário da atmosfera terrestre, sua massa é desprezível se comparada com a massa da atmosfera não ionizada, ela está localizada na parte superior da atmosfera terrestre (mesosfera e termosfera), entre 70 km e 1000 km. A formação da ionosfera é devida basicamente pela ação das fontes ionizantes solares, essas fontes consistem de radiação solar na faixa do espectro do extremo ultravioleta (EUV) e raios X, que são absorvidas pelos átomos e moléculas existentes na parte onde se localiza a ionosfera. Os fotoelétrons, gerado pelo pro-

cesso de fotoionização, possuem energia suficiente para separar-se do átomo neutro, tornando-o um íon e assim é gerado o par fotoelétron/íon. O fotoelétron perde energia, e em subsequente equilíbrio térmico, compõe junto com o íon livre, o plasma ionosférico, que consiste da mistura de cargas negativas (elétrons) e cargas positivas (íons). Na ionosfera a densidade de elétrons livres é variável de acordo com os diversos componentes químicos presentes, isso resulta na existência de diferentes camadas ou regiões contidas na ionosfera. Essas camadas são divididas em: camada-D, localizada entre 70 e 90 km de altitude; camada-E, localizada entre 90 e 150 km de altitude; camada-F1, localizada entre 150 e 200 km de altitude; camada-F2, localizada entre 200 e 1000 km de altitude, essa divisão pode ser observada na figura 1. Pode-se mencionar que durante a noite só existe a camada-F2. A camada-E possui a característica de se formar durante o dia e se mantém ao longo dele, mas durante a noite a camada-E acaba se dissipando e desaparecendo. Inserido na camada-E surge um realce com uma maior ionização, o fenômeno ocorre esporadicamente entre as alturas de 90 e 120 km com a característica de ser muito estreito, aproximadamente 0,6 a 2 km de largura e pode ser observado em todas as latitudes. Os íons preliminares são metálicos (Fe, Mg), os átomos neutros do metal são criados durante a ablação, e sua ionização subsequente através da fotoionização e da troca de carga, resultando em íons metálicos (“long-

*artur_arantes@hotmail.com

†sahai@univap.br

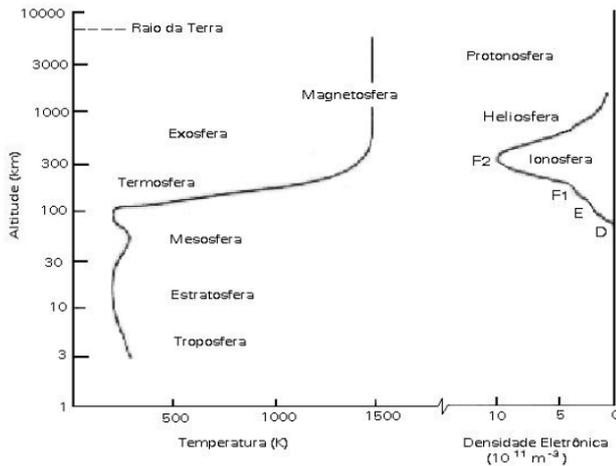


Figura 1: Regiões da atmosfera terrestre com os nomes convencionais descrevendo as camadas. O perfil de temperatura foi fornecido pela “US Standard Atmosphere” e o perfil da densidade eletrônica é uma média para as condições diurnas e médias latitudes.

lived”)[2]. Esse fenômeno chamado de camada-E esporádica (“sporadic-E (Es)”) aparece em forma de manchas desiguais com uma ionização excepcionalmente alta (densa) na ionosfera, esse evento exerce uma forte influência na propagação de radio comunicação em diversas frequências. A sua ocorrência é um fator complexo, por ser altamente irregular, instável e de difícil previsão. Essa dificuldade na compreensão da Es faz com que estudos sejam voltados para esse tema, com o intuito de analisá-la.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse artigo foram extraídos de ionossondas, que é um instrumento utilizado para estudos referentes à camada ionizada (ionosfera). A ionossonda é um radar, e seu funcionamento basicamente está relacionado com a emissão de ondas eletromagnéticas na faixa de radio frequência de 1MHz a 20MHz. A onda eletromagnética só se propaga no meio ionizado quando sua frequência é maior que a frequência do plasma ionosférico. O pulso eletromagnético partido da ionossonda vai se propagar no meio ionizado até encontrar uma região da ionosfera com uma frequência de plasma maior ou igual a sua, quando isso ocorrer há a reflexão desse pulso eletromagnético. Assim, com a varredura feita em frequências de pulsos eletromagnéticos e com o conhecimento do intervalo de tempo de espera para a reflexão desses, é possível recolher informações referentes ao perfil vertical da densidade eletrônica da ionosfera e a altitude entre a superfície onde se encontra a ionossonda e a região de reflexão [5].

Essas informações são transmitidas e interpretadas no

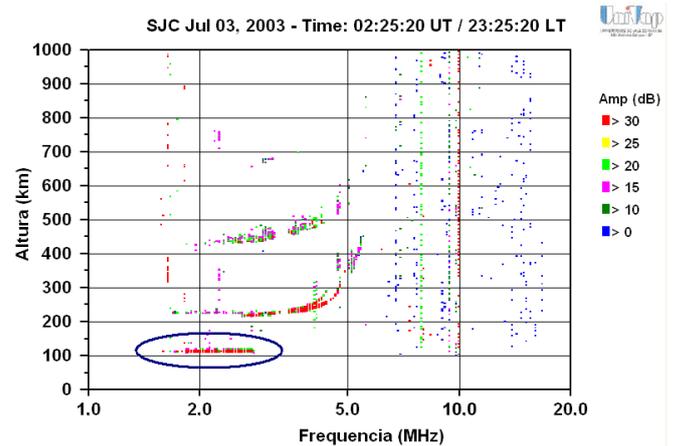


Figura 2: Ionograma correspondente a São José dos Campos em 3 de Julho de 2003 às 2:25 UT (“universal time”) e 23:25 LT (“local time”). O eixo x do gráfico é dado pela frequência de reflexão e o eixo y pela altura virtual correspondente a cada camada da ionosfera. A camada-E esporádica (Es) é identificada pela elipse em AZUL.

programa UDIDA (Univap Digital Ionosonde Data Analysis) na forma de gráficos, denominados ionogramas. A partir desses ionogramas, a Es é identificada observando a hora, dia e mês de suas ocorrências (ver figura 2).

3. RESULTADOS

O estudo desse trabalho tomou como base a identificação da Es nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004 em São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O), localizada na região de anomalia equatorial ionosférica, e Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O), próximo ao equador magnético [4]. Os dados obtidos da ocorrência de esporádica passaram por uma apuração, eliminando os dias em que existiram falhas de funcionamento da ionossonda. O intervalo de tempo utilizado na identificação da Es foi de 12 horas, com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte, que corresponde à faixa de 18 e 30 horas nas figuras 3 e 4. O intervalo entre 6 e 18 horas (durante o dia) não foi utilizado, pois as ocorrências de Es foram muito baixas nesse período.

A partir dos resultados obtidos, foi feita uma seleção, com o objetivo de indicar a Es apenas nos dias de atividade geomagnética calma de cada mês (“quiet days”), excluindo qualquer possibilidade de interferência. A escolha desses dias foi feita com base dos valores de índice geomagnético Kp fornecidos pela International Service of Geomagnetic Índices [1]. Para cada mês estudado foram utilizados os 10 dias calmos fornecido pela tabela Kp (International Service of Geomagnetic Índices). Com isso a figura 4 apresenta a Es apenas em seus respectivos dias de atividade geomagnética calma e disponibilidade de dados da ionossonda.

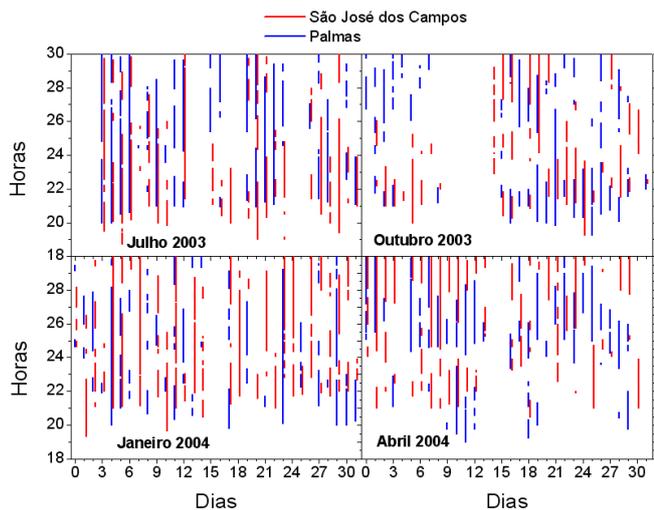


Figura 3: Exibição da ocorrência da esporádica em função dos dias, no intervalo de tempo com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte (correspondendo à faixa de 18 e 30 horas), nos respectivos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

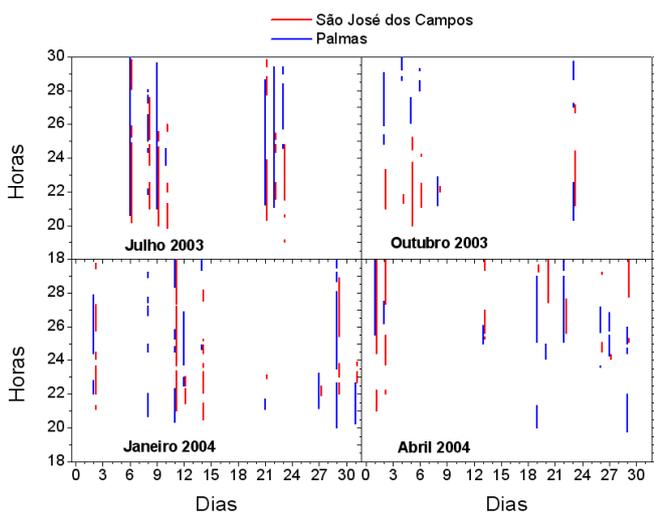


Figura 4: Exibição da ocorrência da esporádica em função dos dias com atividade geomagnética calma (quiet days), no intervalo de tempo com início às 18 horas e término às 6 horas do dia seguinte (correspondendo à faixa de 18 e 30 horas), nos respectivos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

A tabela 1 apresenta em porcentagem a ocorrência da Es em São José dos Campos e Palmas no período de atividade geomagnética calma e com investigações realizadas entre 18 e 6 horas do dia seguinte LT (“local time”) nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

Tabela 1: Porcentagem de ocorrência de Es em São José dos Campos e Palmas, no período de atividade geomagnética calma, utilizando 10 dias calmos para cada mês de acordo com a tabela Kp e investigações realizadas entre 18 horas e 6 horas do dia seguinte em LT, nos meses de Julho 2003, Outubro 2003, Janeiro 2004 e Abril 2004.

	Julho 2003	Outubro 2003	Janeiro 2004	Abril 2004
Sem ocorrência de Es	37,31%	67,47%	54,77%	63,19%
Ocorrência de Es apenas em São José dos Campos	13,89%	14,24%	13,8%	13,5%
Ocorrência de Es apenas em Palmas	26%	14,47%	19,27%	16,13%
Ocorrência de Es simultaneamente em São José dos Campos e Palmas	22,8%	3,82%	12,16%	7,18%

4. DISCUSSÃO

A partir das anotações da figura 4 é possível visualizar no mês de solstício de inverno (Julho 2003) uma maior ocorrência da Es na região de Palmas - Tocantins, em comparação a região de São José dos Campos - São Paulo. Esse mesmo fato se repete no solstício de verão (Janeiro 2004). Nos equinócios de primavera e outono (Outubro 2003, Abril 2004 respectivamente) as ocorrências de Es nessas localidades se mantêm próximas, não havendo uma proeminência considerável entre elas (regiões)[6]. Nesses meses analisados também é possível observar que, a ocorrência de Es na região de São José dos Campos é mantida praticamente constante, já na região de Palmas, as maiores incidências de Es surgem nos períodos de solstícios, com destaque em Julho 2003 onde aponta o seu maior percentual de ocorrência. Esses resultados podem ser visualizados com clareza na tabela 1. Na figura 4 é possível notar a maior aparição conjunta (simultânea) de Es no solstício de inverno (Julho 2003). Assim, por observação comparativa na tabela nota-se que a maior ocorrência de Es dá-se no solstício de inverno e inversamente, a menor ocorrência apresenta-se no equinócio de primavera. É evidente o comparativo entre os solstícios e os equinócios por visualização comparativa na figura 4 apresentada. Notando-se uma maior presença de Es nos solstícios. As proximidades nos resultados apresentados nesse trabalho podem ser ressaltadas e comparadas com o artigo referente ao ano de 1958, “The Occurrence of Sporadic E during the IGY” por Leighton, H. I. Onde as ocorrências da Es no território brasileiro na região de Palmas e São José dos Campos surgem com valores em torno de 20% nos solstícios e 10% nos equinócios, ambos durante a noite, esse evento pode ser observado nas figuras 5 e 6 extraídas do artigo citado acima. Com base nessas figuras (5 e 6) é possível uma comparação e ob-

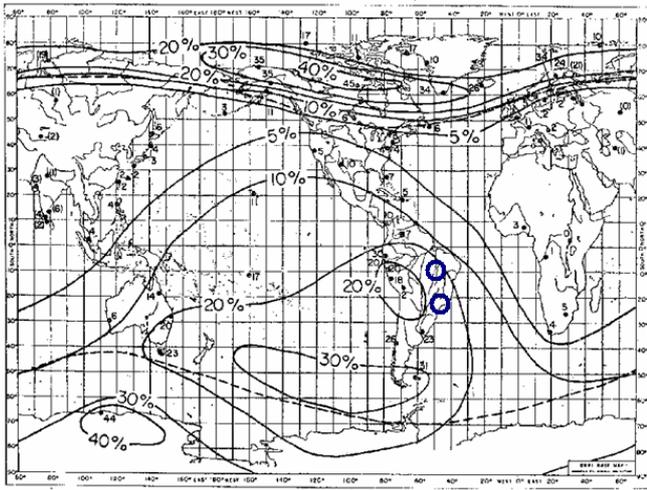


Figura 5: A figura mostra em porcentagem do tempo noturno (18 horas às 6 horas - Hora Local) a ocorrência da camada Es nos solstícios de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro no ano de 1958. FONTE: Artigo - LEIGHTON, H. I. (et al) "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" Livro - SMITH JR, E. K. and MATSUSHITA, S. "International Series of Monographs on Electromagnetic Waves" [3] pág.169. As regiões estudadas são identificadas pelos círculos em AZUL

servação, nas proximidades de valores das ocorrências de Es, com tabela 1.

Esse fato aponta que não houve mudanças consideráveis na Es durante esses anos passados, e torna a enfatizar os resultados da tabela 1.

5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou informações referentes ao surgimento da camada-E esporádica nas localidades de Palmas (PAL, 10,2°S, 48,2°O) próximo ao equador magnético, e São José dos Campos (SJC, 23,2°S, 45,9°O) localizada na região de anomalia equatorial ionosférica. Assim, estudos foram realizados com o intuito de buscar uma melhor compreensão desse surgimento. Com base em visualizações feitas em ionogramas e análises desses

dados é possível expor que há uma maior aparição conjunta (simultânea em São José dos Campos e Palmas) de Es no solstício de inverno, a menor aparição conjunta de Es ocorre no equinócio de primavera. Maiores surgimentos de Es perto do equador magnético nos períodos de solstícios. Na região de anomalia equatorial é possível notar uma constância nas aparições de Es. Foi possível notar também uma grande presença da esporádica no mês de Julho 2003, já a menor presença é notada no mês de Outubro 2003. O solstício apresenta uma maior presença de Es em comparação ao Equinócio, resultados esses comparados com artigo "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" de 1958, mostrando uma proximidade considerável dos resultados. A partir desses fatos é possível

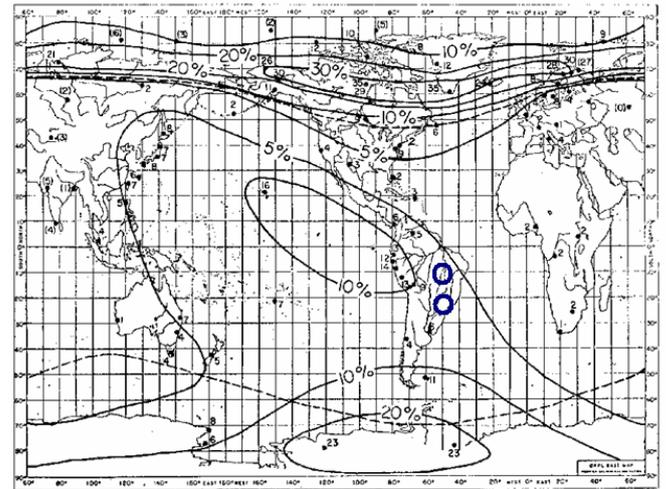


Figura 6: A figura mostra em porcentagem do tempo noturno (18 horas às 6 horas - Hora Local) a ocorrência da camada Es nos equinócios de Março, Abril, Setembro e Outubro no ano de 1958. FONTE: Artigo - LEIGHTON, H. I. (et al) "The Occurrence of Sporadic E during the IGY" Livro - SMITH JR, E. K. and MATSUSHITA, S. "International Series of Monographs on Electromagnetic Waves" [3] pág.168. As regiões estudadas são identificadas pelos círculos em AZUL

perceber que a aparição de Es aparenta estar mais ligada aos períodos de solstícios [6, 7].

- [1] International Service of Geomagnetism Indices, Internet site address: <http://isgi.cetp.ipsl.fr/> acessado em 15/03/2007.
- [2] H. Rishbeth and Owen K. Garriot, Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press LTD, 1969.
- [3] Ernest K. Smith Jr. and S. Matsushita, International Series of Monographs on Electromagnetic Waves, The Macmillan Company, 1962.
- [4] S. K. Mitra, The Upper Atmosphere, The Asiatic Society

Monograph Series, Vol. V.

- [5] P. T. Jayachandran *et al*, Ann. Geophysicae **17**, 519 (1999).
- [6] V. F. Petrukhin *et. al*, Bulletin INAG-65, (2004).
- [7] R. W. Schunk and A. F. Nagy, Ionospheres - Physics, Plasma Physics, and Chemistry. Cambridge Atmospheric and Space Science Series, 2000.