



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES/AUTHORS

IONOSFERA
TEMPERATURA ELETRÔNICA
FOGUETES

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

M. A. Raupp
Mário Antônio Raupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

I. J. Kantor
I. J. Kantor

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

E. R. de Paula
Eurico R. de Paula

CDU/UDC

550.388.1

DATA / DATE

Março, 1988

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO
	INPE-4485-PRE/1250
MEDIDAS COM FOGUETE DA TEMPERATURA DOS ELÉTRONS NA IONOSFERA SOBRE NATAL	
AUTORES/AUTHORSHIP	I. J. Kantor P. Muralikrishna M. A. Abdu

ORIGEM
ORIGIN

DGA

PROJETO
PROJECT

TONO

Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
17	16

VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Um foguete SONDA III foi lançado de Natal, RN, em 11 de dezembro de 1985, às 21:30 h (horário local de verão) com uma sonda de Langmuir que realizou medidas da temperatura cinética dos elétrons na ionosfera. A altura máxima atingida pelo foguete foi de aproximadamente 524 Km, dando informações sobre as regiões E e F da ionosfera equatorial, sobre Natal. São apresentados os processos de determinação da temperatura eletrônica. Dois processos de determinação de temperatura eletrônica são possíveis: pelo gradiente da característica de corrente e voltagem da sonda de Langmuir e pela detecção do potencial espacial. Ambos os processos são utilizados com os dados disponíveis. São discutidos os problemas encontrados para realização de medidas de temperatura eletrônica com sonda de Langmuir e apresentadas sugestões para o aperfeiçoamento de futuras medidas.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, através do Contrato FINEP 537/CT, e será apresentado no 2º Encontro Regional de Geofísica em Salvador de 25 a 27 de novembro de 1987.

MEDIDAS COM FOGUETE DA TEMPERATURA DOS ELÉTRONS NA
IONOSFERA SOBRE NATAL

I.J. Kantor, P. Muralikrishna & M.A. Abdu

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP

RESUMO

Um foguete SONDA III foi lançado de Natal, RN, em 11 de dezembro de 1985, às 21:30 h (horário local de verão) com uma sonda de Langmuir que realizou medidas da temperatura cinética dos elétrons na ionosfera. A altura máxima atingida pelo foguete foi de aproximadamente 524 km, dando informações sobre as regiões E e F da ionosfera equatorial, sobre Natal. São apresentados os processos de determinação da temperatura eletrônica. Dois processos de determinação de temperatura eletrônica são possíveis: pelo gradiente da característica de corrente e voltagem da sonda de Langmuir e pela detecção do potencial espacial. Ambos os processos são utilizados com os dados disponíveis. São discutidos os problemas encontrados para realização de medidas de temperatura eletrônica com sonda de Langmuir e apresentadas sugestões para o aperfeiçoamento de futuras medidas.

ABSTRACT

A Sonda III rocket was launched from Natal on December 11, 1985, at 21:30 LT, with a Langmuir probe that measured the kinetic electron temperature in the ionosphere. The rocket reached approximately 524 km giving information on the E and F regions of the equatorial ionosphere over Natal. Two electron temperature determination processes are possible: derivative of the current versus voltage characteristics of the Langmuir probe and detection of the space potential. Both processes are utilized with the available data. Problems encountered for the electronic temperature measurements with Langmuir probe are discussed and suggestion for future improvements are presented.

INTRODUÇÃO

Um foguete SONDA III foi lançado de Natal, RN, (5.9°S , 324°E), RN, em 11 de dezembro de 1985, às 21:30 h (horário local de verão) ou 23:30 UT com uma sonda de Langmuir que realizou medidas de temperatura cinética dos elétrons na ionosfera. O foguete foi lançado com elevação de 82° e azimute 75° , alcançando mais de 500 km de distância num tempo de 720 segundos (12 minutos). A altura máxima atingida pelo foguete foi de aproximadamente 524,4 km, dando informações sobre as regiões E e F da ionosfera equatorial, sobre Natal. Foi a primeira vez que se fez uma medida de temperatura eletrônica na ionosfera utilizando carga útil construída no Brasil.

Além da sonda de Langmuir, a carga útil deste foguete incluiu uma sonda capacitiva de HF.

DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA ELETRÔNICA

A sonda de Langmuir consiste numa peça metálica imersa no plasma (no caso ionosférico), onde se faz uma variação do potencial, V , da sonda em relação ao plasma e mede-se a corrente, I , obtendo a curva característica $I \times V$ da sonda.

No presente experimento, na sonda de Langmuir foi aplicado um potencial variável de -1V a 4V durante $1/2$ segundo, e a corrente elétrica foi amostrada 25 vezes (Figura 1).

FIGURA 1

A característica $I \times V$ tem a forma apresentada na Figura 2. Para potenciais da sonda muito negativos, a corrente satura-se negativamente devido à coleta de íons positivos e à repulsão dos elétrons, em:

$$j = -n_0 e v_s \quad (1)$$

onde j é a densidade de corrente, n_0 a densidade eletrônica, e é a carga do elétron e v_s , a velocidade da sonda. Para potenciais da sonda muito positivos, a corrente satura-se positivamente devido à coleta de elétrons e repulsão dos íons positivos, em:

$$j = n_0 e \bar{v}_e \quad , \quad (2)$$

onde \bar{v}_e é a velocidade térmica dos elétrons, dada por:

$$\bar{v}_e = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \quad , \quad (3)$$

onde k é a constante de Boltzmann, T_e é a temperatura dos elétrons e m_e é a massa do elétron. O potencial onde a corrente positiva inicia a saturação é denominado potencial do plasma, V_p . O potencial onde a corrente se anula (há equilíbrio entre o fluxo de elétrons e íons) denomina-se potencial flutuante, V_F , e é dado por:

$$V_F = - \frac{kT_e}{e} \ln \frac{\bar{v}_e}{v_s} + V_p \quad (4)$$

Entre V_F e V_p a densidade de corrente na sonda pode ser descrita por:

$$j = j_0 \exp \frac{e(V - V_p)}{kT_e} \quad (5)$$

onde V é o potencial aplicado à sonda de Langmuir. Portanto, a relação entre o logaritmo da corrente e a voltagem tem uma relação linear com inclinação e/kT_e .

FIGURA 2

Dois processos de determinação de temperatura eletrônica utilizando sonda de Langmuir são possíveis (Boyd, 1974; Ratcliffe, 1972; Aikin and Bauer, 1968): gradiente da característica de corrente e voltagem e pela detecção do potencial espacial.

Pelo gradiente da característica I x V, mede-se a relação linear entre $\log I$ e V. Da Equação 5:

$$\log I = \log I_0 + \frac{eV}{kT_e} \log \epsilon, \quad (6)$$

onde ϵ é a base dos logaritmos naturais e m, a inclinação dada por:

$$m = \frac{e}{kT_e} \log \epsilon. \quad (7)$$

A Expressão 7 em unidades MKS fica:

$$T(^{\circ}K) = 5.039/m \quad (8)$$

Pela detecção do potencial espacial, mede-se $(V_F - V_P)$, e das Equações 4 e 3 em unidades MKS tem-se:

$$T_e = 11.604 (V_P - V_F) / \ln (6,213 \times 10^3 \sqrt{T_e/v_s}) \quad (9)$$

A temperatura, T_e , pode ser calculada iterativamente se for conhecida a velocidade da sonda v_s .

DADOS DA SONDA DE LANGMUIR

Durante o vôo da sonda, foi aplicado o potencial V , conforme a Figura 1, obtendo-se 25 medidas ao longo da varredura de potencial. O potencial flutuante ficou em torno de 1,2V e o potencial do plasma, próximo a 2V. A Figura 3 apresenta as medidas de $\log I$ para potenciais da sonda em 1,4V, 1,6V, 1,8V, 2,0V e 2,2V com altura. As oscilações apresentadas ainda estão sendo estudadas. Para efeito de comparação, apresenta-se na mesma escala de altura a densidade eletrônica local, N , medida no mesmo vôo (Muralikrishna e Abdu, 1987). Observa-se um aumento da corrente, I , a partir de 250 km, onde a ionosfera inicia seu aumento.

FIGURA 3

Pelos dados de trajetória tem-se uma expressão empírica para a altura do foguete, h , em km, e tempo de vôo, t , em segundos

$$h = at^2 + bt + c, \quad (10)$$

onde

$$a = -0,00415496,$$

$$b = 3,1652485$$

$$c = -78,4299$$

Assim sendo, a velocidade do foguete é dada por:

MEDIDA DE T_e

A Figura 4 representa os dados obtidos entre 301,486 e 325,178 segundos do início do voo. Isto representa 10 varreduras de voltagem obtidas entre 498,2 e 511,5 km ($\Delta h = 13,30$ km, indicado na Figura 3) durante a subida. Para a altura de 500 km a velocidade da sonda, v_s , de acordo com (11), é de 672 m/s.

FIGURA 4

Pode-se estimar o potencial do plasma, V_p , entre 1,95 e 2,0V. Abaixo de 1,4V a corrente, I , é negativa. A eletrônica da sonda mede $\log |I|$.

Fazendo um ajuste linear entre 1,3 e 2,0V, obtém-se $m = 3,91 \pm 0,16$, o que pela Equação 8 resulta $T = (1.288 \pm 53)^\circ\text{K}$.

Para estimar o valor do potencial flutuante, a Figura 5 apresenta a característica $I \times V$ entre 0,7 e 1,5V, onde a escala de corrente é linear. Estima-se o potencial flutuante, V_F , entre 1,2 e 1,35V. Considerando os valores extremos de V_F e V_p , $(V_p - V_F) = (0,7 \pm 0,1)\text{V}$, obtém-se através da Equação 9 e de $v_s = 672$ m/s os valores de $T_e = (1.389 \pm 183)^\circ\text{K}$.

FIGURA 5

Portanto, para a subida do foguete a 500 km de altitude, obtém-se, pelo gradiente da característica $I \times V$, T_e entre 1.238°K e 1.344°K , e, pelo potencial flutuante, T_e entre 1.206°K e 1.572°K , medidas estas que são compatíveis entre si.

Modelos de ionosfera, IRI-79 (Rawer et alii, 1978), apresentam, entretanto, valores mais baixos, $T_e \sim 929^\circ\text{K}$. Porém, exis-

tem evidências de que os modelos atuais não reproduzem bem as temperaturas eletrônicas nas regiões equatoriais (Oyama and Schlegel, 1984).

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Mediu-se pela primeira vez com carga útil a temperatura eletrônica na ionosfera através de dois processos, cujos resultados foram compatíveis entre si.

Esta primeira medida apresentou diversos problemas. As oscilações de corrente com altura (Figura 3) ainda não foram esclarecidas. A região de varredura entre 1,3 e 2V possui poucos pontos medidos, e deveria ser mais amostrada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração do IAE/CTA que nos forneceu o foguete SONDA III e à equipe de lançamento da Barreira do Inferno.

Agradecemos ao Adauto Motta e ao INPE/Natal pelo apoio logístico.

Agradecemos ao Dr. Eurico R. de Paula pelo cálculo do modelo IRI-79 e ao Dr. Y. Sahai pelas sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS

AIKIN, A.C.; BAUER, S.J. - 1968 - The ionosphere 133-178, in HESS, W.N. and MEAD, G.D. Ed. Introduction to Space Science, Gordon and Breach, New York.

BOYD, R.L.F. - 1974 - Space Physics; the study of plasmas in space, Clarendon Press, Oxford.

MURALIKRISHNA, P.; ABDU, M.A. - 1987 - Large scale plasma irregularities observed in the nighttime ionosphere over Natal using a rocket borne Langmuir probe, trabalho a ser apresentado no II Encontro Regional de Geofísica, Nov.

OYAMA, K.I.; SCHLEGEL, K. - 1984 - Anomalous electron temperatures above the South American magnetic field anomaly. Planetary Space Science, 32(12):1513-1522.

RATCLIFFE, J.A. - 1972 - An introduction to the ionosphere and magnetosphere, Cambridge Univ. Press.

RAWER, K.; RAMAKRISHNAN, S.; BILITZA, D. - 1978 - International Reference Ionosphere, URSI.

MEDIDAS COM FOGUETE DA TEMPERATURA DOS ELÉTRONS NA
IONOSFERA SOBRE NATAL

I.J. Kantor, P. Muralikrishna & M.A. Abdu

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515, 12201 São José dos Campos, SP

Número de Figuras = 05

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do potencial aplicado à sonda de Langmuir.

Figura 2 - Curva característica $I \times V$ (corrente versus potencial) da sonda de Langmuir.

Figura 3 - Medidas de corrente I durante a subida do foguete para potenciais da sonda em 1,4V, 1,6V, 1,8V, 2,0V e 2,2V com altura, e densidade eletrônica N com altura.

Figura 4 - Dados obtidos de corrente e tensão, $I \times V$, em torno de 500 km de altitude durante a subida do foguete. Os trechos de reta representam ajuste linear aos dados.

Figura 5 - Dados de $I \times V$ em torno de 500 km de altitude durante a subida do foguete em escala linear, para determinação do potencial flutuante V .

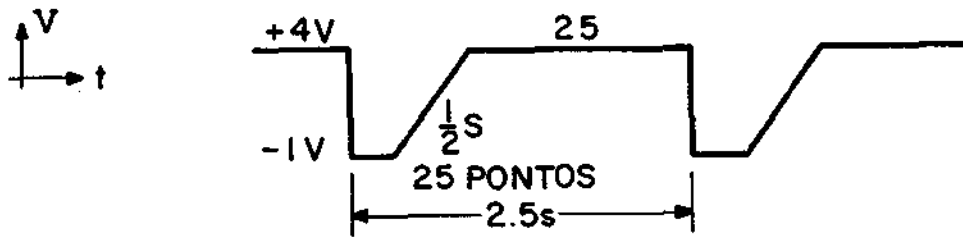


Fig. 1

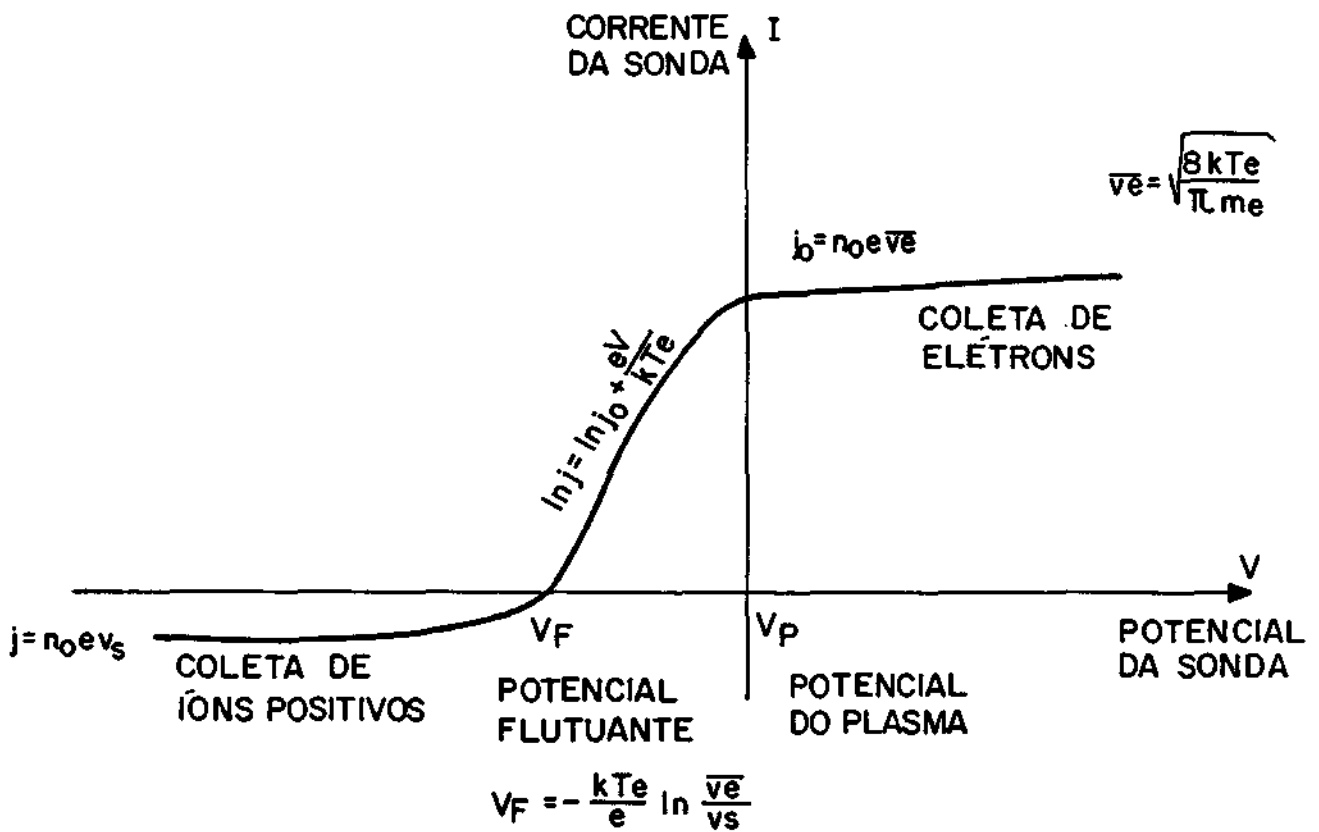


Fig. 2

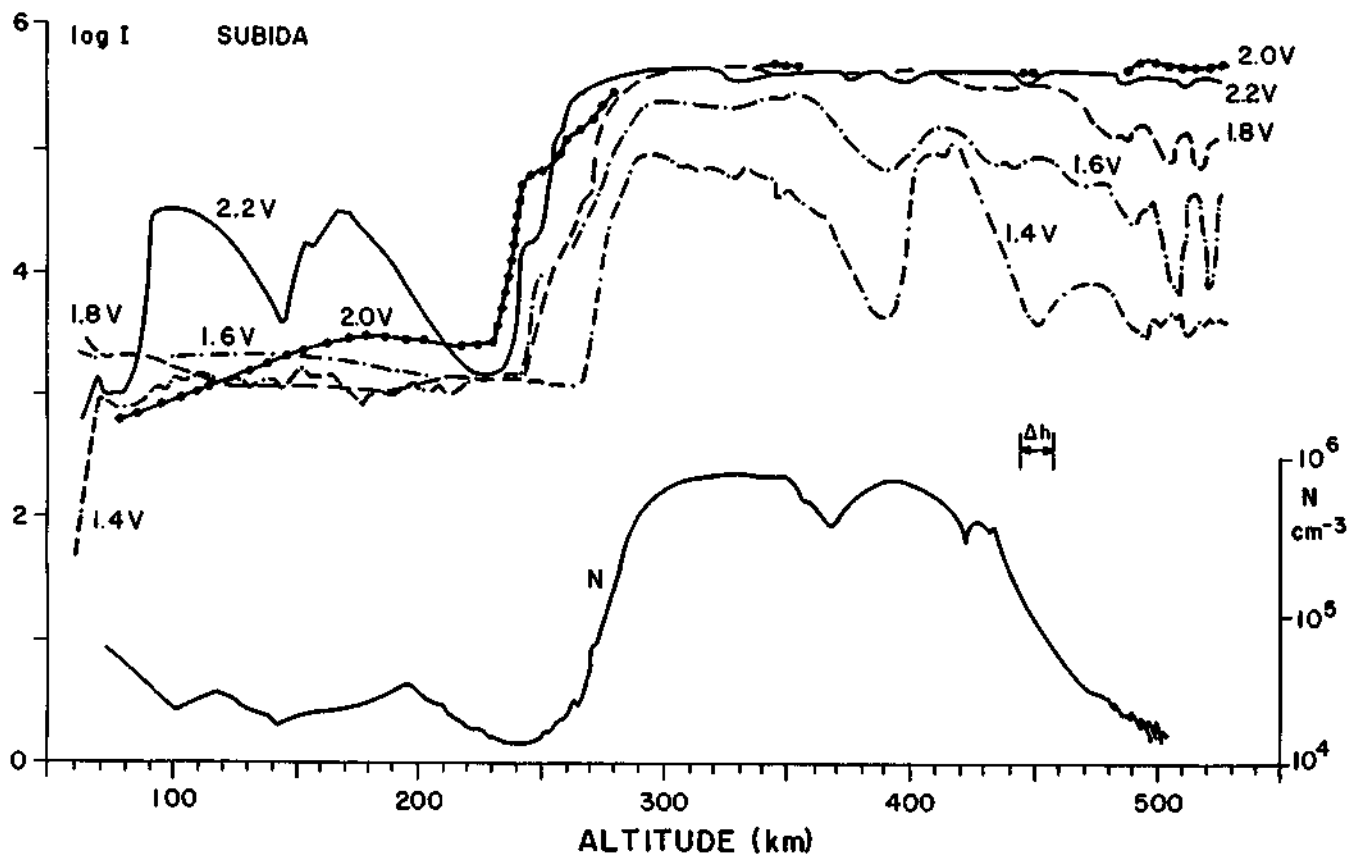


Fig. 3

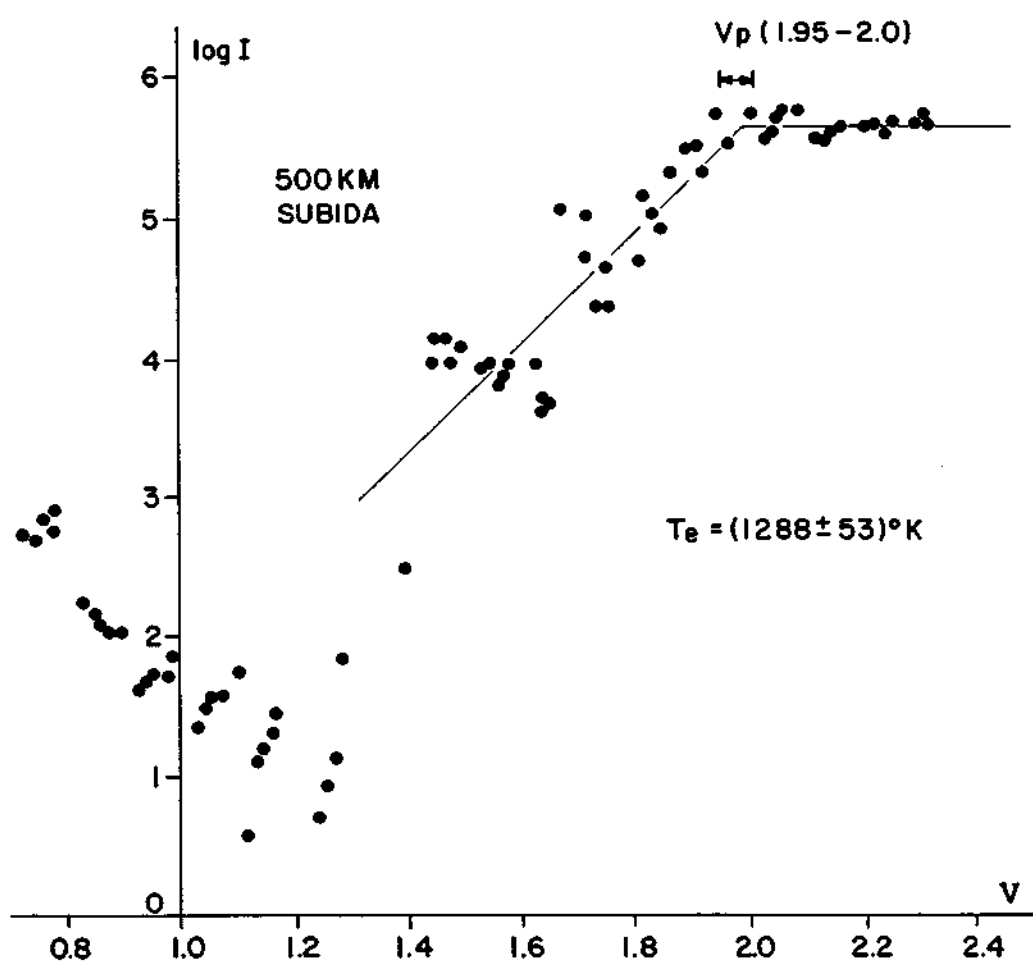


Fig. 4

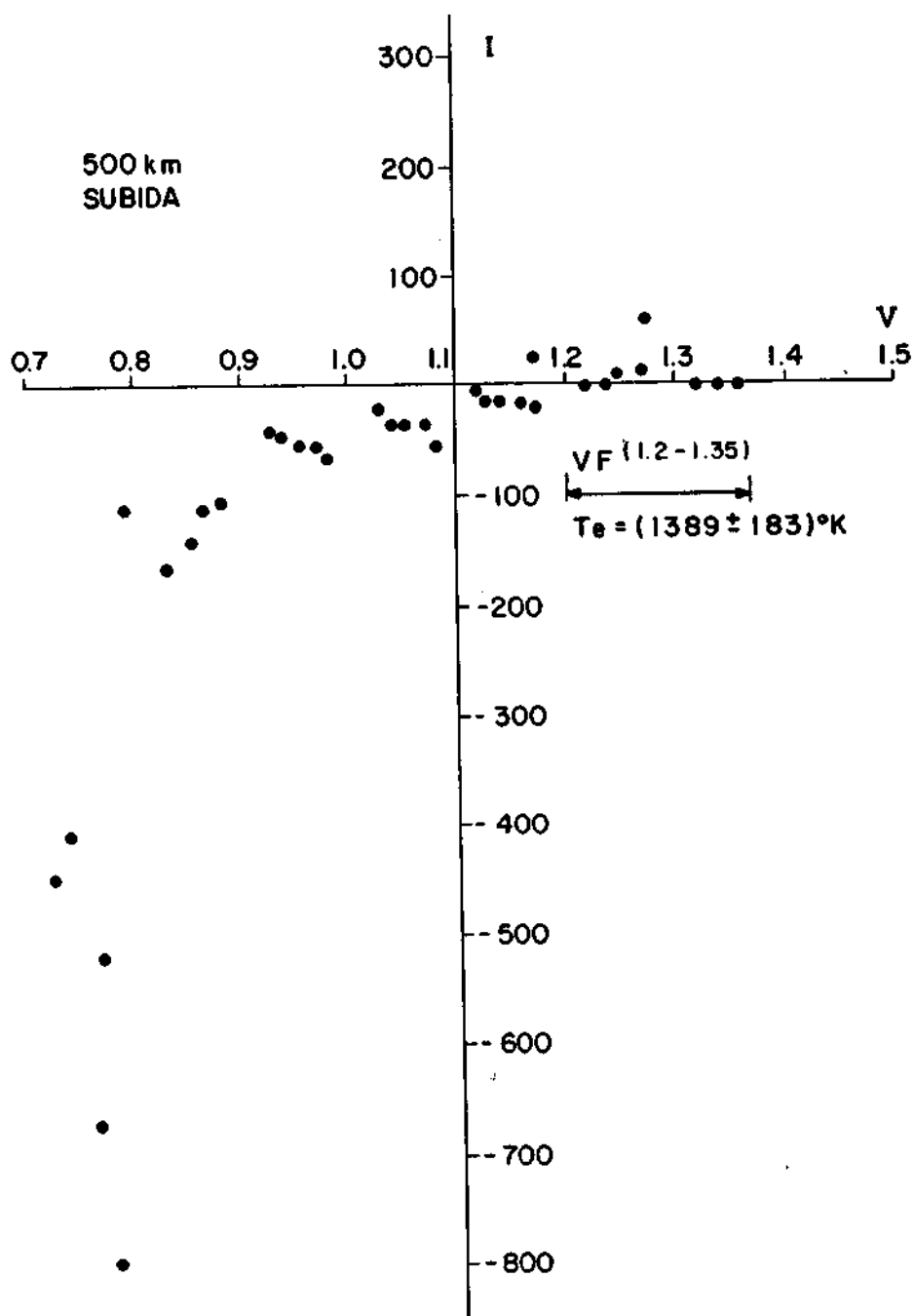


Fig. 5



- DISSERTAÇÃO
- TESE
- RELATÓRIO
- OUTROS

TÍTULO

"MEDIDAS COM FOGUETE DA TEMPERATURA DOS ELÉTRONS NA IONOSFERA SOBRE NATAL"

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

I.J. Kantor *315*
P. Muralikrishna
M.A. Abdu

ORIENTADOR

DISS. OU TESE

CO-ORIENTADOR

DIVULGAÇÃO

EXTERNA INTERNA RESTRITA

EVENTO/MEIO

CONGRESSO REVISTA OUTROS

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

— / — / —

— / — / —

NOME DO REVISOR

Eurico R. de Paula

NOME DO RESPONSÁVEL

José Marques da Costa

REV. TÉCNICA

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

07/10/87

08/10/87

Eurico R. de Paula

APROVADO

DATA

ASSINATURA

SIM
 NÃO

8/10/87

José Marques da Costa

APROVAÇÃO

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

254

1

16/10/87

Neusa Maria Dias

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

17

19/10/87

Neusa Maria Dias

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILOGRAFA

— / — / —

DATILOGRAFIA

Nº DA PUBLICAÇÃO: 4485PRE/1250 PÁG.:

CÓPIAS:

Nº DISCO:

LOCAL:

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

SIM

NÃO

— / — / 10 MAR 1988

DIRETOR

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Este trabalho será apresentado no II Encontro Regional de Geofísica em Salvador de 25 a 27 de novembro de 1987.