

1. Publicação nº <i>INPE-2850-PRE/391</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>CAS</i>	Programa <i>RADIO</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>MICROONDAS - ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA RADIOMETRIA</i>			
7. C.D.U.: <i>551.501.795</i>			
8. Título <i>DETERMINAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE MICROONDAS PELA INFLUÊNCIA DOS GASES ATMOSFÉRICOS, ATRAVÉS DE TÉCNICA RADIOMÉTRICA.</i>		10. Páginas: <i>10</i>	
		11. Última página: <i>11</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>R.E.Schaal C.B.Georges</i>		<i>Pierre Kaufmann</i>	
Assinatura responsável <i>Recorde de Heloísa</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Com a finalidade de se conhecer melhor o coeficiente de atenuação de microondas foi construído um radiômetro para medir a radiação da atmosfera na faixa de 22 GHz. Foram efetuadas medidas simultâneas com radiossondagens meteorológicas na cidade de Bauru em Janeiro de 1983. Verificou-se que o modelo simples de operação de transferência radioativa não satisfaz a correlação entre a atenuação de microondas e quantidade de vapor d'água na atmosfera.</i>			
15. Observações <i>A ser publicado nos Anais do III Simpósio Brasileiro Micro-eletrônica</i>			

DETERMINAÇÃO DA ATENUAÇÃO DE MICROONDAS PELA INFLUÊNCIA  
DOS GASES ATMOSFÉRICOS, ATRAVÉS DE TÉCNICA RADIOMÉTRICA

Ricardo E. Schaal

Cristiane B. Georges

INPE: Instituto de Pesquisas Espaciais, CNPq  
Caixa Postal 515, 12.200 São José dos Campos,  
S.P. Brasil

RESUMO

Com a finalidade de se conhecer melhor o coeficiente de atenuação de microondas foi construído um radiômetro para medir a radiação da atmosfera na faixa de 22 GHz. Foram efetuadas medidas simultâneas com radiossondagens meteorológicas na cidade de Bauru em Janeiro de 1983. Verificou-se que o modelo simples de operação de transferência radioativa não satisfaz a correlação entre a atenuação de microondas e quantidade de vapor d'água na atmosfera.

## I. INTRODUÇÃO

A emissão e absorção em microondas devido aos gases atmosféricos têm sido estudada por inúmeros autores devido à alta importância nos sistemas mais modernos de comunicações via microondas e de importância fundamental para radioastronomia centimétrica e milimétrica (3 GHz a 300 GHz).

Na atmosfera os principais constituintes responsáveis pela atenuação são o oxigênio molecular e o vapor de água (1,2). Este último tem a sua quantidade bastante variável no tempo e no espaço o que contribui decisivamente em uma grande variação no coeficiente de atenuação de local para local, para um mesmo local, a variação temporal de curto período poder ter uma amplitude considerável.

A troposfera é a camada situada imediatamente acima do solo estendendo-se até a tropopausa numa altitude média de 10 km. A sua constituição química é relativamente homogênea de modo que podemos considerar como uma combinação de ar seco ( $O_2$ ,  $N_2$ , A, etc.) e o vapor d'água cuja proporção na mistura total próximo a superfície pode variar de 0 a 4% do total.

Trabalhos clássicos de Van Vleck (3,4) mostram que, no caso do vapor d'água não condensado, a curva de atenuação em função de frequência apresenta um pico na frequência de 22300 MHz e que no caso do oxigênio molecular este apresenta uma atenuação bastante intensa em torno de 60 GHz (5).

Nas regiões tropicais o conteúdo de vapor d'água é sempre bastante elevado de modo que na faixa de 22 GHz, a

contribuição de atenuação devido ao oxigênio molecular é uma ordem de grandeza menor que a do vapor d'água o que motivou a procura de uma correlação entre a quantidade de vapor d'água na superfície medida através do ponto de orvalho e a atenuação em 22.2 GHz medida pela radiação da atmosfera (6,7,8). Embora exista nitidamente uma proporcionalidade entre o ponto de orvalho na superfície e a atenuação, verifica-se que existe um espalhamento considerável dos dados o que mostra a necessidade de se considerar a distribuição do vapor d'água ao longo da altura.

## II. DISCUSSÃO

Partindo-se de um modelo simples para a troposfera e aplicando-se a equação de transferência radioativa podemos escrever que a temperatura de radiação ( $T_A$ ) em microondas da troposfera é dada por (9).

$$T_A = T_0(\nu) \left( 1 - e^{-\int_0^{H_0} h(\nu) \rho \, dh} \right) \quad (1)$$

onde  $T_0(\nu)$  - temperatura equivalente de corpo negro na frequência  $\nu$  ( $^{\circ}\text{K}$ )

$K(\nu)$  - coeficiente de atenuação específico em função de  $\nu$  (Nepers/g.m<sup>-3</sup>. Km)

$e$  - densidade de vapor d'água (g/m<sup>3</sup>)

$H_0$  - altura final onde para  $\rho \cong 0$  (km)

que pode ser colocada na forma

$$T_A = T_O (\nu) (1 - e^{-\tau/\sin E}) \quad (2)$$

onde

$\tau$  = profundidade ótica total na direção do zênite (nepers)

$E$  = ângulo de elevação de visada em relação à superfície (graus).

A equação (2) se aplica para antenas de feixe estreito portanto para o caso de antenas com feixe mais largo ( $\theta$  feixe  $> 10^\circ$ ) deve-se considerar a equação (1) na seguinte forma:

$$T_A = T_O (\nu) (1 - e^{-\int_0^{V_0} k'(\nu) \rho \, dv}) \quad (3)$$

onde

$V_0$  = volume subentendido pelo feixe da antena estendido até  $\rho = 0$  ( $m^3$ )

$k'(\nu)$  - coeficiente de atenuação específico volumétrico.

Para a verificação da equação (3) e melhor conhecimento da atenuação total foram efetuadas medidas da radiação atmosférica na faixa de 22 GHz simultaneamente com medidas de radiossondagens meteorológicas junto ao Instituto de Pesquisas Meteorológicas - Baurú - para se obter a distribui

ção da densidade de vapor d'água e temperatura em função da altura.

As medidas foram efetuadas durante uma campanha de medidas meteorológicas no mês de janeiro de 1983 quando foram lançadas sondas de 4 em 4 horas permitindo uma constatação da variação temporal de curto período.

### III. INSTRUMENTAÇÃO

Foi montado em radiômetro do tipo Dicke cujo diagrama em blocos está na Fig. 1. O conversor de frequência não conta com rejeição de imagem o que implica em uma banda de recepção duas vezes a banda dos amplificadores de frequência intermediária que é da ordem de 350 MHz.

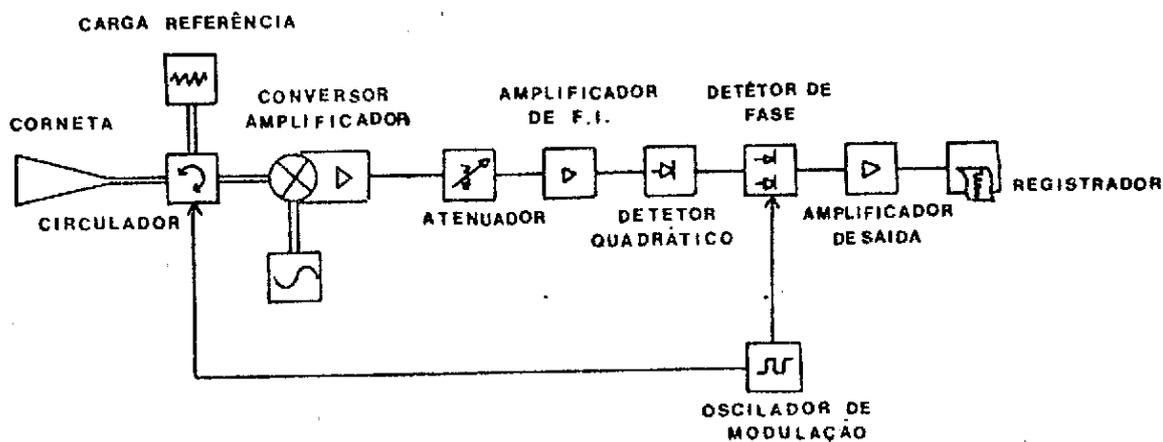


Figura 1: Diagrama em blocos do radiômetro para faixa de 22 GHz.

A figura de ruído é da ordem de 7dB o que implica em uma sensibilidade da ordem de 1° Kelvin com 1 segundo de integração.

O radiômetro foi calibrado incluindo a própria corneta utilizando-se a técnica de carga quente a  $300^{\circ}\text{K}$  e carga fria mergulhada no Hidrogênio líquido ( $77^{\circ}\text{K}$ ).

A calibração tem uma precisão da ordem  $\pm 5\%$ .

A montagem mecânica permite que se efetue medidas entre  $10^{\circ}$  e  $60^{\circ}$  de elevação com um feixe de  $10^{\circ}$  de largura entre os pontos a  $- 3\text{dB}$ .

#### IV. MEDIDAS

Durante o mês de janeiro as variações climáticas no interior do Estado de S.Paulo não são muito significativas o que impediu uma verificação mais extensa das medidas do coeficiente de atenuação de modo que foram escolhidas somente dois dias quando houve uma variação mais acentuada.

Na tabela I temos o valor da opacidade ótica total ( $\tau$ ), em duas frequências obtidas pelas medidas de radiação e utilizando-se a equação (2). Os valores da densidade de vapor d'água na superfície são dados em gramas de vapor por kilograma de atmosfera seca.

Podemos verificar que existe pouca correlação entre os valores de  $\tau$  e os valores de  $\rho$  indicando que somente a medida na superfície não é o suficiente para se correlacionar as duas grandezas.

Na Figura 2 temos o perfil da densidade de vapor d'água em função da altura para os dias 24 e 25.

TABELA I

FREQ	DIA	HORA	$\tau$	$\rho$	DIA	HORA	$\tau$	$\rho$
20	24	08	0.12	15.2	25	09	0.19	15.5
		16	0.12	13.2		15	0.18	18.8
		21	0.17	15.2		20	0.19	16.2
22	24	08	0.25	15.2	25	10	0.31	15.5
		16	0.21	13.2		16	0.32	18.8
		20	0.33	15.2		20	0.33	16.2

Podemos verificar que o aumento de atenuação no dia 24 às 20 horas se deve muito ao aumento da umidade e a grandes alturas.

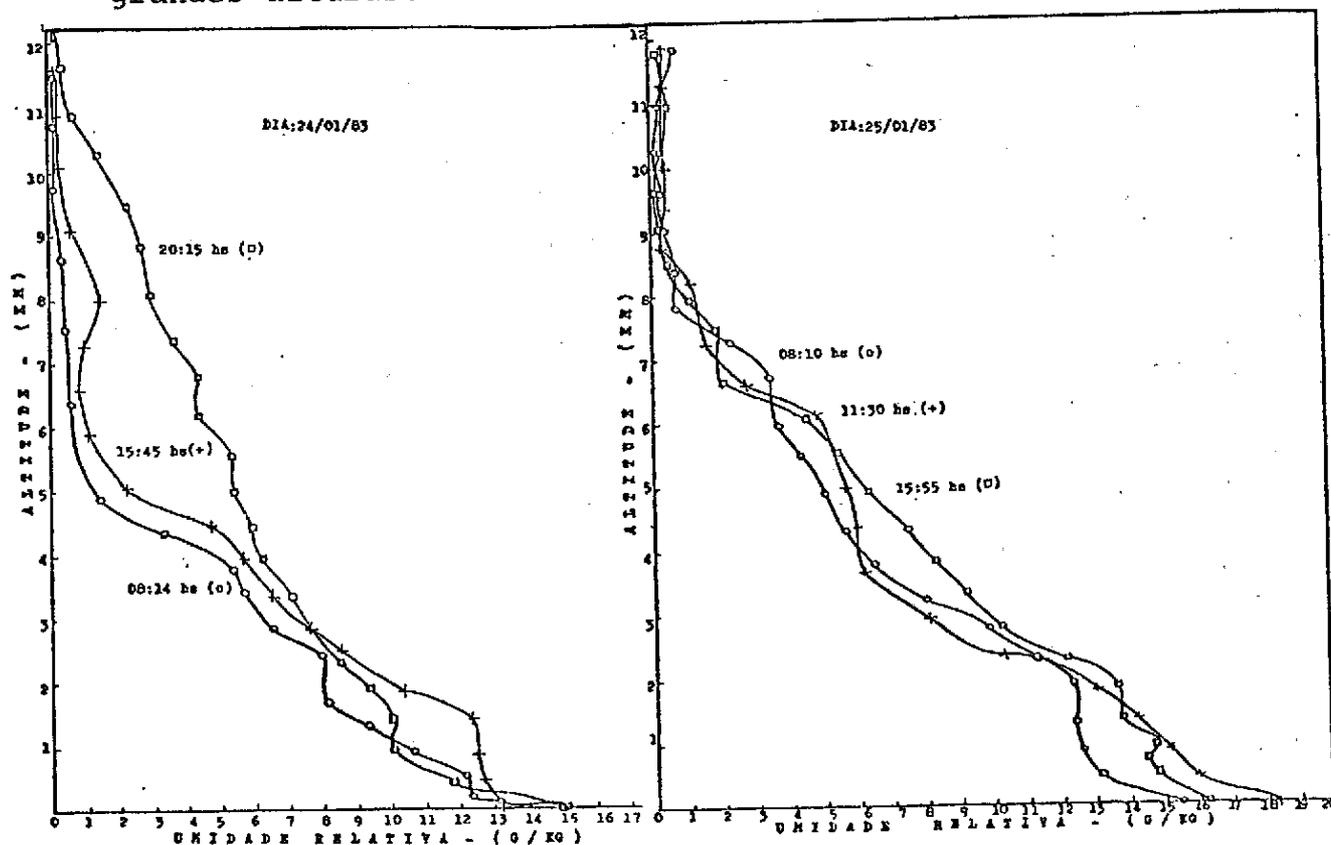


Figura 2: Teor de umidade relativa da atmosfera em função da altitude para os dias 24 e 25.

Para se verificar a influência de umidade em grandes alturas e a distribuição do vapor d'água ao longo do feixe da antena utilizou-se a equação (3) comparando-se os valores medidos contra os valores calculados da integral de volume, ambos em função da elevação.

Na Figura 3 podemos ver que a correlação entre a integral de volume e temperatura de radiação é muito boa para uma dada hora.

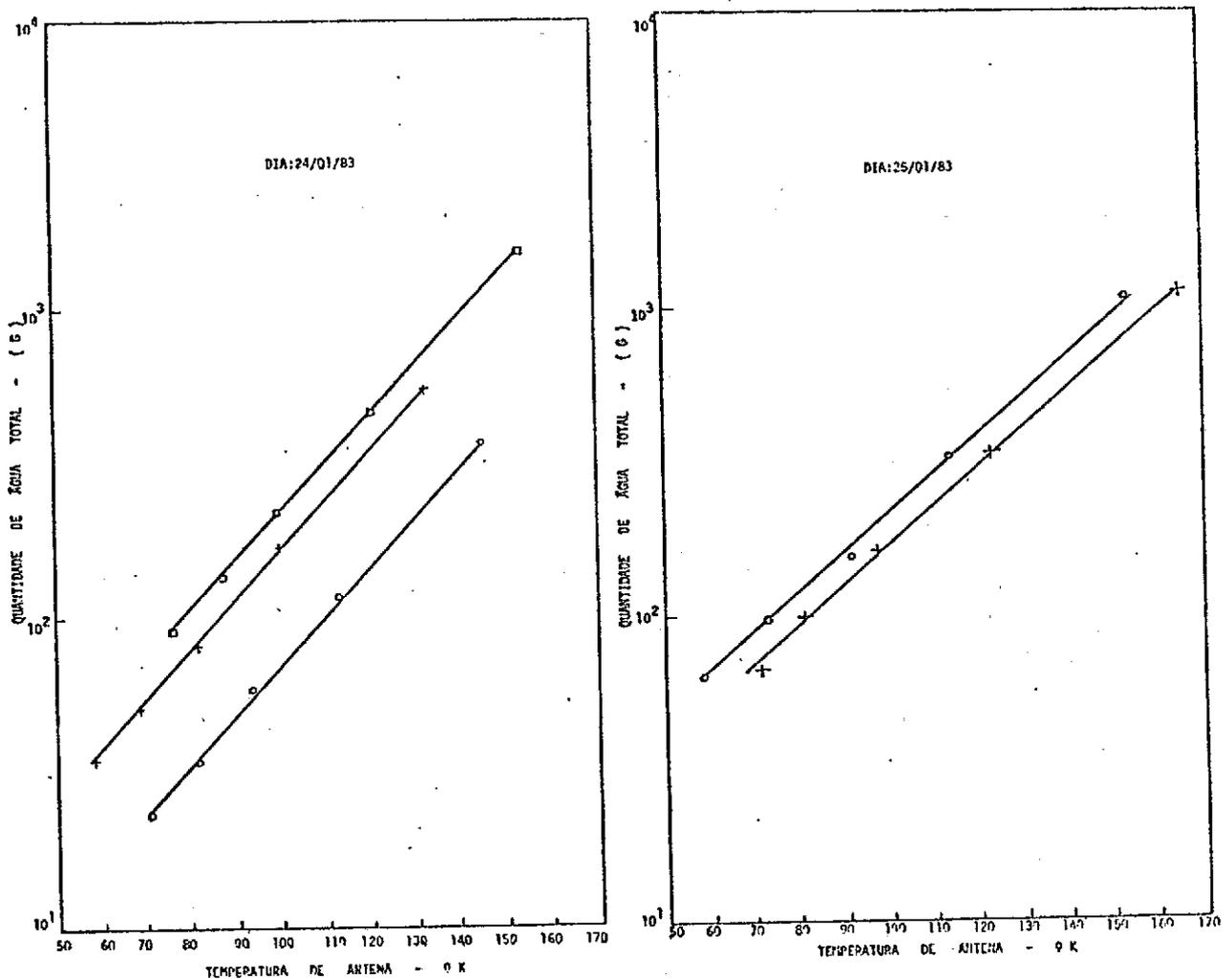


Figura 3: Conteúdo total de vapor d'água no cone da antena em função da temperatura de radiação medida em 22 GHz na superfície.

## V - CONCLUSÃO

Pode-se verificar que para uma dada hora a equação (3) é bem consistente mas durante o mesmo dia pode haver aumento de densidade de vapor d'água com uma diminuição da temperatura de radiação na superfície, o que sugere que a temperatura equivalente de corpo negro também é uma variável temporal, ficando como conclusão a necessidade de se desenvolver um modelo mais acurado.

## REFERÊNCIAS

1. SMITH, E.K., 1982. Centimeter and Milimeter wave attenuation and brightness temperature due to atmospheric oxygen and water vapor. *Radio Science*, 17: 1455-1464.
2. LIEBE, H., 1981. Modeling attenuation and phase of radio waves in air at frequencies below 1000 GHz. *Radio Science*, 16: 1183-1199.
3. VAN VLECK, J.H., 1947. Absorption of microwave by oxygen. *Phys. Rev.*, 71, 7.
4. VAN VLECK, J.H., 1947. Absorption of microwave by uncondensed water vapor. *Phys. Rev.*, 71, 7.
5. International Radio Consultative Committee (CCIR) attenuation by atmospheric gases. Report 719 in Proceedings of the CCIR XIVth. Plenary Assembly, Kyoto, 1978, Vol. 5.

6. SCHAAL, R.E., RIZZO PIAZZA, L., KAUFMANN, P., HADANO, R., KOPPE, E.H. 1981. Determinação da opacidade atmosférica por técnica radiométrica: resultados qualitativos preliminares na Serra da Mantiqueira e na Serra Geral. *Ciên. & Cult.*, 33, 10.
7. FOGARTY, W.G., 1975. Total atmospheric absorption at 22.2GHz. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-18: 441-444.
8. MARQUES DOS SANTOS, P., 1977. Atenuação em microondas em função da água precipitável na região de São Paulo-Atibaia. *Rev. Bras. Tecn.*, 3: 175.187.
9. ELGERED, G., RONNANG, B.O., ASKEN, J.I.H., 1980. Remote sensing of atmospheric water vapor and cloud liquid  
Research Laboratory of electronics and Onsala Space Observatory, Report nº 141.