



| | | | |
|--|--|---|--|
| PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS | | AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY | |
| AUTORES/AUTHORS PLANETAS: VÊNUS RADIOEMIÇÃO ONDAS CENTIMÉTRICAS | | Ranzulow Ralf Gielow Pres.Cons. Pós-Graduação | |
| AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR | | DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION | |
| Lineu F. Del Ciampo | | <input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED | |
| CDU/UDC | | REVISADA POR/REVISED BY | |
| 523.42 | | Eugênio Scalise Junior | |
| DATA / DATE | | ORIGEM / ORIGIN | |
| setembro/1990 | | PG/DAE | |
| PUBLIÇÃO Nº / PUBLICATION NO | | PROJETO / PROJECT | |
| INPE-5122-TDL/423 | | CEA | |
| TÍTULO/TITLE | | Nº DE PAG. / NO OF PAGES | |
| VARIAÇÃO DA EMISSÃO CENTIMÉTRICA DE VÊNUS SEGUNDO SUA FASE | | 102 | |
| AUTORES/AUTHORSHIP | | ULTIMA PAG. / LAST PAGE | |
| Lineu Fernando Del Ciampo | | 81 | |
| | | VERSÃO / VERSION | |
| | | Nº DE MAPAS / NO OF MAPS | |
| RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES | | | |
| <p>A radioemissão do planeta Vênus, em comprimentos de onda menores que 10 cm, apresenta algumas flutuações na temperatura de luminosidade. As razões dessas flutuações ainda são inconclusivas. Durante 1988, Vênus estava relativamente mais perto da Terra que nos anos precedentes e também apresentou mudanças de ângulo de fase larga ao longo do ano. Esta configuração orbital excepcional possibilitou ao programa uma extensa série de observações com o escopo de descobrir se há algumas flutuações na temperatura de luminosidade planetária associada à sua fase. Para este programa foi usada a antena de 13,7 m do Radiobservatório de Itapetinga, sendo as observações realizadas em 22 e 43 GHz. Este trabalho apresenta os resultados observacionais da temperatura de luminosidade de Vênus, de março a outubro de 1988, que mostra algumas flutuações nesta temperatura. Os resultados das observações sugerem que a variação da temperatura de luminosidade é provavelmente devida ao ângulo de fase do planeta. Esta variação de temperatura pode ser devida a variações na abundância de SO₂, H₂O e H₂SO₄ gasoso, que são os principais absorventes nesses comprimentos de onda.</p> | | | |
| OBSERVAÇÕES/REMARKS | | | |
| Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial/Radioastronomia e Física Solar, aprovada em 02 de outubro de 1989. | | | |

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

DISSERTAÇÃO

VARIAÇÃO DA EMISSÃO CENTIMÉTRICA DE VÊNUS
SEGUNDO SUA FASE

SUBMETIDA POR

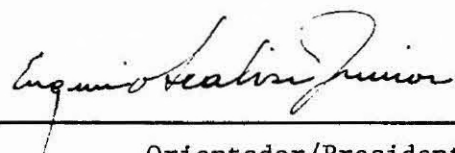
Lineu Fernando Del Ciampo

Em cumprimento parcial dos requisitos exigidos para a obtenção do título
de Mestre em Ciência Espacial/Radioastronomia e Física Solar

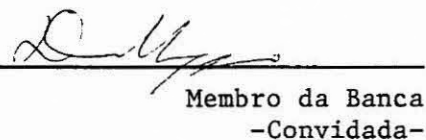
1989

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Ciência Espacial

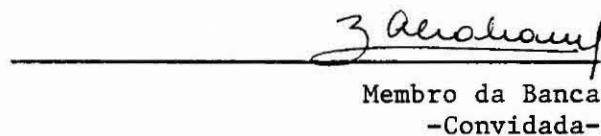
Dr. Eugênio Scalise Júnior


Orientador/Presidente

Dr^a Daniela Lazzaro


Membro da Banca
-Convidada-

Dr^a Zulema Abraham


Membro da Banca
-Convidada-

Dr. Christopher Kotanyi


Membro da Banca

Candidato: Lineu Fernando Del Ciampo

São José dos Campos, 02 de outubro de 1989

À

Alzira, José e Lourival,
que me permitiram sonhar,
que tudo fizeram para que eu
concretizasse meus sonhos.

Palavras não significam nada. As ações são tudo.

Tzu Jan, 1997.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Eugênio Scalise Jr., a orientação pessoal, acadêmica e profissional e, fundamental e principalmente, a liberdade no desenvolvimento do trabalho,

À Dra. Zulema Abraham, a minha iniciação científica, a orientação em parte do curso e os infinitos ensinamentos,

Aos Drs. Ivan J. Kantor, Líliliana R. Piazza e Thyrso Villela Neto, a presença e assistência em momentos importantes do curso,

À Dra. Stela M. Ávila Monteiro, a atenção e os cuidados,

À Lúcia H. Fagiolo, em distante passado, o incentivo em tantos sonhos,

Aos MsC. Ana Cristina O. Cancoro, José L. Monteiro do Vale, Maria Cristina Mariani e Neusa M. Paes Leme, a amizade e por terem, além de tantas outras coisas, acreditado,

À Luciene, Martha e Valéria, os agradáveis momentos,

Ao sempre amigo Everi A. Carrara, as intermináveis conversas,

Aos futuros mestres Antônio, Carmen, Eraldo, Heitor e Newton, o companheirismo,

Aos colegas Alexandre, Carlos, Cecatto, Clayton, Duília, Edite, Fábio Bretas, Fábio Prado, Ildefonso, Karl, Márcia, Nanci, Nori, Plínio, Raquel, a convivência e a colaboração,

À Maria Aparecida Marcos, do CID, a sempre atenciosa
colaboração,

À equipe do ROI-Atibaia, os ensinamentos e o
indispensável apoio durante as observações,

À Sra. Rosana D.G. de Arantes Gonçalves pela paciência
e boa vontade em terminar o trabalho de datilografia.

À todos do CRAAM-INPE, o convívio.

Ao CNPq, Capes e Fapesp, o auxílio financeiro.

RESUMO

A radioemissão do planeta Vênus, em comprimentos de onda menores que 10 cm, apresenta algumas flutuações na temperatura de luminosidade. As razões dessas flutuações ainda são inconclusivas. Durante 1988, Vênus estava relativamente mais perto da Terra que nos anos precedentes e também apresentou mudanças de ângulo de fase larga ao longo do ano. Esta configuração orbital excepcional possibilitou ao programa uma extensa série de observações com o escopo de descobrir se há algumas flutuações na temperatura de luminosidade planetária associada à sua fase. Para este programa foi usada a antena de 13,7 m do Radiobservatório de Itapetinga, sendo as observações realizadas em 22 e 43 GHz. Este trabalho apresenta os resultados observacionais da temperatura de luminosidade de Vênus, de março a outubro de 1988, que mostra algumas flutuações nesta temperatura. Os resultados das observações sugerem que a variação da temperatura de luminosidade é provavelmente devida ao ângulo de fase do planeta. Esta variação de temperatura pode ser devida a variações na abundância de SO_2 , H_2O e H_2SO_4 gasoso, que são os principais absorventes nesses comprimentos de onda.

ABSTRACT

The radio emission from the planet Venus, at wavelengths smaller than 10 centimeter, presents some fluctuations in the brightness temperature. The reasons for those fluctuations are still inconclusive. During 1988, Venus was relatively closer to the Earth than in the preceeding years and also presented large phase angle changes along the year. This exceptional orbital configuration allowed to program an extensive series of observations with the scope of finding out if there is any fluctuation in the planetary brightness temperature associated to its phase. For this program it was used the 13.7 m antenna of the Itapetinga Radio Observatory, being the observations carried out at 22 GHz and 43 GHz. This work present the observacional results of Venus brightness temperature, from March to October 1988, wich shows some fluctuations in this temperature. The results of observations suggest that the variation of the brightness temperature is probably due to the phase angle of the planet. This temperature variation may be due variations in the abundance of SO_2 , H_2O and gaseous H_2SO_4 , wich are the main absorbers in those wavelengths.

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| LISTA DE TABELAS | xv |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xvii |
| | |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| 1.1 - Motivação para o trabalho | 1 |
| 1.2 - Sumário e breve discussão dos resultados obtidos..... | 3 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 2 - O PLANETA VÊNUS</u> | 5 |
| 2.1 - Características físicas de vênus | 5 |
| 2.2 - Histórico das radiobservações de vênus | 15 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 3 - EQUIPAMENTO E TÉCNICA OBSERVACIONAL</u> | 19 |
| 3.1 - A antena | 19 |
| 3.2 - O radiômetro | 22 |
| 3.3 - A temperatura do sistema | 26 |
| 3.4 - Método observacional | 28 |
| 3.5 - Calibradores astronômicos | 32 |
| 3.6 - A eficiência da antena | 36 |
| 3.7 - Calibração e efeitos atmosféricos | 47 |
| 3.8 - Incertezas das medidas | 51 |
| | |
| <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBSERVACIONAIS E DISCUSSÃO</u> | 53 |
| 4.1 - Vênus: resultados observacionais | 53 |
| 4.2 - Vênus: modelos de emissão em microondas | 62 |
| 4.3 - Confrontação dos resultados com os modelos | 72 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------|---|
| A_e | - Área efetiva da antena. |
| A_f | - Área física da antena. |
| AR | - Ascensão reta. |
| B_A | - Largura de faixa dinâmica de pós-deteccção. |
| D | - Diâmetro da abertura circular ou do parabolóide de revolução. |
| DEC | - Declinação. |
| G | - Ganho de antena. |
| k | - Constante de Boltzmann. |
| K_p | - Fator de correção da temperatura de brilhância devido à dimensão do planeta, comparativamente ao feixe da antena. |
| P | - Potência elétrica. |
| S | - Densidade de fluxo. |
| S_C | - Constante solar. |
| T | - Temperatura. |
| T_A | - Temperatura de antena. |
| T_{ATM} | - Temperatura da atmosfera. |
| T_b | - Temperatura do ruído de fundo do céu. |
| T_M | - Temperatura medida. |
| T_o | - Temperatura do céu. |
| T_R | - Temperatura do receptor. |
| T_{RD} | - Temperatura do domo rígido. |
| T_S | - Temperatura da fonte observada corrigida por erros de apontamento da antena e por transmissão do domo rígido. |
| T_{SL} | - Temperatura devido à contribuição dos lóbulos secundários. |
| T_{SUP} | - Temperatura da superfície de um planeta. |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 2.1 - Características físicas de Vênus e da Terra | 7 |
| 3.1 - Características gerais do radiotelescópio do ROI | 20 |
| 3.2 - Temperaturas de sistema | 28 |
| 3.3 - Características das fontes calibradoras | 34 |
| 3.4 - Principais parâmetros da antena do ROI | 46 |
| 4.1 - Resultados observacionais de Vênus em 0,7 cm e em 1,35 cm, durante 1988 | 54 |

| | |
|--|----|
| 3.14 - Gráfico do fator de calibração Kelvin/Volt (a) e da temperatura da fonte (b) versus ângulo de elevação para VIR A, 0,7 cm..... | 48 |
| 4.1 - Temperatura de brilhância obtida em 1,35 cm (a) e em 0,7 cm (b) versus dia do ano de 1988 para Vênus | 50 |
| 4.2 - Temperatura de brilhância de Vênus versus dia do ano 1988. | 57 |
| 4.3 - Temperatura de brilhância de Vênus versus ângulo de fase em 1988 | 59 |
| 4.4 - Temperatura de brilhância versus deficiência de iluminação para Vênus em 1988 | 60 |
| 4.5 - Espectro de microondas para o modelo base de Janssen and Klein (1981), que tem como única fonte absorvedora o CO ₂ | 62 |
| 4.6 - Diminuição da temperatura de brilhância devido à adição de fontes absorvedoras ao modelo base | 63 |
| 4.7 - Absorção do H ₂ SO ₄ gasoso em uma atmosfera de CO ₂ | 65 |
| 4.8 - Comparação entre a opacidade do H ₂ SO ₄ gasoso e a do SO ₂ em uma atmosfera de CO ₂ | 67 |
| 4.9 - Espectro de emissão em microondas para duas abundâncias de ácido sulfúrico gasoso, na atmosfera de Vênus | 68 |
| 4.10 - Resultados observacionais em microondas sobrepostos ao espectro de emissão para duas abundâncias de ácido sulfúrico na atmosfera de Vênus | 70 |
| 4.11 - Espectro de microondas de Vênus..... | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 2.1 - Posições e fenômenos orbitais de Vênus e da Terra durante o ano de 1988 | 6 |
| 2.2 - Perfil de temperatura e de pressão com a altitude em Vênus..... | 12 |
| 2.3 - Esquema do ciclo dos compostos do enxofre na troposfera da atmosfera de Vênus..... | 14 |
| 2.4 - Esquema da ação dos compostos do hidrogênio e do cloro na estratosfera de Vênus..... | 15 |
| 3.1 - Vista frontal em corte da configuração das cornetas dos receptores de 22 GHz e de 43 GHz..... | 21 |
| 3.2 - Diagrama em blocos de um receptor genérico superheterodino de potência total | 23 |
| 3.3 - Diagrama em blocos do receptor de potência total para 22 GHz do Itapetinga | 25 |
| 3.4 - Determinação da temperatura de sistema de um receptor de potência total | 27 |
| 3.5 - Gráfico intensidade x posição angular | 30 |
| 3.6 - Registro de uma seção observacional | 31 |
| 3.7 - Comportamento temporal de VIR A em 1,35 cm, no período de 1986 a 1988..... | 33 |
| 3.8 - Comportamento temporal de VIR A em 0,7 cm e em 1,35 cm, durante o ano de 1988 | 37 |
| 3.9 - Resultados observacionais de Júpiter em 1,35 cm e em 0,7 cm durante 1988 | 38 |
| 3.10 - Resultados observacionais de Júpiter, nos comprimentos de onda de 1,35 cm e 0,7 cm, durante 1988..... | 39 |
| 3.11 - Diagrama de antena em coordenadas: (a) polares e escala de potência linear; (b) retangulares e escala de potência em decibel..... | 41 |
| 3.12 - Eficiência de abertura e ganho da antena de 13,7 m do ROI | |
| 3.13 - Curva teórica de atenuação devida ao vapor de água (linha sólida) e ao oxigênio (linha tracejada) a 293 K | 44 |

| | |
|--|----|
| <u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u> | 75 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |

| | |
|------------------------|--|
| T_{SYS} | - Temperatura de sistema. |
| T_{B} | - Temperatura de brilhância. |
| T_{D} | - Temperatura do disco planetário. |
| x | - Coordenada de posição. |
| y | - Eixo coordenada da região focal da antena. |
| z | - Eixo coordenado da região focal da antena. |
| β | - Fração absorvida da energia solar incidente. |
| ϵ | - Tolerância da superfície refletora. |
| ϵ_{ab} | - Erro devido a aproximação do diagrama da antena por uma distribuição gaussiana, desapontamento da antena e desvio padrão da média. |
| ϵ_{C} | - Erro devido a calibração. |
| ϵ_{S} | - Erro devido a densidade de fluxo do calibrador astronômico. |
| ζ | - Fator de correção por erros de apontamento da antena. |
| η_{a} | - Eficiência de abertura. |
| η_{m} | - Eficiência de feixe. |
| η_{o} | - Máxima eficiência teórica de antenas com refletores parabólicos. |
| η_{r} | - Coeficiente de transmissão do domo rígido. |
| Θ | - Largura de feixe à meia potência (HPBW). |
| Θ_{d} | - Dimensão angular do disco planetário. |
| λ | - Comprimento de onda. |
| ν | - Frequência. |
| σ | - Desvio padrão. |
| σ_{S} | - Constante de Stefan-Boltzmann. |
| τ | - Profundidade óptica. |

- Ω_A - Ângulo sólido do diagrama da antena.
- Ω_M - Ângulo sólido do lóbulo principal.
- Ω_S - Ângulo sólido da fonte.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO

Durante os últimos trinta anos, observações sistemáticas do planeta Vênus vêm sendo realizadas nos mais diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético, particularmente na faixa de comprimentos de onda rádio. Os resultados obtidos são de grande importância, tanto para a radioastronomia, quanto para o entendimento dos mecanismos responsáveis pelo espectro de emissão de Vênus em micro-ondas.

A temperatura de brilhância é um parâmetro utilizado para a determinação da eficiência de abertura e para o apontamento de antenas radioastronômicas. Assumindo-se que a eficiência de um radiotelescópio se mantém constante, a temperatura de antena e a temperatura de brilhância correspondente, de qualquer planeta é, então, usada como calibrador primário.

A temperatura de brilhância do disco planetário também fornece informações sobre a atmosfera do planeta. A camada atmosférica e os gases que causam absorção, em determinado comprimento de onda, podem ser estudados a partir do monitoramento de eventuais variações da temperatura planetária neste comprimento de onda.

A radioemissão de Vênus, em comprimentos de onda inferiores a 10 cm apresenta algumas flutuações, cuja origem ainda não é bem determinada. Lang (1980) fornece temperaturas de brilhância para vários planetas e alerta que estas temperaturas, para os planetas internos e para a Lua, apresentam algumas variações, que são função do ângulo de fase do astro.

Gibson e Corbett (1963) realizaram as primeiras observações de Vênus, próximas a conjunção inferior que ocorreu em novembro

de 1962, no comprimento de onda de 1,35 cm. Obtiveram uma temperatura de brilhância de 520 ± 40 K.

Medidas de Law e Staelin (1968) e de Janssen e Klein (1981), em comprimentos de onda ao redor de 1,35 cm forneceram temperaturas de brilhância que vão desde 436 ± 39 K até 550 ± 26 K. Os resultados obtidos por Janssen e Klein (1981) não sugerem evidências de variações na temperatura de Vênus ao longo do tempo ou associadas com o ângulo de fase.

Steffes (1986), a partir de um experimento realizado em laboratório, sugeriu que as variações na temperatura de brilhância, no comprimento de onda de 1,35 cm, poderiam ser devidas às variações na abundância de SO_2 , em altitudes compreendidas entre 35 km e 50 km da atmosfera de Vênus.

Uma vez que estes resultados não são conclusivos, novas observações de Vênus, em microondas, devem ser realizadas com o intuito de determinar a influência real do ângulo de fase, ou de outro efeito, na temperatura de brilhância deste planeta.

Durante 1988, as posições orbitais de Vênus tornaram-se favoráveis para a realização de observações extensas e sistemáticas. Neste período Vênus apresentou grande variação no ângulo de fase, com a ocorrência de uma conjunção inferior em 13 de junho.

Esta excepcional configuração orbital inspirou a realização de um extenso programa observacional de Vênus, com o intuito de encontrar ou não alguma flutuação na temperatura de brilhância medida. As observações realizaram-se de forma sistemática e simultânea, nos comprimentos de onda de 0,7 cm e 1,35 cm, com a utilização da antena de 13,7 m de diâmetro, do Rádio Observatório do Itapetinga. As observações foram efetuadas no período compreendido entre março e outubro de 1988.

1.2 - SUMÁRIO E BREVE DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados observacionais obtidos, bem como é feita uma breve discussão dos modelos de emissão em microondas de Vênus. Como principal resultado, é mostrada a variação da temperatura de brilhância de Vênus e sua possível causa, nos comprimentos de onda de 0,7 cm e 1,35 cm.

No Capítulo 2 são apresentadas as principais características físicas de Vênus e é feita uma comparação com as características físicas da Terra. Segue-se um resumo dos principais trabalhos observacionais e dos modelos teóricos, nos comprimentos de onda métricos e centimétricos, da radio emissão de Vênus.

O Capítulo 3 contém um extenso e detalhado estudo do equipamento observacional do Rádio Observatório do Itapetinga. É dada grande ênfase aos problemas que podem gerar variações na estabilidade e no ganho do radiotelescópio. Dois importantes resultados são apresentados neste capítulo. Um é o comportamento da temperatura de brilhância de Júpiter, nos comprimentos de onda de 0,7 cm e de 1,35 cm, durante o ano de 1988. Dependendo do modo como esta temperatura é calculada, algumas flutuações podem ser percebidas. Outro resultado é a necessidade de um estudo sistemático da calibração na frequência de 43 GHz.

A primeira parte do Capítulo 4 apresenta os resultados observacionais de Vênus obtidos nos comprimentos de onda de 0,7 cm e de 1,35 cm, durante o ano de 1988. Estes resultados mostram uma variação na temperatura de brilhância de Vênus. Segue-se uma discussão dos modelos e resultados de rádio emissão do planeta Vênus, disponíveis na literatura. O capítulo é finalizado com uma confrontação entre os resultados observacionais obtidos e os modelos de emissão em microondas.

Concluindo, no Capítulo 5, é sugerido que a variação na temperatura de brilhância de Vênus, detectada no comprimento de onda de 1,35 cm, pode ser devida ao ângulo de fase óptico do planeta e a

possíveis alterações das taxas de SO_2 , H_2O e H_2SO_4 gasoso da atmosfera de Vênus. Estes gases são as substâncias absorvedoras preponderantes neste comprimento de onda. A variação na temperatura de brilhância, no comprimento de onda de 0,7 cm, também detectada e possivelmente associada com o ângulo de fase óptico, também deve ser devida à variação da abundância de outras substâncias, além dos gases anteriormente citados, também componentes da atmosfera de Vênus.

CAPÍTULO 2

O PLANETA VÊNUS

2.1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VÊNUS

Vênus é o terceiro objeto mais brilhante do céu, em comprimentos de onda visíveis, em seguida ao Sol e a Lua. Galileu realizou as primeiras observações do planeta, por volta de 1610, tendo descoberto que Vênus apresenta fases, semelhantes às da Lua. A fase cheia ocorre na conjunção superior. Nas maiores elongações o planeta encontra-se em quadratura, ou seja, o ângulo medido no centro do astro entre o Sol e a Terra é de 90° . Na conjunção inferior Vênus está na fase nova. A Figura 2.1 ilustra estas situações para o ano de 1988.

Dos planetas do Sistema Solar, Vênus é o que mais se assemelha com a Terra. A massa, o raio equatorial, a densidade média e a quantidade de energia solar absorvida são as características que mais se equivalem. A título de comparação são dadas, na Tabela 2.1, as características físicas de Vênus, ao lado das características da Terra.

Alguns dos parâmetros listados na Tabela 2.1 foram determinados com boa precisão há apenas poucos anos (Marov, 1978; Barbato e Ayer, 1981; Krasnopolsky, 1986). Vênus possui uma densa cobertura de nuvens, que constitui forte barreira para a observação óptica das camadas inferiores de sua atmosfera. A espectroscopia abaixo da camada de nuvens é praticamente impossível. Os parâmetros físicos da atmosfera abaixo das nuvens, bem como da superfície do planeta, só podem ser determinados através de técnicas especiais.

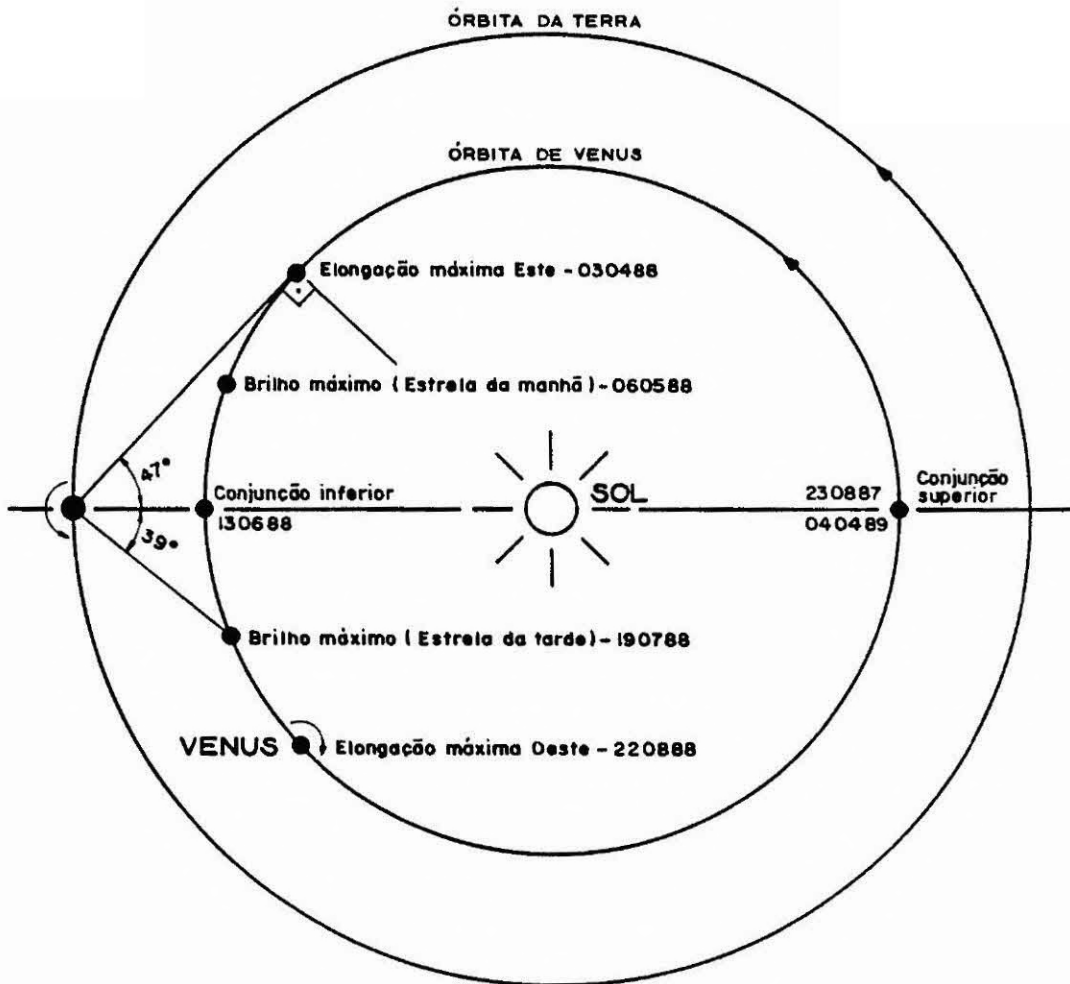


Fig. 2.1 - Posições e fenômenos orbitais de Vênus e da Terra durante o ano de 1988.

TABELA 2.1

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VÊNUS E DA TERRA

| CARACTERÍSTICAS | VÊNUS | TERRA |
|---|-------------------------|----------------------|
| Aceleração da gravidade, cm s^{-2} | 887 | 980 |
| Albedo | 0,77 | 0,30 |
| Composição das nuvens | H_2SO_4 | H_2O |
| Constante solar, W m^{-2} | 2670 | 1380 |
| Densidade, g cm^{-3} | 5,25 | 5,52 |
| Dia solar, dia terrestre | 117 | 1 |
| Direção de rotação | retrógrada | direta |
| Distância ao Sol, UA | 0,72 | 1 |
| Energia solar absorvida, W m^{-2} | 615 | 965 |
| Excentricidade da órbita | 0,007 | 0,017 |
| Massa, massas terrestres | 0,81 | 1 |
| Obliquidade | $2^{\circ}36'$ | $23^{\circ}27'$ |
| Período de rotação, dia terrestre | 243 | 1 |
| Período sideral, dia terrestre | 224.7 | 365 |
| Porcentagem de cobertura por nuvens | 100 | 50 |
| Pressão superficial, bar | 95 | 1 |
| Raio equatorial, km | 6051 | 6378 |
| Temperatura superficial, K | 737 | 288 |

Medidas diretas "in situ", das baixas camadas atmosféricas, realizadas por sondas, são dificultadas devido à atmosfera extremamente corrosiva, onde são encontrados ácidos como HCl, HF, H_2SO_4 e HSO_3F . O ácido fluorsulfúrico (HSO_3F) é a substância mais corrosiva conhecida pelo homem e que só não ataca o estanho, o chumbo e o mercúrio. As temperaturas nessa região são superiores a 500 K e as pressões podem ser superiores a 90 atm. Para penetrar na atmosfera de Vênus as

sondas espaciais requerem, para sua construção, materiais e tecnologias especiais. Em 1975 as sondas soviéticas Venera 9 e Venera 10 obtiveram sucesso em penetrar na atmosfera de Vênus e desceram lentamente através da camada de nuvens, até cerca de 65 km da superfície, usando paraquedas. Em seguida, passaram rapidamente pela região mais aquecida e densa da atmosfera, utilizando dispositivos que impediram o sobreaquecimento e, novamente, com o uso de paraquedas, chegaram à quente superfície em condições de funcionamento. Durante pouco mais de uma hora operaram do solo de Vênus.

Uma outra técnica utilizada no estudo do planeta Vênus é a radioastronomia. A radiação eletromagnética de comprimento de onda rádio, originária das camadas inferiores da atmosfera e da superfície de Vênus, consegue atravessar a densa camada de nuvens.

O radar também foi e tem sido um instrumento muito utilizado no estudo de Vênus. Os primeiros mapas da superfície e a determinação do período de rotação foram feitos com esta técnica. Está previsto um novo mapeamento da superfície do planeta, em 1990, pelo radar instalado na sonda espacial automática Magalhães.

A investigação das propriedades da superfície e da atmosfera de Vênus, por meio de técnicas radioastronômicas, combinadas com resultados ópticos e medidas obtidas através de veículos espaciais, tem contribuído cada vez mais para um melhor conhecimento e entendimento do planeta Vênus. Na seção seguinte serão vistos alguns detalhes dos estudos radioastronômicos do planeta.

Vênus gira ao redor do Sol com um período sideral de 225 dias terrestres. Combinado com um período de rotação retrógrado de 243 dias, tem-se como resultado que um dia solar em Vênus tem a duração de 117 dias terrestres. O inverso desta quantidade é igual à soma dos inversos dos períodos orbital e rotacional de Vênus. Por outro lado, uma vez que a Terra gira ao redor do Sol no mesmo sentido que Vênus, mas em um tempo maior, Vênus tem que efetuar mais que 2,5 revoluções para alcançar a Terra em sua órbita. Assim, o intervalo entre

duas conjunções sucessivas, ou seja, o período sinódico, é de 584 dias, que corresponde exatamente a 5 dias de Vênus. Conseqüentemente, sempre a mesma face de Vênus fica voltada para a Terra, em cada conjunção inferior.

Na atmosfera de Vênus existe uma quantidade mínima de água, enquanto que ocorre cerca de 100 vezes mais dióxido de carbono que na Terra. Além de não possuir qualquer sinal de vida, sua superfície é aproximadamente 450 K mais quente que a superfície terrestre. A grande quantidade de CO₂ é responsável pelo efeito estufa em Vênus, respondendo pela alta temperatura superficial. A radiação solar que alcança a superfície de Vênus é absorvida e reemitida como radiação infravermelha. Uma vez que o dióxido de carbono absorve esta radiação, muito da energia é aprisionada, de modo que a temperatura da atmosfera aumenta tremendamente. A alta pressão atmosférica de Vênus é devida a sua alta temperatura, e é esta a razão da não existência de água líquida na superfície, bem como de todo o dióxido de carbono encontrar-se na atmosfera.

Uma possível explicação para a escassez de água em Vênus é a sua proximidade do Sol. Quando a temperatura superficial do planeta atingiu o ponto de ebulição da água, os oceanos, se existiram, evaporaram-se. Sem os oceanos para remover o dióxido de carbono da atmosfera, sua concentração aumentou, até que um efeito estufa se originou, aumentando cada vez mais a temperatura do planeta. O resultado é a atual atmosfera quente e seca de Vênus.

Vênus e a Terra possuem aproximadamente a mesma abundância de CO₂. Enquanto o CO₂ encontra-se aprisionado em rochas terrestres, ocorre na forma de gás em Vênus. Se em um remoto passado existiram em Vênus rochas carboníferas, o CO₂ dessas rochas deve ter sido expulso, dada a alta temperatura superficial. Como conseqüência, a superfície de Vênus está sob a carga de uma atmosfera de peso comparável ao peso de todas as rochas carboníferas da Terra.

Medidas realizadas por veículos espaciais mostraram ainda que a temperatura superficial de 740 K e a pressão superficial de 95 atm são praticamente idênticas tanto na face diurna como na face noturna de Vênus.

Os níveis de gases sulfúricos são cinco ordens de grandeza maiores em Vênus do que na Terra. A foto-oxidação destas espécies sulfúricas produz massivas concentrações de ácido sulfúrico gasoso em nuvens, que cobrem todo o planeta. Já a taxa de ácido clorídrico é cerca de 1000 vezes maior que as taxas de compostos clorídricos como CFCl_3 e CF_2Cl_2 na camada de ozônio terrestre.

A baixa velocidade de rotação de Vênus em torno de seu eixo, equivalente a 243 dias terrestres, faz com que a força aparente de Coriolis seja duas ordens de grandeza menor que a da Terra. Em consequência, os movimentos de circulação da atmosfera são pouco afetados por esta força.

Para um planeta cuja atmosfera se encontra em equilíbrio radiativo com o Sol, uma estimativa da temperatura superficial (Prinn, 1985) pode ser dada pela Expressão (2.1):

$$T_{\text{SUP}} = \left[\left(1 + \frac{3\tau}{4} \right) \frac{\beta S_C}{4 \sigma_S} \right]^{1/4} \quad (2.1)$$

onde: S_C é a constante solar,
 β é a fração da energia solar incidente absorvida,
 $\sigma_S = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ é a constante de Stefan,
 τ é a profundidade óptica da atmosfera, no infravermelho.

Devido ao fato da superfície do planeta não encontrar-se em equilíbrio radiativo, τ assume um alto valor e no caso de Vênus $\tau = 150$. Com os valores retirados da Tabela 2.1 obtém-se:

$$T_{\text{sup}} (\text{Vênus}) = 740 \text{ k} \quad (2.2)$$

A estabilidade térmica da atmosfera de Vênus pode ser avaliada por alguns fatores. Próximo à superfície do planeta e na região das nuvens, localizadas entre 50 km e 60 km de altitude, a convecção é um fenômeno aparentemente uniforme. A diferença de temperatura entre o equador e os pólos varia de 5 K a 15 K, indicando uma grande eficiência na redistribuição da energia solar depositada em baixas latitudes. Na Terra esta diferença é da ordem de 45 K. Outro fator de estabilidade da atmosfera é a grande inércia térmica da baixa atmosfera, que funciona como um modulador para as variações diurnas e sazonais da temperatura.

Na Figura 2.2 é mostrado um perfil térmico da atmosfera de Vênus, para uma latitude de 30° , de acordo com Seiff (1983). No lado direito do gráfico encontra-se uma escala de pressão, que é logarítmica (Seiff et al., 1979). A temperatura diminui com a altitude até os 100 km, na troposfera e na estratosfera. Acima deste nível, durante o longo dia solar, a absorção dos fótons ultravioleta pelo CO_2 produz um aumento na temperatura com a altitude. A termosfera desaparece completamente durante a noite. Isto é devido ao resfriamento por radiação e devido ao transporte de calor, para regiões inferiores da atmosfera, ser mais rápido que a duração da noite.

A velocidade dos ventos em Vênus é notável e isto provoca uma super-rotação da atmosfera, no mesmo sentido de rotação - retrógrado - do planeta. No topo da camada de nuvens, em altitudes da ordem de 80 km, a velocidade atinge 120 m/s, de modo que esta camada gira em torno do planeta em apenas quatro dias terrestres, comparativamente ao seu período de rotação que é de 243 dias terrestres.

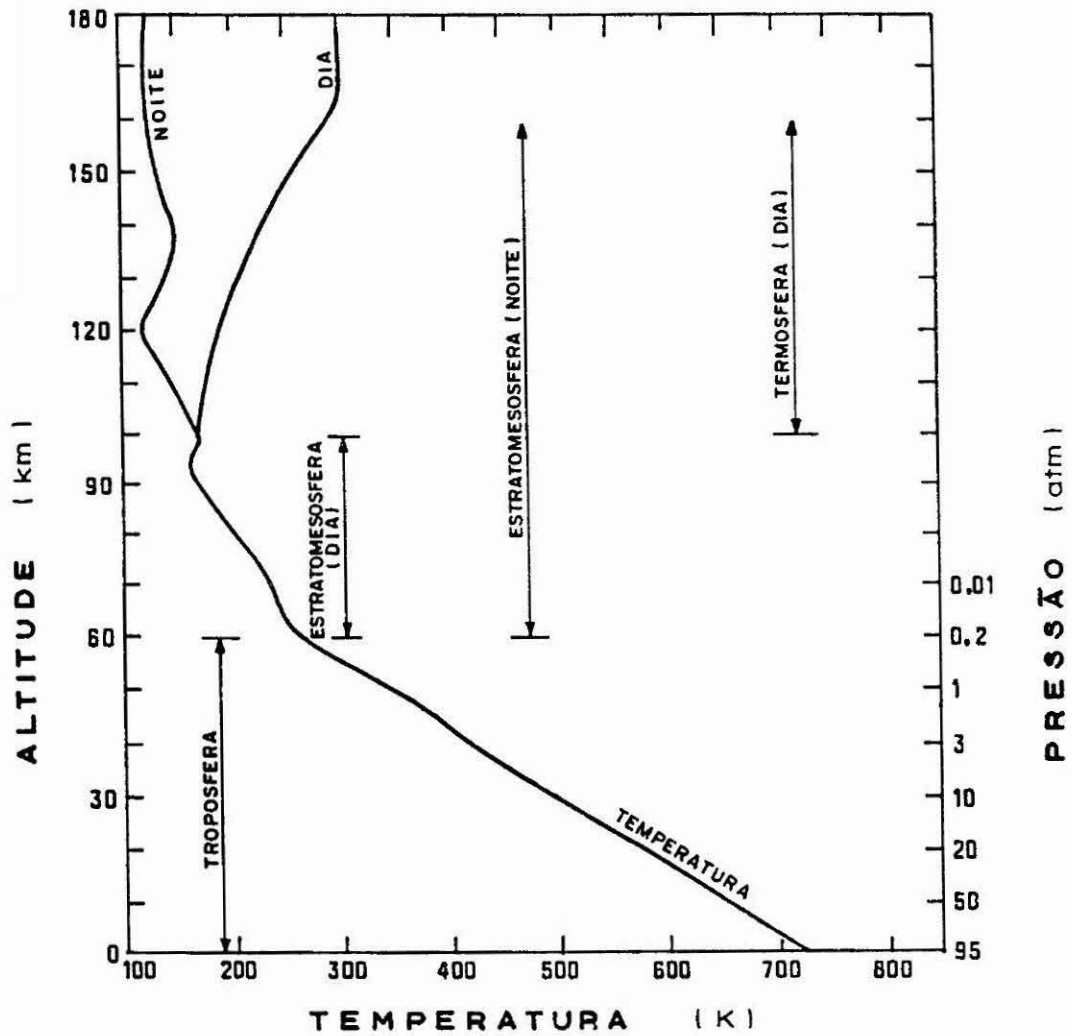


Fig. 2.2 - Perfil de temperatura e de pressão com a altitude em Vênus.

FONTE: Seiff (1983).

O nível zero corresponde a uma superfície de raio 6051 km. A pressão cai logaritmicamente com a altitude.

Prinn (1985) forneceu uma estimativa da distribuição dos gases que compõem a atmosfera de Vênus. O CO_2 domina com cerca de 96,5%, seguido pelo N_2 com 3,5%. O CO participa com apenas 0,002% na altitude de 22 km, enquanto atinge 0,1% a 100 km. A abundância de SO_2 é de 0,015% na altitude de 22 km e apenas $10^{-4}\%$ a 70 km. Ocorrem apenas 15 ppm de H_2O próximo à superfície; 0,01% (50 a 100 ppm) a 22 km de altitude e cerca de 0,002% na altitude de 70 km.

Na atmosfera de Vênus todos os componentes gasosos são controlados por processos abióticos, ou seja, sem a interferência de seres vivos. Um esquema do ciclo dos compostos do enxofre, de acordo com Prinn (1985), está ilustrado na Figura 2.3. Reações entre o dióxido de carbono e o vapor de água atmosféricos e minerais que contenham enxofre, como a FeS_2 (pirita de ferro), contida em lavas vulcânicas ou em interiores de vulcões, são as fontes dos gases que contêm enxofre. A partir dessas reações são produzidos gases como COS , H_2S e pequenas quantidades de SO_2 . A existência destas fontes depende de uma superfície muito quente e que seja reduzida quimicamente, combinada com a existência de atividade vulcânica. Com a utilização do oxigênio originado na foto-dissociação do CO_2 , reações fotoquímicas causadas por fótons ultravioleta convertem o COS e o H_2S em enxofre elementar e em SO_2 . Sofrendo nova oxidação o SO_2 converte-se em partículas de H_2SO_4 , que irão formar uma neblina de baixa densidade, em uma região situada entre 50 km e 70 km de altitude, acabando por cobrir todo o planeta. Partículas de enxofre elementar e de ácido sulfúrico absorvem a radiação ultravioleta, podendo ser a causa de diversas formas de absorção observadas em imagens no ultravioleta de Vênus. A oxidação do COS e do H_2S faz com que a concentração do SO_2 na atmosfera exceda seu valor de equilíbrio com minerais da superfície que contenham cálcio em sua composição. A erosão, causada pelos agentes atmosféricos prossegue envolvendo a alcalinização deste cálcio, para formar sulfato de cálcio (CaSO_4). Medidas realizadas com fluorescência de raios-X indicaram que o Ca^{2+} é muitas vezes mais abundante que o SO_4^{2-} nas rochas da superfície de Vênus, de maneira que há suficiente CaO disponível para remover o SO_2 .

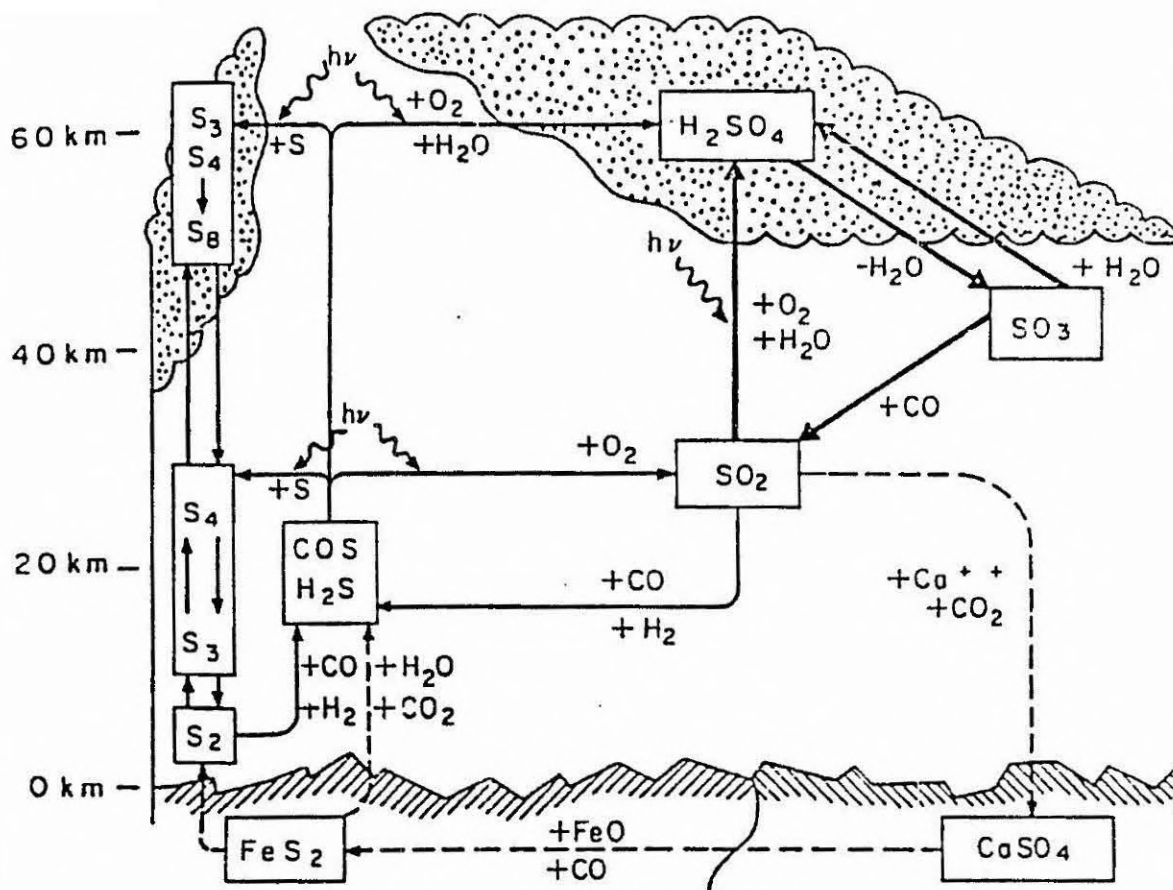


Fig. 2.3 - Esquema do ciclo dos compostos do enxofre na troposfera da atmosfera de Vênus.

FONTE: Prinn (1985).

Notar a forte dependência das reações com a iluminação.

Na atmosfera de Vênus há outro ciclo importante. Trata-se do ciclo dos compostos do cloro e do hidrogênio que agem como fontes de catálise para reações fotoquímicas. Young e De More (1982) sugerem um esquema da função destes compostos na atmosfera de Vênus, que é ilustrado pela Figura 2.4. A foto-dissociação do HCl produz cloro e hidrogênio, que iniciam uma série de reações que recombina CO , O e O_2 .

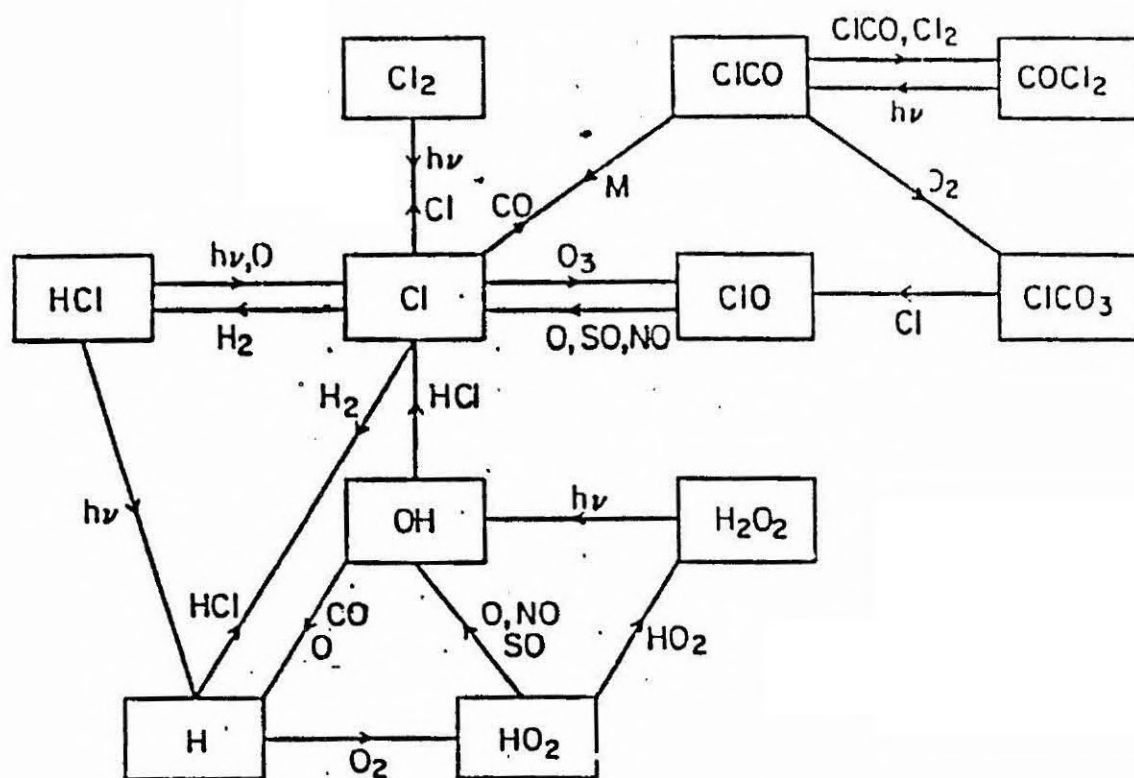


Fig. 2.4 - Esquema da ação dos compostos de hidrogênio e do cloro na estratosfera de Vênus.

FONTES: Young e De More (1982).

Estas substâncias são os agentes catalíticos na atmosfera de Vênus.

2.2 - HISTÓRICO DAS RADIOBSERVAÇÕES DE VÊNUS

Mayer et al. (1958) efetuaram as primeiras medidas da emissão do planeta Vênus, em comprimentos de onda rádio. Estas observações foram realizadas nas frequências de 9,5 GHz (3,15 cm) e de 3,2 GHz (9,4 cm). As temperaturas de brilho obtidas foram de 595 ± 55 K no comprimento de onda de 3,15 cm e de 580 ± 160 K em 9,4 cm. A temperatura de brilho média de aproximadamente 600 K sugeriu um espectro térmico, nesta faixa de frequência, para a radiação de Vênus.

O primeiro modelo teórico de atmosfera de Vênus foi proposto por Sagan (1960). Este modelo assume que a alta temperatura, de cerca de 600 K, seria originada na superfície do planeta. Um efeito

estufa, devido em grande parte ao vapor de água, seria o responsável por esta alta temperatura. A absorção em comprimentos de onda milimétricos seria causada por cristais de gelo contidos na camada visível de nuvens.

Barrett (1961) e Opik (1961) também construíram modelos para a atmosfera de Vênus. Ambos consideraram que a radiação centimétrica possui origem térmica proveniente da superfície do planeta, ou próxima a ela. Em comprimentos de onda milimétricos a temperatura de brilhância seria diminuída pela absorção atmosférica, principalmente devido ao dióxido de carbono. No modelo de Barrett (1961) a composição química adotada é de 75% de CO_2 e 25% de N_2 , com pequenas quantidades de vapor de água, a alta pressão. Tanto o modelo de Barrett (1961), como o modelo eólico-esférico de Opik (1961), sugerem temperaturas de brilhância inferiores a 400 K, em comprimentos de ondas menores que 8 mm.

Próximo a conjunção inferior que ocorreu em novembro de 1962 foram realizadas as primeiras observações de Vênus, no comprimento de onda de 1,35 cm. Gibson e Corbett (1963) obtiveram uma temperatura de brilhância de 520 ± 40 K para o planeta.

Gibson (1963) apresenta resultados com incertezas máximas de 10% no comprimento de onda de 8,6 mm. A temperatura de brilhância média obtida foi de 410 K.

Resultados observacionais no comprimento de onda de 4,3 mm foram publicados por Grant et al. (1963). As medidas foram realizadas 40 dias antes e 54 dias após a conjunção inferior de 11 de abril de 1961. Neste comprimento de onda a temperatura de brilhância média obtida foi de 350 K com incertezas de +50 K e de -30 K. Os resultados não indicaram variação da temperatura de brilhância associada ao ângulo de fase. Estudando o espectro de microondas disponível, sugeriram que o vapor de água deveria ser considerado como um importante absorvedor, em comprimentos de onda compreendidos entre 1,0 cm e 2,0 cm. Na faixa de 1,0 cm a 3,0 cm deveriam ainda serem considerados

como absorvedores outros gases, bem como aerossóis e partículas de poeira.

A interpretação de Deirmendjian (1964) do espectro contínuo de microondas de Vênus, na região de comprimentos de onda compreendidos entre 4 mm a 21 cm, é que a absorção seria devida a um denso véu de nuvens de água. A composição das nuvens poderia ser de cristais de gelo, gotículas líquidas e grandes gotas de chuva.

Pollack e Sagan (1965) tentaram demonstrar que a teoria de condução térmica e transferência radiativa em sólidos pode produzir uma explicação auto-consistente para o efeito de fase, observado em função do comprimento de onda. Eles alertam que o efeito combinado da rotação e da translação do planeta pode originar uma função temporal periódica para a temperatura em um determinado ponto na superfície de Vênus.

Medidas da temperatura do disco planetário, nos comprimentos de onda de 11 cm, 21 cm, 31 cm e 48 cm, efetuadas nos dias próximos à conjunção inferior que ocorreu em junho de 1964, foram realizadas por Kellermann (1966). Os resultados indicaram uma pequena diminuição na temperatura efetiva, de 600 K em comprimentos de onda centimétricos para 500 K em comprimentos de onda decimétricos. Em 11 cm, foi notada pouca ou nenhuma variação da temperatura, associada com o ângulo de fase.

Pollack e Morrison (1970) tentaram determinar alguns parâmetros atmosféricos a partir do espectro de microondas. A estrutura de pressão do modelo construído foi baseada nas medidas efetuadas pelas sondas soviéticas Venera 4, 5 e 6 e da americana Mariner 5. A composição química adotada foi de 90% de CO_2 e o restante de N_2 . Considerou-se ainda vapor de água e partículas de pó em suspensão. A partir de uma temperatura de brilho medida de 495 ± 35 K, no comprimento de onda de 1,94 cm, eles estimaram uma abundância molar de 0,35% a 1,5% para o vapor de água. O raio de Vênus foi estimado entre 6049,5 km e 6052,5 km. A temperatura superficial situou-se em

770 ± 25 K e a pressão superficial em 95 ± 20 atm, com o dióxido de carbono podendo variar entre 80% e 100%. Acreditando no papel absorvedor da água, em comprimentos de onda centimétricos, sugerem a realização de medidas com incertezas menores que 5%, em comprimentos de onda compreendidos entre 1,0 cm e 1,6 cm.

Até 1970 o espectro publicado de Vênus, em microondas, apresentava incertezas maiores que 10%. Por outro lado, os constituintes da atmosfera e as suas taxas de mistura ainda não eram bem determinados.

Utilizando resultados disponíveis de temperatura de brilhância em rádio, curva de ocultação da sonda Mariner 5, interferometria de alta resolução e experimentos de radar, Muhleman et al. (1979) apresentaram um modelo da superfície e da atmosfera de Vênus. A fração molar do CO_2 foi de $95 \pm 3\%$, a fração molar combinada do nitrogênio e argônio foi de $5 \pm 3\%$ e a opacidade atmosférica total, no comprimento de onda de 1 cm foi de $19,4 \pm 1,3\%$. O raio médio do planeta foi estimado em 6050,7 km e a opacidade total devido a outras espécies químicas, diferentes do CO_2 , foi estimada em $45 \pm 12\%$. A constante dielétrica da superfície foi de $4,1 \pm 0,2$. A mistura N_2 e Ar foi sugerida uma vez que o índice de refração do Ar é semelhante ao índice de refração do N_2 .

Resultados observacionais de Law e Staelin (1968) e de Janssen (1972) situam a temperatura de brilhância de Vênus na faixa de 436 ± 39 K a 550 ± 26 K, para comprimentos de onda compreendidos entre 1,2 cm e 1,5 cm.

Em comprimentos de onda próximos a 1,35 cm, Janssen e Klein (1981) obtiveram uma temperatura de brilhância de 517 ± 21 K para o disco de Vênus. Sugeriram também que a opacidade nestes comprimentos de onda poderia ser devida ao SO_2 , H_2O e partículas de H_2SO_4 gasoso.

CAPÍTULO 3

EQUIPAMENTO E TÉCNICA OBSERVACIONAL

Os resultados observacionais, apresentados neste trabalho, foram obtidos com o auxílio da antena de 13,7 m do Rádio Observatório do Itapetinga. Embora o objetivo principal não tenha sido o estudo do equipamento observacional, este recebeu cuidado especial, pelos motivos que se seguem. Como colocado no Capítulo 1, a variação da temperatura de brilhância de Vênus ainda não é um problema bem determinado. No intuito de monitorar alguma possível variação desta temperatura, o equipamento deveria encontrar-se sob controle. Por outro lado, devido às altas relações sinal/ruído envolvidas, provavelmente acima de duas vezes três sigma, a tarefa seria enormemente facilitada. Um outro aspecto diz respeito às incertezas nas medidas. Na literatura disponível as barras de erro das temperaturas de brilhância de planetas são menores ou da ordem de 5%. Baseado nestes aspectos é que realizaram-se medidas cuidadosas, bem como um elaborado estudo do radiotelescópio. Todos os pontos possíveis de medidas diretas bem como de monitoração instantânea, no instante das observações, estão considerados nas seções a seguir.

3.1 - A ANTENA

O Rádio Observatório do Itapetinga (ROI), do Centro de Radioastronomia e Astrofísica Mackenzie (CRAAM), operado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), está localizado no município paulista de Atibaia. Seu principal recurso experimental é o radiotelescópio com antena de 13,7 m de diâmetro. Constituída de painéis de alumínio e na forma de parabolóide de revolução, a antena utiliza desenho Cassegrain. As principais características do radiotelescópio encontram-se listadas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RADIOTELESCÓPIO DO ITAPETINGA

| | | |
|------------------------------|--------------|-----------------|
| Localização: | | |
| - Latitude | (IBGE, 1984) | 23°11' 5".077 S |
| - Longitude | (IBGE, 1984) | 46°33'28".428 E |
| - Altitude | | 800 m |
| Magnificação | | 10.8 |
| Diâmetro refletor secundário | | 1.10 m |
| Distância focal do vértice | | 5.08 m |
| Distância do foco Cassegrain | | 54.4 m |

A antena é montada em sistema alto-azimutal, encontrando-se protegida por domo rígido de alumínio e película plástica semi-transparente à radiação eletromagnética. O fato de a antena encontrar-se sob a proteção de um domo permite a obtenção de apontamento de feixe sempre melhor que 20 segundos de arco, sob quaisquer condições de vento e variações de temperatura externa.

Em 1988 encontravam-se disponíveis no ROI receptores para as frequências de 22 GHz, 30 GHz, 43 GHz e 90 GHz. Os receptores são montados no foco Cassegrain da antena, sendo alimentados por cornetas. Neste trabalho foram utilizados os receptores para 22 GHz e 43 GHz, que são alimentados por duas cornetas retangulares. Uma corneta é sensível à radiação polarizada com o vetor campo elétrico na vertical, enquanto que a outra corneta aceita o campo elétrico horizontal. A Figura 3.1 ilustra uma vista frontal das cornetas alimentadoras, dos receptores de 22 GHz e 43 GHz, montadas no foco Cassegrain da antena.

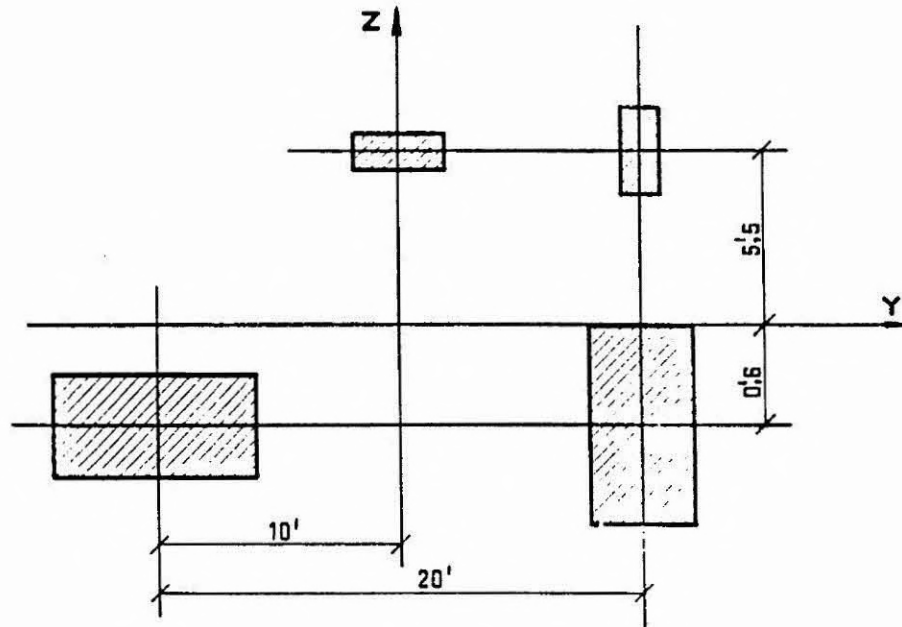


Fig. 3.1 - Vista frontal em corte da configuração das cornetas dos receptores de 22 GHz e 43 GHz.

As medidas são típicas e a unidade é minuto de arco. y e z são os eixos da região focal.

Como ilustrado pela Figura 3.1, as cornetas são montadas fora do eixo, na região focal. Segundo Baars (1970), para radiotelescópios com montagem Cassegrain, este fato não representa um sério problema. Montando-se o espelho hiperboloidal na região focal primária do refletor parabólico, a radiação será concentrada em um ponto próximo ao vértice do espelho parabólico. Obtém-se, então, o ponto focal da superfície refletora primária coincidindo com o foco do espelho hiperboloidal. Desta forma o sistema comporta-se de maneira análoga a uma antena de foco primário, com distância focal muito grande reduzindo-se, em consequência, o efeito de coma.

3.2 - O RADIÔMETRO

O receptor de um sistema radiométrico tem o propósito de selecionar e amplificar o sinal recebido pela antena. É fundamental a correta reprodução da amplitude e das características espectrais do sinal de entrada. Mesmo em ampla faixa dinâmica de amplitude, é exigida linearmente na saída do receptor. No sinal a ser amplificado o receptor deve ainda, introduzir o mínimo possível de ruído.

Neste trabalho foram utilizados receptores de potência total, operando no contínuo de microondas. Neste tipo de receptor é possível considerar toda a potência como sendo a originária de um resistor hipotético, a determinada temperatura, colocado em sua entrada. Desta forma, é possível escrever:

$$P = k T B \quad (3.1)$$

onde: P é a potência, em watts, devido a uma carga ou um resistor mantido a uma temperatura T, em graus Kelvin,

$k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann e

B é a largura de faixa dinâmica de pós-deteccção, em hertz.

Os receptores de potência total, disponíveis no ROI, para as frequências de 22 GHz e 43 GHz são do tipo super-heterodino. A Figura 3.2 ilustra o diagrama de blocos de um receptor de potência total super-heterodino. Está também ilustrada a forma do sinal recebido e seu espectro ao passar através de cada seção do receptor.

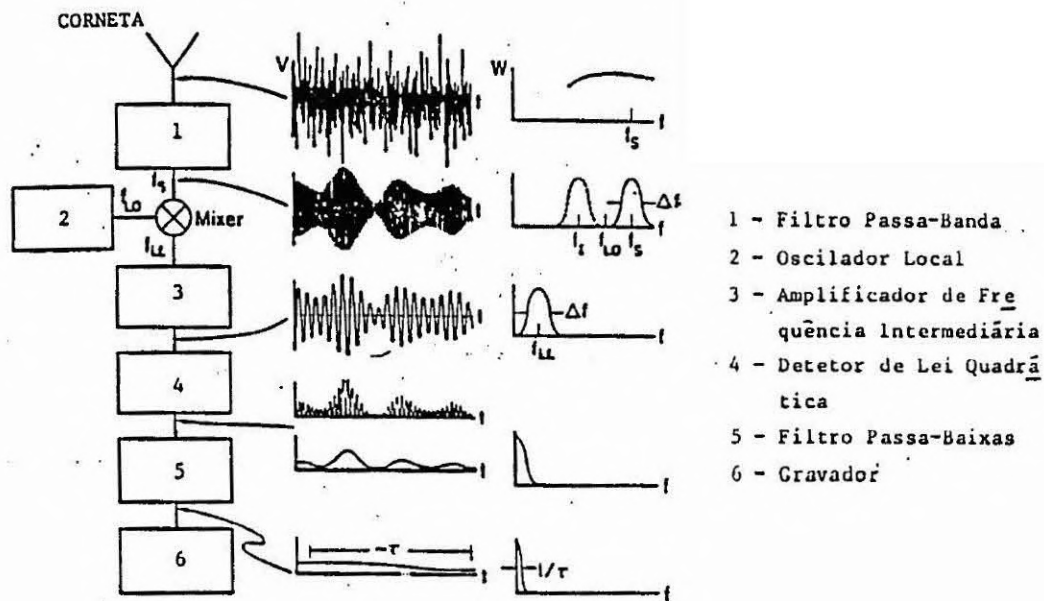


Fig. 3.2 - Diagrama em blocos de um receptor genérico super-heterodino de potência total.

FONTE: Price (1976).

No receptor super-heterodino o sinal coletado pela corneta alimentadora (f_B) pode ou não sofrer amplificação, sendo misturado com sinal fornecido por um oscilador local (f_{LO}). O sinal resultante, de frequência intermediária (f_x), é amplificado e detectado em um detetor de lei quadrática. Após integração ou alisamento o sinal de saída é gravado e/ou graficado em um registrador.

O diagrama em blocos da Figura 3.3 mostra os principais componentes do receptor de 22 GHz do Itapetinga. Para a frequência de 43 GHz o receptor recebe, basicamente, o acréscimo de um dobrador para a frequência do sinal do oscilador local e 2 cornetas apropriadas a esta frequência.

Os receptores que operam no contínuo de microondas recebem uma radiação que possui densidade espectral aproximadamente cons-

tante, em toda a largura de faixa observada. São sinais que se assemelham a ruído, que originam na entrada do receptor uma diferença de potencial (ddp). Com boa aproximação esta ddp pode ser representada como um ruído branco gaussiano (Price, 1976). Por conveniência, este sinal pode ser escrito em termos de temperatura, pela relação:

$$T_M = T_o \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_o}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.2)$$

onde: T_M é a temperatura de uma fonte observada pelo radiotelescópio, em Kelvin,

T_o é a temperatura de pico,

σ é o desvio padrão,

$(x - x_o)$ é o erro de apontamento.

É possível ainda corrigir a temperatura observada por eventuais erros de apontamento, com o auxílio da Expressão (3.2). Por outro lado, uma vez que o domo rígido introduz uma atenuação no sinal recebido, a temperatura medida deve ser corrigida também pelo coeficiente de transmissão do domo rígido (η_r). Assim, a temperatura da fonte observada, S pode ser escrita como:

$$T_S = \frac{T_M}{\zeta \eta_r} \quad (3.3)$$

sendo que o fator de correção $-\zeta$ - devido a erros de apontamento é dado por:

$$\zeta = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_o}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

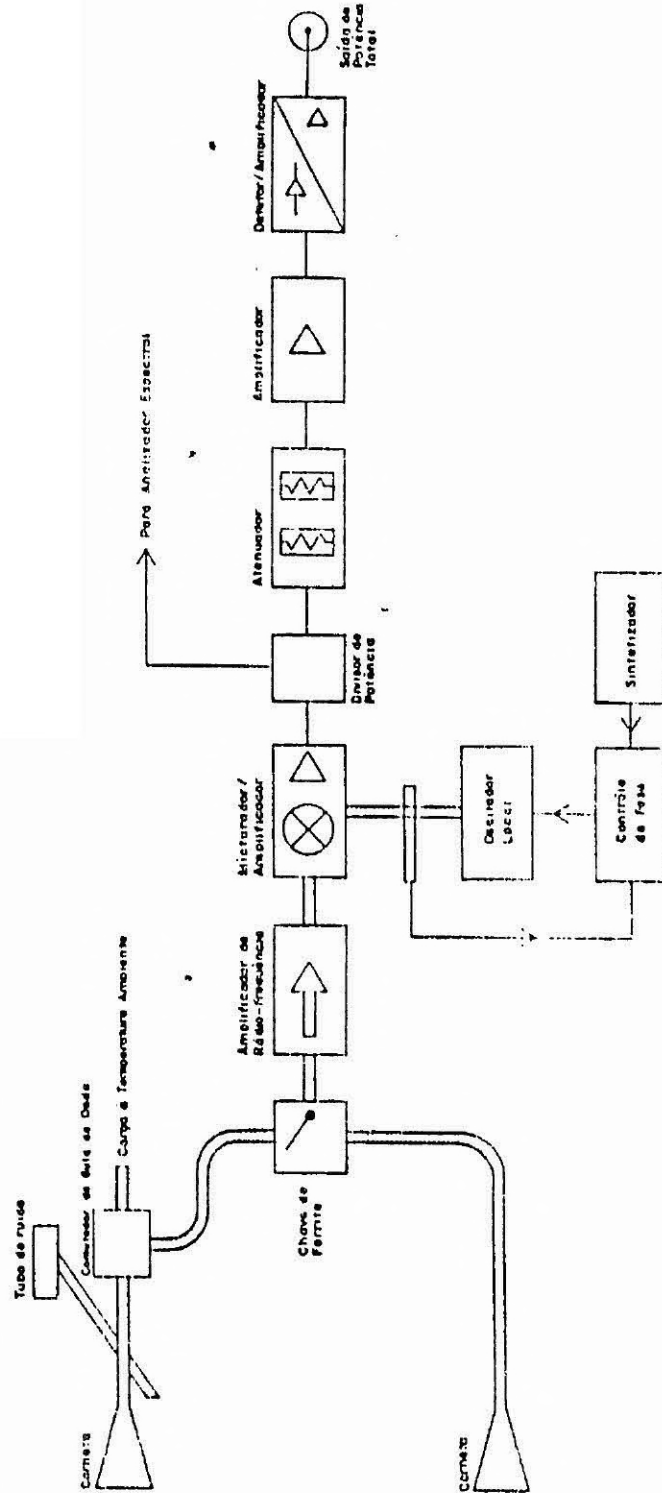


Fig. 3.3 - Diagrama em blocos do receptor de potência total para 22 GHz do Itapetinga.

3.3 - A TEMPERATURA DO SISTEMA

A temperatura de sistema, T_{SYS} , é a temperatura do ruído de todo o sistema observacional. É composta da temperatura de antena T_A , que deve incorporar uma correção por perdas na linha, desde o alimentador (corneta) até a entrada do receptor, mais a temperatura do receptor T_R . Todas estas temperaturas são referidas à entrada do receptor. Assim:

$$T_A = T_B + T_b + T_{ATM} + T_{BL} \quad (3.5)$$

onde: T_B é a temperatura devido a fonte observada,
 T_b é a temperatura de ruído de fundo do céu, no qual a fonte é medida,
 T_{ATM} é a temperatura devido à radiação produzida pela atmosfera,
 T_{BL} é a temperatura coletada pela antena fora do lóbulo principal, ou seja, pelos lóbulos secundários, incluindo radiação do céu e da superfície terrestre ("spillover").

No caso do radiotelescópio do Itapetinga, a Equação (3.6) tem um termo adicional. Uma vez que a antena é protegida por domo rígido, deve-se considerar também a temperatura devida a irradiação do domo, T_{RD} .

A temperatura do sistema é então escrita:

$$T_{SYB} = T_A + T_R + T_{RD} \quad (3.6)$$

A temperatura do receptor T_R é a temperatura equivalente do receptor, cujo ruído intrínseco não é uma constante, mas é devido quase todo a seus componentes eletrônicos tais como diodos, flanges, isoladores, cornetas e acoplamentos.

A Figura 3.4 ilustra um registro de determinação da temperatura do sistema. Para o receptor de 22 GHz o tubo de ruído é um "excess noise", ou seja, seu ruído é enviado ao receptor juntamente com o ruído do céu.

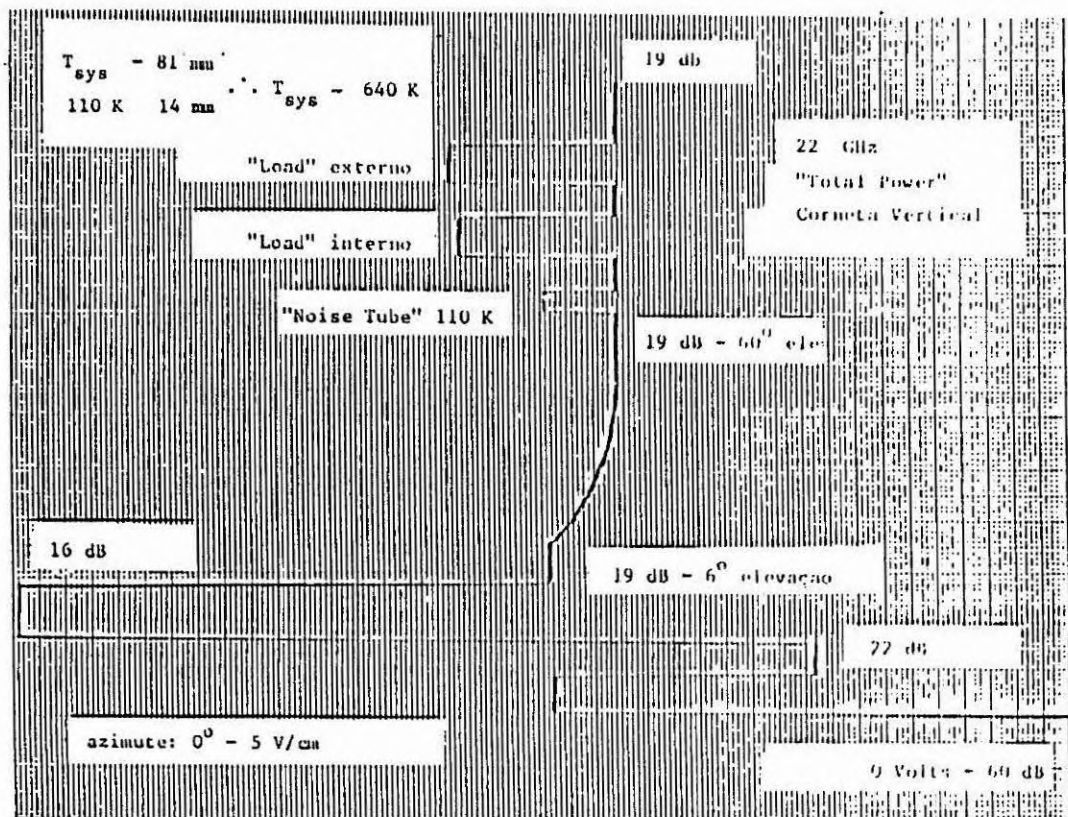


Fig. 3.4 - Determinação da temperatura de sistema de um receptor de potência total.

A Tabela 3.2 apresenta as temperaturas de sistemas para as frequências de 22 GHz e 43 GHz, da antena de 13,7 m do Itapetinga.

TABELA 3.2

TEMPERATURAS DE SISTEMA

| FREQÜÊNCIA (GHz) | TEMPERATURA DE SISTEMA (K) |
|---------------------|-------------------------------|
| 22 | 650 ± 50 |
| 43 | 950 ± 80 |

3.4 - MÉTODO OBSERVACIONAL

A observação dos objetos celestes foi realizada com a utilização do método observacional de varreduras pela fonte ("scan"). Para este método, o sistema de aquisição de dados apresenta um formato de saída das medidas, ilustrado na Figura 3.5, que facilita a correção da temperatura observada, devido a erros de apontamento da antena, bem como possibilita a constante verificação do rastreo e do apontamento da antena.

O método de varreduras pela fonte utiliza apenas uma corneta. Pode-se escolher a corneta que aceita radiação polarizada horizontalmente ou a corneta para polarização vertical, mas foi utilizada a corneta vertical, dada a existência de um tubo de ruído nesse ramo (Figura 3.3).

No método de varreduras pela fonte o feixe da antena varre o céu repetidamente, a intervalos temporais de 20 segundos. A amplitude de cada varredura foi de 60 minutos de arco em 22 GHz e de

30 minutos de arco em 43 GHz. Dependendo da intensidade da fonte, uma observação pode constar de 10 varreduras (cerca de 3 minutos) até 30 varreduras (10 minutos), precedidas de uma calibração. A calibração será discutida na Seção 3.7. Cada um destes conjuntos de varreduras (uma observação) é realizado de 6 a 8 vezes.

Durante este trabalho o rastreamento da antena de 13,7 m do Itapetinga esteve confiado a um computador HP 2114B acoplado a um relógio com padrão de tempo sideral Ebauches. A saída do radiômetro de potência total é ligada a um sistema de aquisição de dados. Um voltímetro analógico-digital HP3480D, com "scanning" HP3485A, uma calculadora HP modelo 9810 ligada a um "plotter" x-y e gravador de fitas cassete formam o sistema de aquisição de dados.

Ao varrer o céu e passar pela fonte o feixe da antena produz, na saída do sistema de aquisição de dados, um conjunto de 43 pontos alinhados. Já estão desconsiderados os pontos que são perdidos devido à estabilização da antena. A saída do sistema de aquisição de dados fornece um gráfico intensidade versus posição angular, conforme ilustrado pela Figura 3.5. As cruzes representam cada um destes pontos. A forma adquirida por esses pontos reproduz a forma do diagrama de radiação da antena. Não ocorrendo falha de rastreamento e a antena encontrando-se corretamente apontada, a fonte deverá estar sobre os nove pontos centrais, dos 43. Uma curva de distribuição gaussiana pode ou não ser ajustada sobre estes pontos. Na Figura 3.5 esta curva é representada pela linha contínua. Os pontos laterais são as medidas do céu, constituindo uma linha de base.

O gráfico da Figura 3.5 ilustra uma observação de Vênus, em 43 GHz, realizada dia 09/06/1988. A relação de calibração Kelvin/Volt será discutida na Seção 3.7. O erro refere-se ao ajuste da curva de Gauss aos pontos medidos. O valor de $x_{\text{máx}}$ da gaussiana corresponde ao erro de apontamento. HPW é a largura de feixe aparente, à meia potência, medida.

```

SCAN 20 SEG
AMPLITUDE (MIN)
DX (MIN)      30.
CAL. KELVIN   0.5
              295.
CEU
LOAI
CEU
KELVIN/VOLT
4.002197217
NO. DE SCANS
              10.

FILE
              99.
T MAX        12.648
T MIN        -0.131
RUIAO
X MAX        0.059
              0.0

LIMITES
              13.300
              -1.000

GAUSSIANA
T MAX        12.729
ERRC
X MAX        0.041
              -0.1
HFU
              2.3

```

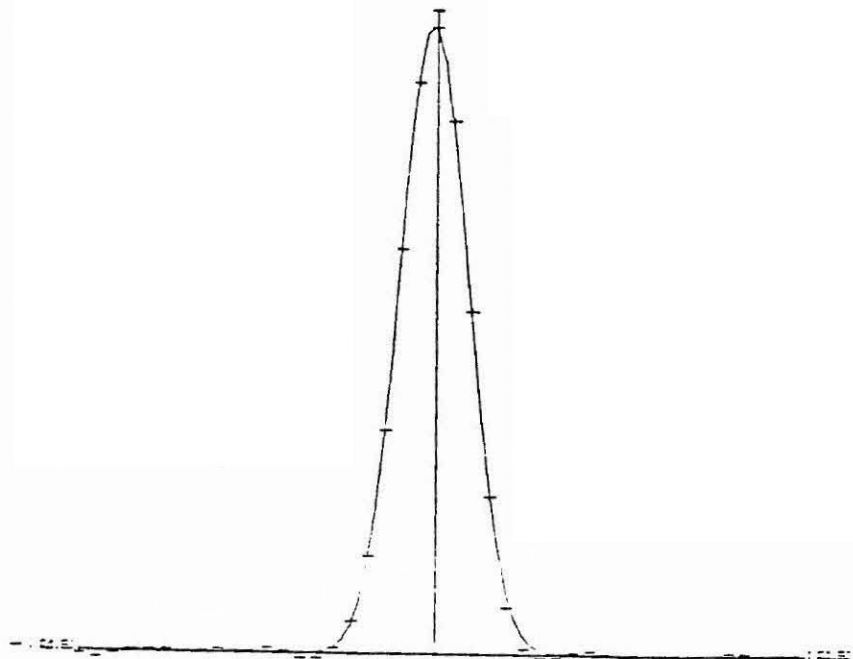


Fig. 3.5 - Gráfico Intensidade x posição angular.

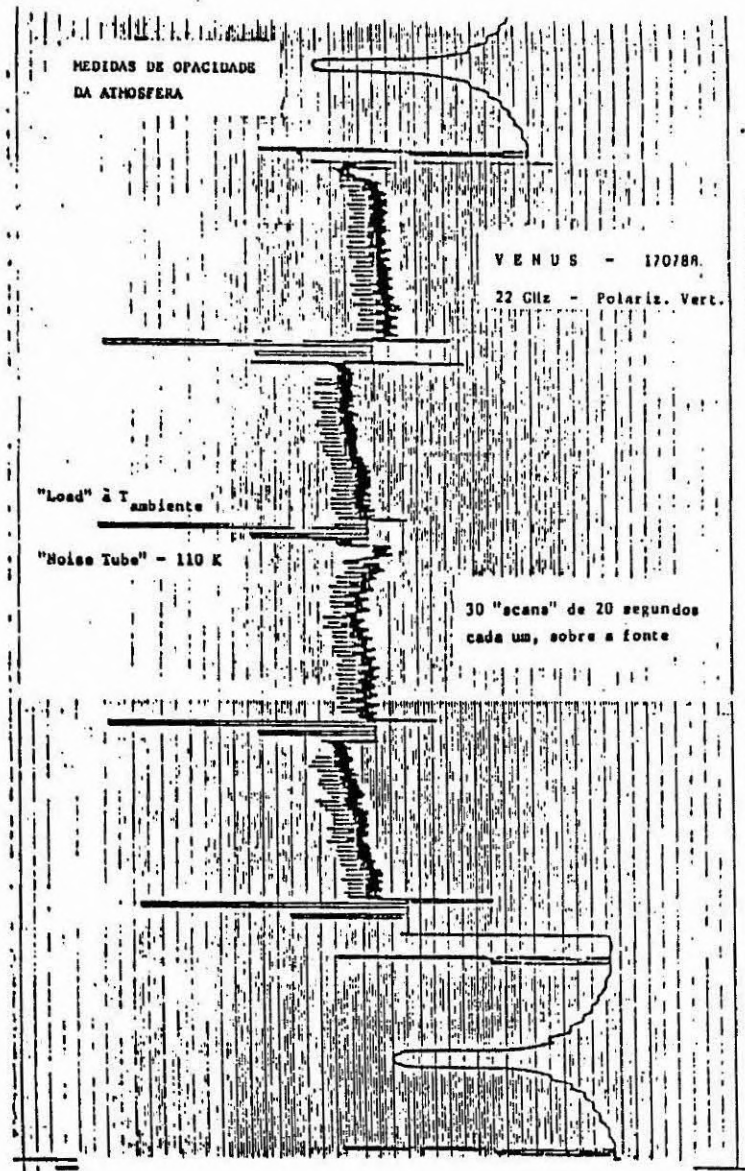


Fig. 3.6 - Registro de uma seção observacional.

A verificação do apontamento da antena e a correção da temperatura medida, devido a eventuais erros de apontamento, foram conseguidas com a realização de observações com varreduras em azimute e em elevação, alternadamente. Na primeira situação o rastreio é executado mantendo-se a elevação constante. No caso em que se faz varredura em elevação, o azimute mantém-se constante.

Nas seções observacionais foi possível operar com o apontamento da antena sempre melhor que 20 segundos de arco, nas duas frequências utilizadas.

A Figura 3.6 mostra um registro analógico de parte de uma seção observacional. A calibração foi feita com o auxílio de um tubo de ruído e uma carga à temperatura ambiente. Na oportunidade do exemplo também foram realizadas medidas de opacidade da atmosfera. Em 22 GHz o método de calibração adotado dispensa estas medidas. Ver a Seção 3.7. Todos os eventos estão assinalados na figura.

3.5 - CALIBRADORES ASTRONÔMICOS

A associação das temperaturas medidas com densidade de fluxo é realizada através da observação de fontes calibradoras astronômicas, de densidade de fluxo conhecida. A escolha do calibrador astronômico obedeceu a dois critérios principais:

- 1) Uma rádio fonte natural é reconhecida como uma fonte calibradora astronômica quando possuir posição conhecida e bem determinada, sendo livre de outros objetos que possam causar confusão. A dimensão do objeto deve ser pequena, preferencialmente menor que o tamanho do feixe da antena. A sua densidade de fluxo deve ser conhecida e não apresentar variações temporais. As características de polarização e o espectro em frequências também devem ser bem determinados (Wielebinski, 1976).

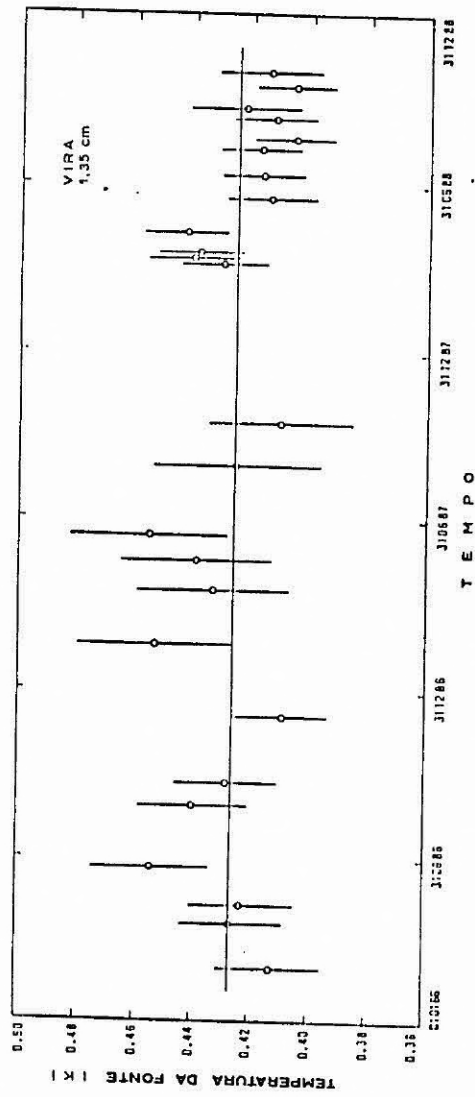


Fig. 3.7 - Comportamento temporal de VIR A em 1,35 cm, no período de 1986 a 1988.

O ajuste foi feito por uma reta de regressão linear.

- ii) Estar localizada em uma região do céu com declinação preferencialmente menor que 20° . Desta forma o objeto pode ser observado acima de 45° de elevação, região onde os efeitos de calibração podem ser melhor controlados.

Atendendo os requisitos acima, as fontes calibradoras observadas e utilizadas foram a rádio-galáxia 3C 274 (VIR A), a remanescente de supernova TAU A (Crab Nebula) e o planeta Júpiter. A Tabela 3.3 apresenta as principais características de TAU A e VIR A.

TABELA 3.3

CARACTERÍSTICAS DAS FONTES CALIBRADORAS

| FONTE | AR(1950) | | | DEC(1950) | | | FLUXO (Jy) | | NOTAS |
|----------------|----------|----|------|-----------|----|------|------------|--------|-------|
| | H | M | S | o | ' | " | 22 GHz | 43 GHz | |
| TAU A | | | | | | | | | |
| Crab Nebula | 05 | 31 | 31,5 | 21 | 58 | 54,8 | 397 | - | 1;2 |
| 3C 274 | | | | | | | | | |
| VIR A | 12 | 28 | 17,6 | 12 | 40 | 02,4 | 21,3 | 11,5 | 1 |

Notas: 1 - Janssen et al., 1974.

2 - Baars e Hartsujker, 1972.

A Figura 3.7 ilustra um gráfico de temperatura de antena contra o tempo, para a rádio-galáxia 3C 274, no comprimento de onda de 1,35 cm. As medidas estendem-se desde fevereiro de 1986 até outubro de 1988. Algumas destas medidas foram realizadas por Botti e Tateyama (1988), que utilizaram métodos e sistemáticas semelhantes às deste trabalho. As maiores barras de erro são inferiores ou da ordem de 6%.

A máxima variação entre o menor e o maior valor de temperatura obtido é de 12%. No período considerado ocorreram mudanças no conjunto que suporta as cornetas dos receptores e limpeza e pintura de parte do domo rígido. Estes fatos podem ter acarretado variação na iluminação das cornetas, influenciando diretamente na eficiência de abertura. Ocorreram ainda alterações e trocas nos radiômetros, podendo ter ocasionado alterações no ganho final da antena.

Tomando-se as temperaturas de antena de VIR A, no comprimento de onda de 1,35 cm, ano a ano, nota-se que elas se equivalem. É importante notar também a sugestão de uma possível variação sazonal nestas temperaturas. No período de interesse para o trabalho, isto é, durante o ano de 1988, a variação entre a maior e a menor temperatura foi de 9%. A desconexão notada entre maio e junho de 1988 é explicada pela realização de um experimento de VLBI (Very Long Baseline Interferometry).

A remanescente de supernova TAU A foi observada apenas algumas poucas vezes em 1988. Na frequência de 22 GHz os resultados de eficiência de abertura obtidos foram similares aos conseguidos a partir de VIR A. Taurus A é uma fonte extensa em 22 GHz, sendo bem maior que a dimensão do feixe da antena. O fator de correção, devido à dimensão da fonte é 1,14 (Janssen et al., 1974), nesta frequência. Para a observação de TAU A fez-se uso da técnica "scan de 3 pontos" (Tateyama, 1982). Esta técnica é utilizada para a observação de objetos celestes que possuem grande dimensão angular, comparativamente ao tamanho do feixe da antena.

As barras de erro das medidas serão discutidas na Seção 3.8.

Em 43 GHz apenas a radio-galáxia VIR A foi considerada e observada como fonte calibradora. Os resultados encontram-se na Figura 3.8. A maior variação entre os valores extremos da temperatura de antena não supera 10%, durante o decorrer do ano de 1988.

Uma outra fonte calibradora astronômica foi considerada e observada durante 1988. Foi o planeta Júpiter, cujos resultados das medidas efetuadas, nos comprimentos de onda de 1,35 cm e 0,7 cm, encontram-se na Figura 3.9. Esta figura apresenta um gráfico de temperatura de brilhância versus dia do ano 1988. A determinação da temperatura de brilhância foi feita com o auxílio das equações da Seção 4.1. As flutuações apresentadas na Figura 3.9 não aparecem na Figura 3.10. Isto se deve ao fato de que as temperaturas de brilhância, agora, foram calculadas com o valor médio da temperatura medida de VIRGO A, durante o ano de 1988, em ambos os comprimentos de onda. As temperaturas de brilhância média obtidas foram de 136 ± 10 K e de 142 ± 12 K, nos comprimentos de onda de 1,35 cm e de 0,7 cm, respectivamente.

3.6 - A EFICIÊNCIA DA ANTENA

A resposta de uma antena como função da direção é dada pelo diagrama de radiação da antena. Comumente este diagrama consiste de um número de lóbulos. A Figura 3.10 ilustra um diagrama de antena em coordenadas polares (a) e em coordenadas retangulares (b).

Na prática podem ser considerados dois diagramas, perpendiculares entre si (Kraus, 1966). Se a antena é linearmente polarizada, como é o caso da antena do ROI, existe um plano principal de abertura, ao longo do lóbulo principal.

Construtivamente obtém-se máxima eficiência de abertura para uma distribuição de abertura uniforme, enquanto que a máxima eficiência de feixe ocorre para altos valores de atenuação entre o lóbulo principal e o primeiro lóbulo nulo. Para a manutenção em um nível mínimo das contribuições dos lóbulos secundários, as cornetas alimentadoras, dos receptores do ROI, foram construídas de modo a fornecerem uma atenuação superior a 15 dB entre o lóbulo principal e o primeiro lóbulo nulo.

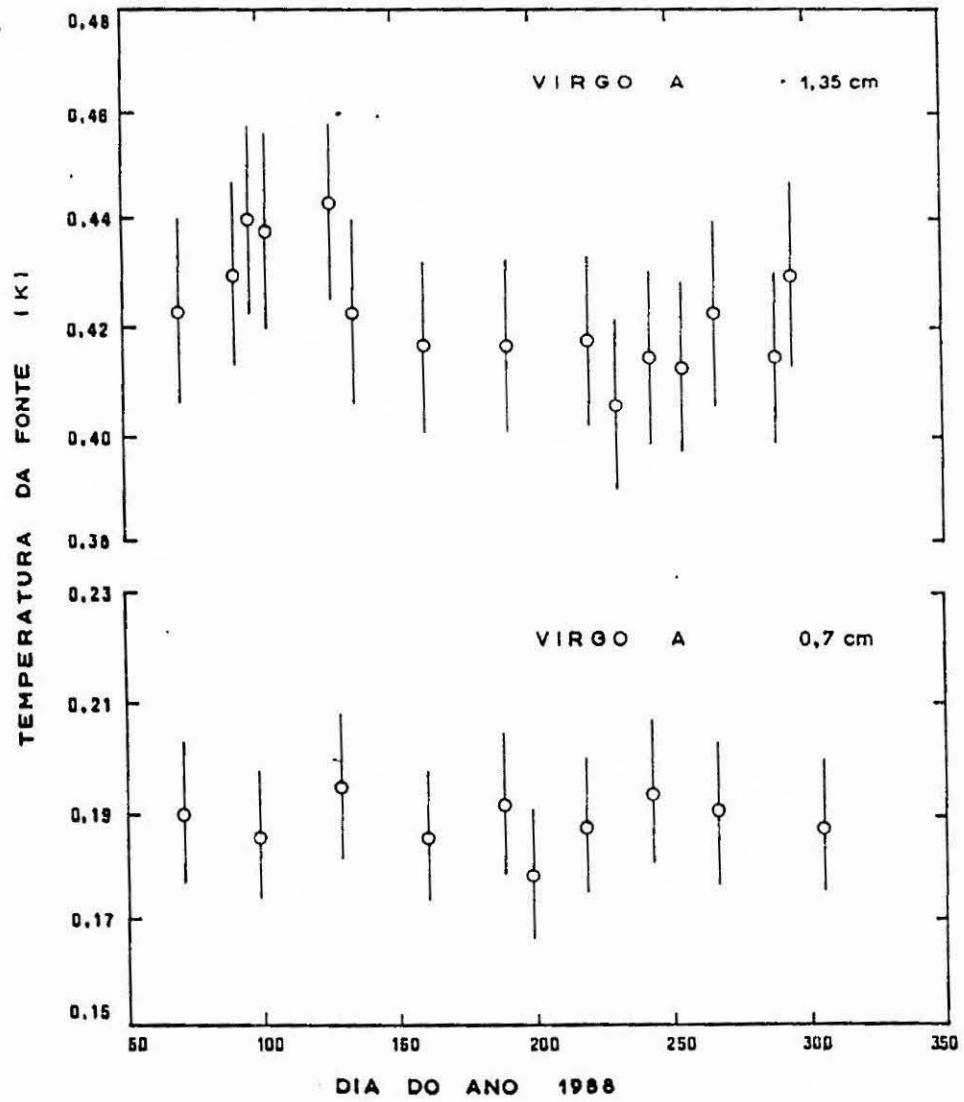


Fig. 3.8 - Comportamento temporal de VIR A em 0,7 cm e em 1,35 cm durante o ano de 1988.

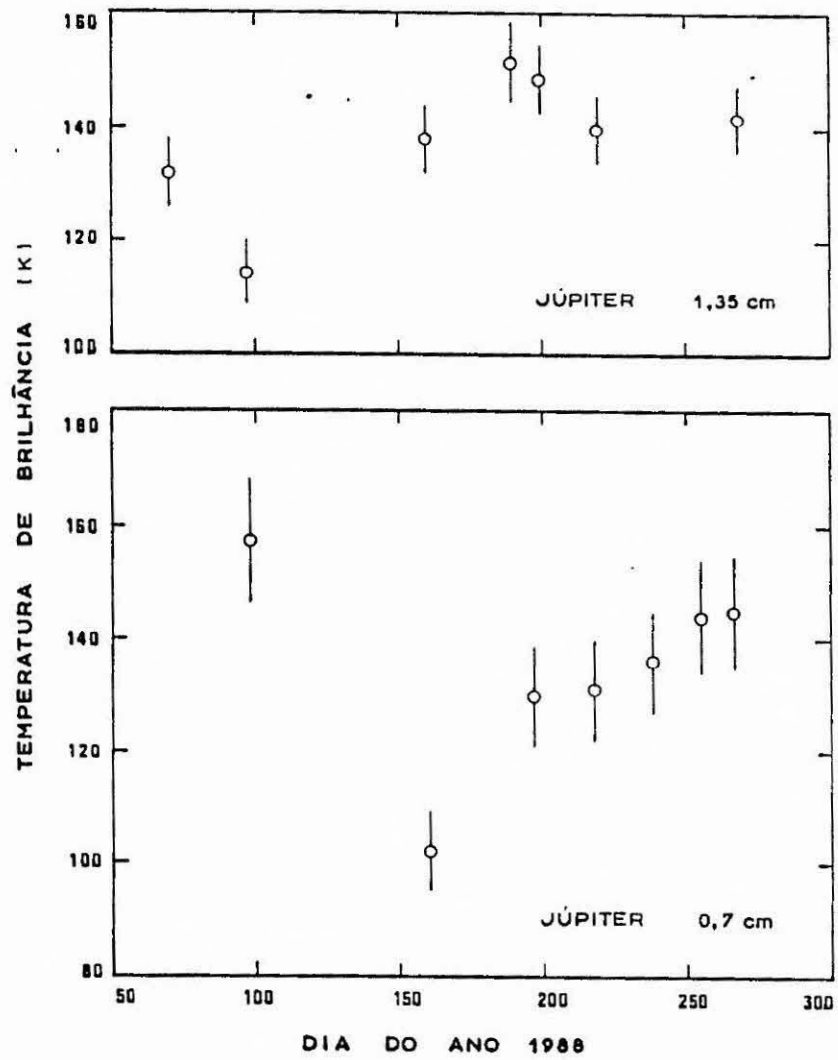


Fig. 3.9 - Resultados observacionais de Júpiter em 1,35 cm e em 0,7 cm durante 1988.

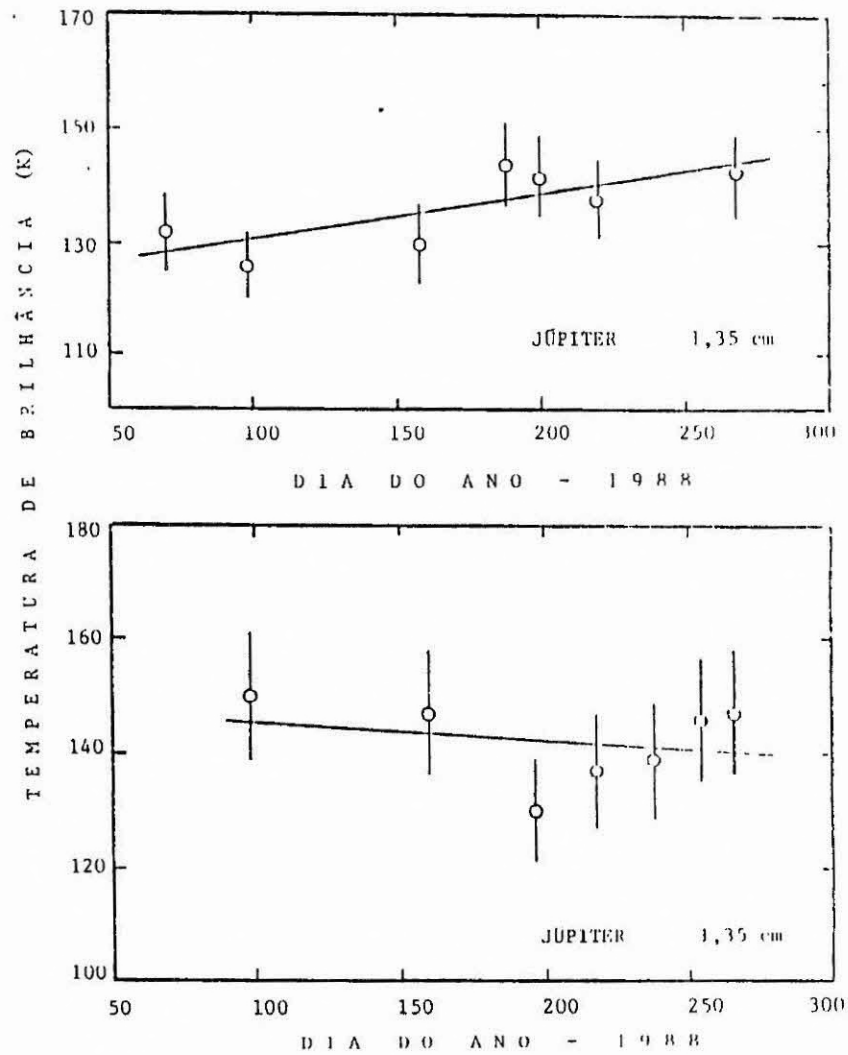


Fig. 3.10 - Resultados observacionais de Júpiter, nos comprimentos de onda de 1,35 cm e 0,7 cm, durante 1988.

As temperaturas de brilho foram calculadas a partir da média da temperatura medida de VIR A durante 1988. O ajuste foi feito por uma reta de regressão linear.

Com boa aproximação, a resposta de potência do lóbulo principal pode ser considerada como uma distribuição gaussiana, tanto para polarização horizontal como para polarização vertical. Estes dois feixes não são absolutamente simétricos. Os resultados deste trabalho foram obtidos com a utilização do feixe que aceita polarização vertical, para as frequências de 22 GHz e 43 GHz.

A largura de feixe a meia potência, ou HPBW (Baars, 1970) pode ser expressa pelo ângulo θ , em radianos, considerado a nível de meia potência, pela relação:

$$\theta = 1,220 \frac{\lambda}{D} \quad (3.7)$$

que nada mais é que o poder de resolução de um telescópio de abertura circular (Jenkins e White, 1981), sendo D o diâmetro da abertura circular, onde os limites do feixe formam a imagem primária.

Para a antena do Itapetinga $D = 13,7$ m. Os valores de θ calculados pela relação (3.8) encontram-se na Tabela 3.4.

Vários parâmetros da antena são determinados pelas relações a seguir (Kraus, 1966). A área efetiva da abertura da antena A_e é dada por:

$$A_e = \frac{2 k T_S}{S} \quad (3.8)$$

onde: $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann,

S é a densidade de fluxo em jansky, sendo que $1 \text{ Jy} = 10 \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$.

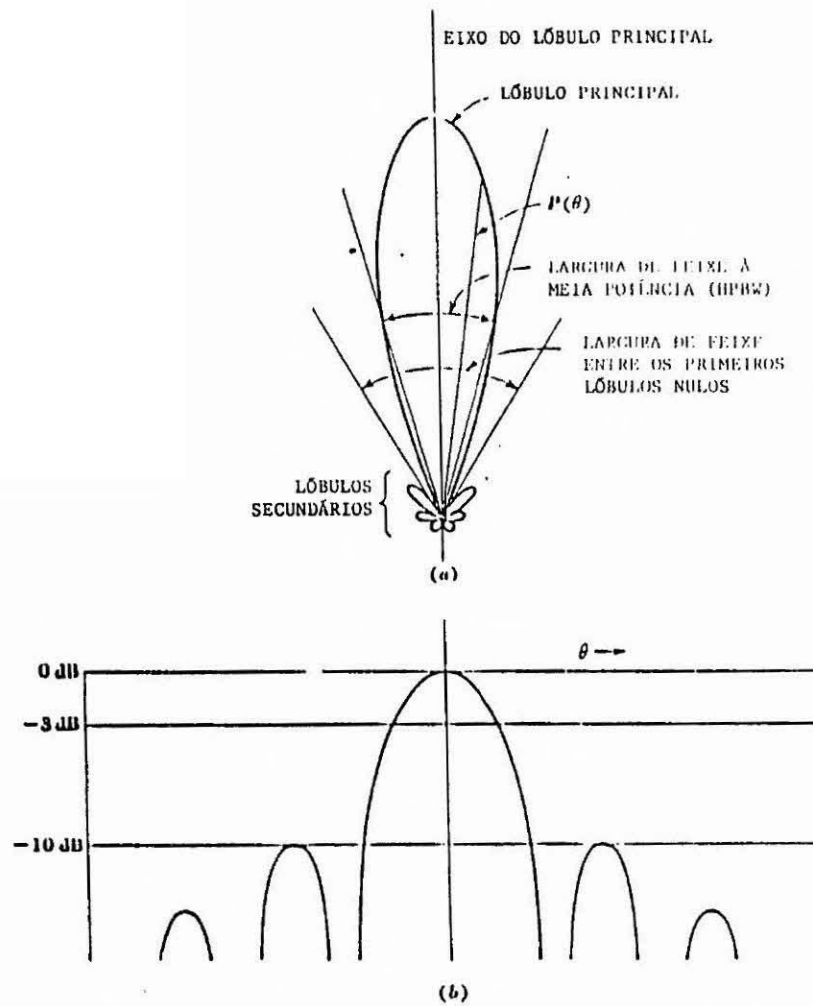


Fig. 3.11 - Diagrama de antena em coordenadas: (a) polares e escala de potência linear; (b) retangulares e escala de potência em decibel.

FONTE: Kraus (1966).

A eficiência de abertura - η_a é expressa pela relação:

$$\eta_a = \frac{A_e}{A_f} \quad (3.9)$$

sendo que A_f é a área física do refletor. No caso da antena de 13,7 m do ROI, $A_r = 147,4 \text{ m}^2$.

O ganho - G, em decibel é definido como:

$$G = 10 \log \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2} \quad (3.10)$$

e a eficiência de feixe η_m é dada por:

$$\eta_m = \frac{\Omega_m}{\Omega_A} \quad (3.11)$$

sendo que o ângulo sólido do lóbulo principal Ω_m é:

$$\Omega_m = \iiint P \, dr \quad (3.12)$$

e a área do feixe da antena Ω_A , ou ângulo sólido do feixe é dado por:

$$\Omega_A = \frac{\lambda^2}{A_e} \quad (3.13)$$

sendo que Ω_m e Ω_A são dados em esterorradiano.

Para a frequência de 22 GHz a eficiência de abertura obtida neste trabalho foi de 40%, o que equivale a um ganho de 66 dB. Em 43 GHz obteve-se uma eficiência de abertura de 32%, equivalente a 71 dB de ganho. As eficiências de feixe são as mesmas que as eficiências de abertura.

Os parâmetros da antena: eficiência de abertura, ganho e eficiência de feixe foram determinados com o auxílio das Equações (3.10), (3.11) e (3.12), respectivamente. A área efetiva do refletor parabólico, determinada pela Equação (3.9), foi conseguida com o auxílio observacional de fontes calibradoras astronômicas, de densidade de fluxo conhecida. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 3.4.

Os resultados observacionais obtidos permitem a construção de um gráfico de eficiência de abertura e ganho versus frequência e comprimento de onda, para a antena de 13,7 cm do Itapetinga. Os valores para 22 GHz e 43 GHz foram determinados a partir das observações apresentadas na Figura 3.8.

A Figura 3.12 apresenta um gráfico de eficiência de abertura e ganho versus frequência e comprimento de onda, para a antena de 13,7 m do Itapetinga. Os valores para 22 GHz e 43 GHz foram determinados a partir das observações mostradas na Figura 3.8.

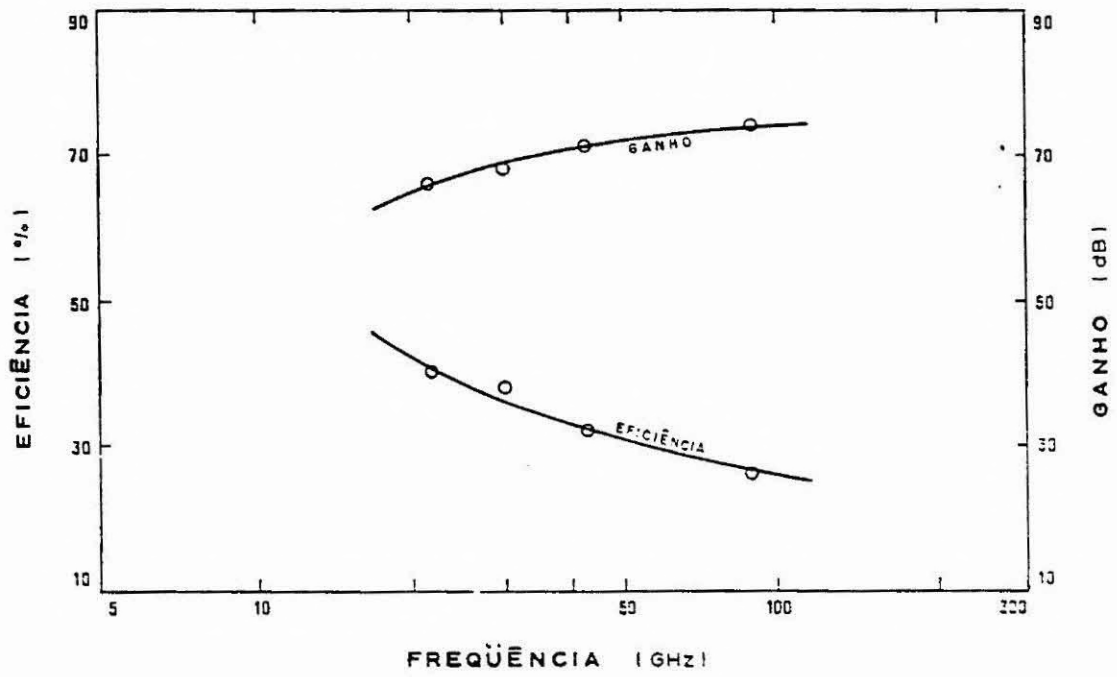


Fig. 3.12 - Eficiência de abertura e ganho da antena de 13,7 m do Itapetinga.

Em 30 GHz foi obtida uma eficiência de 38%, assumindo-se uma densidade de fluxo de 16 Jy para VIR A. As medidas foram realizadas em 1986. Em 90 GHz foi utilizada uma eficiência de abertura de 26%, correspondente a um ganho de 74 dB, de acordo com Kaufmann et al. (1987).

Ainda é possível uma outra avaliação da antena. O fator de degradação da antena é dado por Ruze (1953), e admitindo-se que a rugosidade dos elementos da superfície refletora possua distribuição aleatória de erros, pode-se utilizar a expressão:

$$\eta_a = \eta_o \exp \left[- \left(\frac{4 \pi \epsilon}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (3.14)$$

onde: η_a é a eficiência de abertura,
 η_o é a melhor eficiência teórica obtida, assumida como sendo 63% (McKee et al., 1967),
 ϵ é a tolerância da superfície (r.m.s.),
 λ é o comprimento de onda em metros.

Medidas dos elementos da superfície refletora realizadas por Kaufmann et al. (1976) indicaram um desvio médio de 0,27 mm na frequência de 22 GHz. Para 43 GHz Kaufmann et al. (1978) obtiveram 0,23 mm e para 90 GHz 0,25 mm de desvio de superfície para todo o refletor (Kaufmann et al., 1987). Os valores da tolerância r.m.s. do refletor paraboloidal determinados nesse trabalho encontram-se na Tabela 3.4.

TABELA 3.4

PRINCIPAIS PARÂMETROS DA ANTENA DO ROI

| | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Frequência (GHz) | 22 | 30 | 43 | 90 |
| Comprimento de Onda (cm) | 1,35 | 1,00 | 0,70 | 0,33 |
| Transmissão do Domo Rígido | 0,77 | 0,72 | 0,67 | 0,80 |
| Eficiência de Abertura (%) | 40 | 38 | 32 | 26 |
| Ganho (dB) | 66 | 68 | 71 | 74 |
| Tolerância da Superfície (mm) | 0,72 | 0,57 | 0,46 | 0,25 |
| Largura de Feixe à meia | | | | |
| potência (θ) - calculado | 4,1 | 3,1 | 2,1 | 1,0 |
| - medido | 4,4 | 3,3 | 2,3 | - |
| Notas (*) | | 1 | | 2 |

(*) 1 - Resultados obtidos pelo autor em 1986.

2 - Kaufmann et al. (1987).

A tolerância da superfície de 0,72 mm em 22 GHz, equivale a $0,05\lambda$ e o valor de 0,46 mm em 43 GHz, equivale a $0,07\lambda$, resultados que encontram-se distantes das medidas realizadas por Kaufmann et al. (1976, 1978). A discrepância pode ser devida à diminuição da eficiência de abertura. Dois fatores podem explicar uma menor eficiência de abertura: a deterioração do domo rígido com o passar do tempo e a distribuição dos erros da superfície refletora não serem mais aleatórios, uma vez que a antena está sujeita a deformações térmicas e gravitacionais (Ruze, 1966).

A Tabela 3.4 contém a maioria dos parâmetros determinados e utilizados neste trabalho, para a antena de 13,7 m do ROI. Foram adicionados, ainda, alguns resultados para as frequências de 30 GHz e 90 GHz, obtidos pelo autor em outras épocas.

3.7 - CALIBRAÇÃO E EFEITOS ATMOSFÉRICOS

A calibração de um radiômetro consiste, basicamente, na obtenção de uma relação temperatura/diferença de potencial ou Kelvin/Volt e na possibilidade de monitoração das flutuações no ganho do receptor.

A saída do radiômetro apresenta uma ddp que pode ser medida por um voltímetro. Todavia é de interesse que esta saída seja expressa em termos de temperatura, como efetuado pela relação (3.1). Para este fim são utilizadas fontes de ruído, tais como tubos de plasma e cargas resistivas de temperaturas previamente conhecidas.

De uma maneira simples, a calibração consiste em medir a voltagem do céu e em seguida a voltagem da fonte de ruído. Conhecida a temperatura da fonte de ruído e com as duas medidas de voltagem obtém-se uma relação Kelvin/Volt, através de uma simples regra de três.

Por outro lado os gases constituintes da atmosfera terrestre absorvem e emitem radiação, de forma que a opacidade atmosférica também deve ser considerada. Em comprimentos de onda centimétricos a absorção atmosférica é dominada pelo vapor de água. A Figura 3.12 ilustra este fato (Van Vleck, 1947). Nesta região do espectro o vapor de água possui uma linha de emissão rotacional em 22,235 GHz.

Da análise da Figura 3.12, é imediato que a opacidade atmosférica pode sofrer grandes variações em períodos nos quais ocorram largas e rápidas alterações no conteúdo do vapor de água atmosférico, bem como na temperatura. Estes períodos coincidem com o amanhecer e com o anoitecer.

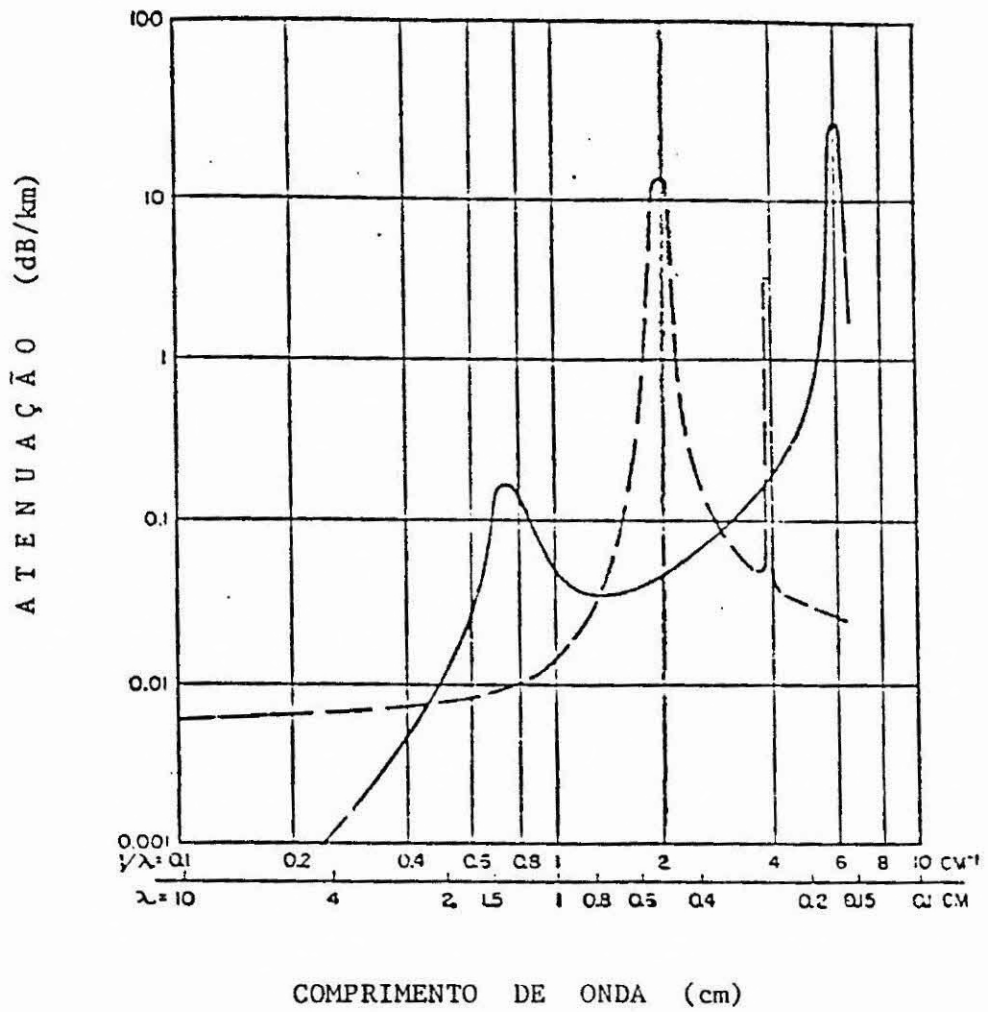


Fig. 3.13 - Curva teórica de atenuação devida ao vapor de água (linha sólida) e ao oxigênio (linha tracejada) a 293 K.

FONTE: Van Vleck (1947).

Outro aspecto é a dependência da opacidade com o ângulo zenital. Esta dependência implica que, idealmente, as radiofontes astronômicas deveriam ser observadas próximas ao zênite. Na execução das medidas radioastronômicas constantes deste trabalho, todas as observações realizaram-se durante a passagem meridiana do astro. Com este cuidado, as medidas foram efetuadas em altas elevações, quase sempre superiores a 45° .

No comprimento de onda de 1,35 cm foi utilizado o método de calibração desenvolvido por Abraham et al. (1986), que faz uso de um tubo de ruído à temperatura previamente conhecida e uma carga à temperatura ambiente, dispensando a realização de medidas de opacidade da atmosfera.

A calibração no comprimento de onda de 0,7 cm foi problemática. Durante todo o ano de 1988 não houve a disponibilidade de um tubo de plasma ou de um gerador de ruído no ROI, para este comprimento de onda. O único equipamento disponível para calibração foi uma carga à temperatura ambiente. Este fato foi a causa das maiores dificuldades nos resultados observacionais na frequência de 43 GHz.

Com a finalidade de verificar a validade do método de calibração, contra uma carga à temperatura ambiente, foi realizada uma sessão observacional especial da rádio-galáxia 3C 274.

As observações iniciaram-se às 18:00 UT do dia 05/08/88, prolongando-se até à 1:00 UT do dia 06/08/88. Visto a olho nu o céu encontrava-se claríssimo. As observações terminaram antes de formação significativa de orvalho no domo rígido. A temperatura do sítio variou de 295 K a 283 K, com a umidade relativa do ar estendendo-se de 40% a 80%. Estas variações são devidas ao fato de que as observações realizaram-se entre o entardecer e o anoitecer. A temperatura do sistema permaneceu entre 980 K e 1030 K. A Figura 3.14a mostra a curva de calibração contra carga à temperatura ambiente versus ângulo de elevação da antena. A maior diferença é de cerca de 2%. Os pontos referem-se à subida do astro. A descida é representada pelas cruces.

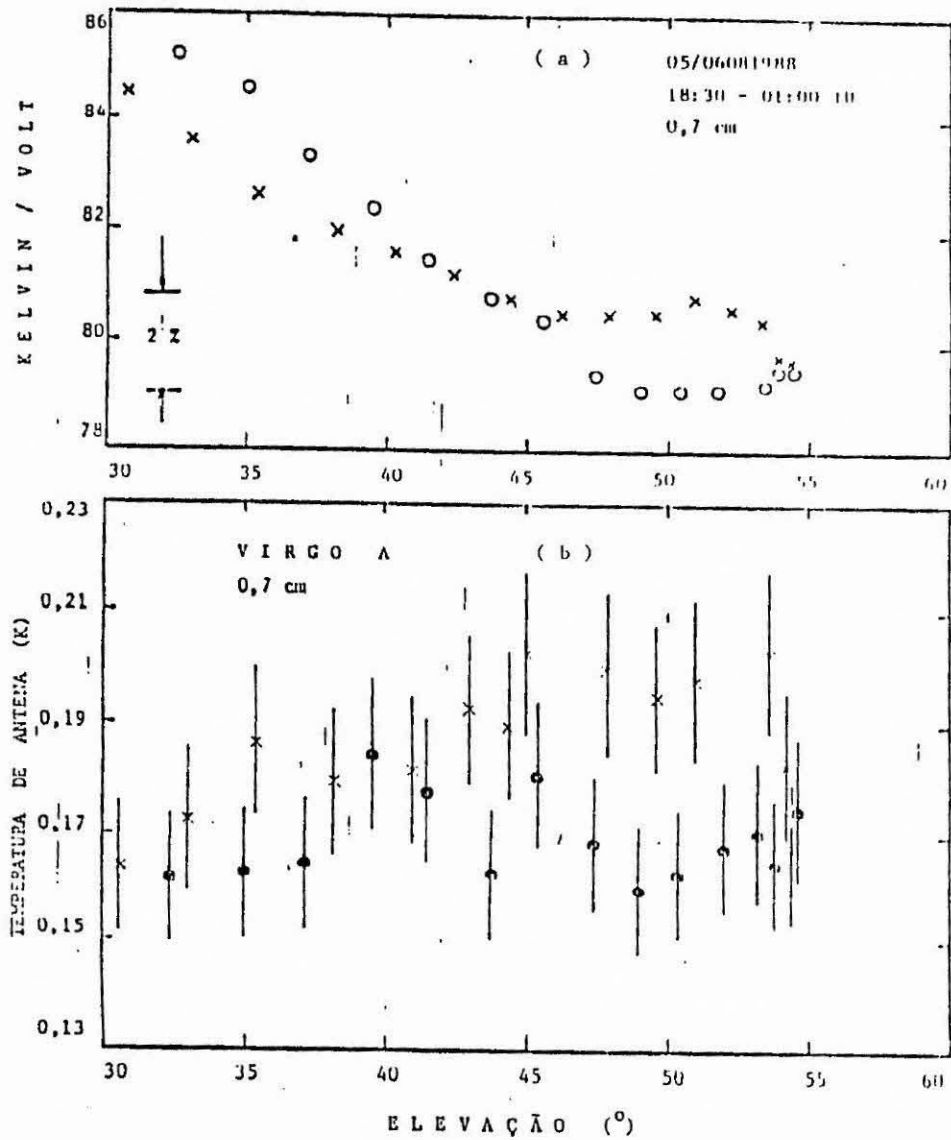


Fig. 3.14 - Gráfico do fator de calibração Kelvin/Volt (a) e da temperatura da fonte (b) versus ângulo de elevação para VIR A, em 0,7 cm.

As medidas foram realizadas em 05-06/08/1988.

Embora a relação Kelvin/Volt mostrada pela Figura 3.14a não possa representar a calibração em qualquer momento do dia, ela pode ser considerada válida, uma vez que foi obtida, provavelmente, nas piores condições atmosféricas, aceitas para medidas em contínuo. Outro período crítico seria o amanhecer. Continuando a análise da Figura 3.14a, é importante notar que acima de 45° de elevação a relação Kelvin/Volt da descida, já no anoitecer, é menor que a relação K/V da subida. O esperado seria uma situação inversa, uma vez que em tese o céu estaria mais frio. Possivelmente este fato não aconteceu devido a um aumento de emissão do domo rígido, talvez influenciado pela camada de orvalho depositada. A hipótese de variação da rigidez dielétrica do domo rígido, sob as condições em que se realizaram as medidas, também deve ser considerada. Os resultados mostrados pela Figura 3.14 sugerem que um estudo elaborado da calibração, na frequência de 43 GHz, deverá ser realizado no futuro.

Na Figura 3.14b estão os resultados das medidas de VIR A em 43 GHz. No gráfico de temperatura da fonte versus elevação os pontos representam os valores de temperatura quando o astro estava subindo, enquanto que as cruces representam a descida.

3.8 - INCERTEZAS DAS MEDIDAS

As barras de erro das medidas apresentadas neste trabalho possuem três componentes:

- i) ϵ_{ab} é o erro devido a aproximação do diagrama da antena por uma distribuição gaussiana, mais o erro devido ao desapontamento da antena (Bevington, 1969), mais o da medida. Para 22 GHz e 43 GHz este erro é melhor que 2%;
- ii) ϵ_C é o erro devido à calibração. Em 22 GHz este erro não é superior a 2% (Abraham et al., 1986) e é da ordem de 4%, conforme discutido na Seção 3.7;

iii) ϵ_S é o erro devido a determinação da densidade de fluxo do calibrador astronômico. É da ordem de 4% em 22 GHz (Janssen et al., 1974). Em 43 GHz foi estimado como não sendo superior a 6%, uma vez que, nesta frequência, a densidade de fluxo de VIR A foi inferida do espectro publicado por Janssen et al. (1974).

O erro total é a soma vetorial destes tres erros. Em 22 GHz é menor que 5% e em 43 GHz é inferior a 7%.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBSERVACIONAIS E DISCUSSÃO

4.1 - VÊNUS: RESULTADOS OBSERVACIONAIS

O planeta Vênus foi observado no período compreendido entre 10 de março (dia 70) de 1988 até 30 de outubro (dia 304) de 1988. Na Tabela 4.1 encontram-se listados os resultados destas observações.

Contando-se da esquerda para a direita, na primeira coluna da Tabela 4.1 encontra-se o dia, do ano 1988, em que foi realizada a medida. A segunda coluna apresenta as coordenadas de posição (ascensão reta e declinação) de Vênus. θ_d é a dimensão angular do disco planetário, medida em segundos de arco. A quarta coluna apresenta a deficiência de iluminação, que é a dimensão angular do disco planetário não iluminado, vista por um observador na Terra, dada em segundos de arco. Na quinta coluna está o ângulo de fase óptico, dado em graus e que é definido como o ângulo medido no centro do astro iluminado, compreendido entre a fonte de luz e o observador. A ascensão reta, a declinação e os parâmetros dimensão do disco planetário, deficiência de iluminação e ângulo de fase são tabelados no *Astronomical Almanac for the Year 1988* (1987).

TABELA 4.1

RESULTADOS OBSERVACIONAIS DE VÊNUS NOS COMPRIMENTOS DE ONDA
DE 0,7 CM E 1,35 CM DURANTE 1988

| DIA DO ANO | POSICÃO AR DEC (HM) (°) | θ_d (") | DEF.IL (") | ÂNG.FASE (°) | TEMP.BRILHÂNCIA (K) | |
|------------------|-------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|---------------------|----------|
| | | | | | 0,7 CM | 1,35 CM |
| 70 | 0204+14,2 | 18,7 | 6,9 | 75,1 | 381 ± 27 | 480 ± 19 |
| 97 | 0357+24,0 | 24,2 | 12,2 | 90,6 | - | 455 ± 18 |
| 98 | | 24,5 | 12,5 | 91,2 | 363 ± 25 | - |
| 127 | 0540+27,7 | 36,3 | 26,0 | 115,5 | - | 512 ± 20 |
| 128 | | 36,8 | 26,7 | 116,5 | 333 ± 23 | - |
| 131 | | 38,7 | 29,0 | 120,0 | - | 502 ± 20 |
| 133 | | 39,9 | 30,7 | 122,5 | - | 512 ± 20 |
| 159 | 0541+24,0 | 56,6 | 55,8 | 166,9 | - | 494 ± 19 |
| 160 | | 57,0 | 56,4 | 169,0 | 321 ± 22 | - |
| 161 | | 57,1 | 56,7 | 171,2 | 338 ± 24 | 474 ± 19 |
| 189 | 0453+17,9 | 45,4 | 38,3 | 133,5 | 336 ± 24 | 524 ± 21 |
| 197 | | 39,9 | 30,7 | 122,6 | 373 ± 26 | - |
| 199 | | 37,4 | 29,1 | 120,2 | - | 545 ± 22 |
| 218 | 0553+19,0 | 29,2 | 17,7 | 102,1 | 379 ± 27 | - |
| 219 | | 28,0 | 17,2 | 101,3 | - | 554 ± 22 |
| 241 | 0721+19,4 | 22,3 | 10,4 | 87,6 | - | 536 ± 21 |
| 242 | | 22,0 | 10,2 | 85,9 | 388 ± 27 | - |
| 264 | 0903+16,0 | 18,1 | 6,5 | 74,0 | - | 530 ± 21 |
| 265 | | 17,9 | 6,4 | 73,5 | 409 ± 29 | - |
| 266 | | 17,8 | 6,3 | 73,0 | 422 ± 30 | - |
| 267 | | 17,4 | 6,2 | 72,5 | - | 528 ± 21 |
| 288 | 1051+08,2 | 15,2 | 4,1 | 62,8 | - | 502 ± 20 |
| 304 | 1202+01,3 | 13,9 | 3,1 | 55,8 | 408 ± 29 | 500 ± 20 |

A última coluna contém a temperatura de brilhância medida nos comprimentos de onda de 0,7 cm e em 1,35 cm. A temperatura de brilhância - T_B é dada em graus Kelvin, tendo sido calculada de acordo com as relações dadas por Kraus (1966). O ângulo sólido da fonte Ω , em esterorradianos, é:

$$\Omega_S = \frac{\pi (\theta_d)^2}{4} \quad (4.1)$$

e a área efetiva de abertura da antena é:

$$A_e = \frac{2 k T_S}{S} \quad (4.2)$$

onde: $K = 1,33 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzmann,
 S é a densidade de fluxo em jansky, sendo que $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$,
 T_B é a temperatura medida da fonte, dada em graus Kelvin.

O cálculo da área efetiva, Equação (4.2), foi realizado com os valores observados (T_B) de 30 274 e foram assumidos para a densidade de fluxo os valores de 21,3 Jy em 1,35 cm e de 11,5 Jy em 0,7 cm (Capítulo 3).

O ângulo sólido do feixe ou ângulo sólido do diagrama de antena Ω_A , em esterorradiano, é:

$$\Omega_A = \frac{\lambda^2}{A_e} \quad (4.3)$$

onde, λ é o comprimento de onda, dado em metros.

Finalmente a temperatura de brilhância, para uma fonte cuja dimensão angular é muito pequena, comparada com o feixe da antena, é:

$$T_B = T_S \frac{\Omega_A}{\Omega_S} K_p \quad (4.4)$$

onde: K_p é o fator de correção, considerando a dimensão do planeta (θ_p) em relação à largura de feixe aparente a meia potência da antena (θ).

De acordo com Guidice e Castelli (1971), este fator é dado por:

$$K_p = \left[1 + 0,18 \left(\frac{\theta_d}{\theta} \right)^2 \right]^2 \quad (4.5)$$

As barras de erro da temperatura de brilhância já foram discutidas no capítulo anterior. No comprimento de onda de 1,35 cm a incerteza é melhor que 5%. No comprimento de onda de 0,7 cm a incerteza obtida foi melhor que 7%.

Os resultados observacionais de Vênus, listados na Tabela 4.1 encontram-se em um gráfico de temperatura de brilhância contra dia do ano de 1988, apresentado na Figura 4.1. Na parte superior desta Figura (a) os resultados referem-se ao comprimento de onda de 1,35 cm. Os resultados em 0,7 cm encontram-se na Fig. 4.1b.

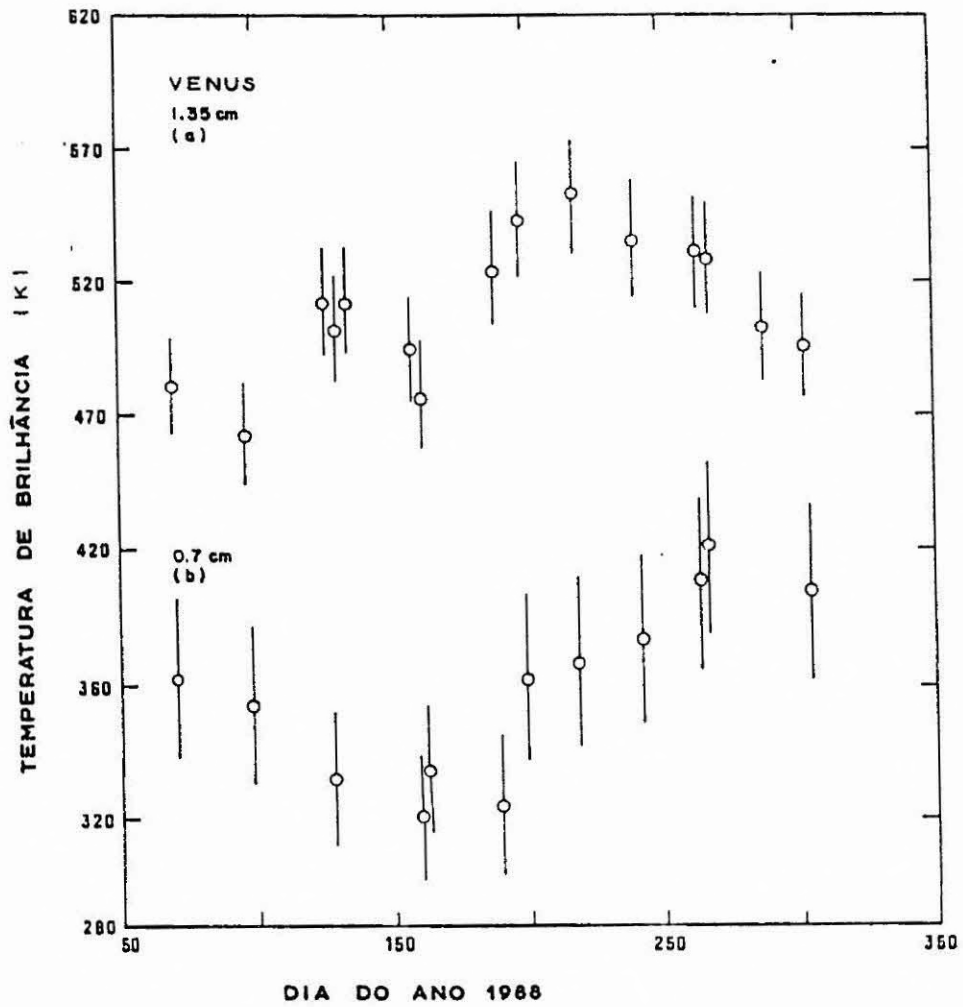


Fig. 4.1 - Temperatura de brilho obtida em 1,35 cm (a) e em 0,7 cm (b) versus dia do ano de 1988 para Vênus.

Alguns acontecimentos impediram a realização de observações, e explicam a inexistência de alguns pontos no gráfico da Figura 4.1. À 07/03/88, dia 67, Júpiter encontrava-se muito próximo à Vênus. No dia 111, 20/04/88, ocorreu ocultação de Vênus pela Lua. A conjunção inferior aconteceu no dia 13/06/88, dia 165. Novamente em 07/10/88, dia 281, ocorreu ocultação de Vênus pela Lua. Defeitos no equipamento observacional também impediram algumas observações. Ocorreram várias falhas no computador de rastreamento e no receptor de mais alta frequência. Outras oportunidades de observação foram perdidas devido às condições meteorológicas adversas, tais como a ocorrência de chuva e a formação de grande quantidade de orvalho no domo rígido.

Analisando-se a Figura 4.1 percebem-se algumas flutuações, em ambos os comprimentos de onda. Uma defasagem de cerca de 55 dias entre os máximos e mínimos das temperaturas de brilhância fica evidenciada. É interessante notar que estes 55 dias correspondem a 1/4 do período sideral de Vênus.

No comprimento de onda de 1,35 cm as temperaturas estão compreendidas entre 455 ± 18 K a 554 ± 22 K. Uma média simples para estes resultados fornece uma temperatura de brilhância do disco planetário T_D :

$$T_D(1,35 \text{ cm}) = 510 \text{ K} \quad (4.6)$$

sendo que a máxima temperatura ocorre 54 dias após a conjunção inferior.

No comprimento de onda de 0,7 cm as temperaturas de brilhância de Vênus encontram-se no intervalo compreendido entre 321 ± 22 K a 422 ± 30 K. Uma média simples para estes valores resulta em:

$$T(0,7 \text{ cm}) = 371 \text{ K} \quad (4.7)$$

sendo que a mínima temperatura ocorre juntamente com a conjunção inferior. O significado das médias simples dadas pelas relações (4.6) e (4.7) ficará claro nas seções seguintes.

A Figura 4.2 apresenta um gráfico da temperatura de brilhância de Vênus versus dia do ano 1988, nos comprimentos de onda de 1,35 cm e de 0,7 cm. Para esta situação a área efetiva (Equação 4.2) foi calculada com a temperatura observada média de Virgo A, obtida durante 1988. Os valores médios foram de 0,424 K e 0,189 K nos comprimentos de onda de 1,35 cm e de 0,7 cm, respectivamente. As alterações em relação aos resultados apresentados na Tabela 4.1 são mínimas. As temperaturas de brilhância não tiveram variação superior a 4,5% em 1,35 cm e a 6% em 0,7 cm. As médias simples para esta situação forneceram os valores de 509 K e 369 K em 1,35 cm e em 0,7 cm, respectivamente.

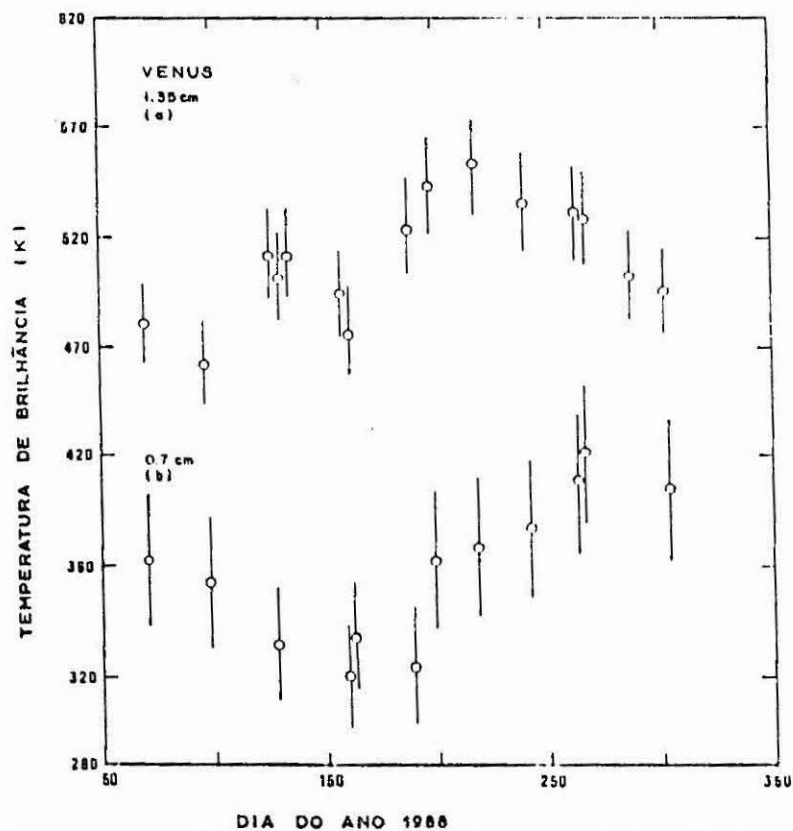


Fig. 4.2 - Temperatura de brilhância de Vênus versus dia do ano 1988.

As temperaturas foram calculadas com a temperatura observada média de VIR A em 1988.

Analisando e comparando a Figura 3.8, que ilustra o comportamento temporal da fonte calibradora VIR A, com a Figura 4.1, é possível concluir que as variações na temperatura de Vênus não são devidas ao calibrador astronômico e/ou ao equipamento observacional.

A forma apresentada pelos pontos dos gráficos da Figura 4.1 sugere uma variação temporal da temperatura de brilhância de Vênus. Também é possível a construção de um gráfico de temperatura de brilhância contra ângulo de fase. Este gráfico encontra-se traçado na Figura 4.3. A defasagem observada no gráfico da Figura 4.1 continua evidenciada no gráfico da Figura 4.3.

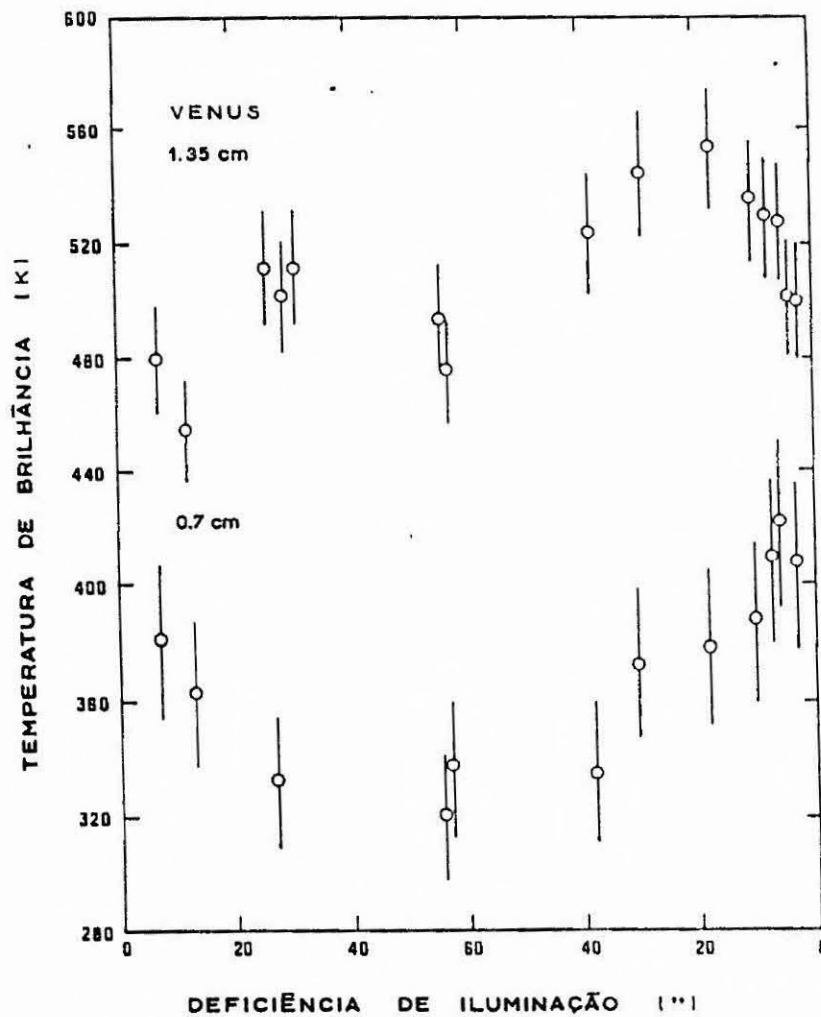


Fig. 4.3 - Temperatura de brilhância de Vênus versus ângulo de fase em 1988.

Os resultados das medidas de Vênus constantes na Tabela 4.1 permitem a construção de uma outra figura. Trata-se do gráfico de temperatura de brilhância versus deficiência de iluminação, ilustrado na Figura 4.4. As flutuações na temperatura do disco de Vênus, observadas nas Figuras 4.1a,b e 4.3, também são evidentes neste gráfico. Todavia não é possível afirmar que exista uma dependência da temperatura com a iluminação. Por outro lado, deve-se lembrar que a radiação de microondas de Vênus provavelmente tem origem na sua superfície, ou próximo a ela. Assim, os gases atmosféricos, que produzem a opacidade nestes comprimentos de onda, devem ser sensíveis à incidência de energia solar.

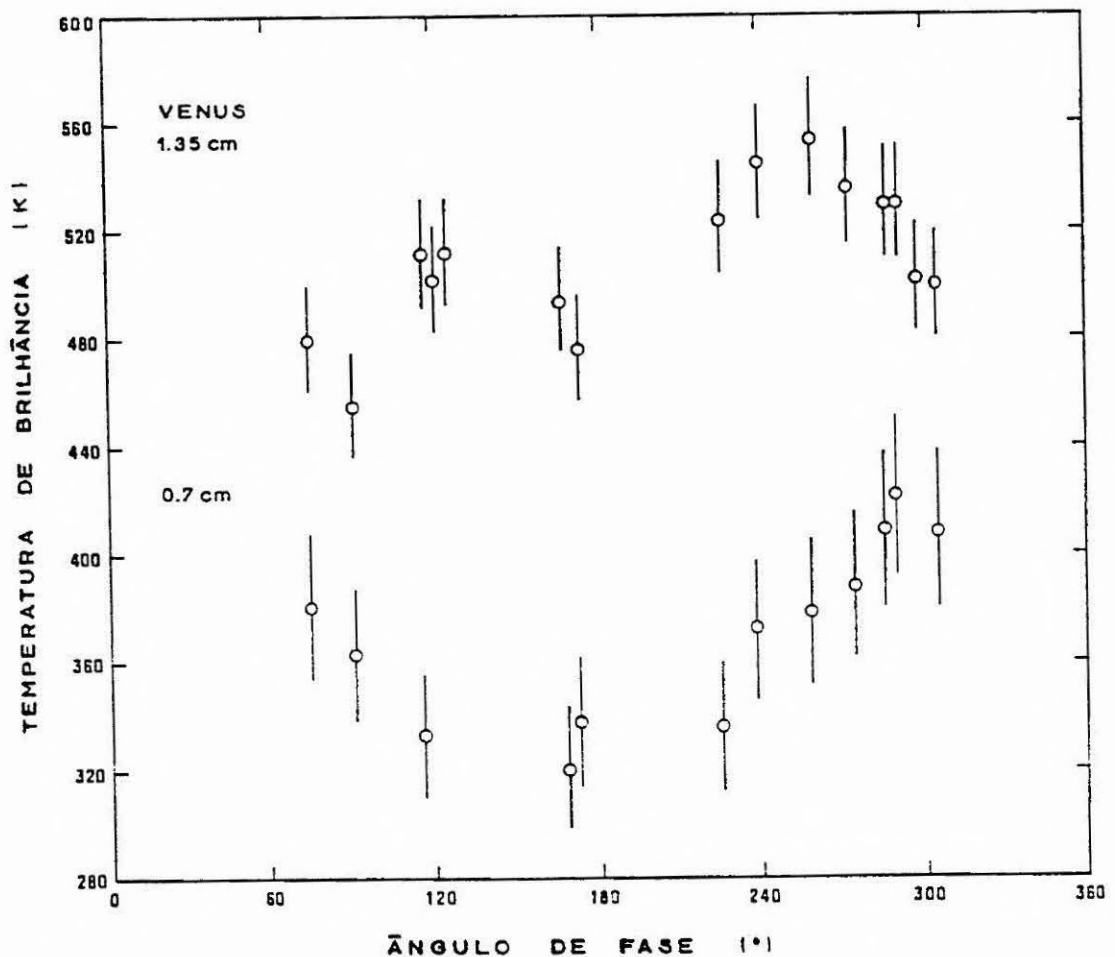


Fig. 4.4 - Temperatura de brilhância versus deficiência de iluminação para Vênus em 1988.

4.2 - VÊNUS: MODELOS DE EMISSÃO EM MICROONDAS

Experimentos radioastronômicos e de rádio ocultação detectaram opacidade em microondas em altitudes entre 35 km e 50 km da superfície de Vênus (Steffes, 1986). De acordo com a Figura 2.2 as temperaturas nesta região variam entre 350 K e 450 K. As pressões encontram-se na faixa de 1 a 6 atm. A Figura 2.3 mostra a presença de SO_2 nesta região. Nas altitudes acima dos 50 km, até os 70 km, onde encontram-se as densas nuvens, o H_2SO_4 gasoso está presente.

Tendo o dióxido de carbono como única fonte de opacidade, Janssen e Klein (1981) construíram um modelo "base" de atmosfera para a emissão em microondas ilustrado pela Figura 4.5. A construção do modelo base fundamentou-se em uma estrutura de temperatura e pressão semelhante à estrutura apresentada pela Figura 2.2.

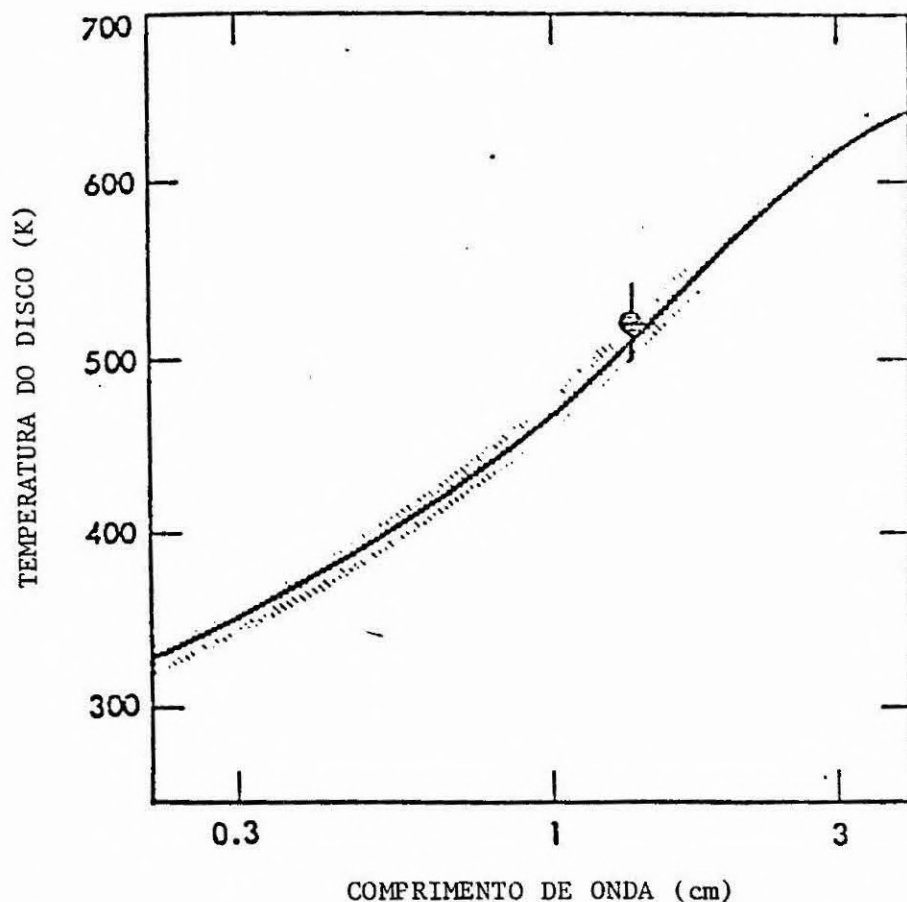


Fig. 4.5 - Espectro de microondas para o modelo base de Janssen e Klein (1981), que tem como única fonte absorvedora o CO_2 .

A curva de temperatura de brilhância da Figura 4.5 foi calculada a partir da equação de transferência radiativa, aplicada a uma distribuição de pontos sobre o planeta. Foi considerada uma simetria esférica e a atmosfera como sendo horizontalmente uniforme. A incerteza da curva é da ordem de 2%.

O modelo base, ilustrado pela curva da Figura 4.5, prevê temperaturas de brilhância de:

$$T(1,35 \text{ cm}) = 512 \pm 10 \text{ K} \quad (4.8)$$

e

$$T(0,7 \text{ cm}) = 428 \pm 9 \text{ K} \quad (4.9)$$

Acrescentando-se ao modelo base 180 ppm de dióxido de enxofre, 0,3% de H_2O e uma nuvem de H_2SO_4 , obtém-se uma diminuição da temperatura de brilhância em função da frequência. Esta situação é ilustrada pela Figura 4.6.

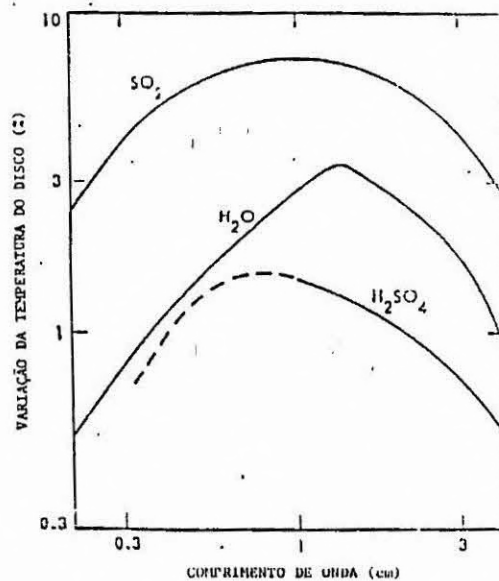


Fig. 4.6 - Diminuição da temperatura de brilhância devido à adição de fontes absorvedoras ao modelo base.

FONTE: Janssen e Klein, (1981).

É no intervalo de comprimentos de onda entre 0,7 cm e 1,35 cm que ocorre o máximo do efeito destas fontes de absorção, tais como o vapor de água e o ácido sulfúrico gasoso.

A inspeção da Figura 4.6, no comprimento de onda de 1,35 cm, mostra que a temperatura de brilhância de Vênus decresce cerca de 1,3% devido ao H_2SO_4 gasoso, cerca de 4% devido a H_2O e atinge 8% devido a absorção do SO_2 .

No comprimento de onda de 0,7 cm o decréscimo da temperatura de brilhância é da ordem de 1,6% devido ao H_2SO_4 gasoso, cerca de 2,2% devido a água e também atinge 8% devido ao SO_2 .

Uma outra conclusão do trabalho de Janssen e Klein (1981) é que a absorção devida ao SO_2 relativamente ao CO_2 aumenta fortemente com a altitude. Consequentemente, no comprimento de onda de 1,35 cm, a tendência da temperatura de brilhância é diminuir muito mais efetivamente com o aumento da opacidade atmosférica total.

As concentrações de H_2O , H_2SO_4 e SO_2 adicionadas ao modelo base reduzem as temperaturas de brilhância para:

$$T_D(1,35 \text{ cm}) = 475 \pm 10 \text{ K} \quad (4.10)$$

e

$$T_D(0,7 \text{ cm}) = 394 \pm 8 \text{ K} \quad (4.11)$$

Steffes (1986) montou um experimento para medir a absorção de microondas pelo H_2SO_4 gasoso, sob as condições atmosféricas de Vênus. Com base nos resultados de laboratório construiu também um modelo computacional para o espectro de emissão de microondas. As medidas e o modelo cobrem a faixa de comprimentos de onda compreendidos entre 1,2 cm (23,6 GHz) até 22,3 cm (1,34 GHz).

Os resultados das medidas da absorção do H_2SO_4 gasoso em uma atmosfera de CO_2 são mostrados na Figura 4.7. Os pontos correspondem às medidas de uma taxa de mistura de 0,4% de H_2SO_4 , à temperatura de 575 K e pressões de 1 atm e de 6 atm.

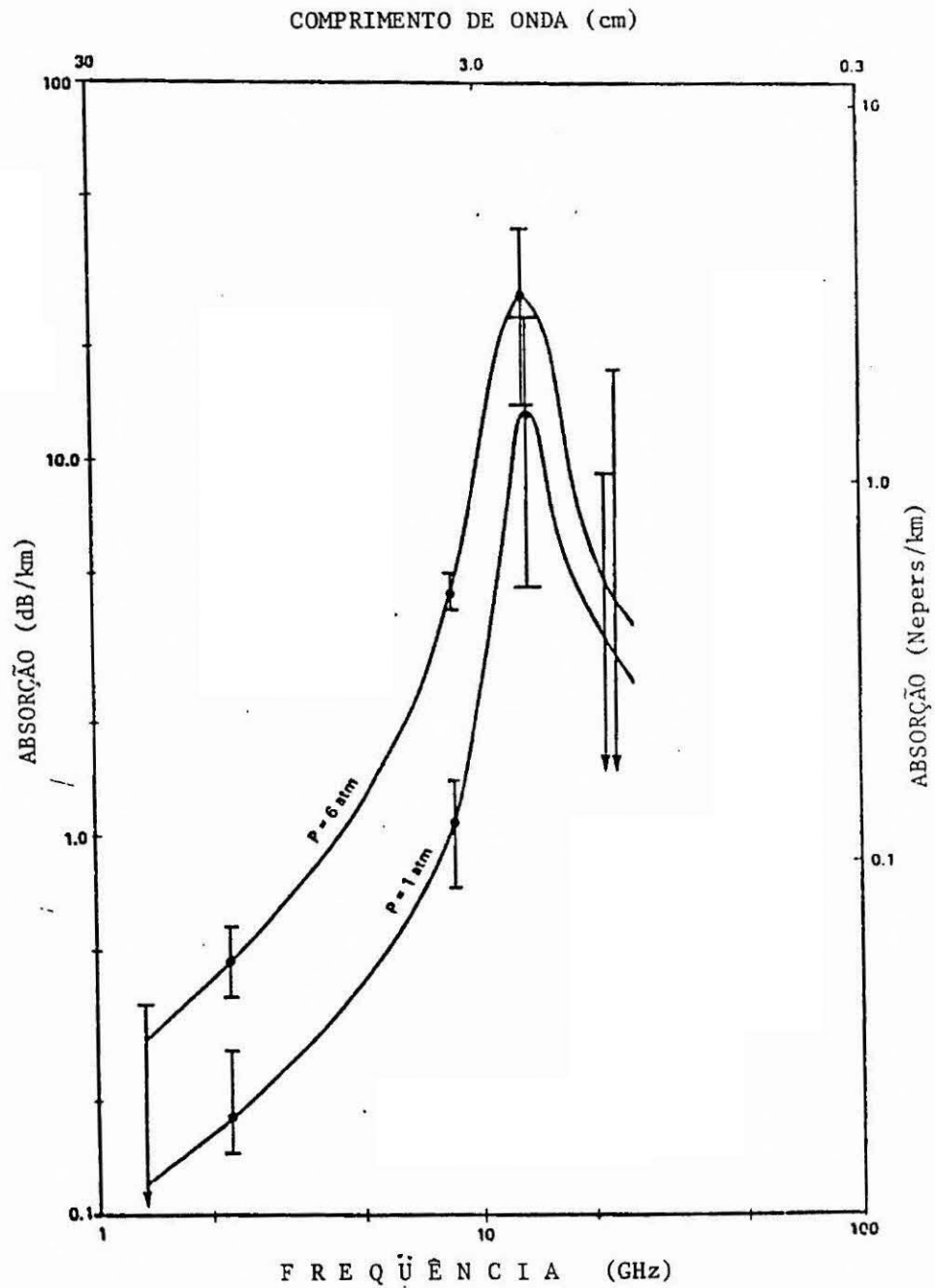


Fig. 4.7 - Absorção do H_2SO_4 gasoso em uma atmosfera de CO_2 .

FONTE: Steffes (1986).

A análise da Figura 4.7 mostra uma baixíssima opacidade entre os comprimentos de onda de 1,2 cm a 1,8 cm. Em 1,38 cm a absorção é menor que 9 dB/km. Assim, da mesma forma que o modelo de Janssen e Klein (1981), ilustrado na Figura 4.5, o H_2SO_4 gasoso absorve muito pouco no comprimento de onda de 1,35 cm.

Outro resultado do trabalho de Steffes (1986) é visto na Figura 4.8. Nesta ilustração há a comparação da opacidade em microondas entre 15 ppm de H_2SO_4 gasoso, a uma pressão de 6 atm e 450 K de temperatura e 150 ppm de SO_2 . Esta situação corresponde às condições existentes a uma altitude de 35 km na atmosfera de Vênus.

A inspeção da Figura 4.8 mostra que a opacidade a uma altitude de 35 km, nos comprimentos de onda entre 1,2 cm e 1,8 cm, é predominantemente devida ao SO_2 . Observando a Figura 2.2 pode-se concluir que a absorção pelo SO_2 pode ser estendida às altitudes compreendidas entre 30 km e 50 km, nesta faixa de comprimentos de onda.

O espectro de emissão em microondas de Vênus desenvolvido por Steffes (1986) é apresentado na Figura 4.9. Trata-se de um modelo desenvolvido a partir de medidas de opacidade dos constituintes potenciais, realizadas em laboratório.

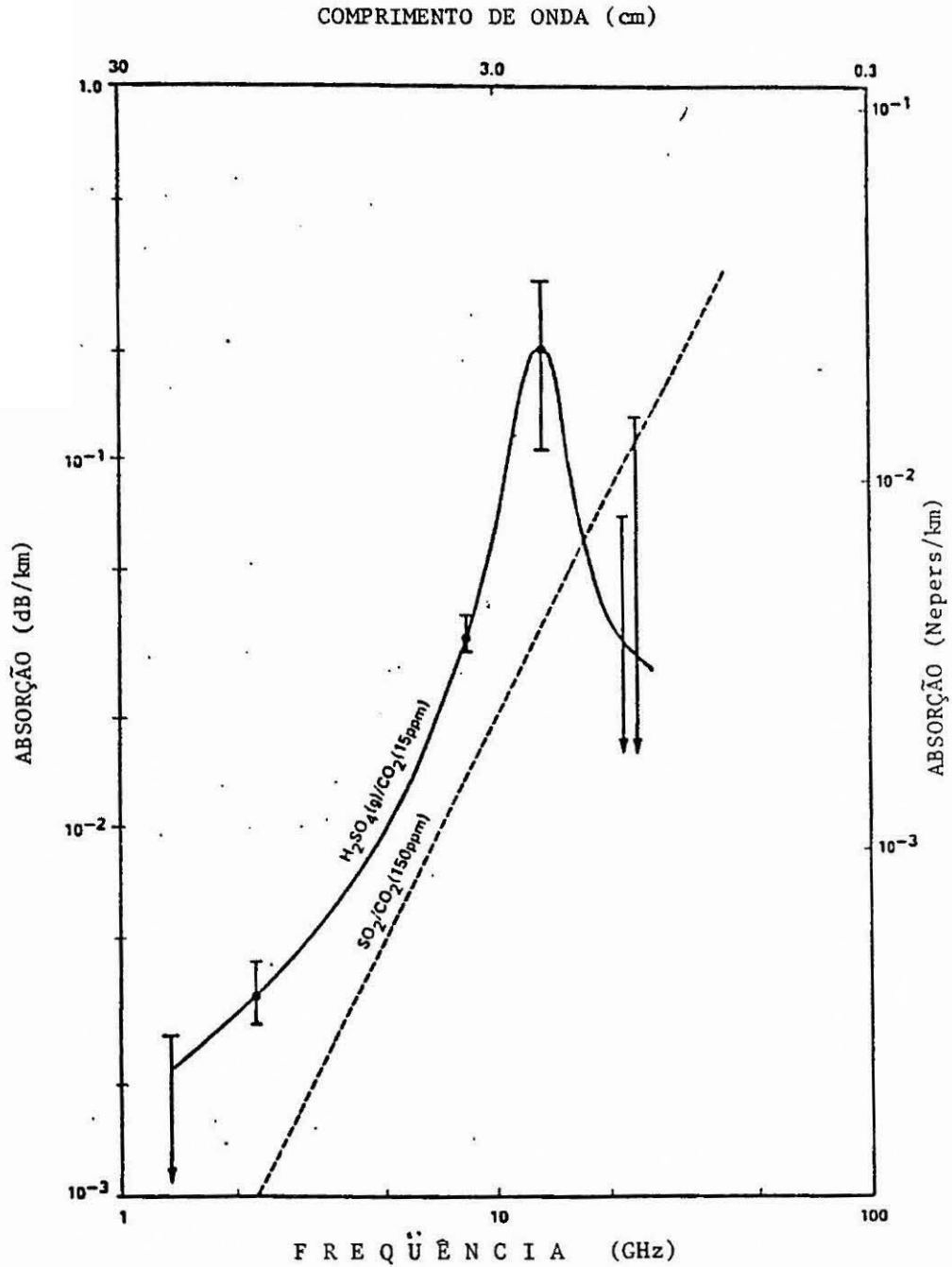


Fig. 4.8 - Comparação entre a opacidade do H_2SO_4 gasoso e a do SO_2 em uma atmosfera de CO_2 .

FONTE: Steffes (1986).

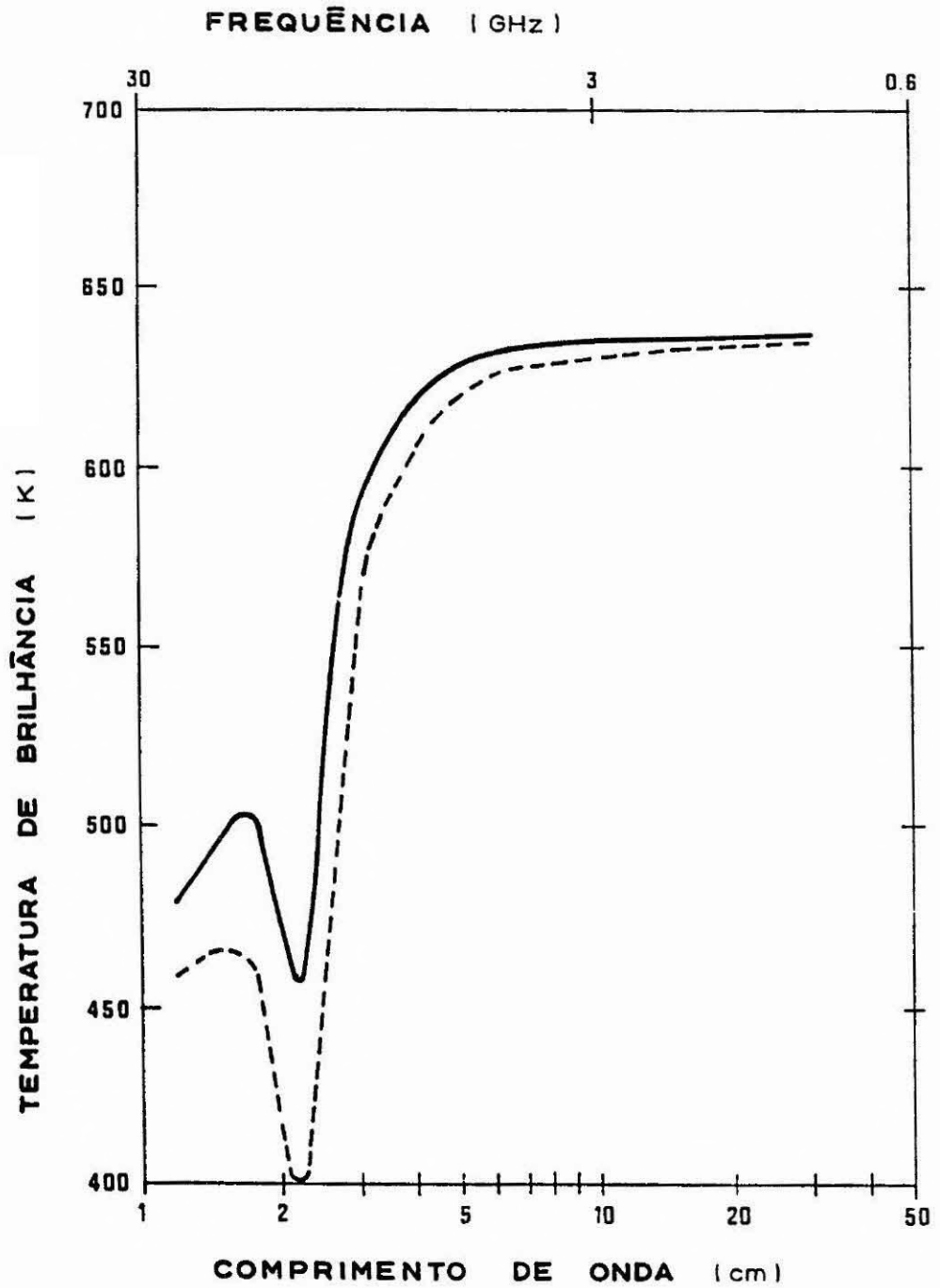


Fig. 4.9 - Espectro de emissão em microondas para duas abundâncias de ácido sulfúrico gasoso, na atmosfera de Vênus.

FONTE: Steffes (1986).

A atmosfera deste modelo é caracterizada por uma abundância de 96% de CO_2 . Da superfície do planeta até a camada de nuvens (~50 km) a abundância de SO é de 15 ppm, sendo nula acima das nuvens. O H_2SO_4 gasoso participa com uma taxa de mistura de 0,4% na região compreendida entre 30 km e 40 km. Abaixo dos 30 km é assumida a dissociação do H_2SO gasoso em SO_2 e H_2O . Acima de 48 km de altitude é assumido o início da condensação do H_2SO_4 . A atmosfera do modelo fica completa com 100 ppm de H_2O , cuja estrutura de pressão e temperatura é semelhante a apresentada pela Figura 2.2.

Para o comprimento de onda de 1,35 cm o modelo, visto na Fig. 4.9, prediz para uma abundância de 15 ppm de H_2SO_4 uma temperatura de brilhância de 490 K. Dobrando-se a abundância de H_2SO_4 , a temperatura de brilhância cai para 465 K. Uma conclusão é que as variações na temperatura de brilhância, observadas neste comprimento de onda, não são devidas a alterações na abundância do H_2SO_4 gasoso.

Na Fig. 4.10 encontram-se os resultados atuais de temperatura de brilhância de Vênus, dados por Pollack e Morrison (1970), Muhlemann et al. (1979) e Kuz'min (1983). O espectro de emissão desenvolvido por Steffes (1986), dado na Figura 4.9, encontra-se sobreposto a estes resultados. No comprimento de onda de 1,35 cm estas medidas estão compreendidas entre $436 \text{ K} \pm 39 \text{ K}$ e $550 \text{ K} \pm 26 \text{ K}$.

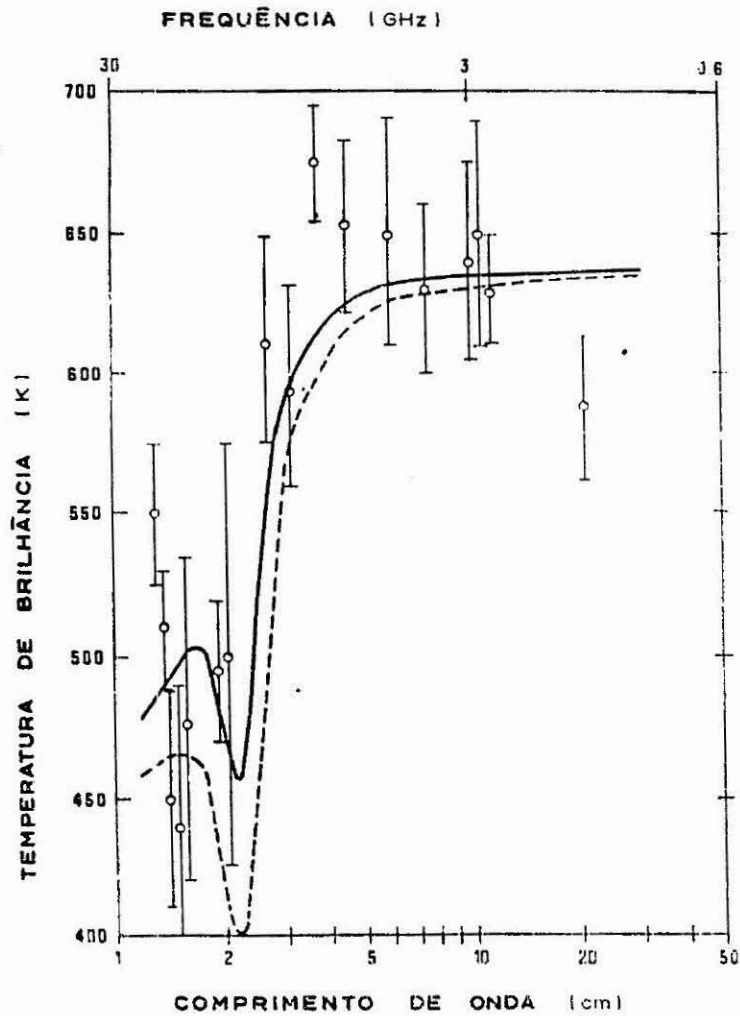


Fig. 4.10 - Resultados observacionais em microondas sobrepostos ao espectro e emissão para duas abundâncias de ácido sulfúrico, na atmosfera de Vênus.

FONTE: Steffes (1986).

Por outro lado, mantendo-se a abundância do H_2SO_4 gasoso em 15 ppm e aumentando-se a abundância do SO_2 de 150 ppm para 200 ppm a temperatura de brilho cai de 490 K para 460 K no comprimento de onda de 1,35 cm. Todavia, diminuindo-se a abundância de SO_2 de 150 ppm para 80 ppm, a temperatura de brilho atinge cerca de 525 K.

Cabe frizar que as taxas de H_2SO_4 gasoso, SO_2 e H_2O utilizadas nos modelos encontram-se dentro dos limites das abundâncias destes gases observadas através de veículos espaciais na atmosfera de Vênus.

A Figura 4.11 reproduz o espectro de Vênus em microondas segundo Muhleman et al. (1979). Neste trabalho foram determinadas propriedades da superfície e a opacidade atmosférica total de Vênus. Foi mostrado também que deveriam existir outras fontes de absorção na atmosfera, além do CO_2 , sendo estas fontes ainda desconhecidas. A linha contínua, na Figura 4.11, representa os resultados do modelo por eles construído, e a linha interrompida uma extrapolação para comprimentos de onda não considerados no modelo.

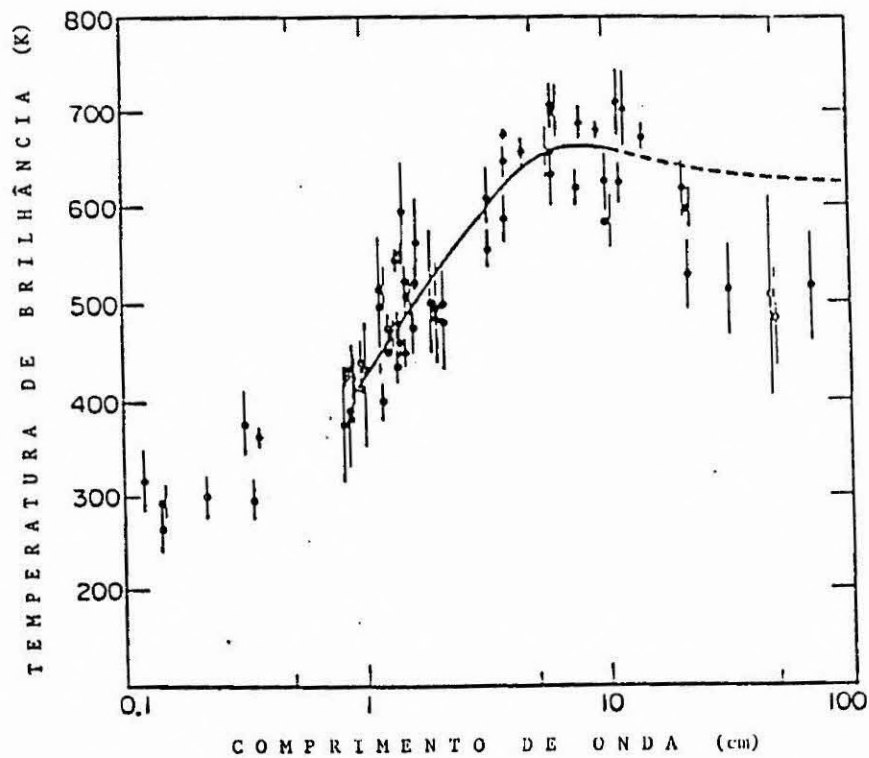


Fig. 4.11 - Espectro de microondas de Vênus.

FONTE: Muhleman et al. (1979).

4.3 - CONFRONTAÇÃO DOS RESULTADOS COM OS MODELOS

Inicialmente, será realizada a confrontação entre os resultados obtidos neste trabalho, no comprimento de onda de 1,35 cm e os modelos mencionados na seção anterior.

A temperatura de brilhância do disco de Vênus, dada pela Expressão (4.6), representa apenas uma média simples de uma longa série temporal de observações. Este resultado só encontra sentido quando confrontado com os valores previstos pelos modelos.

O modelo base de Janssen e Klein (1981) prevê uma temperatura de brilhância de 512 ± 10 K, que coincide com a média observacional, de 510 K, do presente trabalho. Este valor médio medido afasta-se da temperatura de 475 ± 10 K prevista pelo modelo base com adição de vapor de água, ácido sulfúrico gasoso e dióxido de enxofre. Por outro lado, aproxima-se da temperatura, de 490 K, estimada no modelo de Steffes (1986).

Analisando-se os resultados observacionais dados na Tabela 4.1, é possível verificar-se que as temperaturas de brilhância medidas estão compreendidas entre 455 ± 18 K e 554 ± 22 K. Estes resultados assemelham-se aos valores extremos de 436 ± 39 K e 550 ± 26 K, plotados na Figura 4.9, para comprimentos de onda próximos a 1,35 cm. As temperaturas de brilhância previstas pelos modelos variam de 460 K a 525 K, encontrando-se em boa concordância com os resultados observacionais do presente trabalho.

A partir dos resultados dos modelos apresentados pelas Figuras 4.6, 4.8 e 4.9, é possível concluir que as flutuações da temperatura de brilhância de Vênus podem ser devidas às variações nos gases responsáveis pela absorção de radiação, em comprimentos de onda próximos a 1,35 cm. Ou seja, as variações das abundâncias de gases como o vapor de água, o ácido sulfúrico e, principalmente o dióxido de enxofre implicam em variações na temperatura do disco planetário.

Finalmente, os resultados observacionais deste trabalho encontram-se em desacordo com as medidas de Janssen e Klein (1981). Ambos concluíram pela inexistência de variações temporais ou com o ângulo de fase, na temperatura de brilhância de Vênus, em comprimentos de onda compreendidos entre 1,2 cm e 1,7 cm. Dois fatos podem contribuir para uma não evidência na variação da temperatura de brilhância de Vênus. Primeiramente o número de medidas daquele trabalho é bem menor que o número de medidas do presente trabalho, para um período semelhante. Os resultados de Janssen e Klein (1981) são a média de medidas em vários comprimentos de onda, na faixa de 1,2 cm a 1,7 cm.

Um outro fato importante é a ocorrência de tempestades magnéticas em Vênus, que pode depender, entre outros fatores, da posição orbital do planeta. Ao lado disto, pode ocorrer também variação da atividade solar, que pode vir a afetar as reações fotoquímicas em camadas acima das nuvens.

Winick e Stewart (1980) modelam a fotoquímica do SO_2 nas altas camadas da atmosfera de Vênus. Reações fotoquímicas envolvendo o SO_2 , para a formação do H_2SO_4 são altamente dependentes e sensíveis à radiação ultravioleta, em altitudes compreendidas entre 58 km e 96 km na atmosfera de Vênus. Os autores consideram o hidrogênio necessário à formação do H_2SO_4 como sendo originário da baixa atmosfera e do escape de gás. Todavia deve ser possível a participação nestas reações de prótons oriundos do vento solar.

A discussão a seguir é referente aos resultados observacionais do planeta Vênus, no comprimento de onda de 0,7 cm.

A longa e sistemática série de observações de Vênus, na frequência de 43 GHz, cujos resultados são dados na Tabela 4.1, são completamente inéditos.

O resultado (4.7) representa uma média simples dos valores medidos, de temperatura de brilhância do disco de Vênus, durante o

ano de 1988. Desta forma, a temperatura média observada de 371 K só tem sentido para comparação com alguns resultados e modelos publicados.

Uma interpolação no espectro de Vênus, dado por Muhleman et al. (1979) e ilustrado na Figura 4.10, sugere uma temperatura de brilhância da ordem de 370 K. Janssen e Klein (1981) prevêm temperaturas de 428 ± 9 K e 394 ± 8 K em seus modelos.

Embora os resultados observacionais deste trabalho possuam extremos em 321 ± 22 K e 422 ± 30 K, os resultados previstos pelos modelos encontram-se algo distantes destas temperaturas. Todavia, mais importante que a harmonia entre os resultados dados pelos modelos, anteriormente citados, e as medidas, obtidas no presente trabalho, é a própria existência destas medidas. Por outro lado, os modelos existentes não se estendem a comprimentos de onda inferiores a 1 cm, onde uma série de transições rotacionais em toda esta região deveria ser considerada. Segundo Steffes (1986), nesta região do espectro de microondas, a opacidade devida ao ácido sulfúrico gasoso e ao dióxido de enxofre não é tão evidente. Este fato possui agora evidência observacional, conforme mostram os resultados apresentados nas Figuras 4.1; 4.2; 4.3 e 4.4. O grande decréscimo da temperatura de brilhância de Vênus, em comprimentos de onda menores que 1 cm já pode ser notado na análise do espectro de microondas dado pela Figura 4.11.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em 1988 ocorreu uma conjunção inferior do planeta Vênus. No Rádio Observatório do Itapetinga foram efetuadas observações periódicas e de longo período deste planeta. As medidas realizaram-se nos comprimentos de onda de 1,35 cm e 0,7 cm.

No comprimento de onda de 1,35 cm os resultados observacionais forneceram temperaturas de brilhância compreendidas entre 455 ± 18 K e 554 ± 22 K, com a média simples destas medidas situando-se em 510 K.

As temperaturas de brilhância de Vênus, no comprimento de onda de 0,7 cm, situaram-se entre os extremos de 321 ± 22 K e de 422 ± 30 K. A média simples entre as temperaturas resultou em 371 K.

Várias são as conquistas deste trabalho, representadas, de maneira simples, pelos resultados citados nos dois parágrafos anteriores, mas a seguir explicitados.

A temperatura de brilhância de Vênus, no comprimento de onda de 1,35 cm, apresentou variação durante o período de observação, com possível associação com o ângulo de fase óptica do planeta. Isto pode ser indicativo de que ocorreram alterações nas taxas de SO_2 , H_2O e H_2SO_4 , que são os gases atmosféricos absorvedores neste comprimento de onda. Estas variações podem ser devidas a alterações na radiação ultravioleta solar incidente no planeta, embora possam ocorrer de forma completamente aleatória. Este resultado vem confirmar plenamente o modelo de absorção em microondas de Steffes (1986). Todavia coloca de lado os resultados observacionais de Janssen e Klein (1981), que concluíram por nenhuma variação na temperatura de brilhância de Vênus, em comprimentos de onda próximos a 1,35 cm.

Os resultados observacionais apresentados neste trabalho evidenciam, ainda, o fato de que as substâncias absorvedoras, no comprimento de onda de 0,7 cm, devem ser outras que não o SO_2 , H_2O , e H_2SO_4 . As variações detectadas na temperatura de brilhância, neste comprimento de onda, com possível associação com o ângulo de fase óptico do planeta, sugerem que tais substâncias absorvedoras devem estar envolvidas em processos também sensíveis à incidência de radiação. Além disto abre-se um espaço para a construção de modelos teóricos, que venham a explicar os resultados observacionais aqui mostrados.

Outra evidência dos resultados deste trabalho é a sugestão de que os modelos teóricos, que buscam explicar a emissão centimétrica de Vênus, devem incluir mecanismos que sejam responsáveis pela variação das taxas de produção de substâncias como o H_2SO_4 , H_2O e SO_2 , com o decorrer do tempo. Em outras palavras, os modelos não devem ser modelos estáticos quanto a possíveis reações químicas entre os gases componentes considerados.

Uma sugestão para um trabalho futuro é a realização de observações simultâneas e periódicas de Vênus em 1,35 cm, 1,0 cm e 0,7 cm, com incertezas melhores que 5%.

Finalizando, fica mais uma sugestão, para um estudo detalhado da calibração, na frequência de 43 GHz. Como visto no Capítulo 3 os resultados obtidos não foram conclusivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, Z.; BOTTI, L.C.L.; DEL CIAMPO, L.F. Calibration methods in millimeter-wave radioastronomy. Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 12:414-418, Fev. 1986.
- BAARS, J.W.M. Dual-beam parabolic antennae in radio astronomy. PhD Thesis. Groningen, Wolters-Noordhoff, 1970.
- BAARS, J.W.M.; HARTSUIJKER, A.P. The decrease of flux density of Cassiopea A and the absolute spectra of Cassiopea A, Cygnus A and Taurus A. Astronomy and Astrophysics, 17(2):172-181, 1972.
- BARBATO, J.P.; AYER, E.A. Atmospheres. New York, Pergamon, 1981.
- BARRETT, A.H. Microwave absorption and emission in the atmosphere of Venus. Astrophysical Journal, 133(1):281-293, 1961.
- BEVINGTON, P.R. Data Reduction and Errors Analysis for the Physical Sciences. New York, McGraw-Hill, 1969.
- BOTTI, L.C.L.; TATEYAMA, C.E. Virgo A. São José dos Campos, 1988. Comunicação pessoal a L.F. Del Ciampo, em 1988.
- DIERMENDJIAN, D. A water cloud interpretation of Venus microwave continuum. Icarus, 3:109-120, 1964.
- GIBSON, J.E. The brightness temperature of Venus at 8.6 mm. Astrophysical Journal, 137(2):611-619, 1963.
- GIBSON, J.E.; CORBETT, H.H. Brightness temperature of Venus at 1.35 cm. Astronomical Journal, 68(1):74, 1963.
- GRANT, C.R.; CORBETT, H.H.; GIBSON, J.E. Measurements of the 4.3 mm radiation of Venus. Astrophysical Journal, 137(2):620-637, 1963.

- GUIDICE, D.A.; CASTELLI, J.P. The use of terrestrial radio sources in the measurements of antenna parameters. IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems, AES-27(2):226-234, Mar. 1971.
- JANSSEN, M.A. The 20-36 GHz Venus microwave emission. PhD Thesis. Berkeley, University of California, 1972.
- JANSSEN, M.A.; GOLDEN, L.M.; WELCH, W.J. Extension of the absolute flux density scale to 22.285 GHz. Astronomy and Astrophysics, 33(4):373-377, 1974.
- JANSSEN, M.A.; KLEIN, M.J. Constraints on the composition of the Venus atmosphere from microwave measurements near 1.35 cm wavelength. Icarus, 46:58-69, 1981.
- JENKINS, F.A.; WHITE, H.E. Fundamentals of Optics. Tokyo, McGraw-Hill, 1981.
- KAUFMANN, P.; SCHAAL, R.E.; RAFFAELLI, J.C. The effect of slowly varying surface errors in large millimeter wave antennas: a practical verification in Itapetinga 45-ft reflector. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-26(6):854-857, Nov. 1978.
- KAUFMANN, P.; ABRAHAM, Z.; SCALISE JR., E., SCHAAL, R.E.; MONTEIRO DO VALE, J.L.; VILAS BOAS, J.W.S. Aperture efficiency of Itapetinga 45-ft antenna at 3.3 mm. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-35(8):996-1000, Aug. 1987.
- KAUFMANN, P.; FOGARTY, W.G.; KOPE, E.H.; SANTOS, P.M.; SCALISE JR., E.; SCHAAL, R.E.; TIBA, T. Performance of the brazilian 45-ft Itapetinga radiotelescope at K-band. Revista Brasileira de Tecnologia, 7(1):81-88, 1976.
- KELLERMANN, K.I. The thermal radio emission from Mercury, Venus, Mars, Saturn and Uranus. Icarus, 5:478-490, 1966.

- KRASNOPOLSKY, V.A. Photochemistry of the atmospheres of Mars and Venus. Berlin, Springer-Verlag, 1986.
- KRAUS, J.D. Radio Astronomy. New York, McGraw-Hill, 1966.
- KUZ'MIN, A.D. Radio astronomical studies of Venus. In: HUNTEN, D.M.; COLIN, K.; DONAHUE, T.M.; MOROZ, V.I., ed. Venus. Tucson, The University of Arizona Press, 1983, p. 36-42.
- LANG, K.R. Astrophysical Formulae. Berlin, Springer-Verlag, 1980.
- LAW, S.E.; STAELIN, D.H. Measurements of Venus and Jupiter near 1 cm wavelength. Astrophysical Journal, 154:1077-1086, Dec. 1968.
- MAROV, M.Ya. Results of Venus missions. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 16:141-169, 1978.
- MAYER, C.H.; MCCULLOUGH, T.P.; SLOANAKER, R.M. Measurements of planetary radiation at centimeter wavelengths. Proceedings of the IRE, 46:260-266, 1958.
- McKEE, K.E.; HOLTUM, A.G.; CHARLTON, T. Optimizing Gain of Parabolic Antennas. Microwaves, sv:34-40, Mar. 1967.
- MUHLEMAN, D.O.; ORTON, G.S.; BERGE, G.L. A model of the Venus atmosphere from radio, radar, and occultation observations. Astrophysical Journal, 234:733-745, Dec. 1979.
- OPIK, E.J. The aeolosphere and atmosphere of Venus. Journal of Geophysical Research, 66(2):2807-2817, 1961.
- POLLACK, J.B.; MORRISON, D. Venus: determination of atmospheric parameters from the microwave spectrum. Icarus, 12:376-390, 1970.

- POLLACK, J.B.; SAGAN, C. The microwave phase effect of Venus. Icarus, 4:62-103, 1965.
- PRICE, R.M. Radiometer Fundamentals. In: MEEKS, M.L., ed. Methods of Experimental Physics. New York, Academic Press, 1976, v. 12, Part B, p. 201-204.
- PRINN, R.G. The photochemistry of the atmosphere of Venus. In: LEVINE, J., ed. The photochemistry of Atmospheres. New York, Academic Press, 1985, p. 281-336.
- RUZE, J. The effect of aperture errors on the antenna radiation pattern. Nuovo Cimento Supplement, 9(3):364-380, 1953.
- RUZE, J. Antenna tolerance theory - a review. Proceedings IEEE, 54(4):633-640, Apr. 1966.
- SAGAN, C. The radiation balance of Venus. Pasadena, CA, JPL, 1960. p. 32-34.
- SEIFF, A. Thermal structure of the atmosphere of Venus. In: HUNTEN, D.M.; COLIN, L.; DONAHUE, T.M.; MOROZ, V.I., ed. Venus. Tucson, The University of Arizona Press, 1983, p. 215-279.
- SEIFF, A.; KIRK, D.B.; YOUNG, R.E.; SOMMER, S.C.; BLANCHARD, R.C.; FINDLAY, J.C.; KELLY, G.M. Thermal contrast in the atmosphere of Venus: initial appraisal from Pioneer-Venus probe data. Science, 205(1):46-49, 1979.
- STEFFES, P.G. Evaluation of the microwave spectrum of Venus in the 1.2-22 centimeter wavelength range based on laboratory measurements of constituent gas opacities. Astrophysical Journal, 310:482-489, Nov. 1986.

- TATEYAMA, C.E. Mapas no contínuo de rádio em 22 GHz da região do Centro Galático, Carina e Centaurus A. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, Observatório Nacional, 1982.
- THE ASTRONOMICAL ALMANAC FOR THE YEAR 1988. Washington, DC, Nautical Almanac Office, 1987.
- VAN VLECK, J.H. The absorption of microwaves by uncondensed water vapor. Physical Review, 71(7):425-433, Apr. 1947.
- WIELEBINSKI, R. Antenna calibration. In: MEEKS, M.L., ed. Methods of Experimental Physics. New York, Academic Press, 1976. v. 12, Part B, p. 82-97.
- WINICK, J.R.; STEWART, A.I.F. Photochemistry of SO₂ in Venus upper cloud layers. Journal of Geophysical Research, 85(A13):7849-7860, Dec. 1980.
- YOUNG, Y.; DE MORE, W. Photochemistry of the stratosphere of Venus: implications for atmospheric evolution. Icarus, 51:199-247, 1982.