

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5672/PRP/193

ESTUDOS IONOSFÉRICOS EM LATITUDES BAIXAS E
EQUATORIAIS USANDO IONOSSONDAS

Letícia Teixeira Cottini
Inez Staciarini Batista

Relatório final referente ao trabalho desenvolvido durante o Programa
Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC / CNPQ)

INPE
São José dos Campos
Setembro 1995

RESUMO

Os dados ionosféricos obtidos por uma digissonda 256, instalada em Cachoeira Paulista, SP (22,5°S, 45°O), foram analisados e comparados com as previsões feitas por um modelo ionosférico internacional de referência, denominado IRI (International Reference Ionosphere). Os dados foram obtidos entre 1990 e 1993. Os parâmetros ionosféricos utilizados para comparação foram: a densidade máxima da região F ionosférica (NmF2), a altura correspondente à máxima densidade (hmF2) e os perfis verticais de densidade (densidade em função da altura real, para vários horários). A análise foi baseada apenas nos cinco dias mais calmos de cada mês, ou seja, apenas nos dias em que a atividade magnética fosse baixa, isso porque o IRI é um modelo médio, o qual não leva em consideração as variações devidas a perturbações magnéticas. O período analisado abrange parte do máximo, e o início da fase decrescente do 22º ciclo solar, com o número de manchas solares variando entre 140.3 (abril de 1990) e 21.7 (setembro de 1993). A análise mostra que os perfis preditos pelo modelo concordam muito bem com as observações em torno do meio-dia. Porém, em torno do amanhecer e do anoitecer, o modelo IRI subestima a densidade eletrônica da base da camada F. O modelo também subestima NmF2 na maioria dos horários noturnos, para os meses do equinócio e verão, durante alta atividade solar e superestima em qualquer horário, durante baixa atividade solar. As comparações aqui feitas mostram que o efeito da anomalia de Appleton não está devidamente considerado no modelo, o qual necessita correções para representar melhor a ionosfera de latitudes baixas, sobre a região brasileira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ pelo fornecimento da Bolsa de Iniciação Científica, ao INPE por propiciar todo apoio técnico científico necessário para elaboração deste trabalho, a Dra. Inez Staciarini Batista pelo apoio e orientação a mim direcionados e também a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| LISTA DE FIGURAS ----- | ix |
| LISTA DE TABELAS ----- | x |
| 1 - INTRODUÇÃO ----- | 1 |
| 2 - CONCEITOS BÁSICOS ----- | 2 |
| 2.1 - Ionosfera ----- | 2 |
| 2.2 - Ionossonda ----- | 3 |
| 2.3 - Ionograma ----- | 4 |
| 2.4 - Atividade solar e Atividade magnética ----- | 6 |
| 2.5 - Modelo IRI ----- | 9 |
| 3 - ANÁLISE DE DADOS | |
| 3.1 - Elaboração de gráficos de perfil vertical da densidade eletrônica ----- | 10 |
| 3.2 - Elaboração de gráficos da variação diurna da densidade e da altura do pico da camada F ----- | 13 |
| 3.3 - Médias da variação diurna da densidade e da altura do pico da camada F ----- | 16 |
| 4 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES ----- | 18 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ----- | 20 |
| APÊNDICE A - Tabelas de equivalência entre dia Juliano e dia do mês (para ano bissexto e ano não bissexto) ----- | 21 |
| APÊNDICE B - Gráficos de perfis de densidade eletrônica e tabela do número de manchas solares. ----- | 24 |
| APÊNDICE C - Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e altura | |

| | |
|---|-----|
| do pico da camada F----- | 77 |
| APÊNDICE D - Listagem do programa para cálculo das médias----- | 104 |
| APÊNDICE E - Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e da altura do pico da camada F (média dos dias mais calmos)----- | 108 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| 2.1 - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica----- | 3 |
| 2.2 - Ionograma típico----- | 4 |
| 2.3 - Ciclos referentes as médias mensais das manchas solares de janeiro de 1949 a novembro de 1992----- | 6 |
| 2.4 - Perfil da densidade eletrônica ionosférica obtido pelo Modelo IRI-90--- | 10 |
| 3.1 - Perfil da densidade eletrônica ionosférica ----- | 13 |
| 3.2 - Variação diurna da densidade eletrônica do pico da camada F----- | 15 |
| 3.3 - Variação diurna do pico da camada F----- | 15 |
| 3.4 - Média da variação diurna da densidade eletrônica do pico da camada F--- | 17 |
| 3.5 - Média da variação diurna da altura do pico da camada F----- | 17 |
| B.1 - Gráficos de perfis da densidade eletrônica ----- | 24 |
| C.1 - Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e da altura da camada F----- | 77 |
| E.1 - Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e da altura do pico da camada F (média dos dias mais calmos)----- | 108 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| 2.1 - Parâmetros contidos no ionograma e suas nomenclaturas----- | 5 |
| 2.2 - Médias mensais do número de manchas solares de janeiro a dezembro de 1993 ----- | 7 |
| 2.3 - Valores de KP durante o mês de abril de 1990 ----- | 8 |
| | |
| A.1 - Equivalência entre dia Juliano e dia do mês (para ano bissexto) ----- | 22 |
| A.2 - Equivalência entre dia Juliano e dia do mês (para ano não bissexto) ----- | 23 |
| | |
| B.1 - Número de manchas solares (abril de 1990 a setembro de 1993)----- | 76 |

1 -INTRODUÇÃO

Os estudos ionosféricos em latitudes baixas e equatoriais são de grande interesse para os grupos de pesquisa que trabalham nessa área no Brasil, uma vez que todo o território brasileiro está confinado na região de baixa latitude, quando se leva em consideração a latitude magnética. As ionossondas são os equipamentos mais apropriados para tais estudos, pois podem funcionar ininterruptamente durante longos períodos, produzindo longas séries temporais de dados contínuos. Em geral, as ionossondas funcionam de forma a produzir um ionograma a cada 15 minutos (intervalos de tempo menores são geralmente utilizados durante campanhas).

Os dados produzidos pelas ionossondas podem ser convertidos em perfis verticais de densidade eletrônica (densidade em função da altura - $N(h)$). Podem também ser utilizados para estudar a variação diurna dos vários parâmetros ionosféricos tais como densidade eletrônica no pico da região F ($NmF2$), altura onde a densidade é máxima ($hmF2$) e a variação destes parâmetros com a atividade magnética e com a atividade solar.

Este trabalho está sendo desenvolvido utilizando os dados obtidos através de uma Digissonda (ionossonda digital) instalada em Cachoeira Paulista, SP. Os perfis verticais de densidade eletrônica e a variação diurna dos parâmetros das camadas F, $NmF2$ e $hmF2$, são comparados com os resultados produzidos por um modelo ionosférico internacional de referência denominado IRI (Bilitza, 1990). A finalidade de se fazer tais comparações é verificar a eficiência do modelo em prever o comportamento da ionosfera de baixas latitudes na região brasileira e contribuir para o aprimoramento do mesmo, uma vez que poucos dados do Hemisfério Sul foram utilizados no desenvolvimento do modelo.

Na próxima sessão serão vistos alguns conceitos básicos indispensáveis ao bom entendimento deste trabalho tais como os conceitos de ionosfera, ionossonda, ionograma, os fundamentos do modelo IRI e os conceitos de perturbação magnética, critérios usados para classificar os períodos em magneticamente calmos ou perturbados, e os índices de atividade solar. Nas

sessões posteriores serão apresentados dados, discutidos os resultados e feitas as principais conclusões deste trabalho.

2 - CONCEITOS BÁSICOS

2.1 - Ionosfera

A Ionosfera é uma camada ionizada, altamente condutiva da atmosfera da Terra, situada entre aproximadamente 50 - 1000 km, e que tem a propriedade de refletir ondas eletromagnéticas na faixa de rádio-frequência.

A produção de ionização é ocasionada pela radiação solar, principalmente pela radiação ultravioleta, que ioniza os gases atmosféricos N_2 , O_2 , O .

A perda de ionização se processa através da recombinação dos pares íons-elétrons e, no caso mais simples, quando se tem equilíbrio fotoquímico, há a igualdade entre os processos de produção e perda, do que se pode deduzir a densidade eletrônica. Este é o parâmetro característico da ionosfera.

De acordo com sua variação com a altura, e por conveniência de estudo, a ionosfera está dividida em diversas camadas, cada uma delas com suas propriedades características (figura 2.1).

A região D, consiste na parte inferior da ionosfera, até cerca de 80 km. Devido à densidade atmosférica ser maior nesta região do que nas outras, a importância de colisões entre íons, elétrons, e partículas neutras é considerável.

A região E fica entre a região D e F, aproximadamente entre 80 e 130 km de altura. Esta região é importante pela presença de correntes elétricas que nela fluem e sua interação com o campo magnético.

A região F engloba as regiões superiores da ionosfera, inclusive o pico de densidade em torno de 300 km, com a região F1 em torno dos 200 km e a região F2 acima. A região F1 é definida pela aparição esporádica de um pequeno

pico secundário na concentração eletrônica, ou de apenas uma inflexão na curva em torno de 180 km. A região F2 consiste de toda a região superior da ionosfera e é nessa região que se concentram os íons e elétrons da ionosfera.

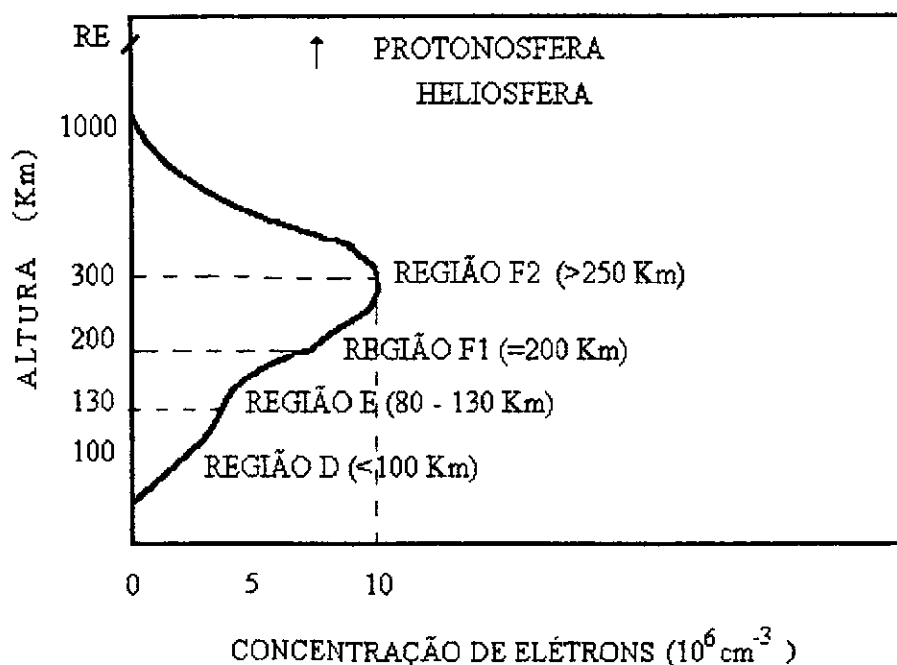


Fig. 2.1 - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica

Os limites inferior e superior não são perfeitamente definidos, porém a concentração eletrônica se torna muito pequena, abaixo de 70 km e acima de 1000 km.

2.2 - Ionossonda

Ionossonda é um dos instrumentos mais representativos para a medida de parâmetros ionosféricos. Trata-se de um sistema transmissor-receptor que emite pulsos de energia eletromagnética e frequência variável, em sequência, tipicamente de 1 a 25 MHz. O sinal emitido normalmente na vertical é refletido pela ionosfera e em função do tempo decorrido entre transmissão e recepção do pulso à frequência f , obtém-se as chamadas curvas de $h'(f)$ ou ionogramas.

2.3 - Ionograma

Ionograma é um gráfico fotográfico gerado através de modulações de intensidade de uma fonte luminosa pelo sinal recebido, que mostra a variação da altura de reflexão da onda, chamada altura virtual (h') em função da frequência dessa onda.

Através de ionogramas, baseado na teoria de propagação de ondas na ionosfera, podem-se produzir curvas de densidade eletrônica em função da altura. A obtenção de ionogramas é, portanto, de importância fundamental para o conhecimento da ionosfera, razão pela qual existem inúmeras estações de ionosondas pelo mundo.

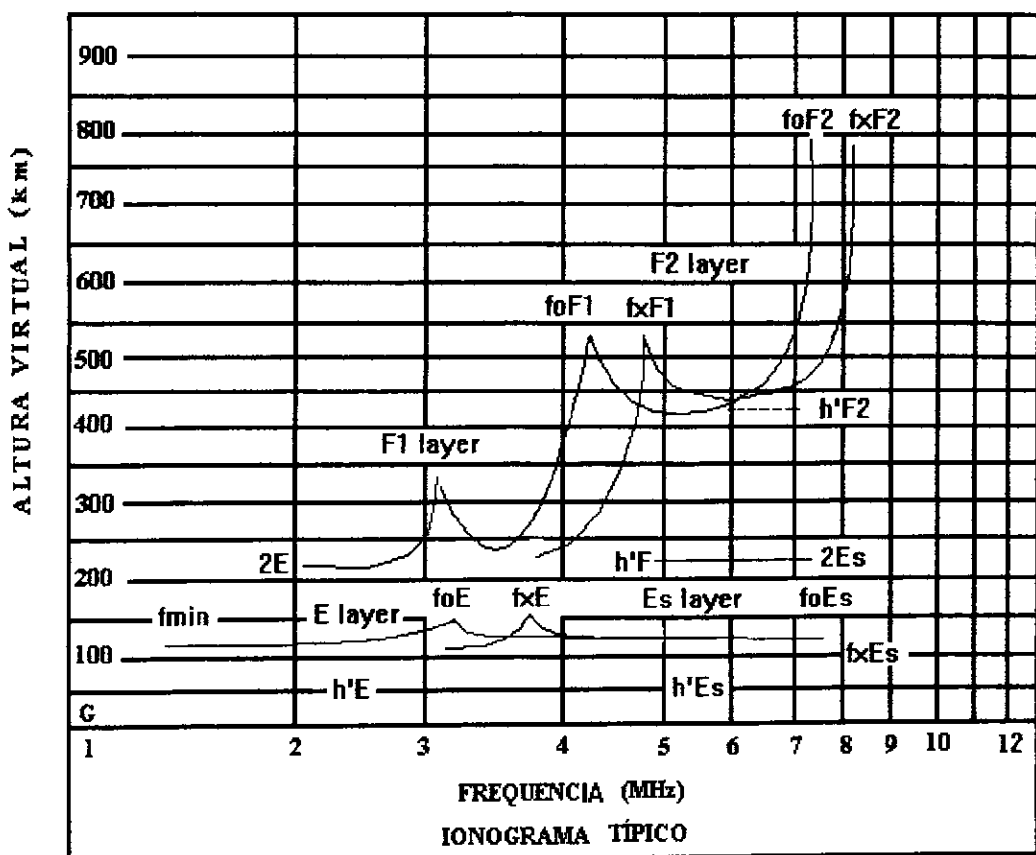


Fig. 2.2 - Ionograma típico.

A figura 2.2 apresenta um esquema de um ionograma mostrando os principais parâmetros ionosféricos e a tabela 2.1 descreve a nomenclatura desses parâmetros.

Os ionogramas eram geralmente gravados em filmes fotográficos através de modulação da intensidade de um fonte luminosa pelo sinal recebido. Atualmente, nas digissondas (ionossondas digitais), os ionogramas são gravados em fita magnética e exibidos em monitores de vídeo, acoplados a micro computadores.

TABELA 2.1- PARÂMETROS CONTIDOS NO IONOGRAMA E SUAS RESPECTIVAS NOMENCLATURAS

| | |
|-------|--|
| h' E | Altura virtual mínima em toda camada E normal. |
| h' Es | Altura virtual mínima em toda camada Es observada. |
| fmin | A menor frequência na qual o traço do eco foi observado no ionograma. |
| foE | Frequência crítica da onda ordinária correspondente a camada densa mais inferior na região E que causa descontinuidade na altura do traço E. |
| fxE | Frequência crítica da onda extraordinária correspondente a camada densa mais inferior na região E . |
| foEs | A máxima frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada Es é observado |
| fxEs | A máxima frequência da onda extraordinária, na qual o traço contínuo da camada Es é observado. |
| h' F | Altura virtual mínima do traço ordinário em toda região F. |
| h' F2 | Altura virtual mínima do traço ordinário da camada estável mais alta da região F. |
| foF1 | Frequência crítica da onda ordinária da camada F1, pouco encontrada nas regiões de baixa latitude. |
| fxF1 | Frequência crítica da onda extraordinária da camada F1. |
| foF2 | Frequência crítica da onda ordinária da camada F2, a camada mais alta na região F. |
| fxF2 | Frequência crítica da onda extraordinária da camada F2. |

2.4 - Atividade Solar e Atividade Magnética

Por ser formada primeiramente pela ionização devido a radiação solar, a ionosfera sente os efeitos das variações que ocorrem no sol.

A radiação emitida pelo sol apresenta uma variação periódica, com um período médio de 11 anos. Uma das grandezas utilizadas para medir a atividade solar é o número de manchas solares (Sunspot Number), geralmente representado pela letra R. O número de manchas solares é diretamente proporcional ao número de áreas escuras (manchas) identificadas no sol através de um telescópio, sem o uso de filtros. O número de manchas solares é publicado mensalmente em periódicos especializados em dados geofísicos e solares, tais como o "Solar Geophysical Data" publicado "US Department of Commerce / NOAA" em Boulder, CO, Estados Unidos.

Médias mensais dos Números de Manchas Solares (Jan 1949 - Nov 1992)

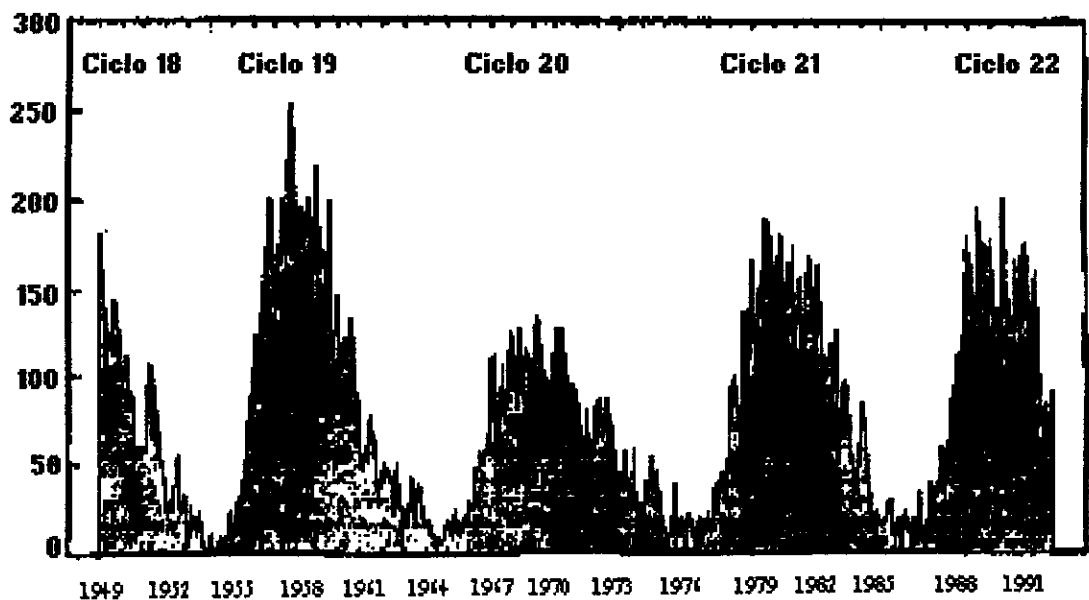


Fig. 2.3 - Ciclos referentes as médias mensais das manchas solares de janeiro de 1949 a novembro de 1992.

Fonte: Solar Geophysical Data - Parte I (dez / 1992), 24.

TABELA 2.2 - MÉDIAS MENSAIS DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES DE JANEIRO A DEZEMBRO DE 1993.

| NÚMERO DE MANCHAS SOLARES | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|------|------|------|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Dia | Jan 93 | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul ^o | Ago ^o | Set ^o | Out ^o | Nov ^o | Dez ^o |
| 1 | 48 | 72 | 75 | 67 | 39 | 105 | 68 | 38 | 26 | 64 | 10 | 67 |
| 2 | 41 | 34 | 60 | 67 | 82 | 102 | 67 | 40 | 24 | 95 | 20 | 58 |
| 3 | 38 | 73 | 84 | 75 | 42 | 101 | 66 | 36 | 20 | 87 | 18 | 60 |
| 4 | 62 | 85 | 88 | 67 | 69 | 82 | 60 | 35 | 22 | 100 | 21 | 68 |
| 5 | 71 | 119 | 105 | 76 | 77 | 75 | 68 | 26 | 21 | 90 | 30 | 63 |
| 6 | 84 | 121 | 86 | 88 | 75 | 83 | 58 | 48 | 14 | 71 | 33 | 65 |
| 7 | 81 | 128 | 83 | 78 | 74 | 72 | 48 | 43 | 12 | 65 | 31 | 65 |
| 8 | 88 | 134 | 82 | 81 | 81 | 55 | 48 | 47 | 12 | 64 | 33 | 57 |
| 9 | 84 | 128 | 85 | 87 | 87 | 46 | 36 | 58 | 16 | 78 | 23 | 58 |
| 10 | 108 | 114 | 81 | 78 | 128 | 47 | 31 | 65 | 9 | 68 | 25 | 48 |
| 11 | 81 | 95 | 88 | 58 | 126 | 37 | 35 | 73 | 12 | 65 | 14 | 36 |
| 12 | 84 | 87 | 77 | 37 | 108 | 18 | 36 | 58 | 8 | 68 | 15 | 21 |
| 13 | 88 | 92 | 67 | 22 | 85 | 10 | 81 | 60 | 10 | 35 | 21 | 17 |
| 14 | 88 | 82 | 58 | 15 | 58 | 10 | 63 | 38 | 10 | 29 | 28 | 23 |
| 16 | 68 | 73 | 80 | 13 | 51 | 18 | 68 | 28 | 8 | 52 | 28 | 8 |
| 16 | 68 | 88 | 58 | 13 | 37 | 13 | 63 | 21 | 23 | 58 | 32 | 28 |
| 17 | 82 | 68 | 60 | 34 | 32 | 17 | 67 | 28 | 18 | 38 | 26 | 21 |
| 18 | 86 | 88 | 88 | 48 | 24 | 15 | 80 | 28 | 18 | 37 | 37 | 58 |
| 19 | 88 | 88 | 72 | 21 | 14 | 16 | 78 | 28 | 14 | 44 | 40 | 18 |
| 20 | 82 | 67 | 78 | 28 | 35 | 24 | 68 | 28 | 13 | 63 | 40 | 27 |
| 21 | 47 | 82 | 78 | 58 | 25 | 26 | 64 | 31 | 14 | 68 | 58 | 37 |
| 22 | 34 | 100 | 73 | 83 | 18 | 27 | 54 | 42 | 14 | 81 | 32 | 44 |
| 23 | 38 | 101 | 83 | 88 | 22 | 51 | 58 | 42 | 18 | 81 | 53 | 54 |
| 24 | 46 | 88 | 42 | 88 | 33 | 80 | 88 | 58 | 23 | 52 | 54 | 68 |
| 25 | 61 | 88 | 40 | 88 | 53 | 68 | 81 | 53 | 43 | 38 | 48 | 82 |
| 26 | 37 | 88 | 48 | 55 | 65 | 68 | 56 | 44 | 43 | 55 | 48 | 82 |
| 27 | 43 | 88 | 61 | 52 | 68 | 67 | 46 | 46 | 43 | 38 | 38 | 88 |
| 28 | 37 | 88 | 61 | 54 | 74 | 68 | 58 | 48 | 82 | 28 | 53 | 86 |
| 29 | 35 | | 64 | 41 | 81 | 78 | 47 | 48 | 48 | 21 | 38 | 81 |
| 30 | 38 | | 58 | 38 | 97 | 70 | 46 | 37 | 40 | 24 | 48 | 75 |
| 31 | 32 | | 61 | | 86 | | 48 | 28 | | 25 | | 88 |
| MÉDIA | 68,3 | 81,0 | 68,8 | 62,7 | 81,3 | 49,8 | 57,3 | 42,8 | 21,7 | 55,4 | 34,8 | 48,4 |

Superpostas às variações periódicas da atividade solar, existem outros tipo de variações menos previsíveis, que causam perturbações no campo magnético da Terra e na ionosfera. Estas perturbações são medidas por vários índices magnéticos ou índice de atividade magnética. Entre estes índices, o Kp é um dos mais utilizados. Ele é baseado em medidas do campo magnético terrestre, distribuídas em períodos de 3 horas (00-03 UT, 03-06 UT, etc), realizadas por vários observatórios magnéticos. Após um processo de ponderação e média, o valor de Kp para cada 3 horas do dia é expresso em uma escala de 0 (para "muito calmo") a 9 (para "muito perturbado"). A escala é quase logarítmica e os valores inteiros são subdivididos em terços utilizando os símbolos + e - : 0, 0+, 1-, 1°, 1+,... 8+, 9-, 9°. A tabela 2.3 mostra um exemplo dos valores de Kp durante 1 mês.

TABELA 2.3 - VALORES DE KP NO MÊS DE ABRIL DE 1990.

ASSOCIAÇÃO DE GEOMAGNETISMO E AERONOMIA
(Serviço Internacional de Índices Geomagnéticos)

Dias Internacionalmente calmos e perturbados:

| | | | | | |
|----------------------------|----|----|-----|----|-----|
| Dias Calmos 1-5: | 1 | 8 | 6A | 7A | 19A |
| Dias Calmos 6-10: | 5A | 4A | 16A | 2A | 21A |
| Dias mais Perturbados 1-5: | 10 | 12 | 11 | 14 | 17 |

ÍNDICES PLANETÁRIOS GEOMAGNÉTICOS

| 3 horas: | Kp; | Diário: | Ap | e | Cp |
|-------------------|----------|----------|-------|-----|------|
| <u>Abril 1990</u> | | | | | |
| | 1 2 3 4 | 5 6 7 8 | Soma | Ap | Cp |
| 1 | 2+1+2-0+ | 1+1+2+2o | 13- | 6 | 0.3 |
| 2 | 1+2+2+3- | 3+3o3-2o | 20- | 11 | 0.6 |
| 3 | 2o3-3o4- | 4+3+3+3- | 25o | 17 | 0.9 |
| 4 | 3-3-2+2+ | 3-2o3o1- | 18+ | 10 | 0.6 |
| 5 | 2o1+3-3o | 3o3-2o1- | 17+ | 10 | 0.5 |
| 6 | 1+1+2o3- | 2+2o1+2o | 15o | 7 | 0.4 |
| 7 | 2o2+2+2o | 1+3o2-2o | 17- | 8 | 0.4 |
| 8 | 3-2-0+1+ | 2+2-2-2- | 13+ | 6 | 0.3 |
| 9 | 2-3-5-5+ | 6-5+4o3- | 32o | 34 | 1.4 |
| 10 | 4o5+7o8- | 8o7+7+6o | 53- | 124 | 1.9 |
| 11 | 7-7-5+5+ | 5-5+6-3- | 42+ | 64 | 1.7 |
| 12 | 4+8-7+6+ | 7-5+7-5+ | 50- | 99 | 1.9 |
| 13 | 4+5-5+4o | 4o4+5+4+ | 36+ | 38 | 1.4 |
| 14 | 4o4+6o5o | 5o5+4+5- | 39- | 45 | 1.5 |
| 15 | 5o5o4-3+ | 4o3o2+2- | 28o | 24 | 1.2 |
| 16 | 3-2o3-3o | 2+1+2+3- | 19o | 10 | 0.6 |
| 17 | 4-2+5-6o | 5+4+4o5+ | 36- | 40 | 1.5 |
| 18 | 5o5+3o3- | 3+2+3-4- | 28o | 24 | 1.2 |
| 19 | 3-1+1+1+ | 2-2+3o3o | 17- | 9 | 0.5 |
| 20 | 3+2+2+2o | 3-3+5o4- | 25- | 18 | 1.0 |
| 21 | 5-4+3-2- | 1+1o1-1+ | 18- | 13 | 0.8 |
| 22 | 2-3o3o2o | 3o3o3-5- | 23o | 16 | 0.9 |
| 23 | 4o6-5o4- | 4o6-3+3+ | 35- | 37 | 1.4 |
| 24 | 2-3+6o5o | 4o3+4-4- | 31- | 30 | 1.3 |
| 25 | 4-4o4o4- | 3+3o2+3o | 27o | 19 | 1.0 |
| 26 | 4-5+3+1o | 2o1+1+2+ | 20+ | 16 | 0.9 |
| 27 | 3-4o3o2+ | 3+3+2-3+ | 24- | 15 | 0.9 |
| 28 | 3o3+4-3- | 4+3o4o3+ | 27+ | 20 | 1.0 |
| 29 | 4+5-5-4+ | 3-3-4-5o | 32o | 30 | 1.3 |
| 30 | 6-4-3-2+ | 2+2o2o4- | 24+ | 19 | 1.0 |
| | | | Média | 27 | 1.01 |

SSC Preliminares : 09 d 08 h 42 m
 12 d 03 h 26 m
 17 d 07 h 19 m

Editor: Institut für Geophysik
 Postfach 2341
 D-3400 Göttingen (Alemanha)

2.5 - Modelo IRI

O modelo *IRI* foi criado no final da década de 1960, através da articulação de um projeto entre a International Union of Radio Science (URSI) e o Committee on Space Research (COSPAR). A intenção era a de produzir um modelo padrão, digno de confiança, dos mais importantes parâmetros ionosféricos, tais como densidade eletrônica, temperatura dos íons e composição iônica (Bilitza, 1986).

Essas entidades, URSI e COSPAR, usaram dados destes parâmetros ionosféricos de diferentes locais do mundo e também de diferentes épocas e, articulando com cientistas de diversas partes do mundo, construíram o modelo *IRI*. Depois disso o modelo já sofreu várias correções, sempre com a finalidade de aprimorar a representação média global dos parâmetros que ele descreve.

O *IRI* é um modelo empírico padrão baseado em observações experimentais do plasma ionosférico. Seu objetivo principal é produzir um modelo realista do comportamento médio global e temporal dos mais importantes parâmetros ionosféricos, tais como, densidade eletrônica, concentração dos íons O^+ , H^+ , NO^+ e O_2^+ e temperatura de elétrons e íons, para condições ionosféricas magneticamente não perturbadas. O *IRI* fornece perfis de densidade eletrônica normalizados, que são então combinados com valores do pico da densidade eletrônica da região F e da altura do pico previstos pela CCIR (International Radio Consultative Committee). Estes perfis são previstos para determinada localização geográfica ou geomagnética, tempo em hora local, hora universal ou ângulo zênital solar, sazonalidade (mês ou dia do ano) e níveis de atividade solar (valor médio do número de manchas solares).

Os parâmetros chaves incluídos no modelo *IRI* são o pico de densidade eletrônica na região F (f_0F_2) e a altura do pico (h_mF_2). O instrumento básico mais importante, a nível internacional, para a obtenção dos dados para estas quantidades é a ionossonda.

A fig. 2.4 mostra um exemplo de perfil de densidade eletrônica obtido usando o modelo IRI-90. Neste caso usaram-se os seguintes parâmetros de entrada para o modelo: latitude geográfica = -22.5 e longitude geográfica = 315 (dados retirados de Cachoeira Paulista), média de manchas solares = 73.3, variação da altura de 100 a 600 km. O modelo foi calculado para o dia 15 de julho de 1993 às 00:00 LT (hora local).

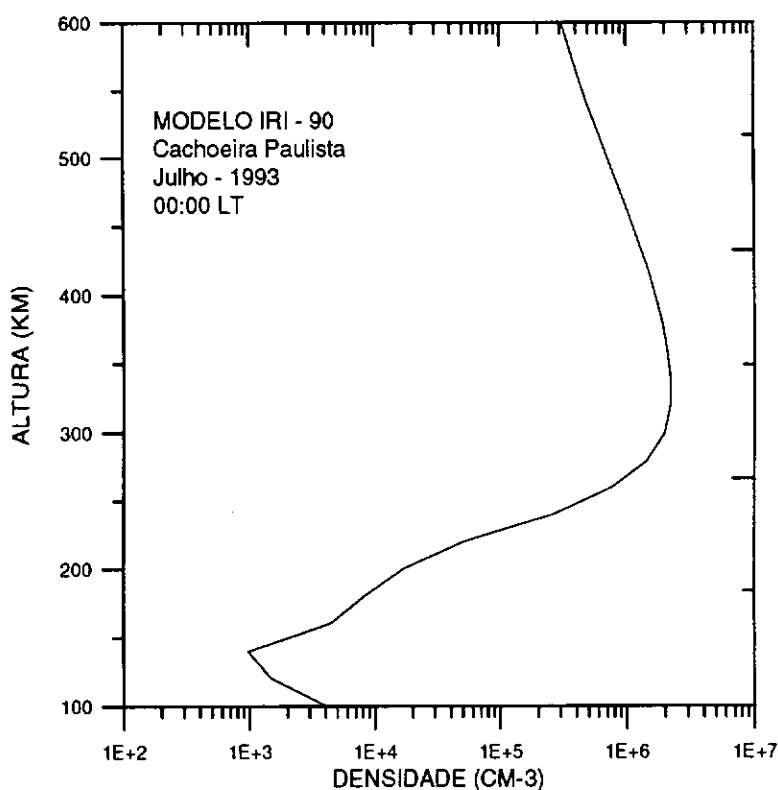


Fig. 2.4 - Perfil da densidade eletrônica ionosférica obtido pelo modelo IRI-90.

3 - ANÁLISE DOS DADOS

3.1 - Elaboração de gráficos de perfil vertical da densidade eletrônica

Os gráficos foram elaborados utilizando-se os cinco dias mais calmos de cada mês. Para a escolha destes dias, foi necessária uma pesquisa em

tabelas de índices magnéticos. Para a construção de alguns gráficos, não foram usados todos os cinco dias mais calmos, pois não foram colhidos dados para certos dias.

Para se obter o perfil vertical da densidade eletrônica, foi necessário executar o *IRI* para o 15º dia de cada mês. Ao executar o *IRI*, foi utilizado como parâmetro variável a altitude (no caso, de 100 a 600 km), a latitude e a longitude geodética usadas foram, respectivamente, -22.5 e 315 (dados referentes a Cachoeira Paulista, de onde se originam os dados), os níveis de atividade solar usados foram calculados fazendo-se uma média mensal do número de manchas solares, que foram retirados de tabelas específicas.

Os arquivos de dados utilizados, referentes aos dias mais calmos, fazem parte de um banco de dados ionosféricos preparado e mantido pelo Grupo de Ionosfera da Divisão de Aeronomia do INPE. Os arquivos estão gravados no modo ASC padrão e, portanto, podem ser facilmente lidos em qualquer microcomputador. Há um arquivo de dados para cada dia, e cada arquivo é identificado pelo nome "arqAADDD.sao", onde "AA" corresponde ao ano (dois últimos algarismos) e "DDD" corresponde ao dia Juliano (dia contado sequencialmente dentro do mesmo ano). Assim, o arquivo identificado como "arq93243.sao" contém os dados referentes ao dia 243 do ano de 1993 (que é o dia 31 de agosto de 1993). No apêndice A listam-se as tabelas de equivalência entre dia Juliano e o dia do mês.

Os arquivos "arqAADDD".sao possuem formato variável e contêm informações sobre todos os parâmetros ionosféricos. A descrição detalhada do formato destes arquivos pode ser encontrada no Manual do Usuário preparado pelo *Center for Atmospheric Research* (1992).

Para se obter o perfil de densidade eletrônica a partir dos arquivos ".sao" executa-se o programa *Profile1*, o qual usa um arquivo "arqAADDD.sao" como arquivo de entrada e gera um arquivo "arqAADDD.dat" como arquivo de saída. O *Profile1* é um programa elaborado em linguagem *Fortran*, que gera arquivos no modo ASC, separados em colunas. A primeira coluna contém a frequência da onda, em MHz, e a segunda coluna contém a altura, em km. A

frequência da onda está relacionada à densidade do plasma onde a mesma é refletida, através da expressão:

$$NE = 1,24 \times 10^4 f^2$$

onde f é a frequência da onda, em MHz, e Ne é a densidade numérica do plasma, em cm^{-3} .

Os arquivos gerados pelo *Profile1* possuem um perfil (frequência x altura) para cada horário em que é feita a sondagem ionosférica. Como a sondagem é feita, geralmente, a cada 15 min, cada um dos arquivos "arqAADDD.dat" possui até 96 perfis. Neste trabalho usou-se, para comparação com os perfis do *IRI*, apenas os dados referentes a alguns horários específicos (0, 6, 12 e 18 horas). Com os arquivos padronizados no formato de colunas pode-se usar pacotes gráficos comerciais para a apresentação dos resultados. Neste trabalho utilizou-se o *Grapher for Windows* para tal finalidade.

Foram Elaborados quatro gráficos para cada mês, sendo um para cada horário (0, 6, 12 e 18 horas). A Figura 3.1 mostra um exemplo dos perfis verticais de densidade eletrônica para os cinco dias mais calmos do mês de agosto de 1993, às 12:00 LT, e o resultado obtido usando o modelo *IRI*. No apêndice B são apresentados os demais gráficos para os períodos analisados neste trabalho. Também no mesmo Apêndice são listadas as tabelas contendo o valor médio do número de manchas solares utilizado para processar o modelo *IRI*.

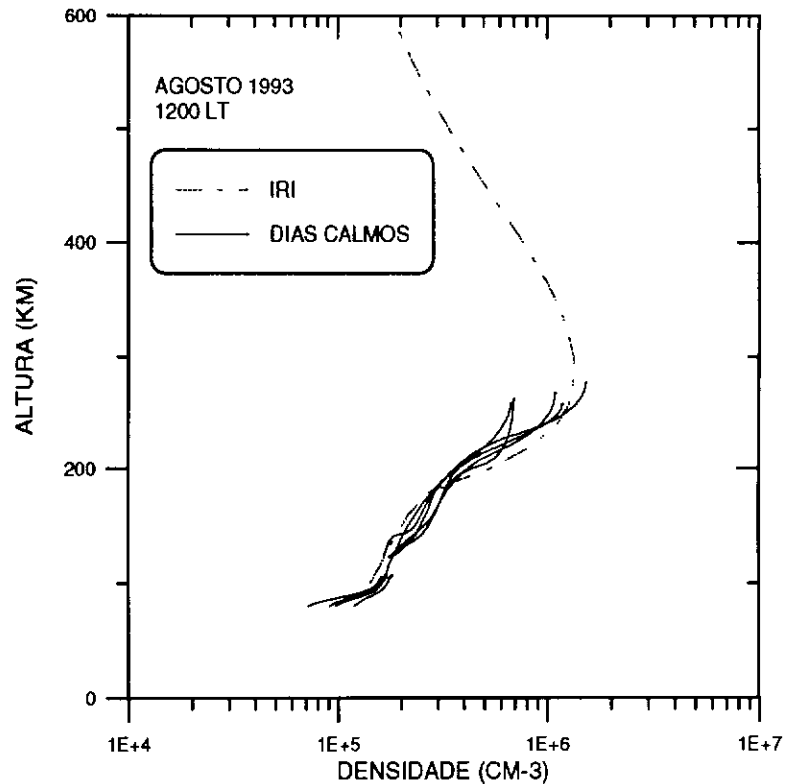


Fig. 3.1 - Perfil da densidade eletrônica ionosférica.

3.2 - Elaboração de gráficos da variação diurna da densidade e da altura do pico da camada F

Os gráficos foram elaborados utilizando os cinco dias mais calmos de cada mês, assim como citado anteriormente.

Para se obter a variação diurna, foi executado o *IRI* para o 15º dia de cada mês. Ao executar o *IRI*, a variação usada foi da hora (0 a 24), a altitude usada foi zero (quando se usa a densidade igual a zero, o programa fornece apenas a densidade no pico das diversas camadas ionosféricas), a longitude geodética e os níveis de atividade solar usados foram os mesmos citados anteriormente.

Os arquivos utilizados, referentes aos dias mais calmos, são do modo *ASC*, e possuem a extensão “*sao*”. Estes arquivos foram processados em

um programa denominado *ALVLRPI* (AL=altura, VL=velocidade, FR=frequência, PI=pico) e passaram a ter a extensão “dat”. O *ALVLRPI* é um programa elaborado em *Fortran*, o qual utiliza como entrada os “arqAADDD.sao” e gera como saída arquivos com formato de tabelas, denominados “aq2AADDD.dat”. Para a execução deste programa é necessário que se entre com o nome dos arquivos de entrada e de saída, respectivamente, e com a frequência a ser utilizada (neste caso a frequência utilizada foi 5 MHz).

Os arquivos do tipo “aq2AADDD.dat” possuem 5 colunas, as quais representam os parâmetros listados a seguir:

- 1ª coluna: hora universal (para a longitude de Cachoeira Paulista, -45° W, hora universal = hora local + 3 horas),
- 2ª coluna: altura (km) para uma frequência fixa, a qual é fornecida como parâmetro de entrada,
- 3ª coluna: dh/dt (m/s),
- 4ª coluna: f_0F_2 (MHz),
- 5ª coluna: altura do pico da camada F, em km.

Para os gráficos de frequência (ou densidade) foram usados os parâmetros hora (ut) e f_0F_2 , já para os gráficos de altura foram usados os parâmetros hora (ut) e altura do pico.

A elaboração final dos gráficos foi feita no *Grapher for Windows*, utilizando-se os arquivos “aq2AADDD.dat”. Foram elaborados dois gráficos para cada mês, sendo um da frequência (densidade) e outro do perfil da altura do pico. A transformação de frequência para densidade é feita utilizando-se a Equação mostrada anteriormente.

As figuras 3.2 e 3.3 mostram, respectivamente, um exemplo da variação diurna da densidade eletrônica do pico da camada F, e outro da variação diurna do pico da camada F. Ambos foram elaborados para os cinco dias mais calmos do mês de agosto de 1993, e comparados com os resultados obtidos pelo modelo *IRI*. No apêndice C são apresentados os demais gráficos para os períodos analisados neste trabalho.

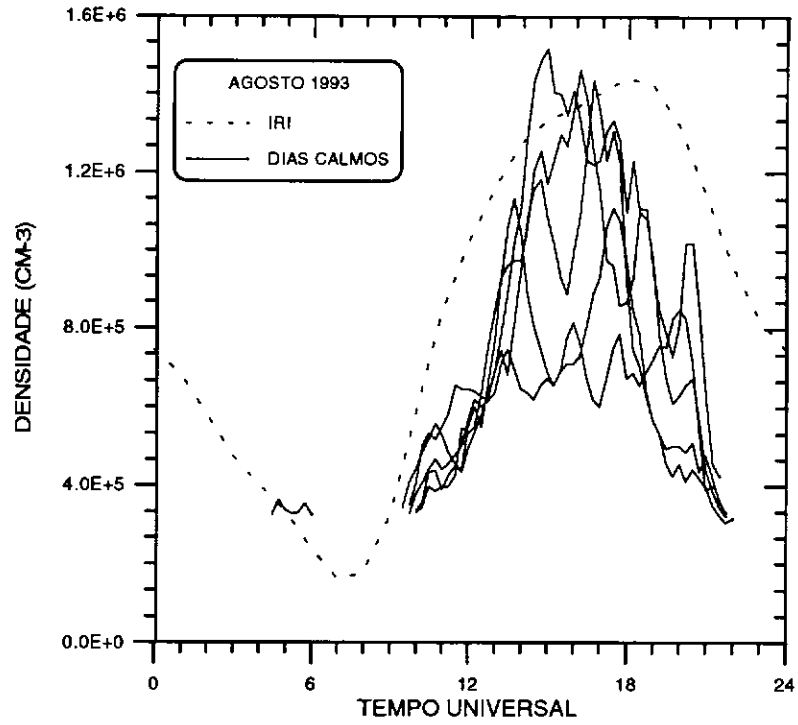


Fig. 3.2 - Variação diurna da densidade eletrônica do pico da camada F.

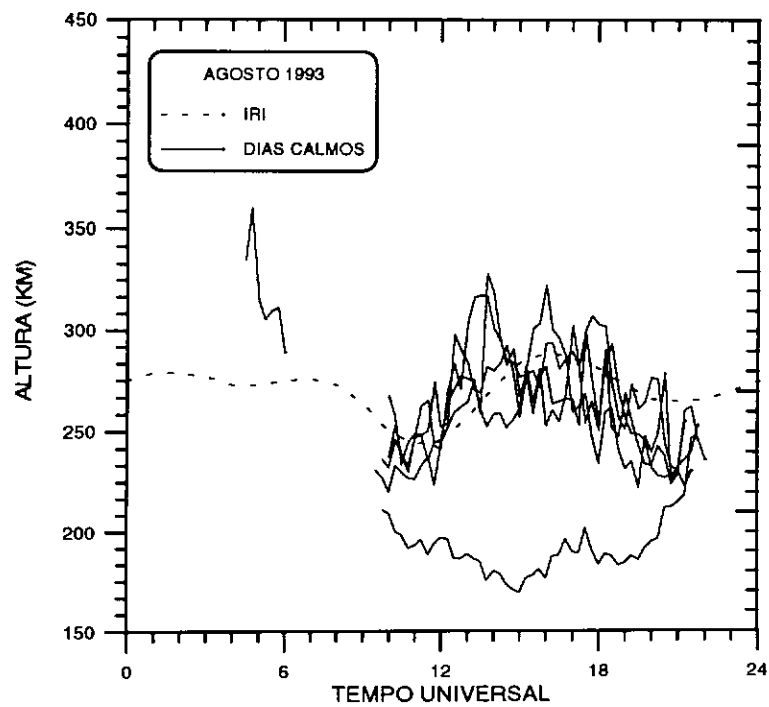


Fig. 3.3 - Variação diurna da altura do pico da camada F.

3.3 - Médias da variação diurna da densidade e da altura do pico da camada F.

Devido à grande variabilidade da densidade e da altura do pico da camada F, como pode ser visto nas Figuras 3.2 e 3.3 (ver também figuras do Apêndice C) é aconselhável que se tome as médias mensais desses parâmetros, para os dias calmos, com a finalidade de comparar esses valores médios com os resultados do modelo *IRI*. Foi então desenvolvido um programa para o cálculo dessas médias.

O programa foi elaborado na linguagem C, e foi denominado de *MPD* (média / pico / densidade). O *MPD* lê os dados dos arquivos dos dias mais calmos (arquivos "aq2AADDD.dat" devidamente organizados, ou seja, deve-se corrigir alguma anormalidades que possa aparecer em um determinado arquivo), e monta um novo arquivo denominado "ARQMEDIA", contendo a média dos parâmetros dos arquivos lidos. Este novo arquivo será formado pelos seguintes parâmetros: Hora, Altura, Pico (média) , Densidade (média) e número de elementos, ou seja, a quantidade de elementos utilizados para o cálculo da média em cada horário. Para a execução deste programa é necessário que atualize o arquivo de dados "ARQUIVOS.DAT", onde são indicados os nomes dos arquivos que serão usados para o cálculo da média.

Para que o programa funcione corretamente, os seguintes requisitos devem ser atendidos:

- os arquivos não devem conter cabeçalhos (os dados devem começar logo na primeira linha);
- os dados devem ter sido colhidos de 15 em 15 minutos (se isso não ocorrer em alguns horários, deve haver um ajuste nos dados);
- os arquivos de entrada devem conter 5 colunas, com os seguintes parâmetros: Hora (ut), Altura (km), dh/dt (m/s), f0F2 e Pico.

No apêndice D apresenta-se a listagem do programa desenvolvido para o cálculo das médias.

Utilizou-se o software *Grapher for Windows* para fazer os gráficos das médias. As médias foram suavizadas usando a média corrida de cinco pontos. Foram elaborados dois gráficos para cada mês, um para a média da densidade e outro para a média da altura do pico da camada F. As figuras 3.4 e 3.5 mostram exemplos desses gráficos analisados neste trabalho.

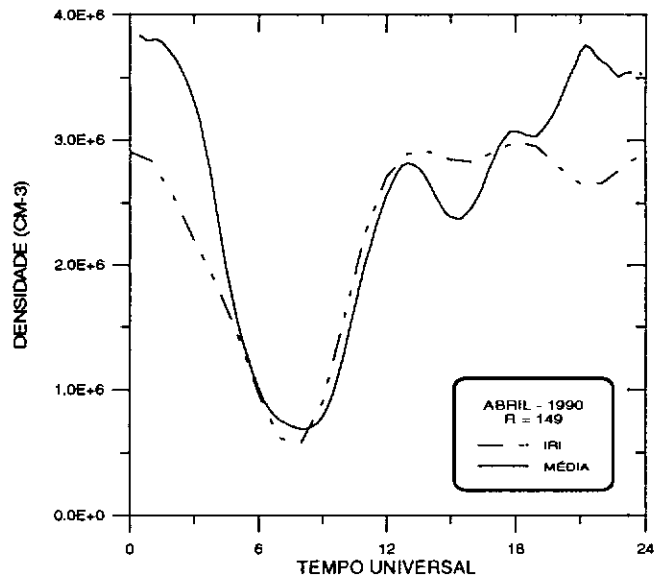


Fig.3.4 Média da variação diurna da densidade eletrônica do pico da camada F.

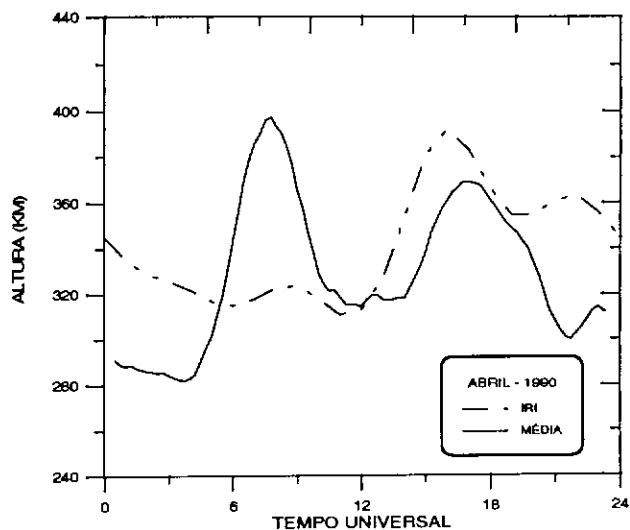


Fig. 3.5 - Média da variação diurna da altura do pico da camada F.

4 - DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os dados analisados neste trabalho estão compreendidos entre abril de 1990 e setembro de 1993. Estes dados estão concentrados perto do máximo e no início da fase decrescente do ciclo solar 22. O número de manchas solares neste período varia entre 21.7 (setembro de 1993) a 176.3 (agosto de 1991), como pode ser visto na tabela B1.

Os gráficos dos perfis de densidade eletrônica para os dias mais calmos de cada mês foram construídos para apenas quatro horários específicos (0, 6, 12, 18 horas). Analisando as figuras do Apêndice B nota-se que a melhor concordância entre os resultados do modelo *IRI* e as observações ocorre no horário das 12 horas, independente da estação e do número de manchas solares. Em apenas três casos observa-se uma boa concordância entre o *IRI* e os dados, às 18 horas. Estes três casos são outubro de 1991, novembro de 1992 e janeiro de 1993, com número de manchas solares iguais a 144.1, 92.0, 59.3, respectivamente.

Outra comparação que foi feita neste trabalho foi da variação diurna dos parâmetros do pico da camada F (densidade e altura). Os gráficos do Apêndice C mostram as comparações entre a variação da densidade e da altura do pico da camada F fornecidos pelo modelo *IRI* com os dias mais calmos de cada mês. Estes gráficos têm o objetivo de fornecer uma idéia de variabilidade dos dados. Os gráficos apresentados no Apêndice E comparam os valores médios da variação diurna da densidade e da altura, com os mesmos parâmetros fornecidos pelo *IRI* e os comentários feitos aqui serão sobre esses gráficos.

De uma maneira geral, a densidade do pico da camada F fornecida pelo modelo *IRI* concorda bem com os resultados experimentais nos horários entre 9 e 15 horas (6 e 12 horas, no tempo universal). No entanto, essa concordância é melhor nos períodos com número de manchas solares mais alto (alta atividade solar). Nota-se que, em geral, o modelo *IRI* subestima a densidade eletrônica no pico da camada F à noite, nos meses de verão e equinócio, em alta atividade solar. No entanto, em baixa atividade solar o modelo superestima a densidade no pico da camada F, em qualquer horário.

Para a altura observa-se a ocorrência de um aumento entre 2 e 5 horas (5 e 8 horas no tempo universal) nos dados. Este aumento não está presente nos resultados do modelo *IRI*. Observa-se também um aumento na altura do pico da camada F no início da noite, nos meses de setembro e outubro de 1991, e novembro de 1992, que também não são previstos pelo modelo. Existem vários fatores como ventos e campos elétricos na ionosfera, que são os responsáveis por muitas das características observadas nos dados. Estes fatores precisam ser levados em conta no modelo, para que ele possa produzir resultados mais próximos dos observados.

Pretende-se continuar este estudo para estudar melhor a variação dos parâmetros ionosféricos com a atividade solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bilitza, D. International reference ionosphere 1990. Maryland, Science Applications Research Lanham, 1990. 155p. (NSSDC/WDC-A-R& S 90-22).

Center for Atmospheric Research, University of Massachusetts Lowell, ADEP User's Manual, Lowell, Massachusetts, 1992.

Chryssafidis, M. Estudo comparativo da distribuição da densidade eletrônica ionosférica observada em baixas latitudes e predita pelo modelo IRI. (Dissertação de mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1992.

Kirchhoff, V. W. J. H. Introdução à geofísica espacial. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1991.

Souza, J. R. Estudo do conteúdo eletrônico total ionosférico. (Dissertação de mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1992. 70 p. (INPE-5417 - TDI/481).

APÊNDICE - A

Tabelas de equivalência entre dia Juliano e dia do mês
(para ano bissexto e ano comum).

TABELA DE EQUIVALÊNCIA ENTRE DIA JULIANO E DIA DO MÊS (PARA ANO BISSEXTO)

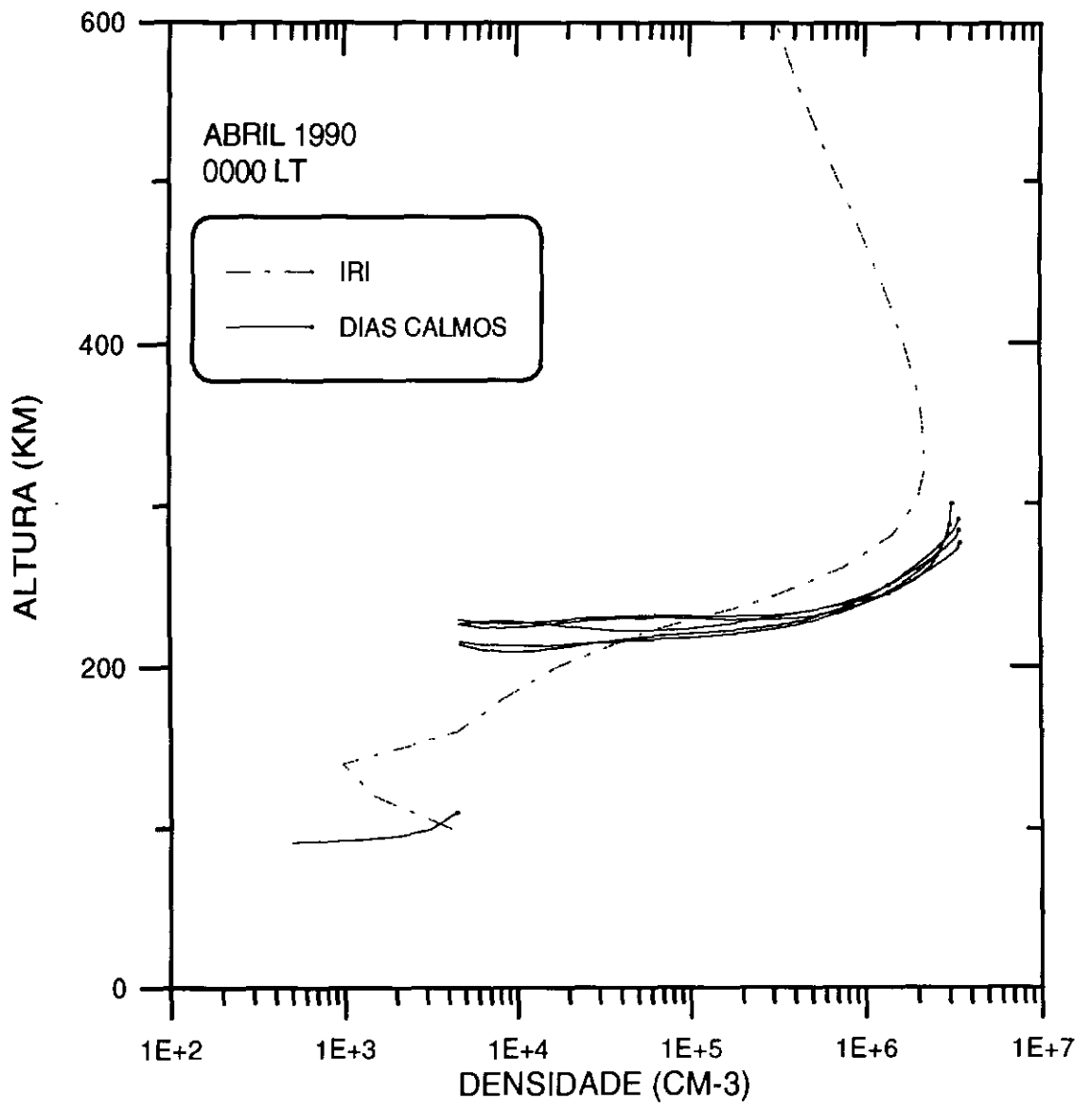
| JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| 1 | 1 | 32 | 1 | 61 | 1 | 153 | 1 | 183 | 1 | 214 | 1 | 245 | 1 | 275 | 1 | 306 | 1 | 336 |
| 2 | 2 | 33 | 2 | 62 | 2 | 154 | 2 | 184 | 2 | 215 | 2 | 246 | 2 | 276 | 2 | 307 | 2 | 337 |
| 3 | 3 | 34 | 3 | 63 | 3 | 155 | 3 | 185 | 3 | 216 | 3 | 247 | 3 | 277 | 3 | 308 | 3 | 338 |
| 4 | 4 | 35 | 4 | 64 | 4 | 156 | 4 | 186 | 4 | 217 | 4 | 248 | 4 | 278 | 4 | 309 | 4 | 339 |
| 5 | 5 | 36 | 5 | 65 | 5 | 157 | 5 | 187 | 5 | 218 | 5 | 249 | 5 | 279 | 5 | 310 | 5 | 340 |
| 6 | 6 | 37 | 6 | 66 | 6 | 158 | 6 | 188 | 6 | 219 | 6 | 250 | 6 | 280 | 6 | 311 | 6 | 341 |
| 7 | 7 | 38 | 7 | 67 | 7 | 159 | 7 | 189 | 7 | 220 | 7 | 251 | 7 | 281 | 7 | 312 | 7 | 342 |
| 8 | 8 | 39 | 8 | 68 | 8 | 160 | 8 | 190 | 8 | 221 | 8 | 252 | 8 | 282 | 8 | 313 | 8 | 343 |
| 9 | 9 | 40 | 9 | 69 | 9 | 161 | 9 | 191 | 9 | 222 | 9 | 253 | 9 | 283 | 9 | 314 | 9 | 344 |
| 10 | 10 | 41 | 10 | 70 | 10 | 162 | 10 | 192 | 10 | 223 | 10 | 254 | 10 | 284 | 10 | 315 | 10 | 345 |
| 11 | 11 | 42 | 11 | 71 | 11 | 163 | 11 | 193 | 11 | 224 | 11 | 255 | 11 | 285 | 11 | 316 | 11 | 346 |
| 12 | 12 | 43 | 12 | 72 | 12 | 164 | 12 | 194 | 12 | 225 | 12 | 256 | 12 | 286 | 12 | 317 | 12 | 347 |
| 13 | 13 | 44 | 13 | 73 | 13 | 165 | 13 | 195 | 13 | 226 | 13 | 257 | 13 | 287 | 13 | 318 | 13 | 348 |
| 14 | 14 | 45 | 14 | 74 | 14 | 166 | 14 | 196 | 14 | 227 | 14 | 258 | 14 | 288 | 14 | 319 | 14 | 349 |
| 15 | 15 | 46 | 15 | 75 | 15 | 167 | 15 | 197 | 15 | 228 | 15 | 259 | 15 | 289 | 15 | 320 | 15 | 350 |
| 16 | 16 | 47 | 16 | 76 | 16 | 168 | 16 | 198 | 16 | 229 | 16 | 260 | 16 | 290 | 16 | 321 | 16 | 351 |
| 17 | 17 | 48 | 17 | 77 | 17 | 169 | 17 | 199 | 17 | 230 | 17 | 261 | 17 | 291 | 17 | 322 | 17 | 352 |
| 18 | 18 | 49 | 18 | 78 | 18 | 170 | 18 | 200 | 18 | 231 | 18 | 262 | 18 | 292 | 18 | 323 | 18 | 353 |
| 19 | 19 | 50 | 19 | 79 | 19 | 171 | 19 | 201 | 19 | 232 | 19 | 263 | 19 | 293 | 19 | 324 | 19 | 354 |
| 20 | 20 | 51 | 20 | 80 | 20 | 172 | 20 | 202 | 20 | 233 | 20 | 264 | 20 | 294 | 20 | 325 | 20 | 355 |
| 21 | 21 | 52 | 21 | 81 | 21 | 173 | 21 | 203 | 21 | 234 | 21 | 265 | 21 | 295 | 21 | 326 | 21 | 356 |
| 22 | 22 | 53 | 22 | 82 | 22 | 174 | 22 | 204 | 22 | 235 | 22 | 266 | 22 | 296 | 22 | 327 | 22 | 357 |
| 23 | 23 | 54 | 23 | 83 | 23 | 175 | 23 | 205 | 23 | 236 | 23 | 267 | 23 | 297 | 23 | 328 | 23 | 358 |
| 24 | 24 | 55 | 24 | 84 | 24 | 176 | 24 | 206 | 24 | 237 | 24 | 268 | 24 | 298 | 24 | 329 | 24 | 359 |
| 25 | 25 | 56 | 25 | 85 | 25 | 177 | 25 | 207 | 25 | 238 | 25 | 269 | 25 | 299 | 25 | 330 | 25 | 360 |
| 26 | 26 | 57 | 26 | 86 | 26 | 178 | 26 | 208 | 26 | 239 | 26 | 270 | 26 | 300 | 26 | 331 | 26 | 361 |
| 27 | 27 | 58 | 27 | 87 | 27 | 179 | 27 | 209 | 27 | 240 | 27 | 271 | 27 | 301 | 27 | 332 | 27 | 362 |
| 28 | 28 | 59 | 28 | 88 | 28 | 180 | 28 | 210 | 28 | 241 | 28 | 272 | 28 | 302 | 28 | 333 | 28 | 363 |
| 29 | 29 | 60 | 29 | 89 | 29 | 181 | 29 | 211 | 29 | 242 | 29 | 273 | 29 | 303 | 29 | 334 | 29 | 364 |
| 30 | 30 | | 30 | 90 | 30 | 182 | 30 | 212 | 30 | 243 | 30 | 274 | 30 | 304 | 30 | 335 | 30 | 365 |
| 31 | 31 | | | 91 | | 183 | 31 | 213 | 31 | 244 | | | | 305 | | | 31 | 366 |

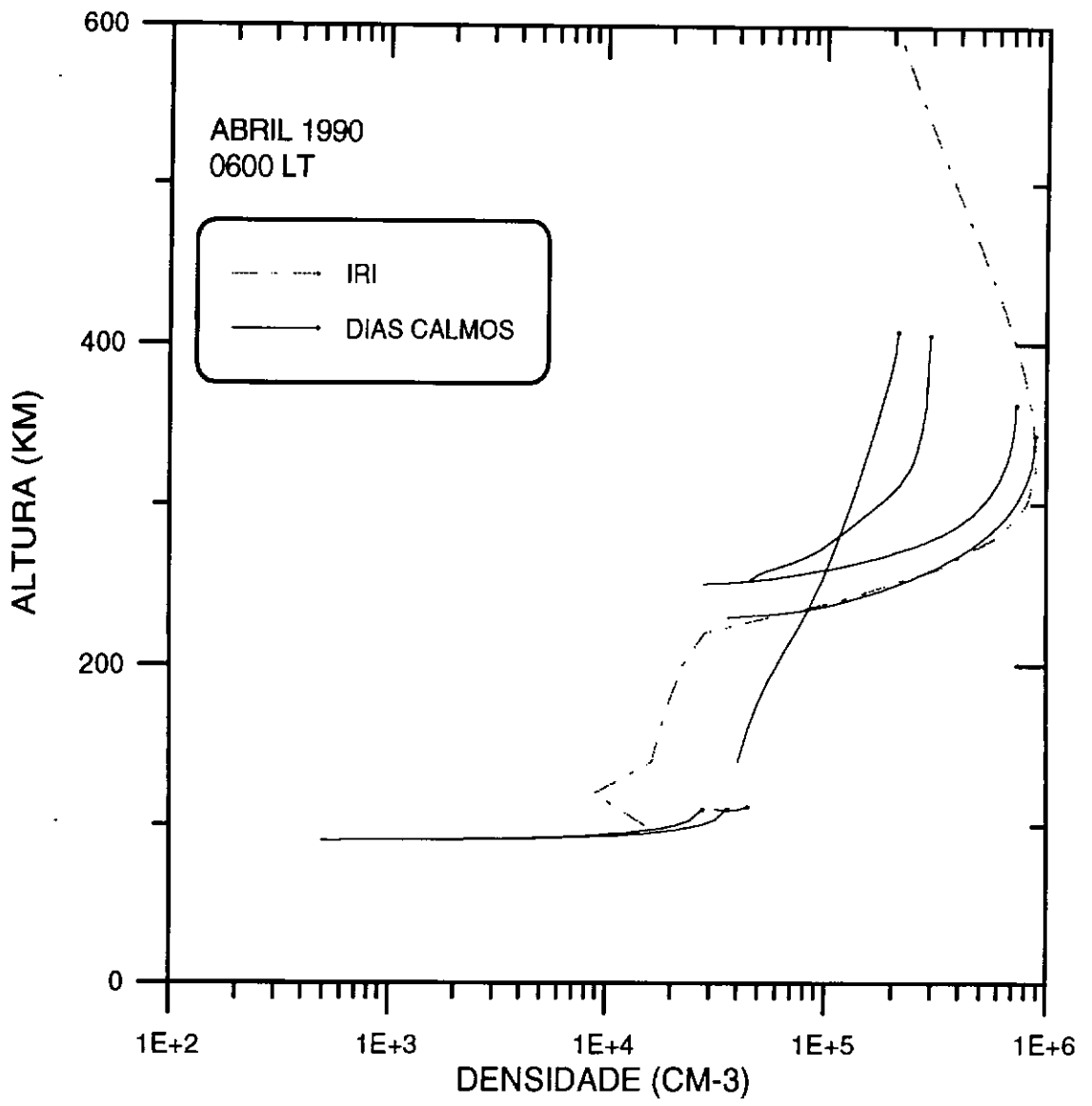
TABELA DE EQUIVALÊNCIA ENTRE DIA JULIANO E DIA DO MÊS (PARA ANO NÃO BISSEXTO)

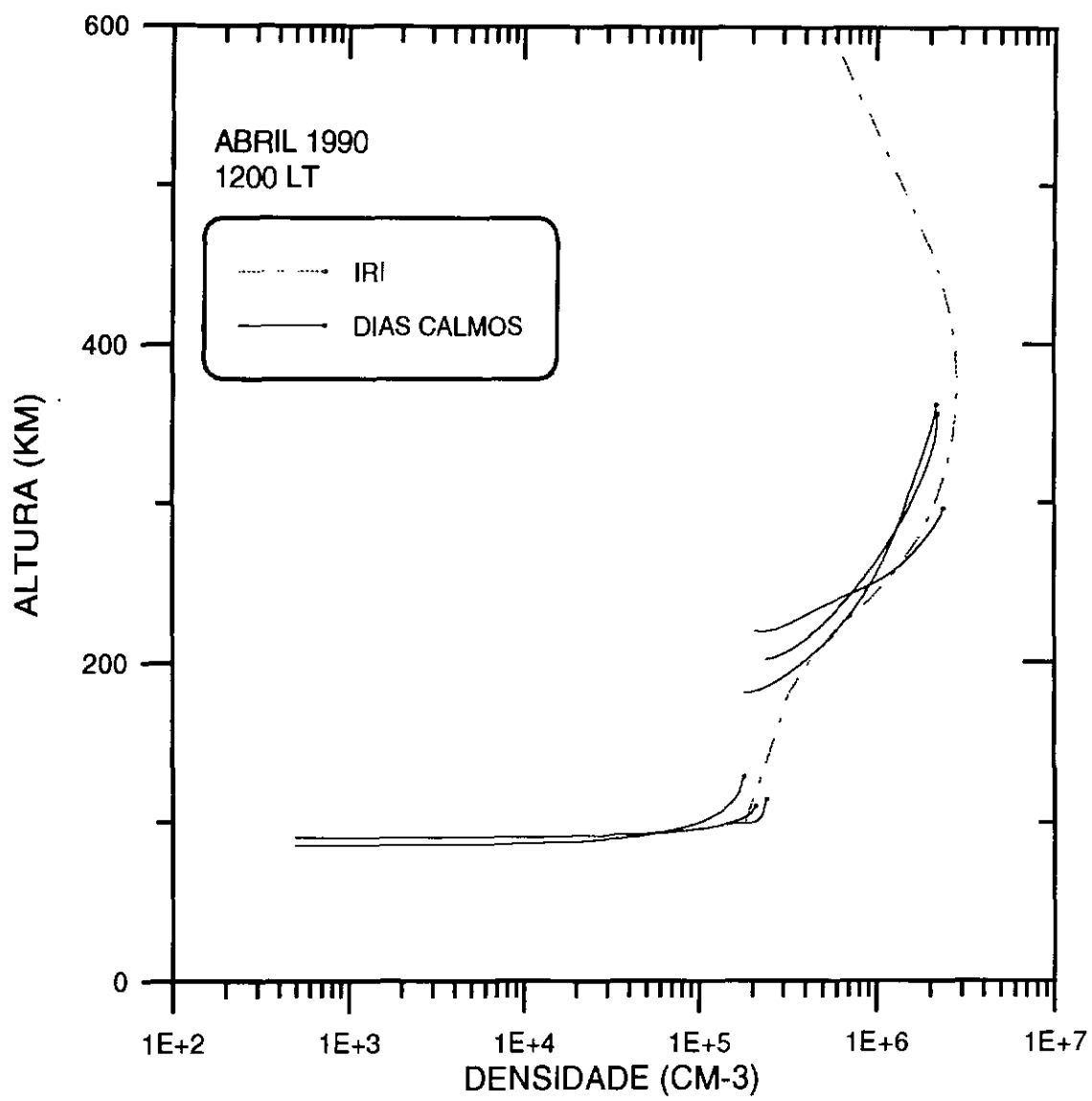
| JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| 1 | 1 | 32 | 1 | 60 | 1 | 152 | 1 | 182 | 1 | 213 | 1 | 244 | 1 | 274 | 1 | 305 | 1 | 335 |
| 2 | 2 | 33 | 2 | 61 | 2 | 153 | 2 | 183 | 2 | 214 | 2 | 245 | 2 | 275 | 2 | 306 | 2 | 336 |
| 3 | 3 | 34 | 3 | 62 | 3 | 154 | 3 | 184 | 3 | 215 | 3 | 246 | 3 | 276 | 3 | 307 | 3 | 337 |
| 4 | 4 | 35 | 4 | 63 | 4 | 155 | 4 | 185 | 4 | 216 | 4 | 247 | 4 | 277 | 4 | 308 | 4 | 338 |
| 5 | 5 | 36 | 5 | 64 | 5 | 156 | 5 | 186 | 5 | 217 | 5 | 248 | 5 | 278 | 5 | 309 | 5 | 339 |
| 6 | 6 | 37 | 6 | 65 | 6 | 157 | 6 | 187 | 6 | 218 | 6 | 249 | 6 | 279 | 6 | 310 | 6 | 340 |
| 7 | 7 | 38 | 7 | 66 | 7 | 158 | 7 | 188 | 7 | 219 | 7 | 250 | 7 | 280 | 7 | 311 | 7 | 341 |
| 8 | 8 | 39 | 8 | 67 | 8 | 159 | 8 | 189 | 8 | 220 | 8 | 251 | 8 | 281 | 8 | 312 | 8 | 342 |
| 9 | 9 | 40 | 9 | 68 | 9 | 160 | 9 | 190 | 9 | 221 | 9 | 252 | 9 | 282 | 9 | 313 | 9 | 343 |
| 10 | 10 | 41 | 10 | 69 | 10 | 161 | 10 | 191 | 10 | 222 | 10 | 253 | 10 | 283 | 10 | 314 | 10 | 344 |
| 11 | 11 | 42 | 11 | 70 | 11 | 162 | 11 | 192 | 11 | 223 | 11 | 254 | 11 | 284 | 11 | 315 | 11 | 345 |
| 12 | 12 | 43 | 12 | 71 | 12 | 163 | 12 | 193 | 12 | 224 | 12 | 255 | 12 | 285 | 12 | 316 | 12 | 346 |
| 13 | 13 | 44 | 13 | 72 | 13 | 164 | 13 | 194 | 13 | 225 | 13 | 256 | 13 | 286 | 13 | 317 | 13 | 347 |
| 14 | 14 | 45 | 14 | 73 | 14 | 165 | 14 | 195 | 14 | 226 | 14 | 257 | 14 | 287 | 14 | 318 | 14 | 348 |
| 15 | 15 | 46 | 15 | 74 | 15 | 166 | 15 | 196 | 15 | 227 | 15 | 258 | 15 | 288 | 15 | 319 | 15 | 349 |
| 16 | 16 | 47 | 16 | 75 | 16 | 167 | 16 | 197 | 16 | 228 | 16 | 259 | 16 | 289 | 16 | 320 | 16 | 350 |
| 17 | 17 | 48 | 17 | 76 | 17 | 168 | 17 | 198 | 17 | 229 | 17 | 260 | 17 | 290 | 17 | 321 | 17 | 351 |
| 18 | 18 | 49 | 18 | 77 | 18 | 169 | 18 | 199 | 18 | 230 | 18 | 261 | 18 | 291 | 18 | 322 | 18 | 352 |
| 19 | 19 | 50 | 19 | 78 | 19 | 170 | 19 | 200 | 19 | 231 | 19 | 262 | 19 | 292 | 19 | 323 | 19 | 353 |
| 20 | 20 | 51 | 20 | 79 | 20 | 171 | 20 | 201 | 20 | 232 | 20 | 263 | 20 | 293 | 20 | 324 | 20 | 354 |
| 21 | 21 | 52 | 21 | 80 | 21 | 172 | 21 | 202 | 21 | 233 | 21 | 264 | 21 | 294 | 21 | 325 | 21 | 355 |
| 22 | 22 | 53 | 22 | 81 | 22 | 173 | 22 | 203 | 22 | 234 | 22 | 265 | 22 | 295 | 22 | 326 | 22 | 356 |
| 23 | 23 | 54 | 23 | 82 | 23 | 174 | 23 | 204 | 23 | 235 | 23 | 266 | 23 | 296 | 23 | 327 | 23 | 357 |
| 24 | 24 | 55 | 24 | 83 | 24 | 175 | 24 | 205 | 24 | 236 | 24 | 267 | 24 | 297 | 24 | 328 | 24 | 358 |
| 25 | 25 | 56 | 25 | 84 | 25 | 176 | 25 | 206 | 25 | 237 | 25 | 268 | 25 | 298 | 25 | 329 | 25 | 359 |
| 26 | 26 | 57 | 26 | 85 | 26 | 177 | 26 | 207 | 26 | 238 | 26 | 269 | 26 | 299 | 26 | 330 | 26 | 360 |
| 27 | 27 | 58 | 27 | 86 | 27 | 178 | 27 | 208 | 27 | 239 | 27 | 270 | 27 | 300 | 27 | 331 | 27 | 361 |
| 28 | 28 | 59 | 28 | 87 | 28 | 179 | 28 | 209 | 28 | 240 | 28 | 271 | 28 | 301 | 28 | 332 | 28 | 362 |
| 29 | 29 | | 29 | 88 | 29 | 180 | 29 | 210 | 29 | 241 | 29 | 272 | 29 | 302 | 29 | 333 | 29 | 363 |
| 30 | 30 | | 30 | 89 | 30 | 181 | 30 | 211 | 30 | 242 | 30 | 273 | 30 | 303 | 30 | 334 | 30 | 364 |
| 31 | 31 | | 31 | 90 | 31 | 182 | 31 | 212 | 31 | 243 | 31 | 274 | 31 | 304 | 31 | 335 | 31 | 365 |

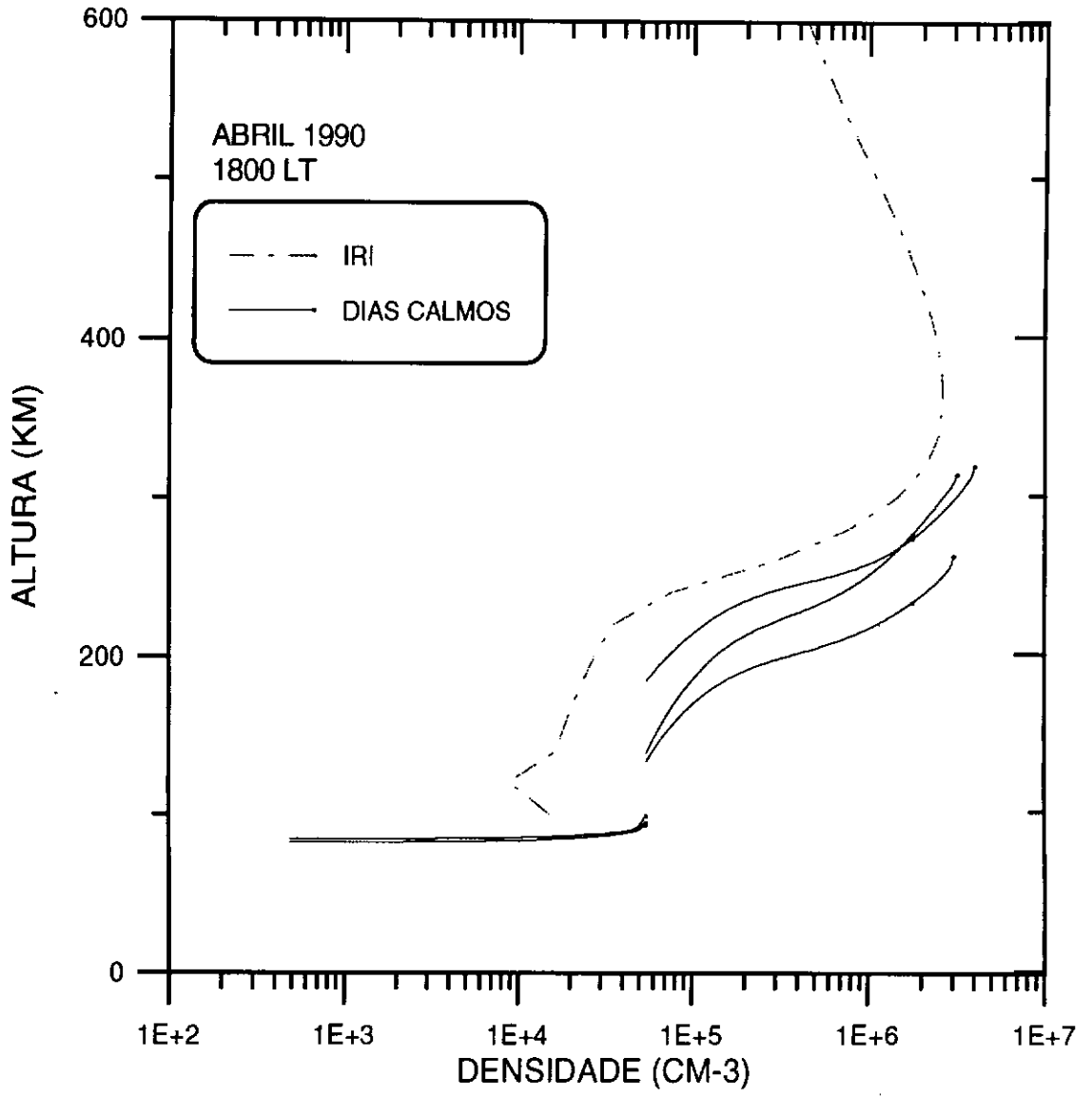
APÊNDICE - B

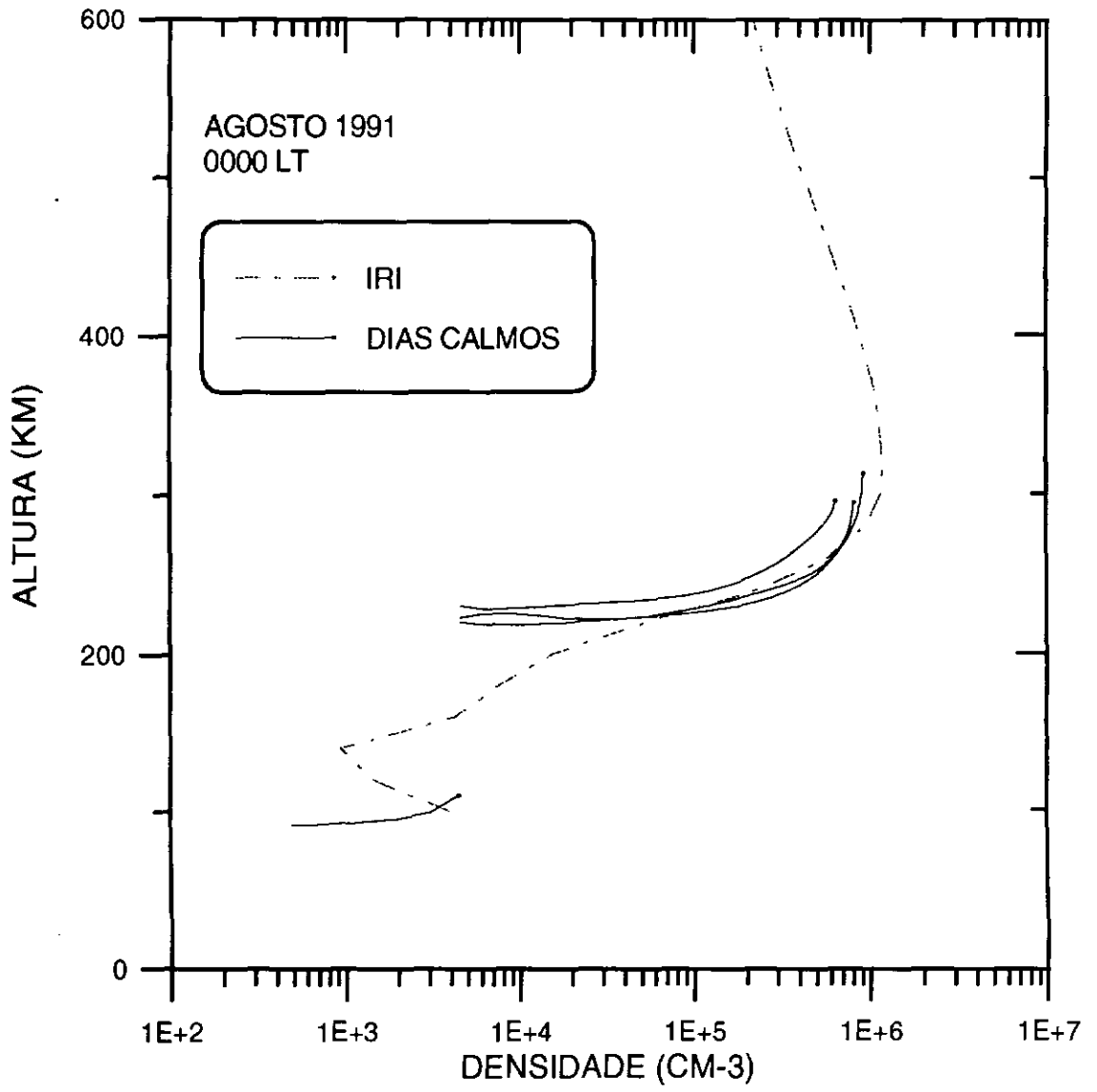
Gráficos de perfis de densidade eletrônica e tabelas do número de manchas solares.

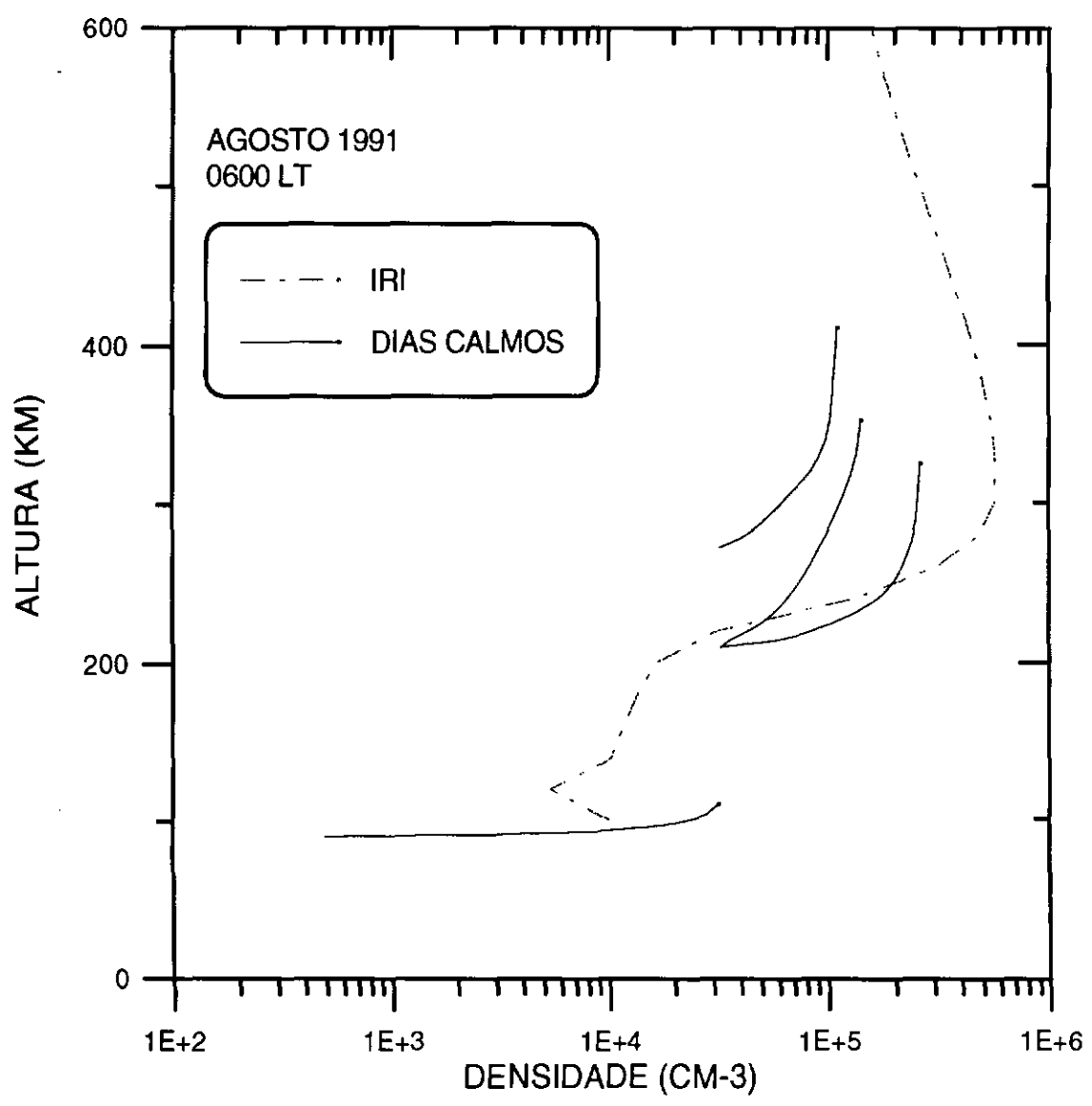


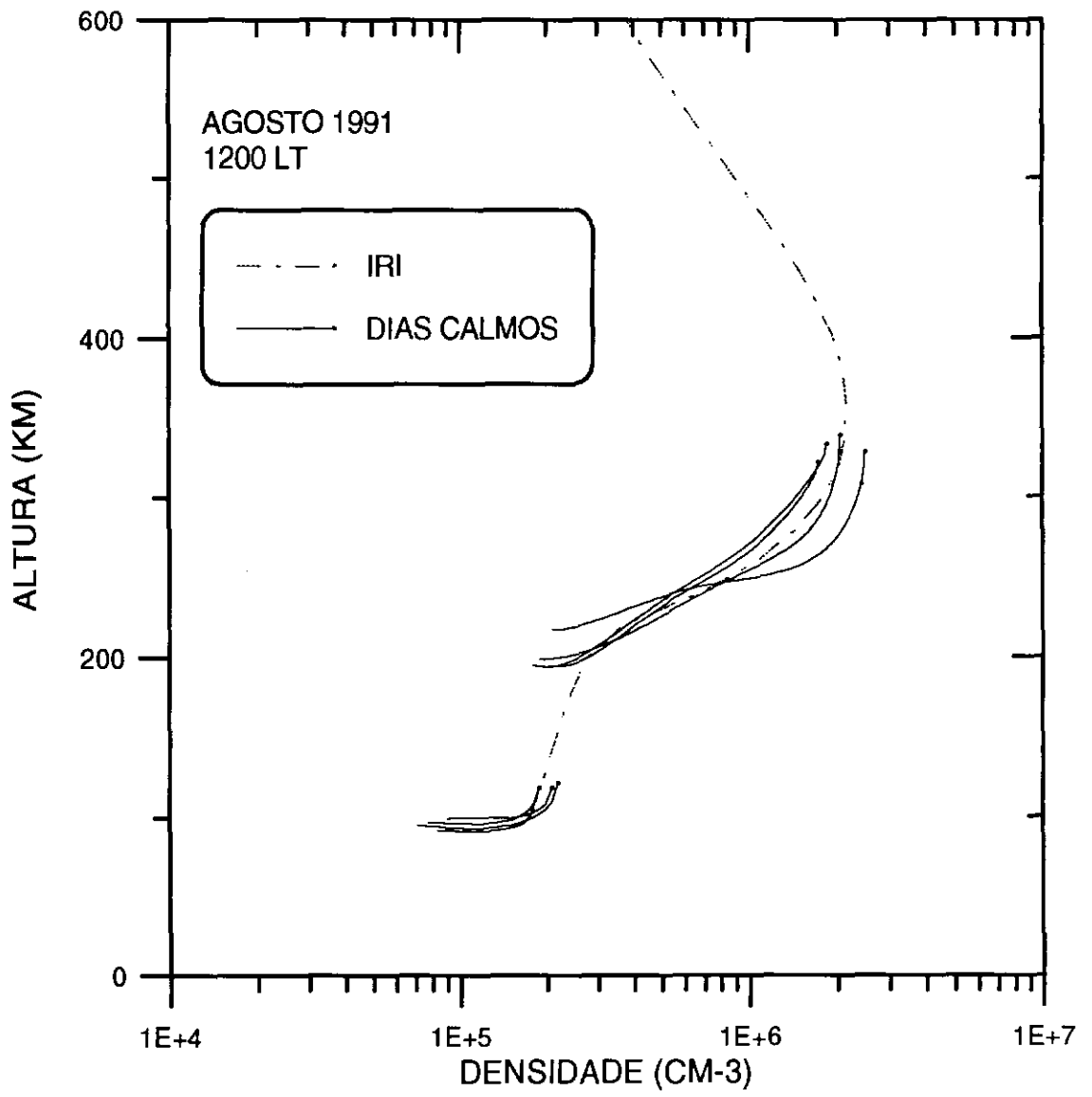


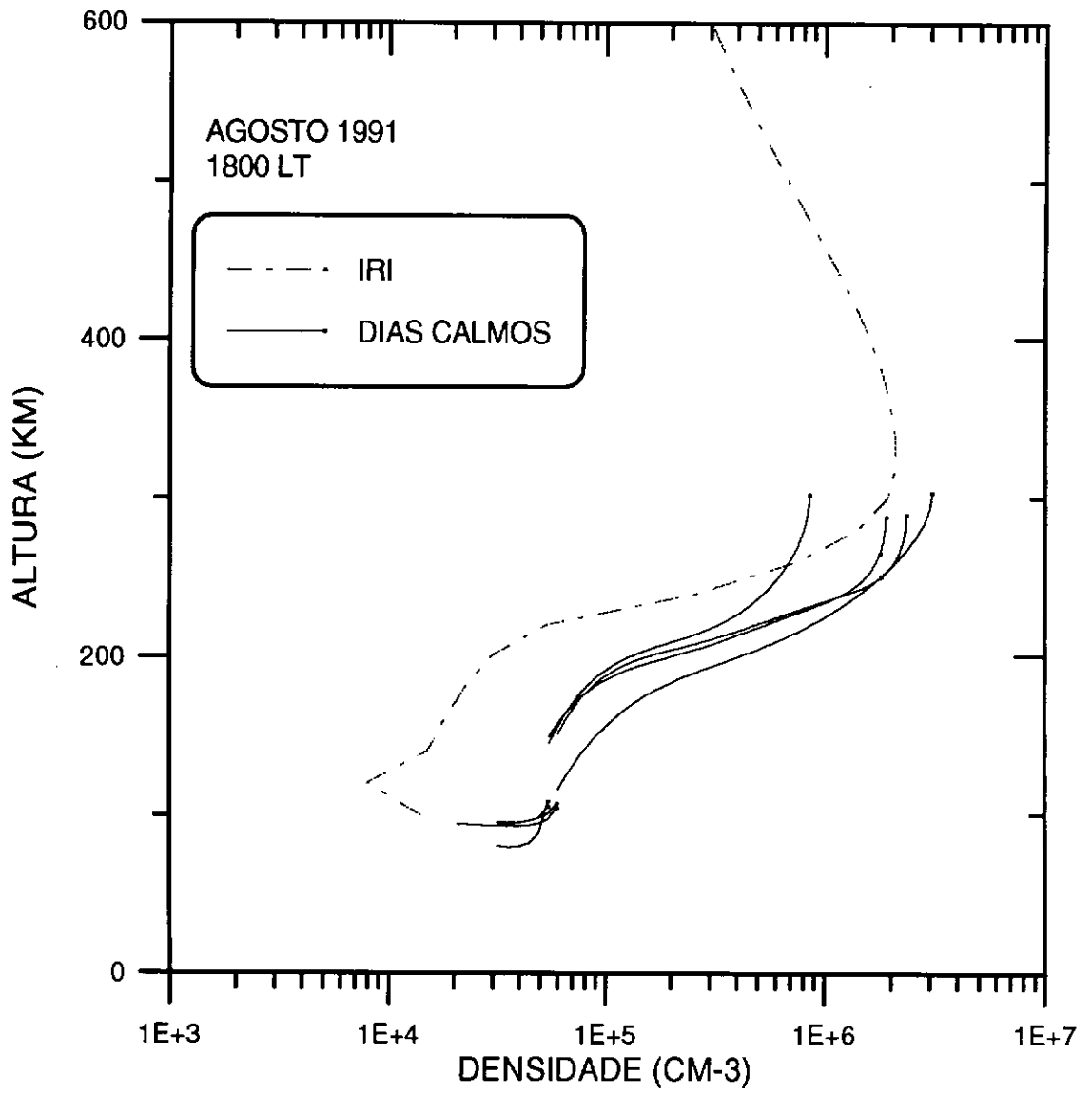


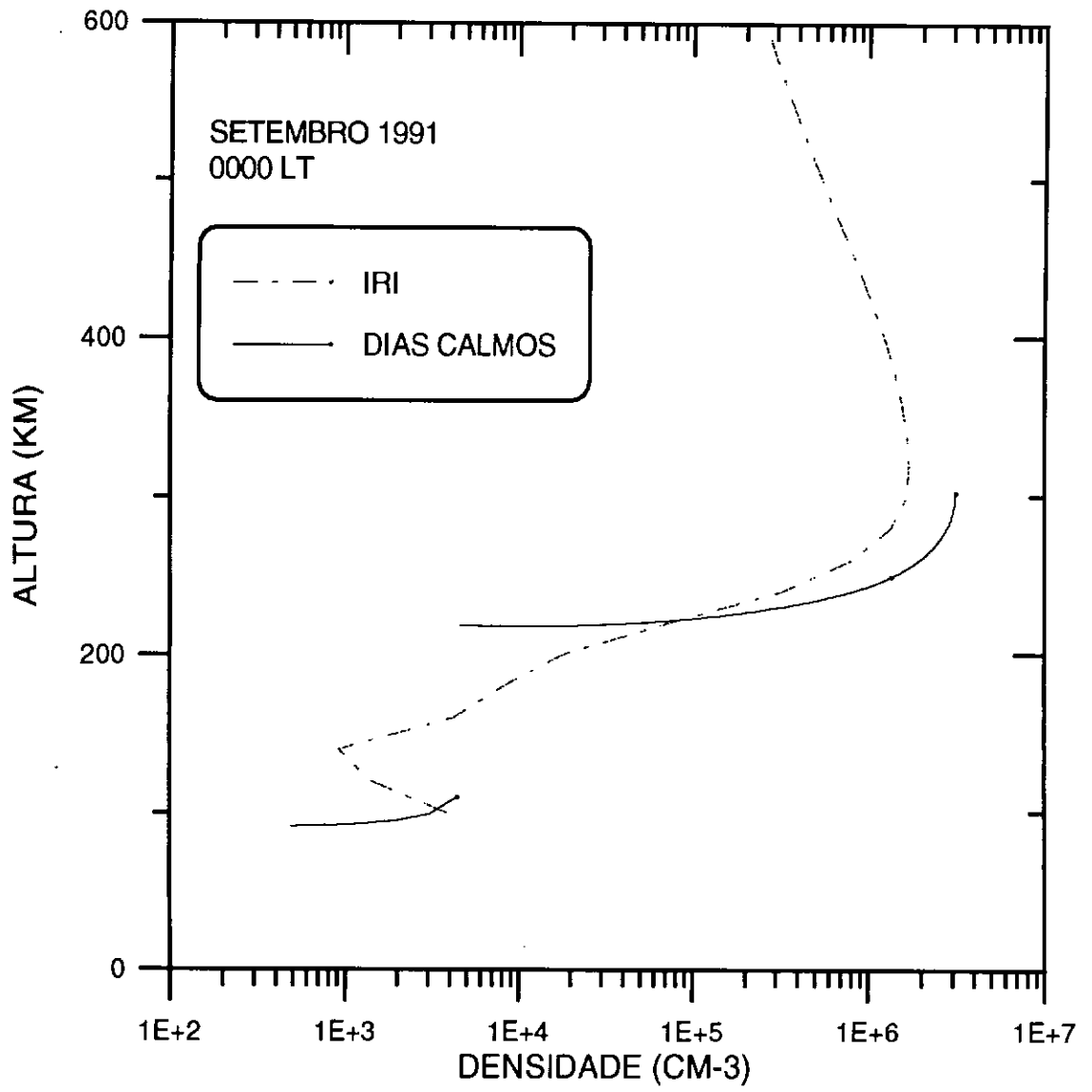


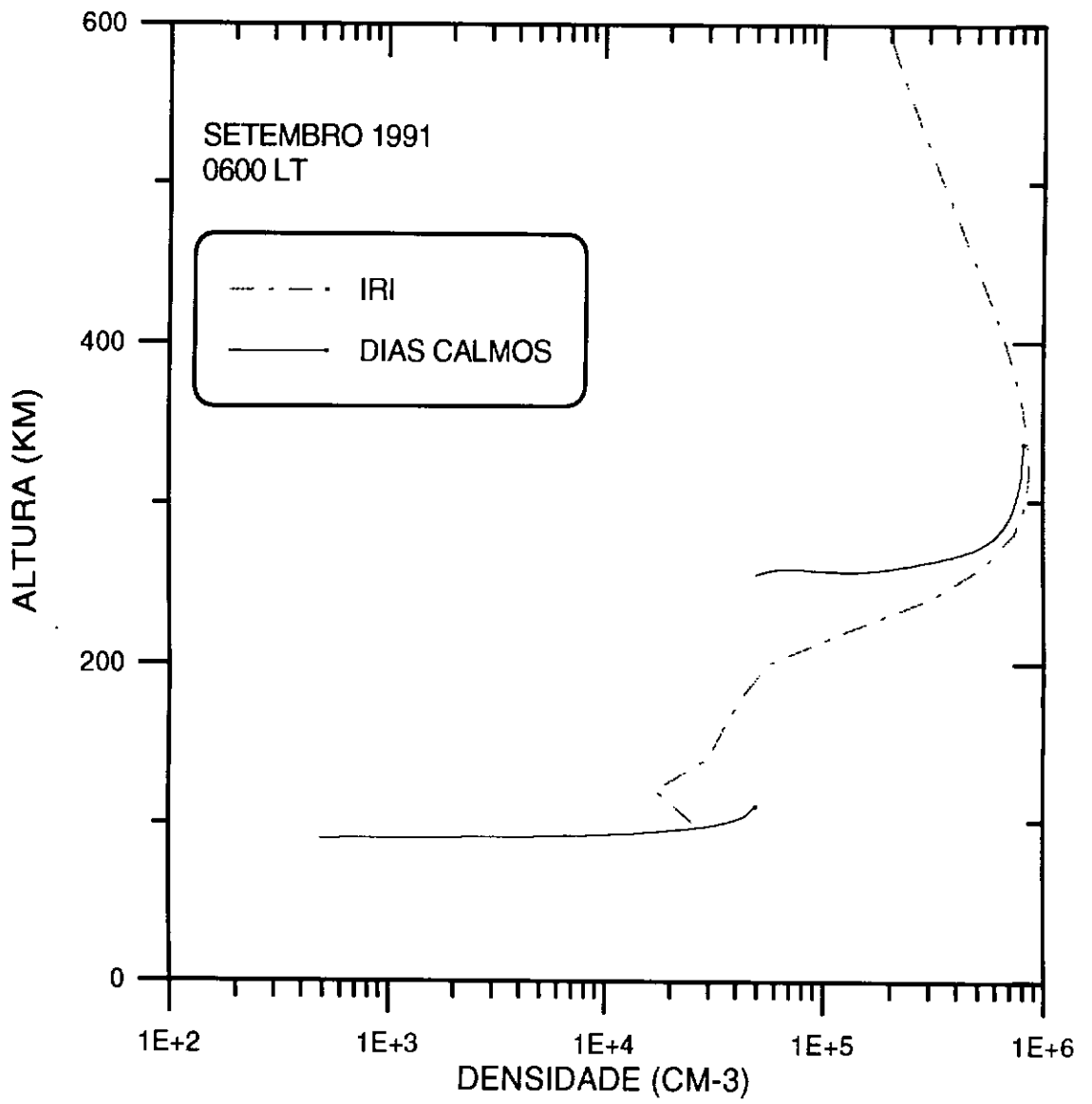


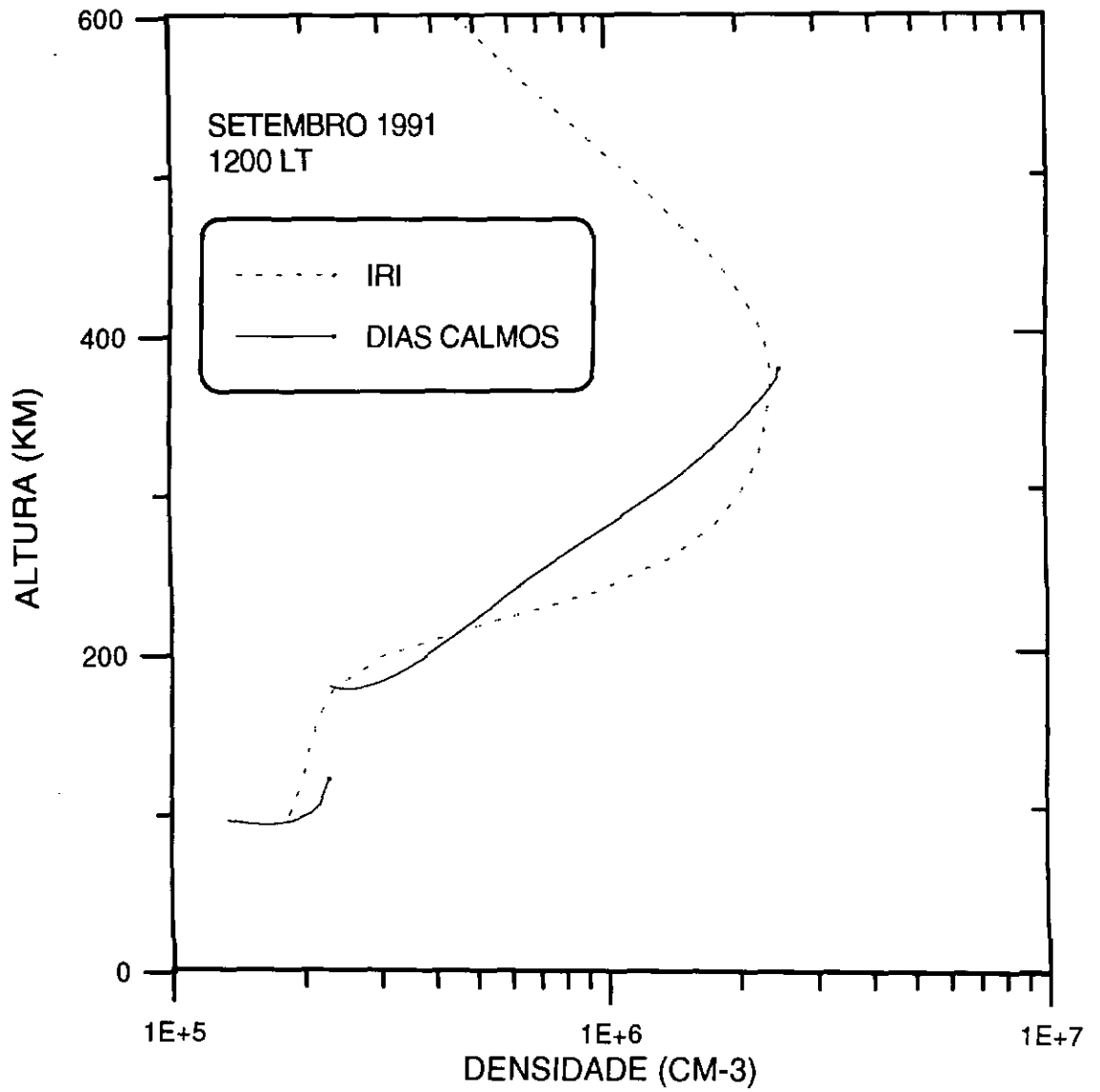


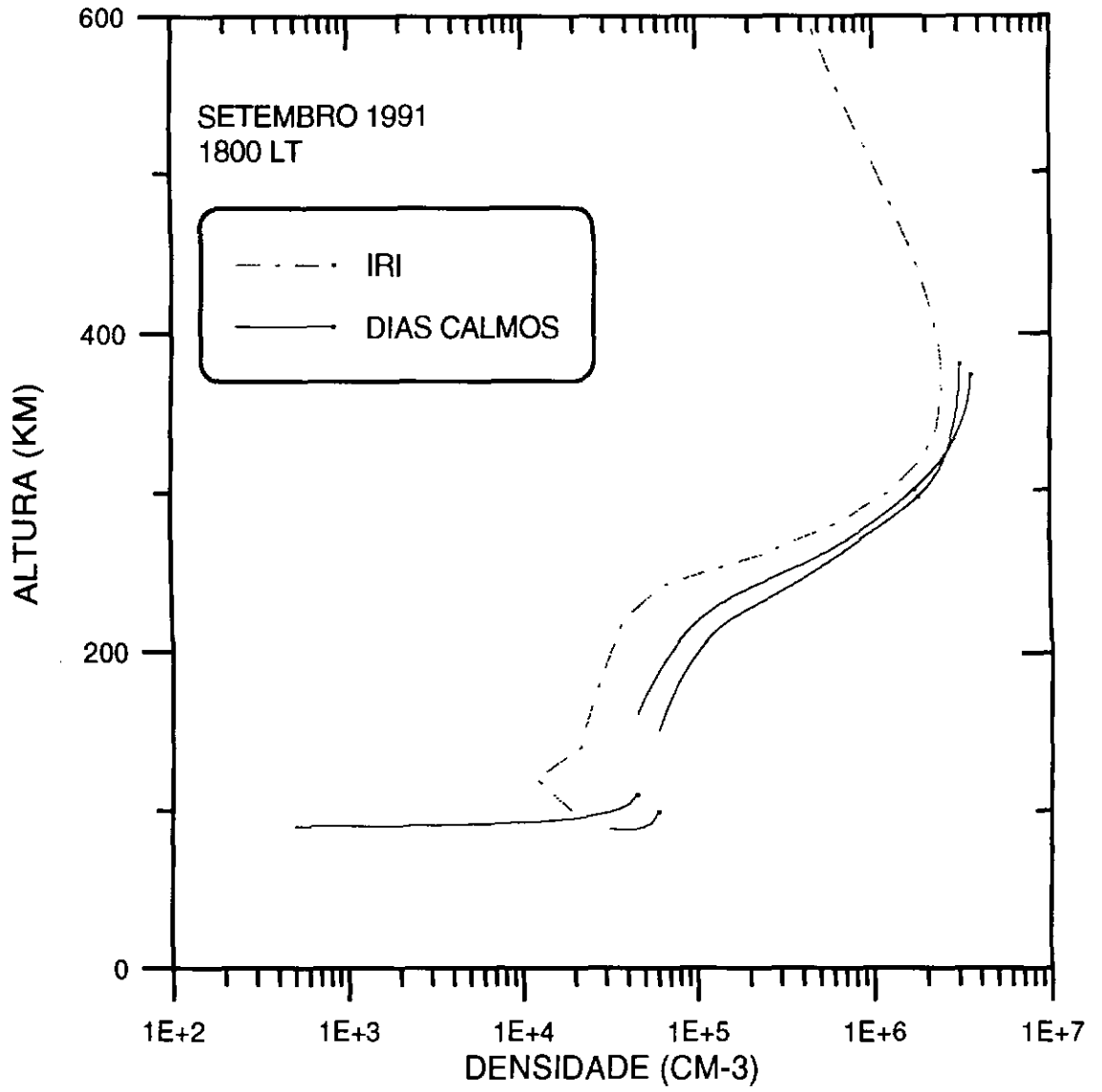


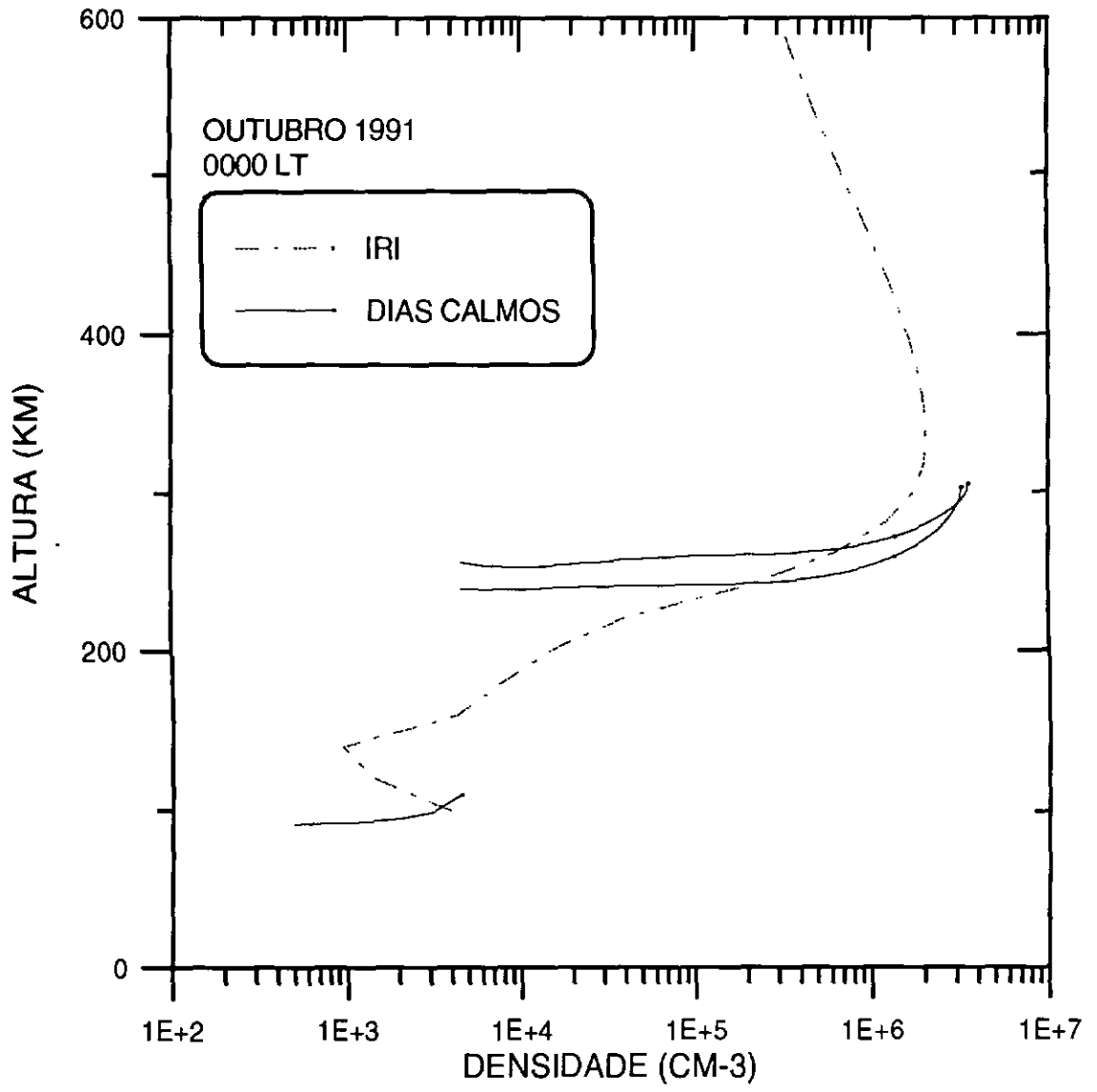


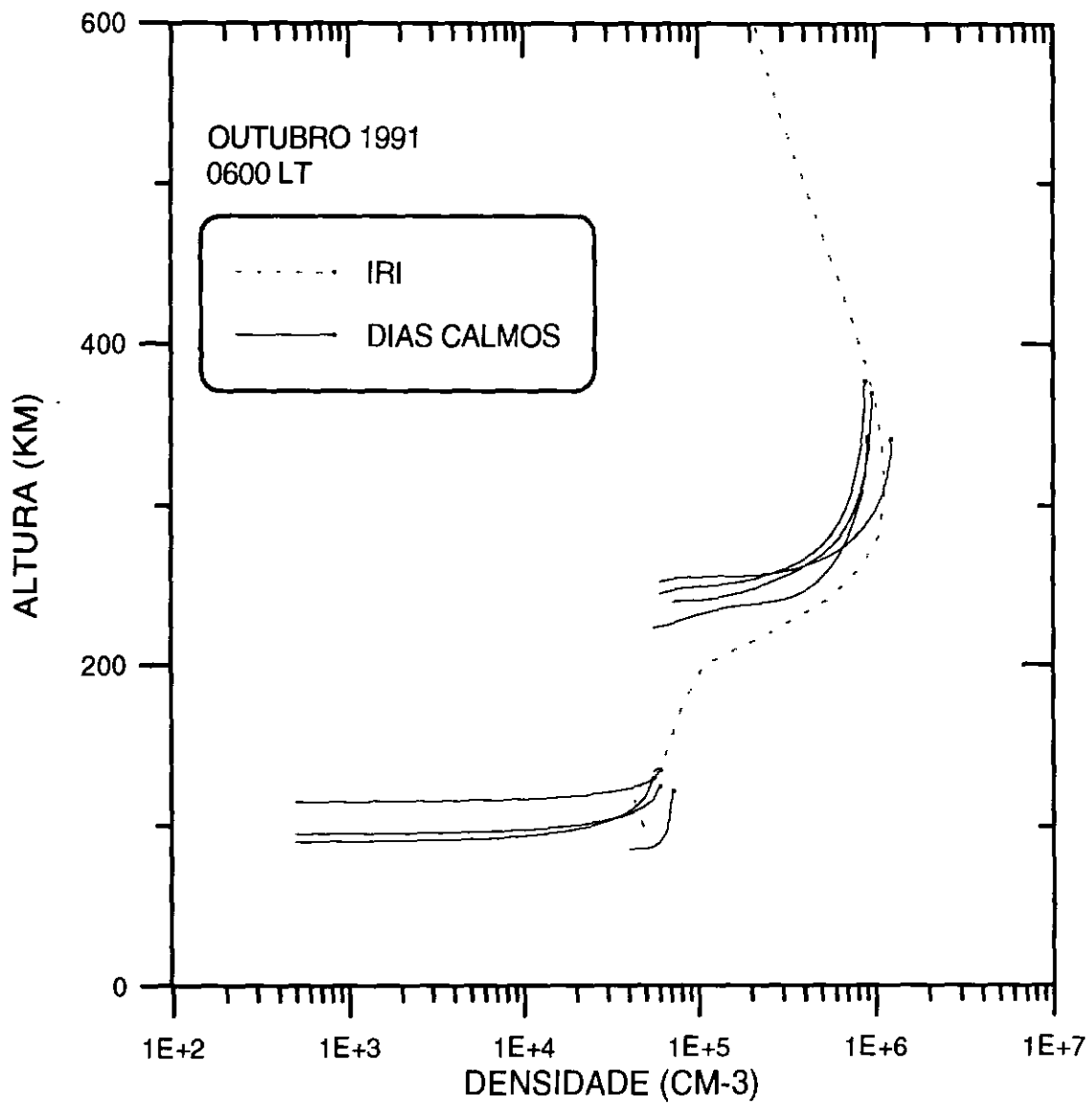


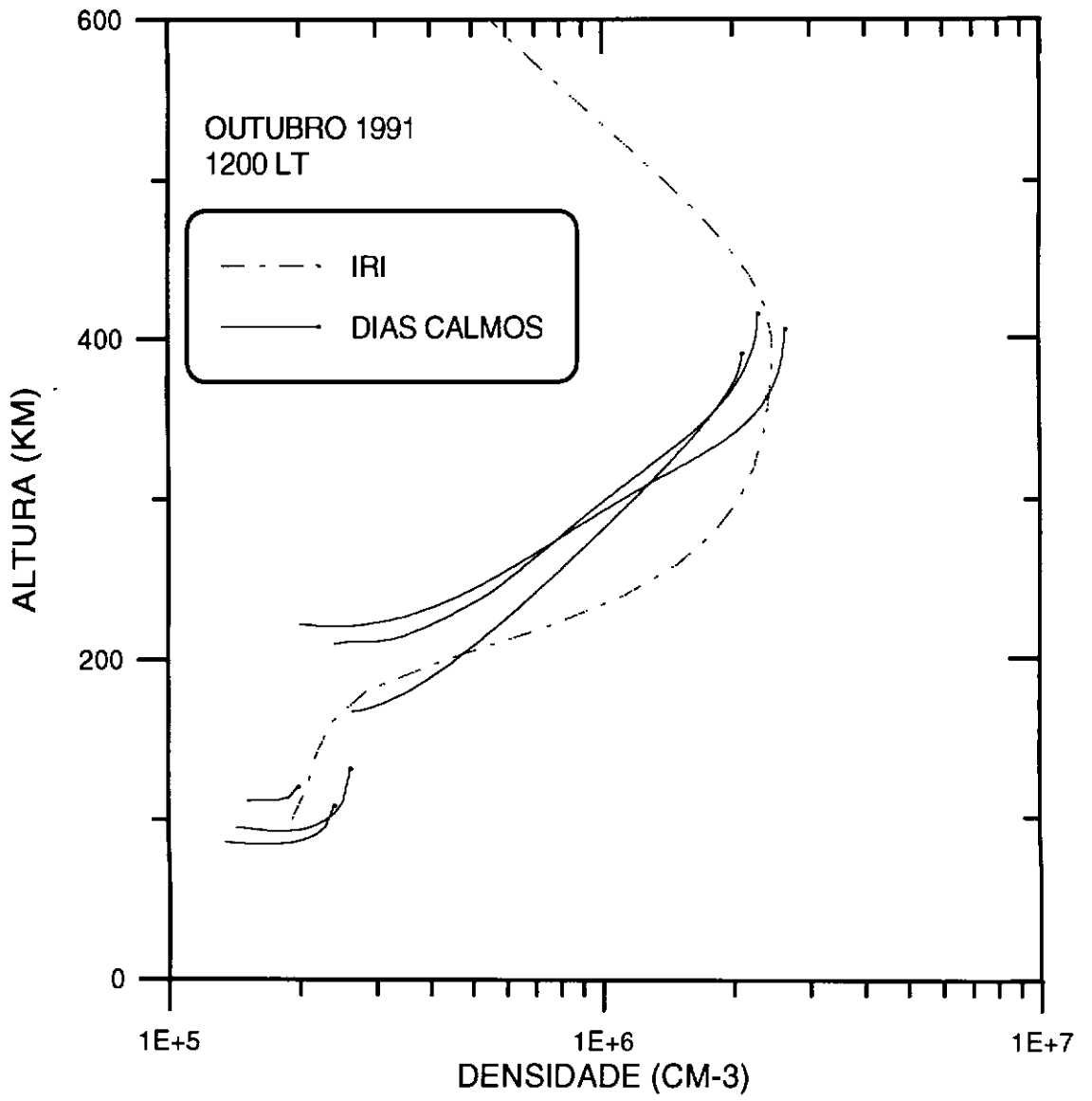


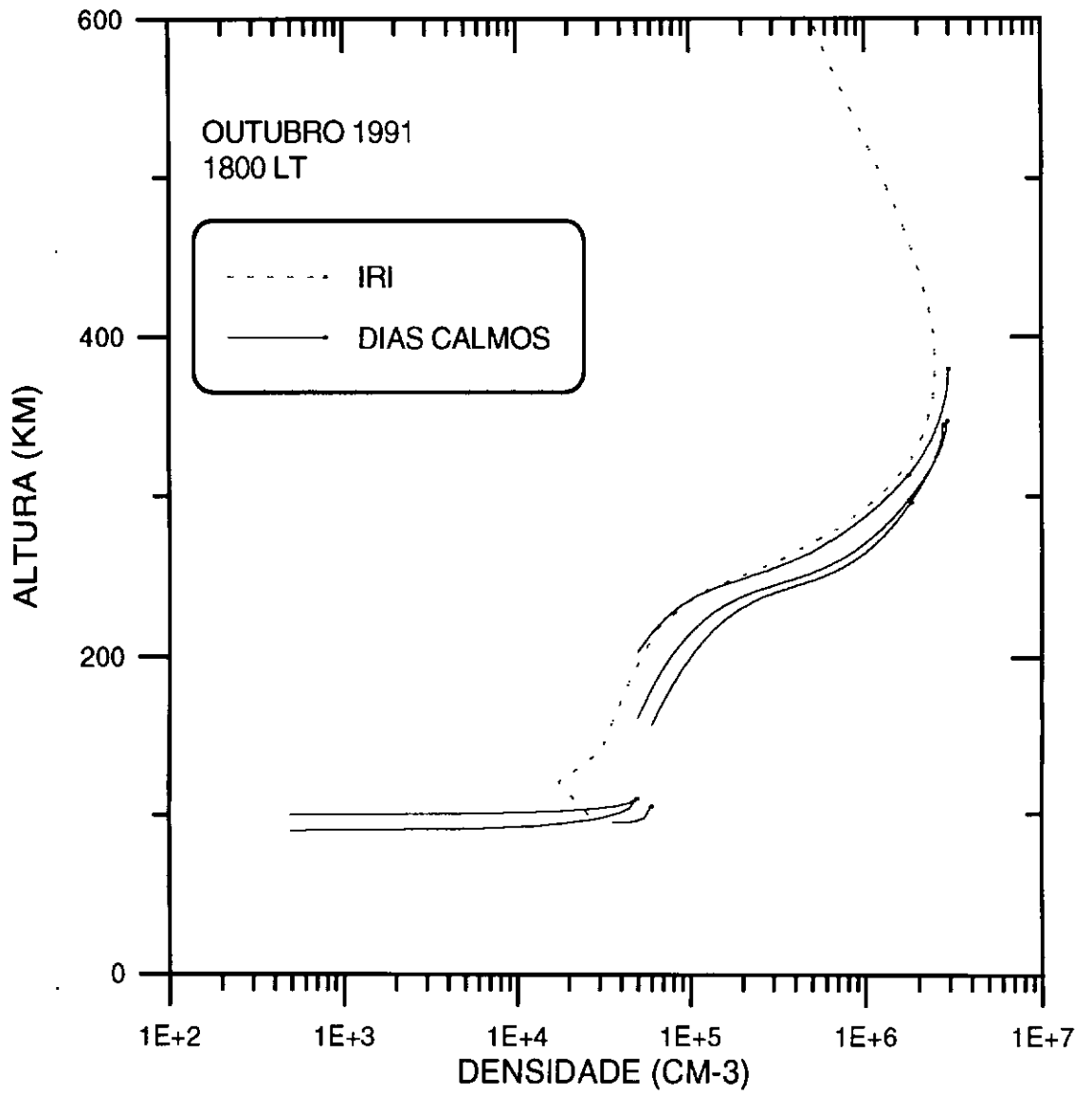


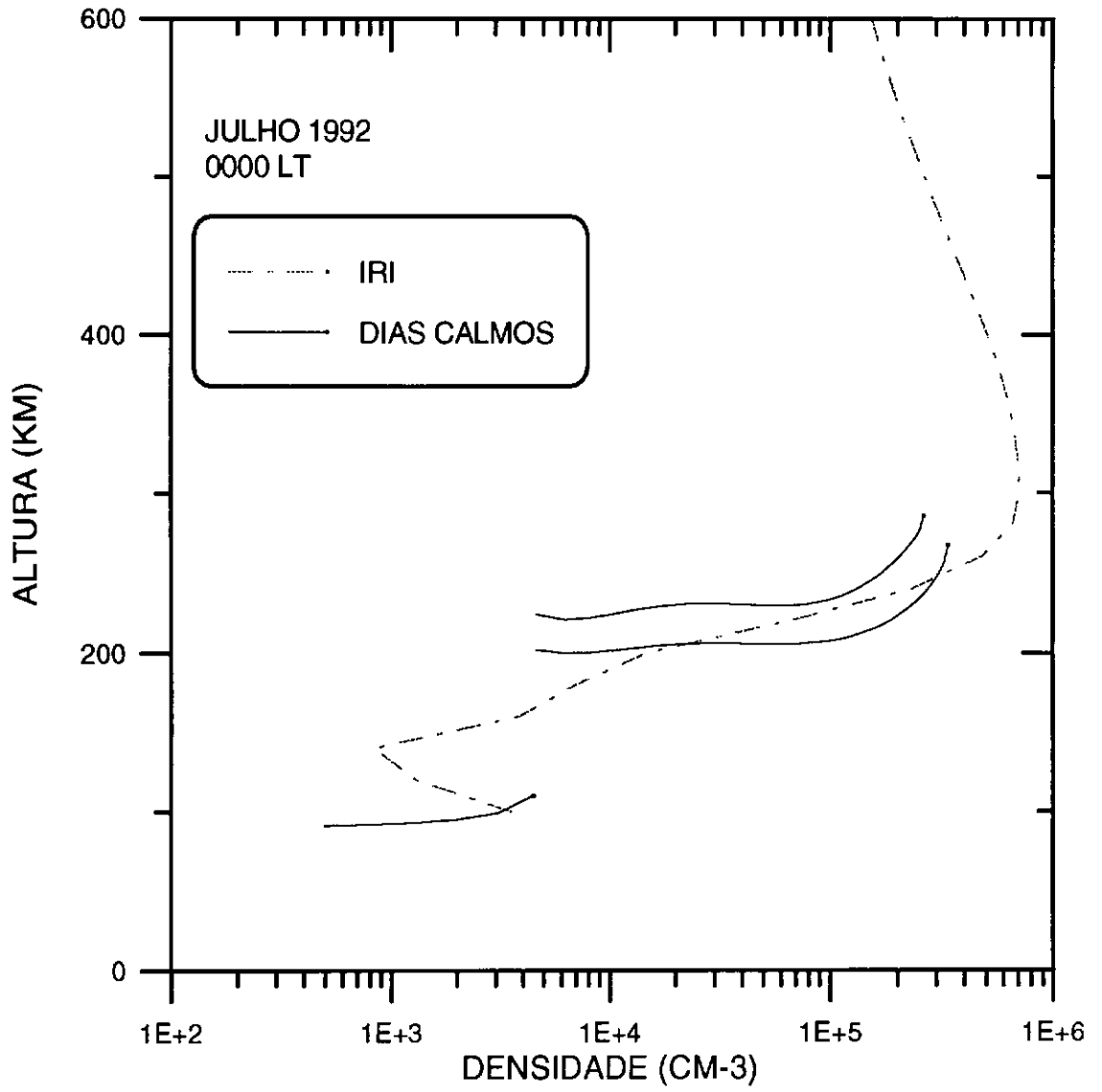


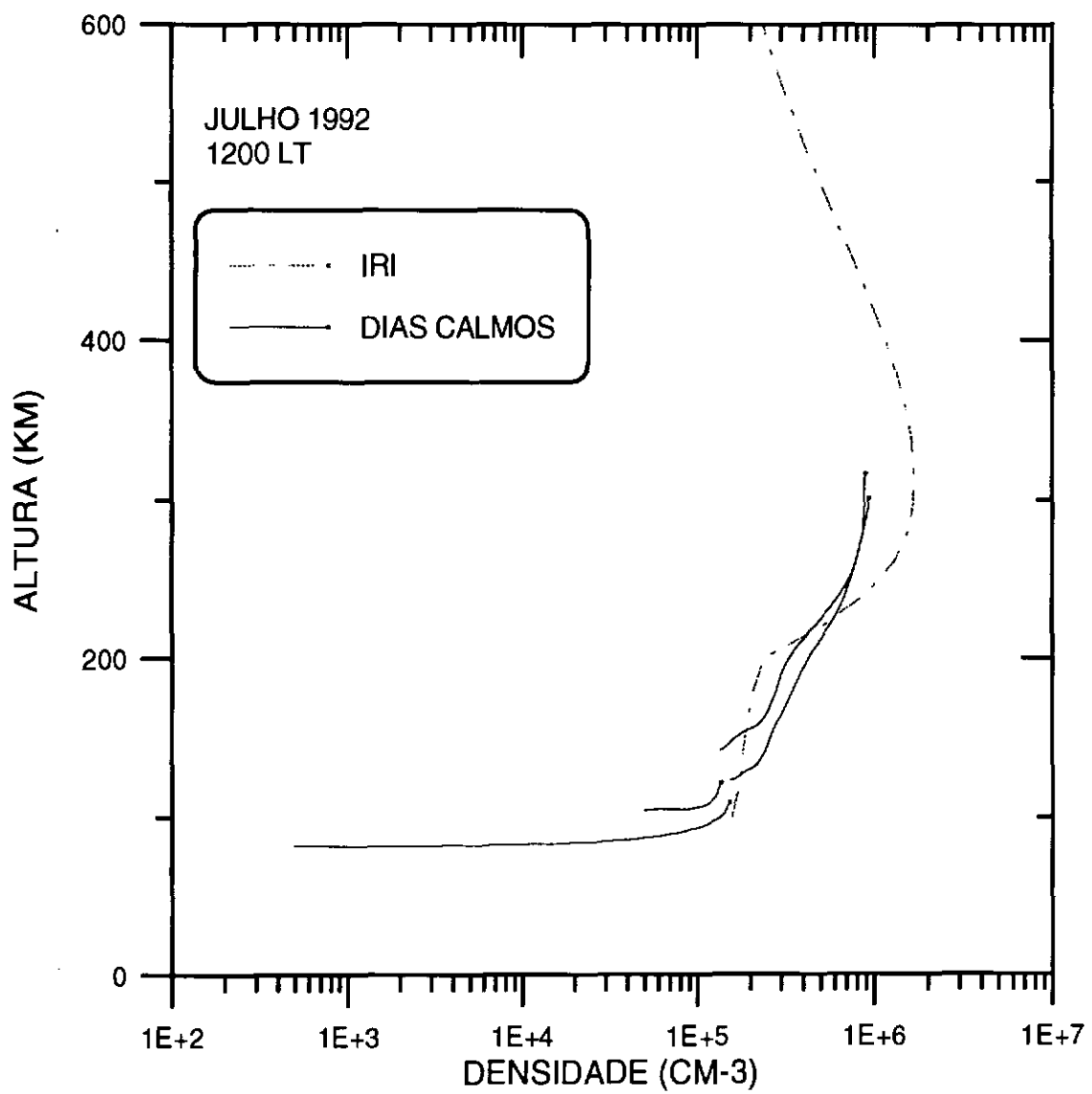


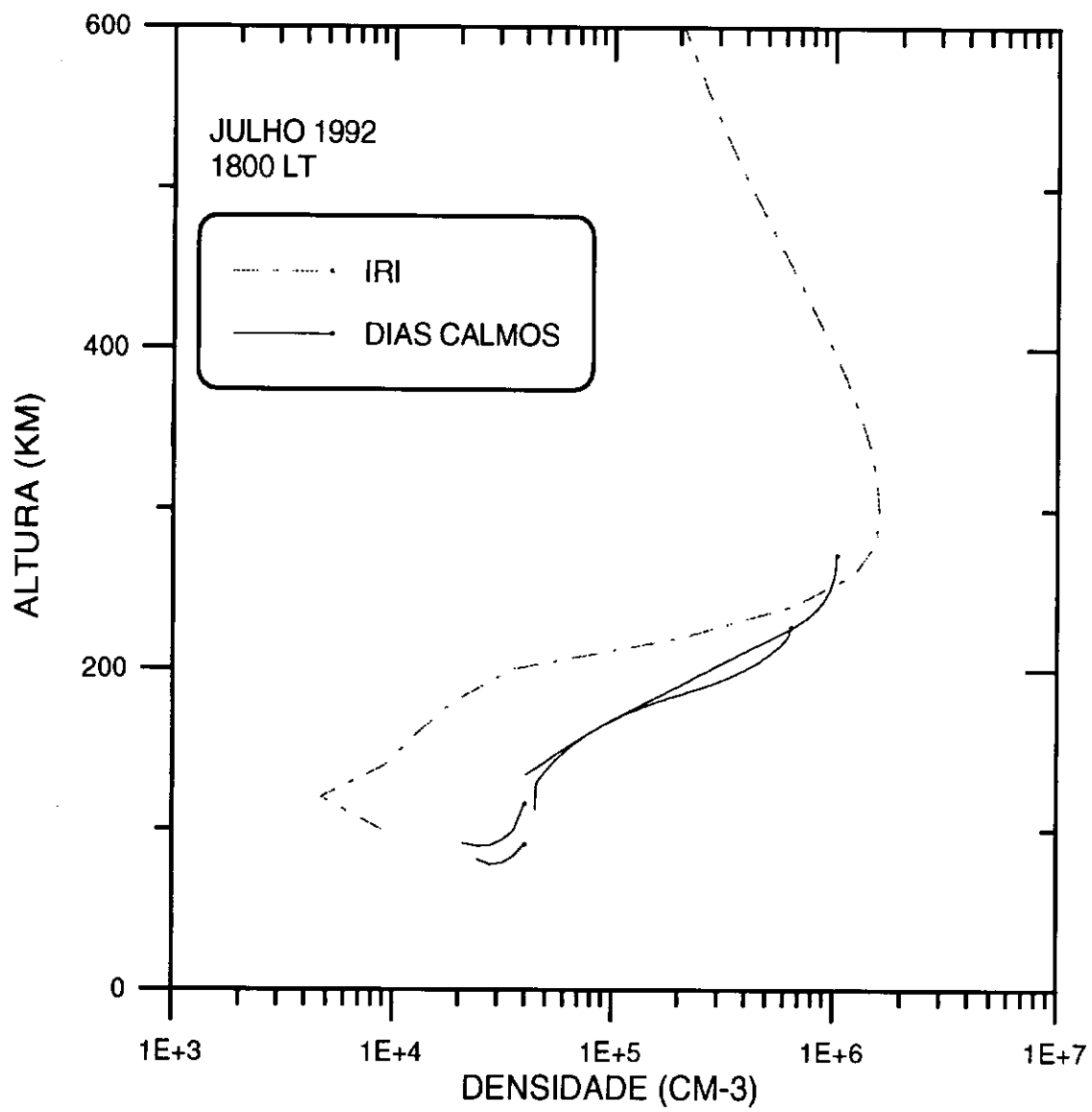


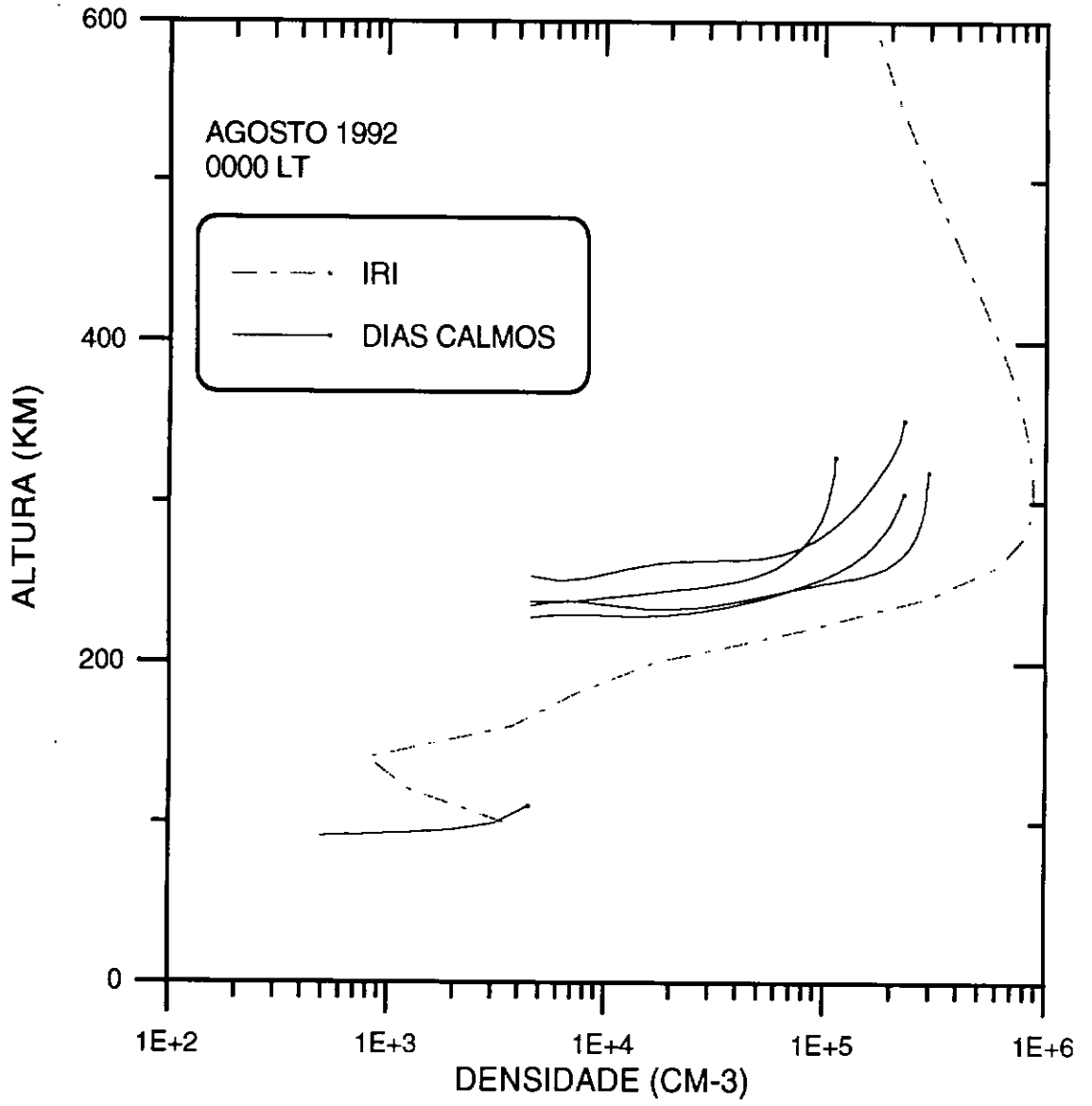


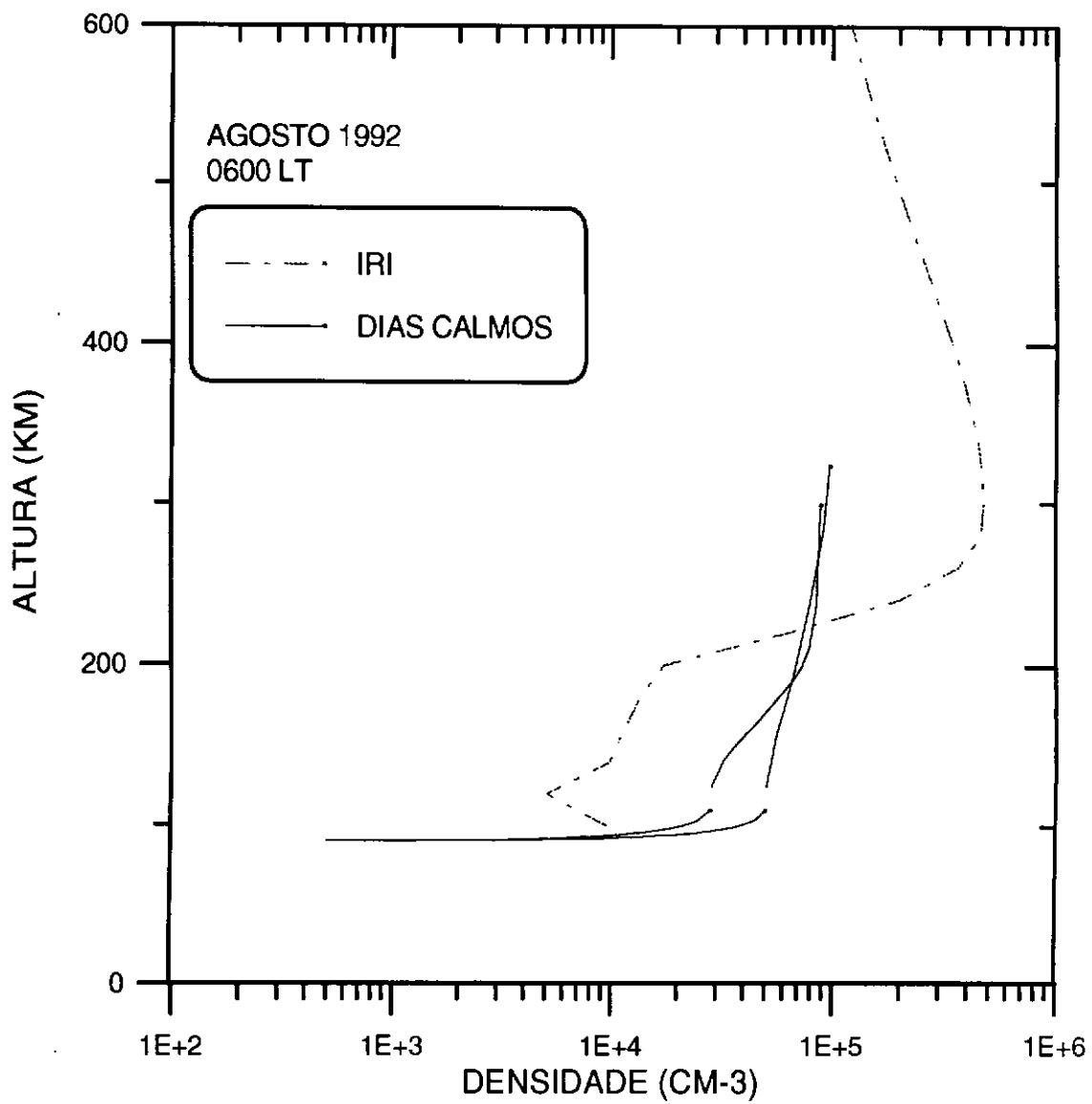


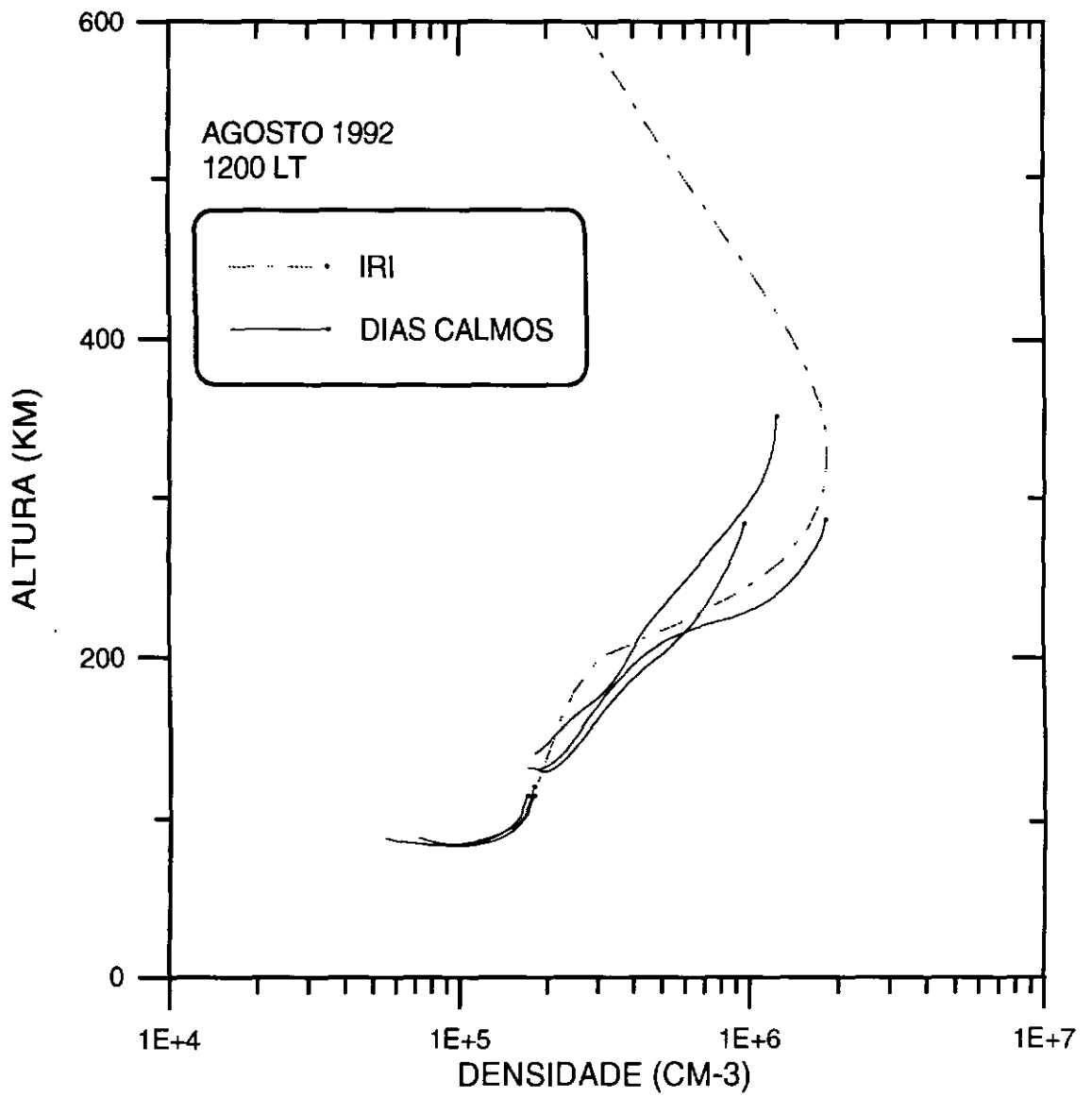


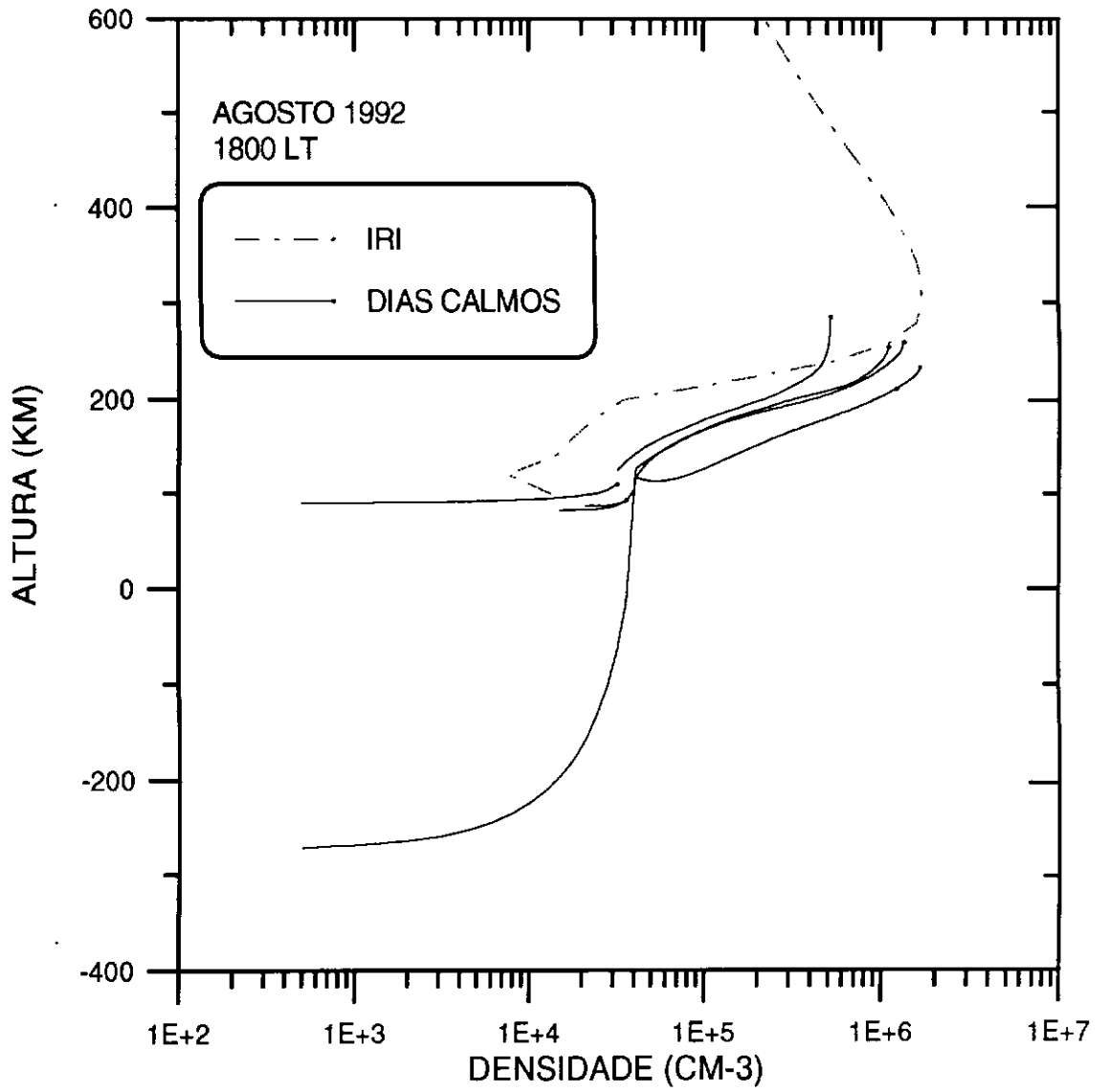


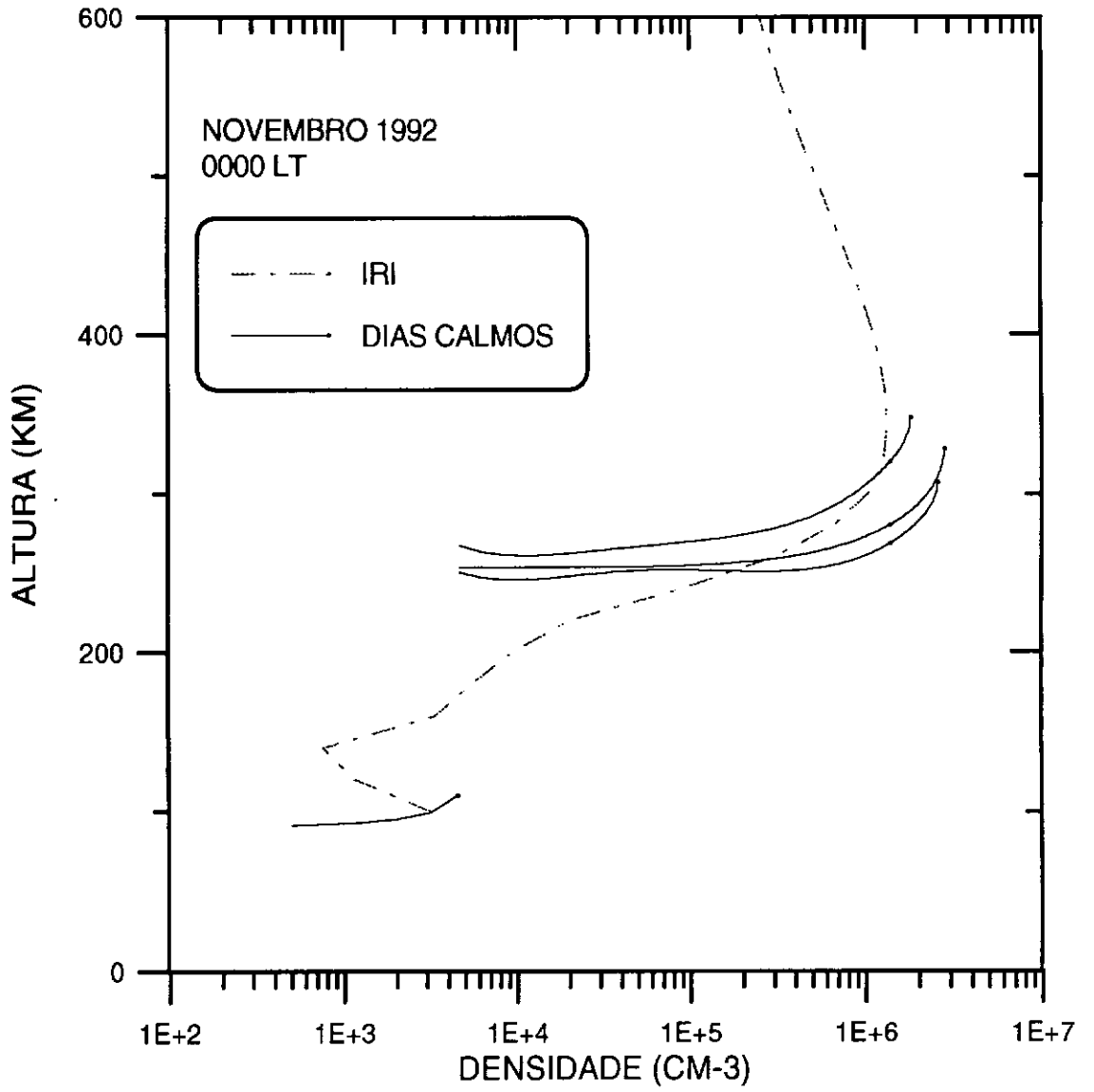


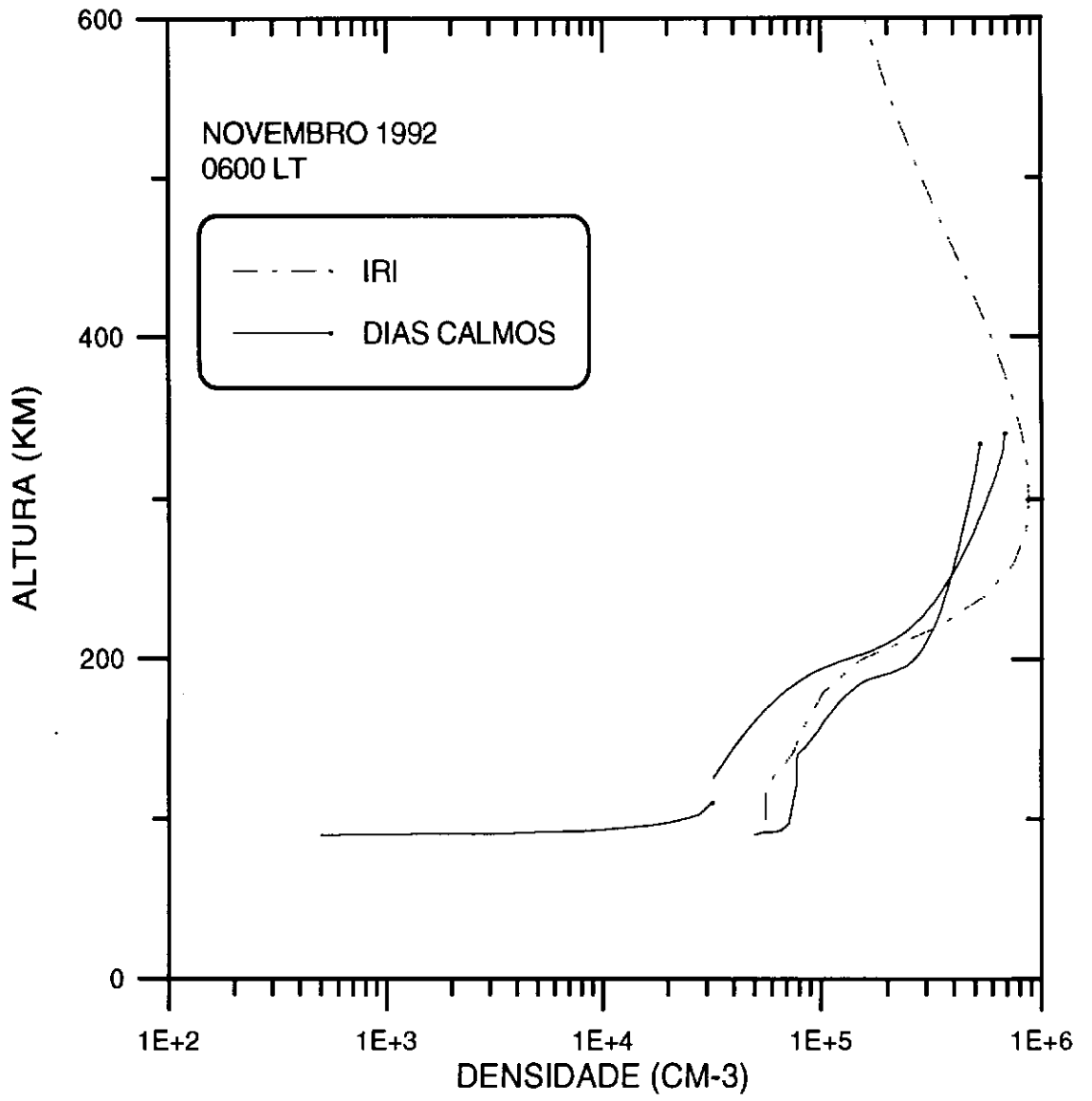


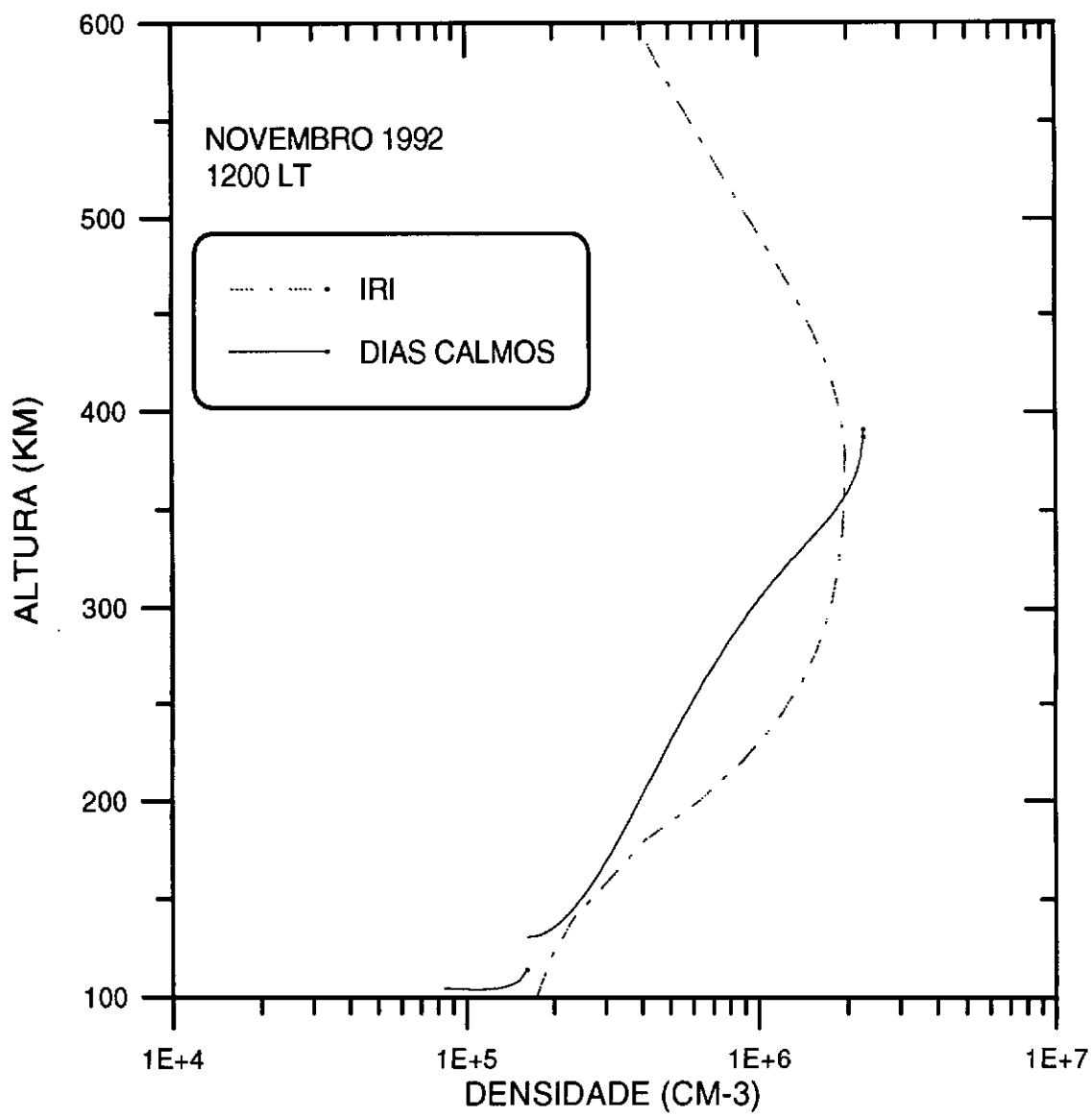


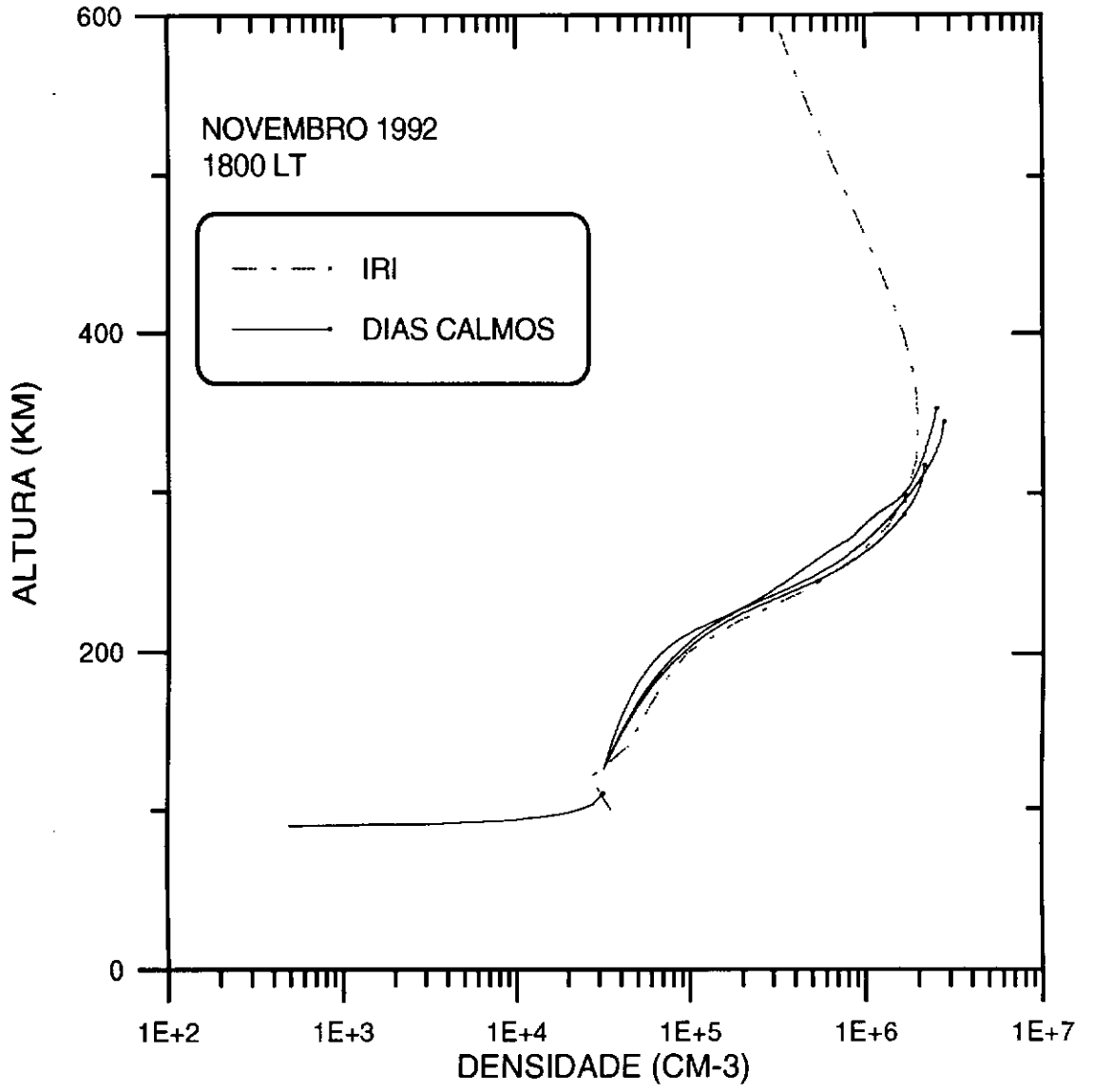


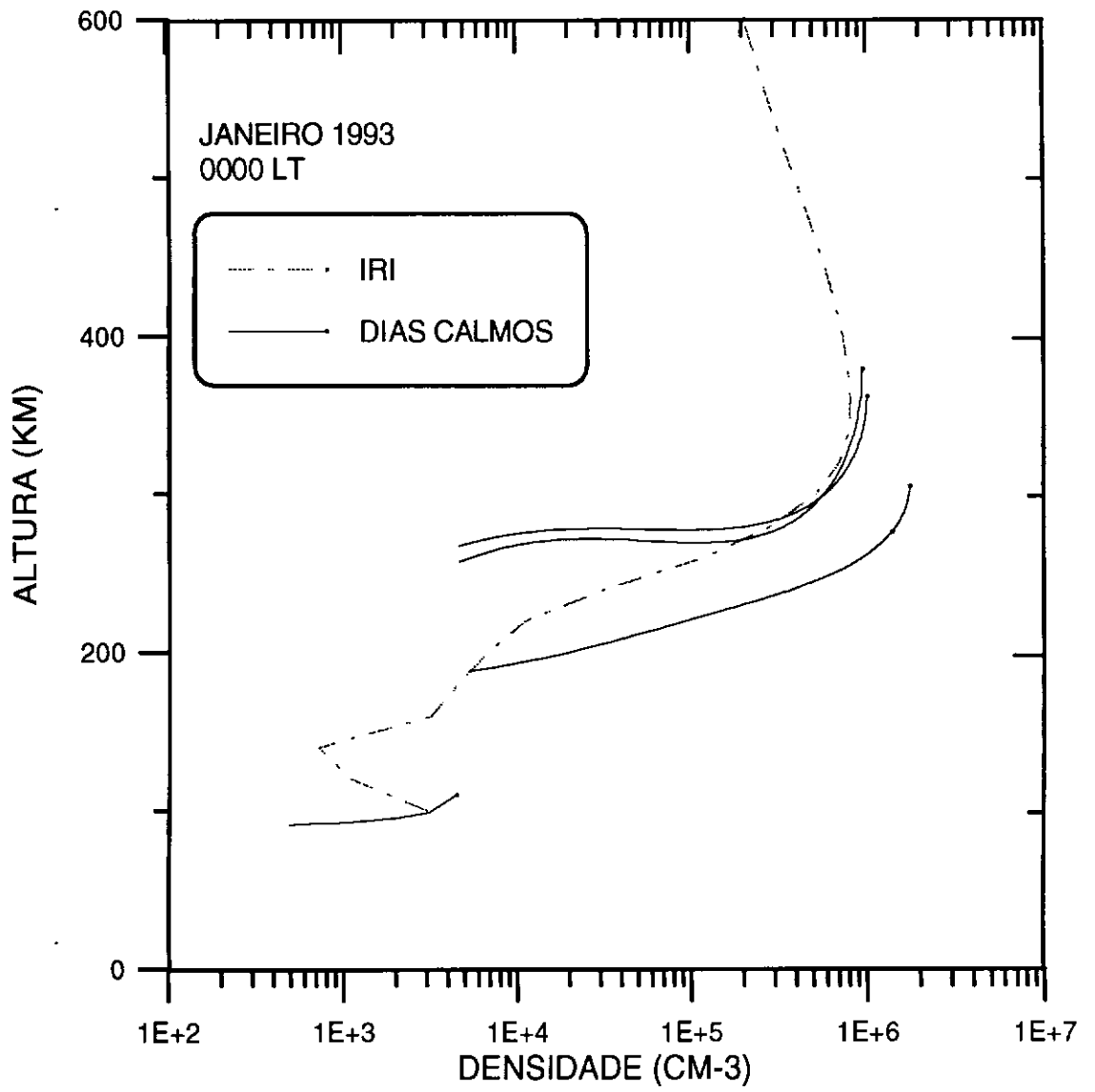


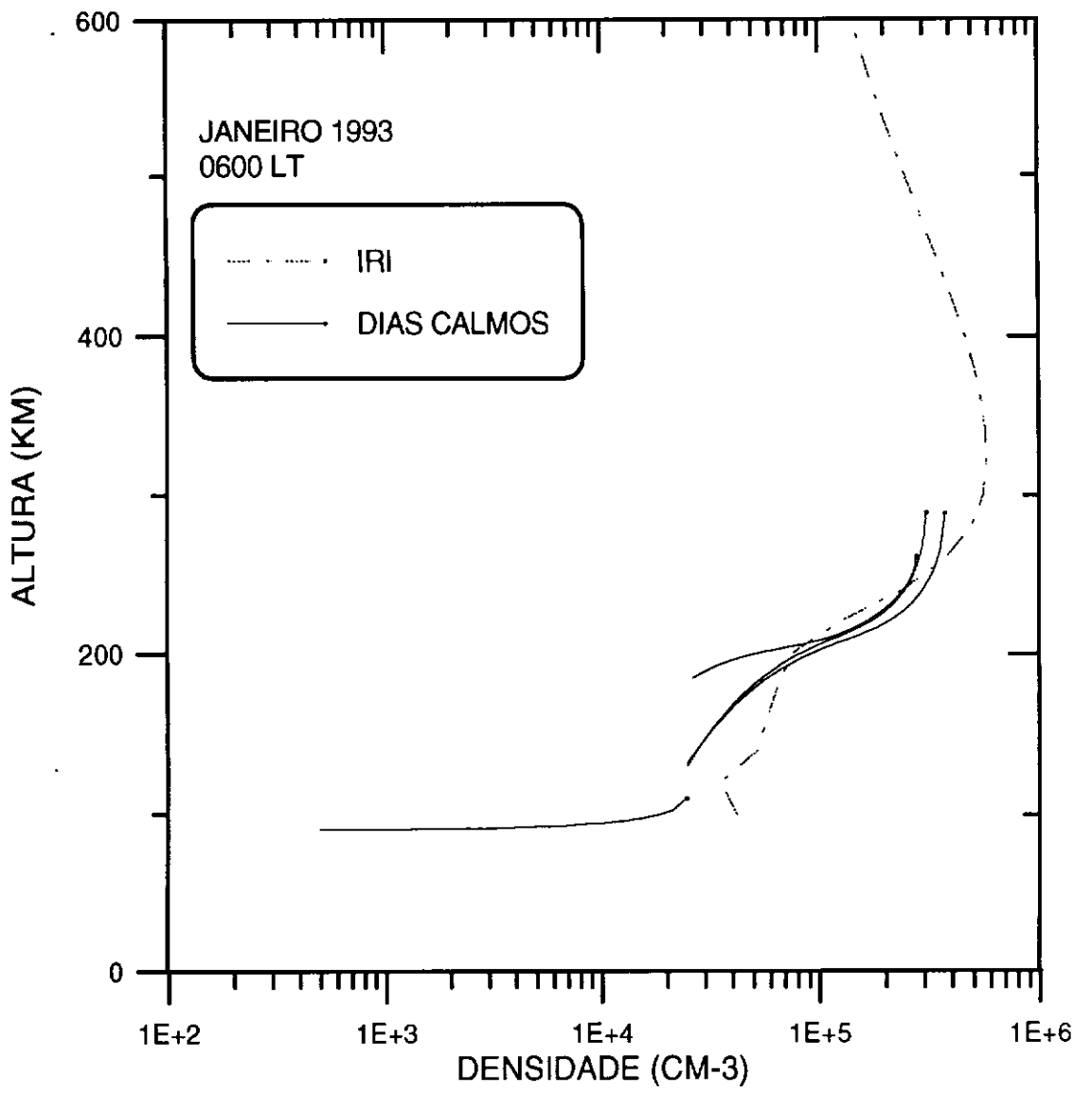


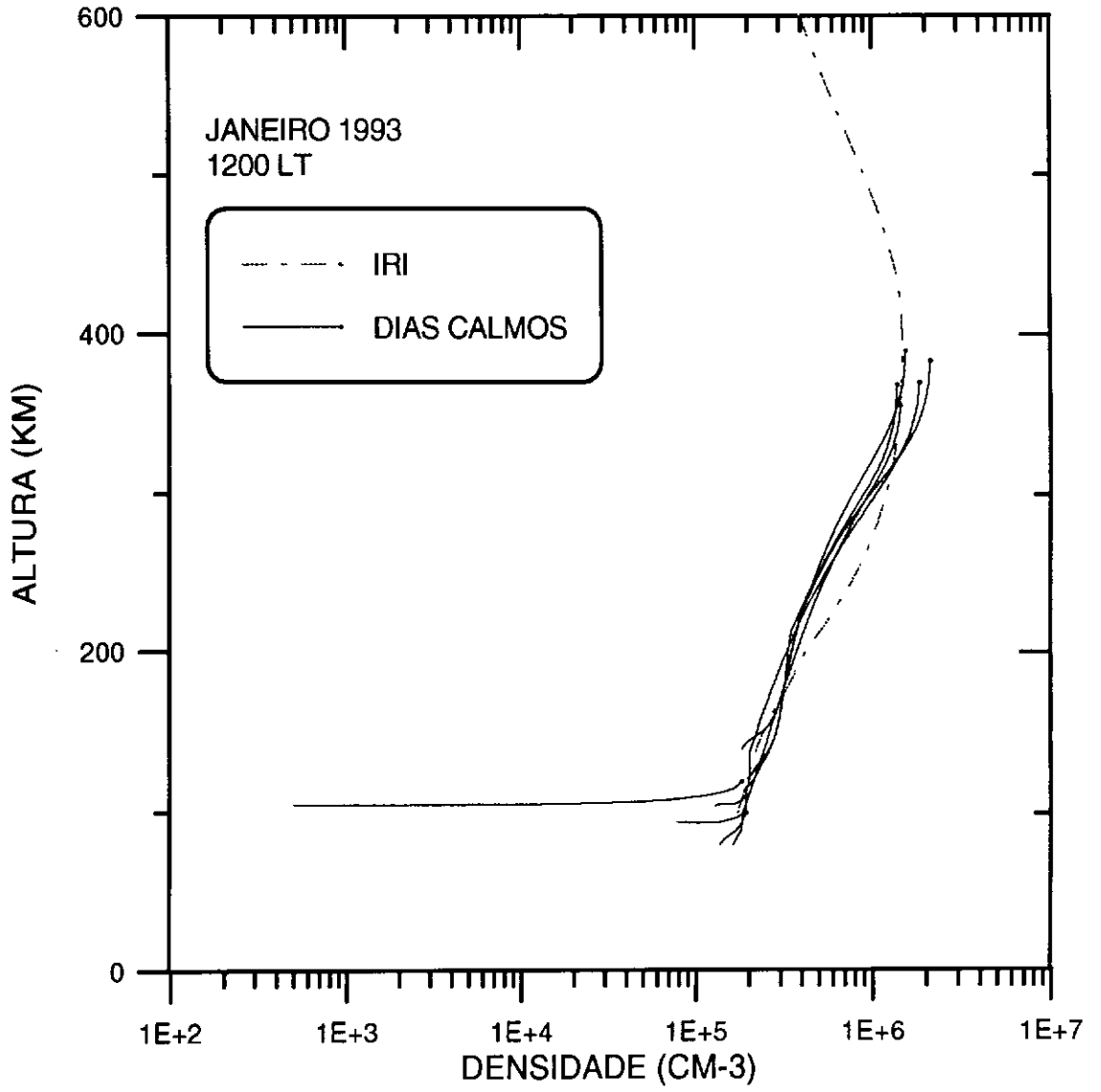


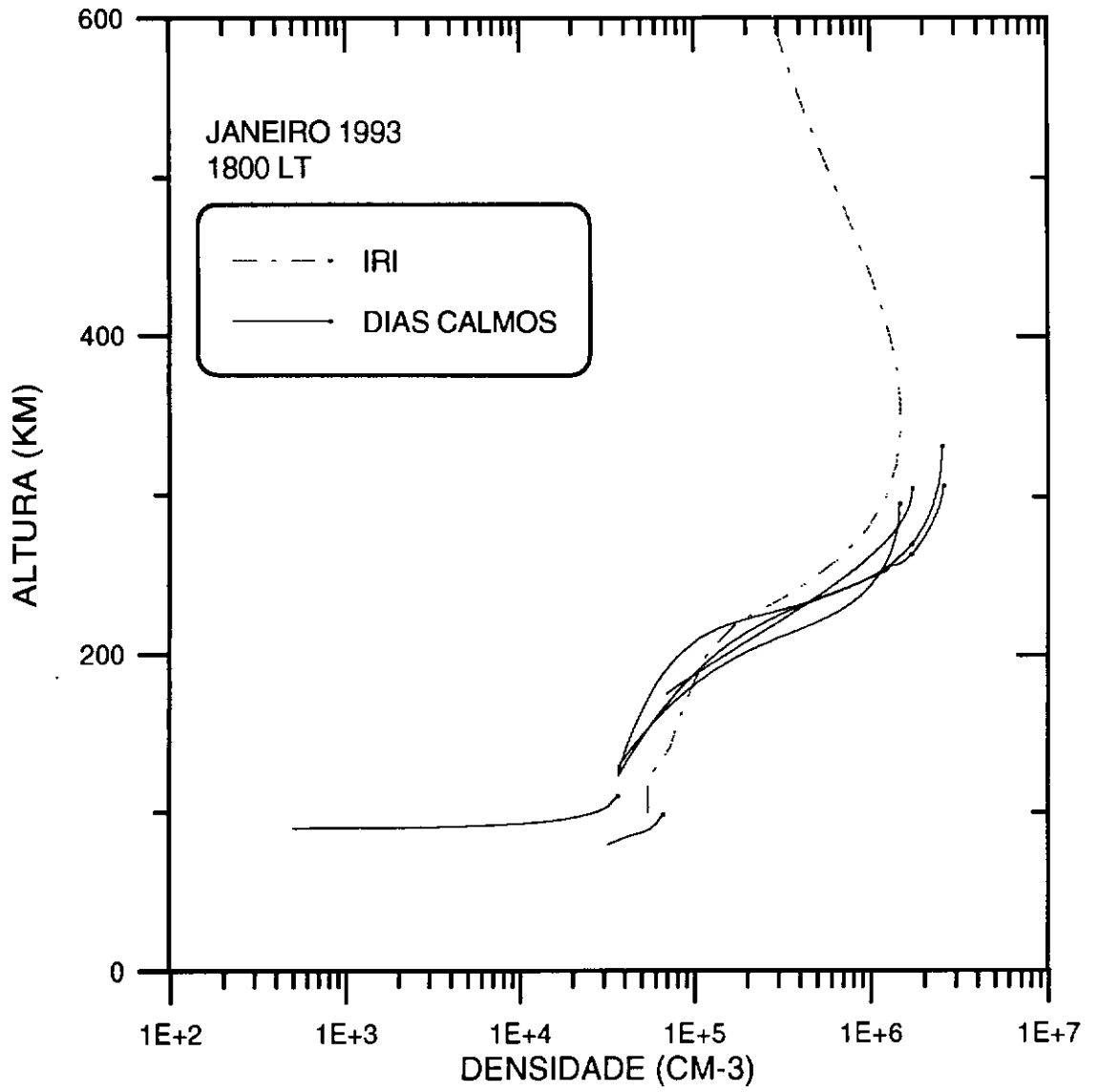


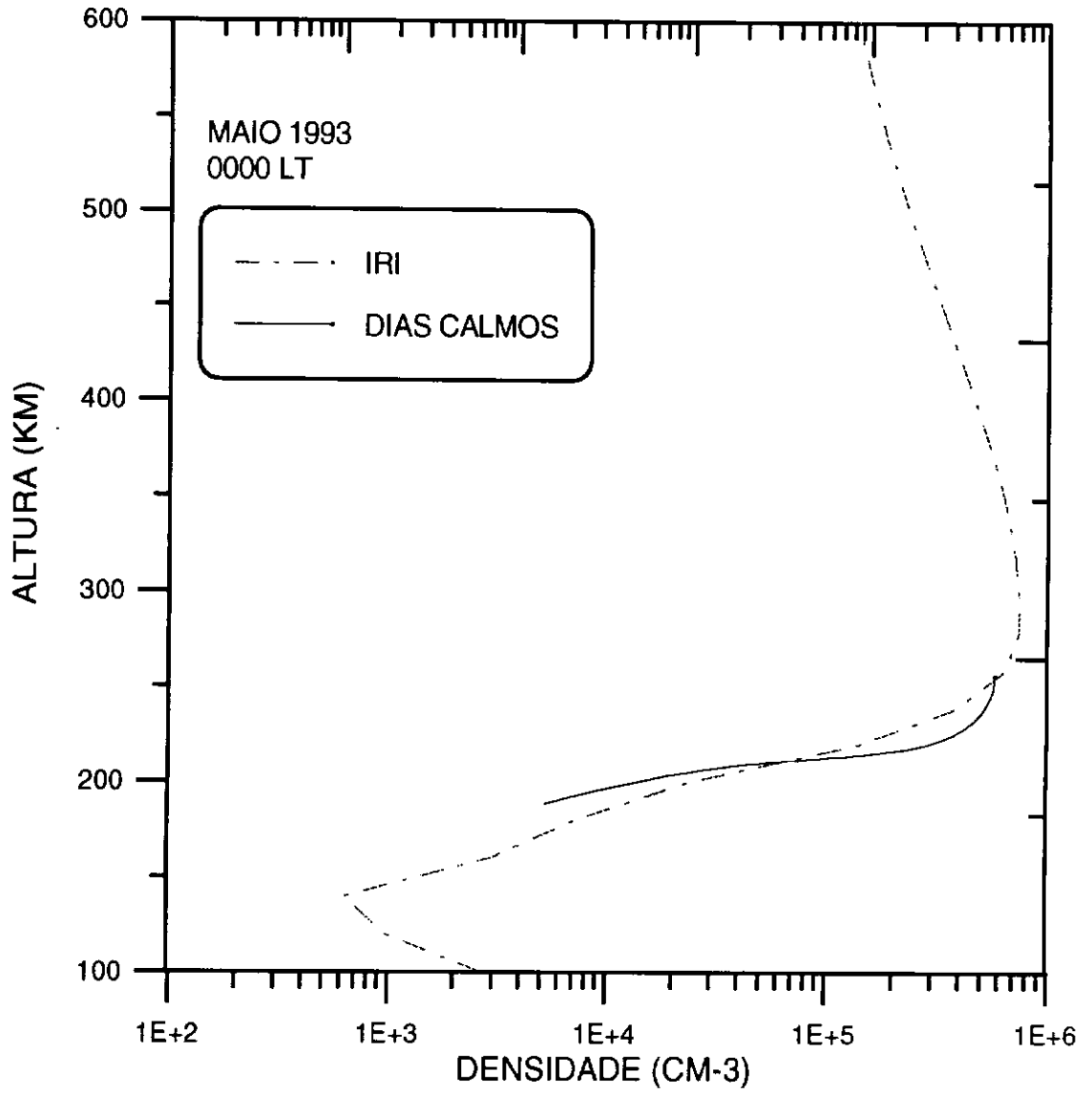


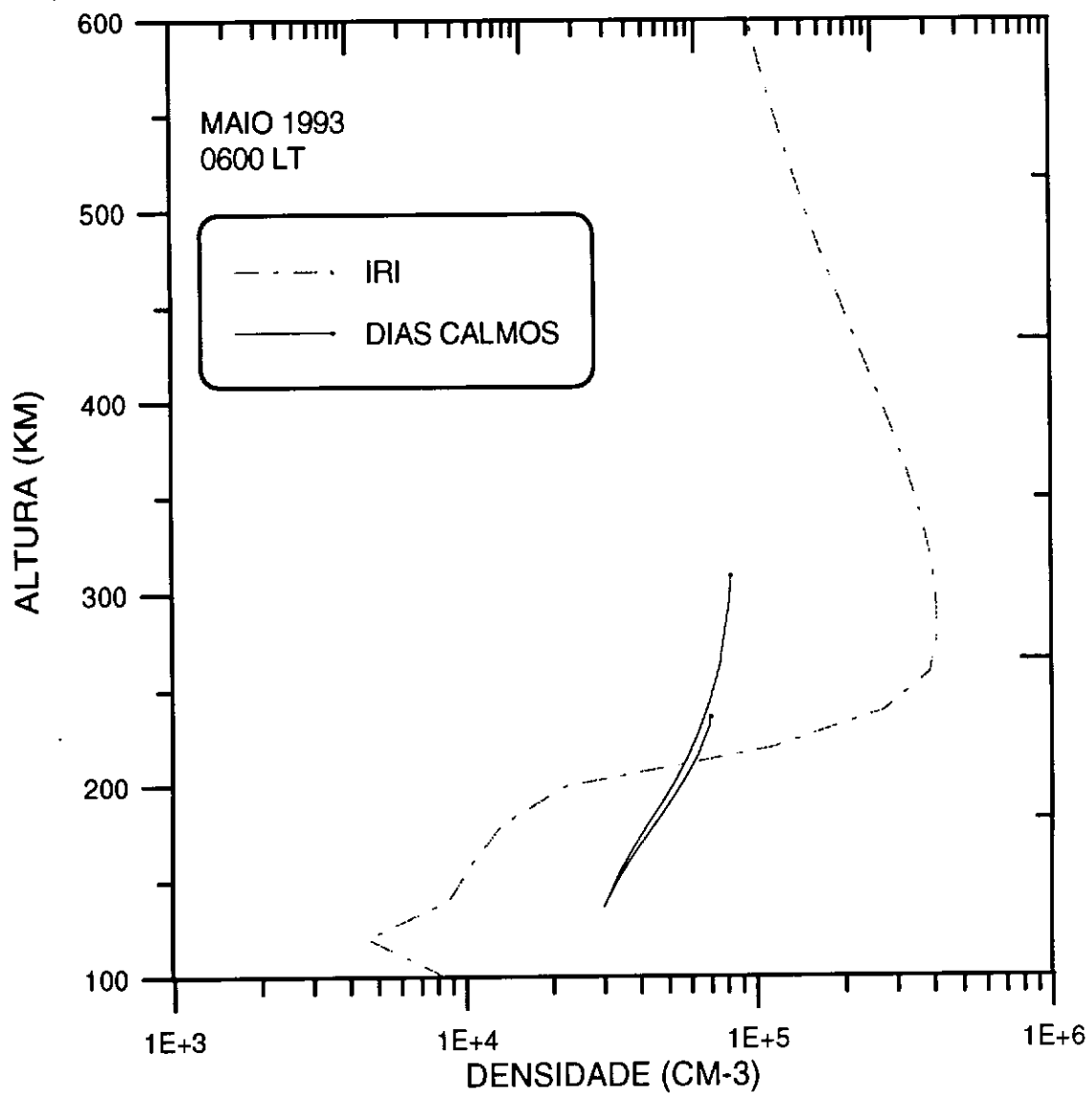


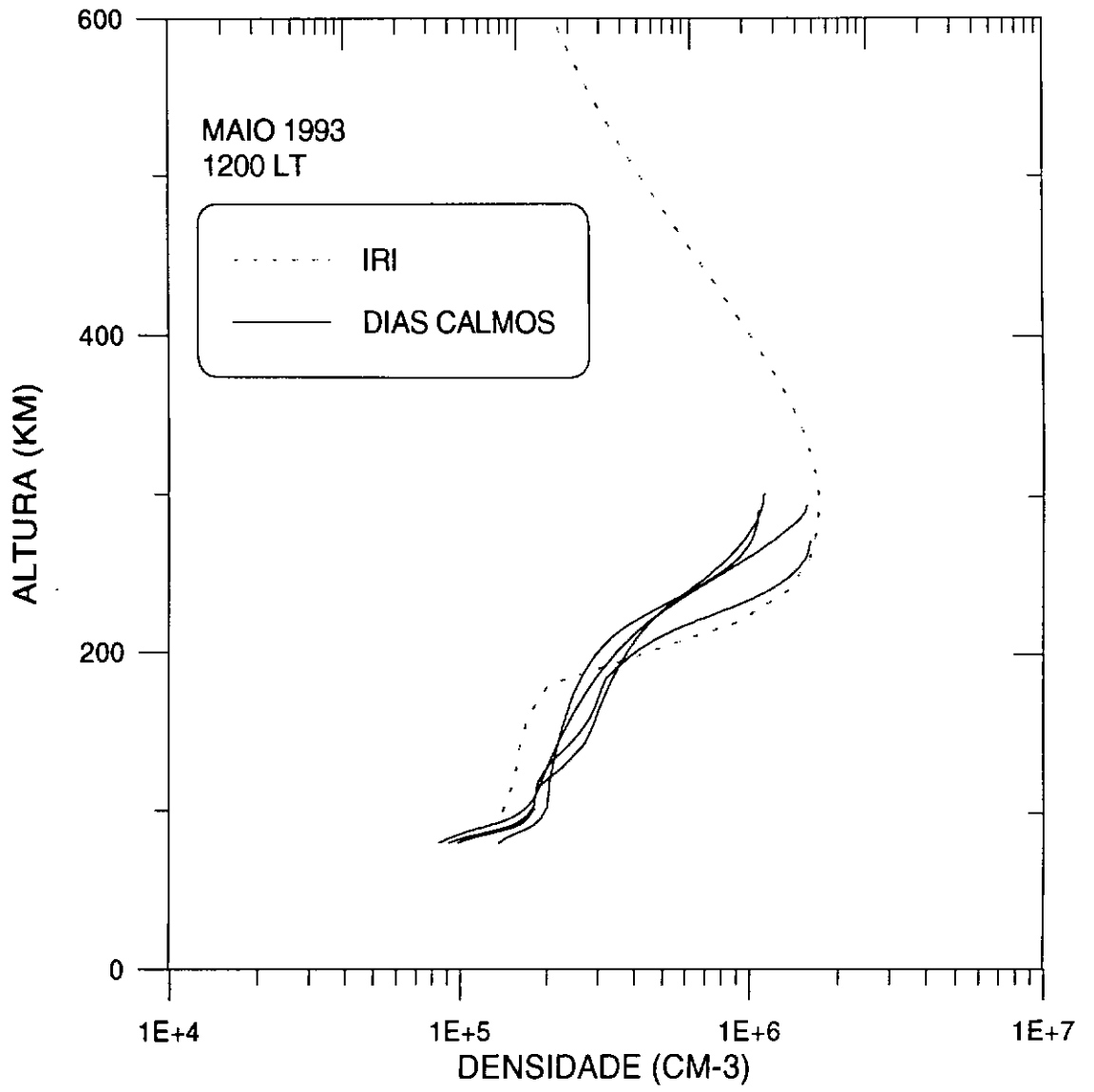


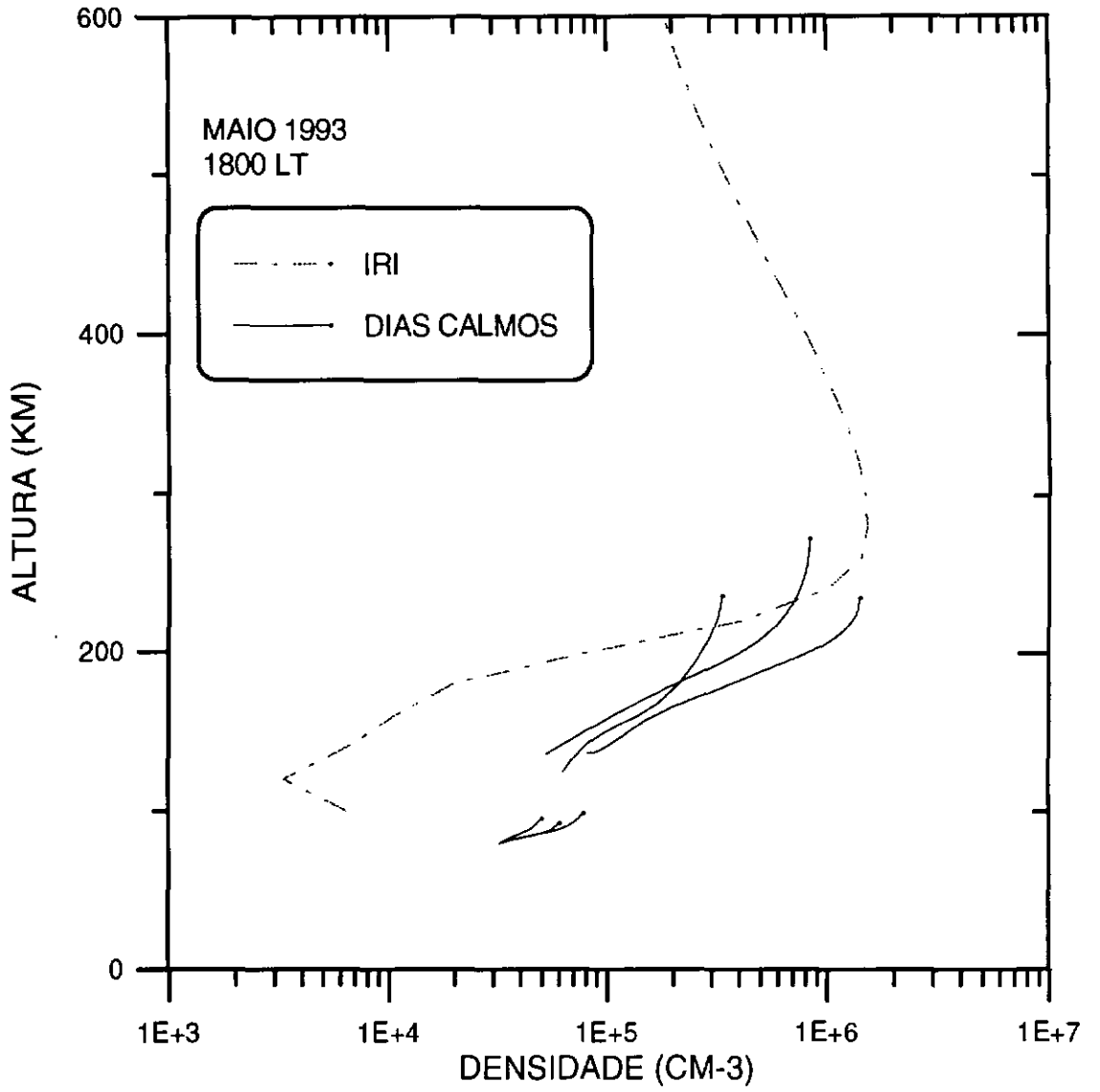


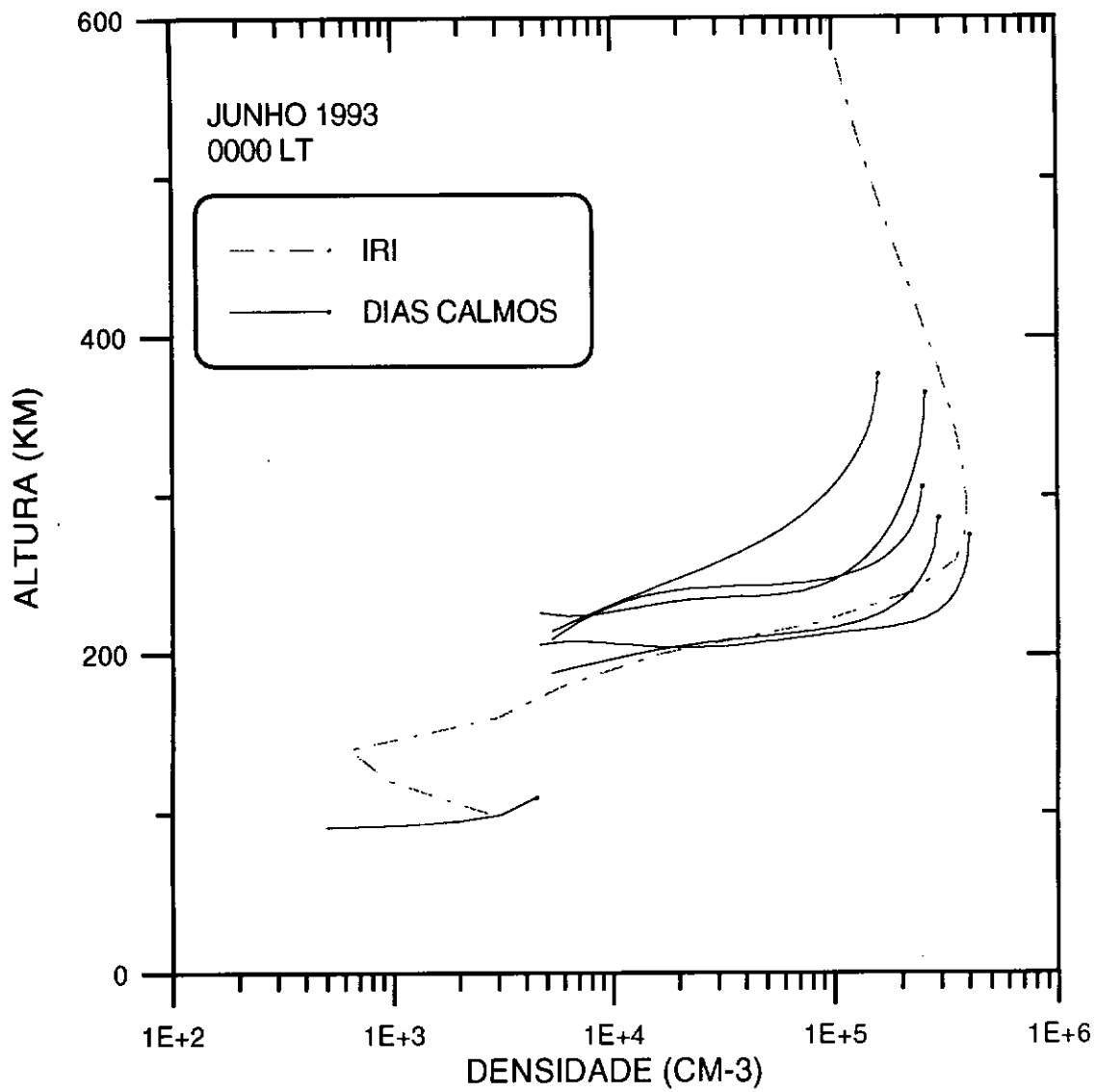


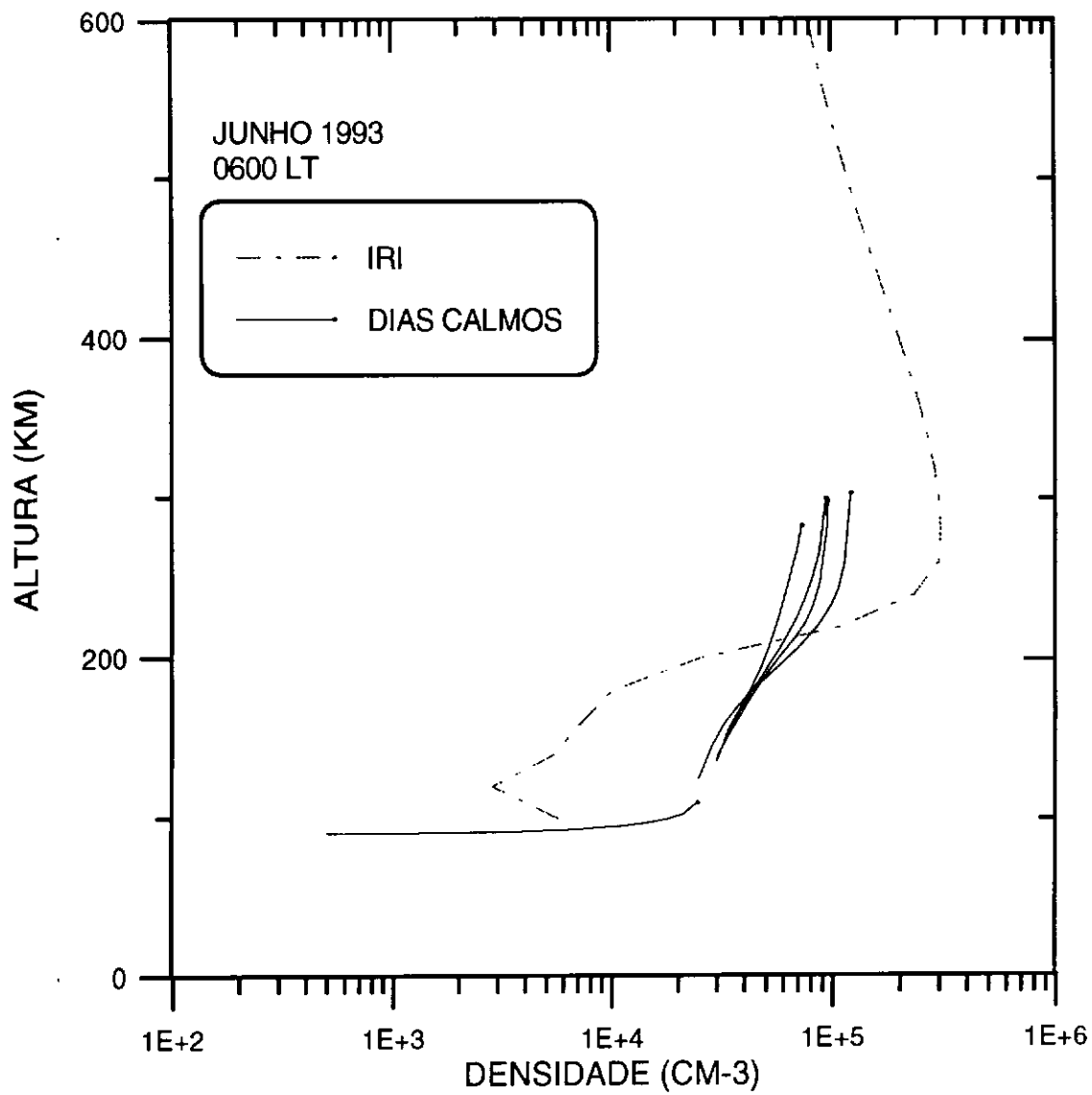


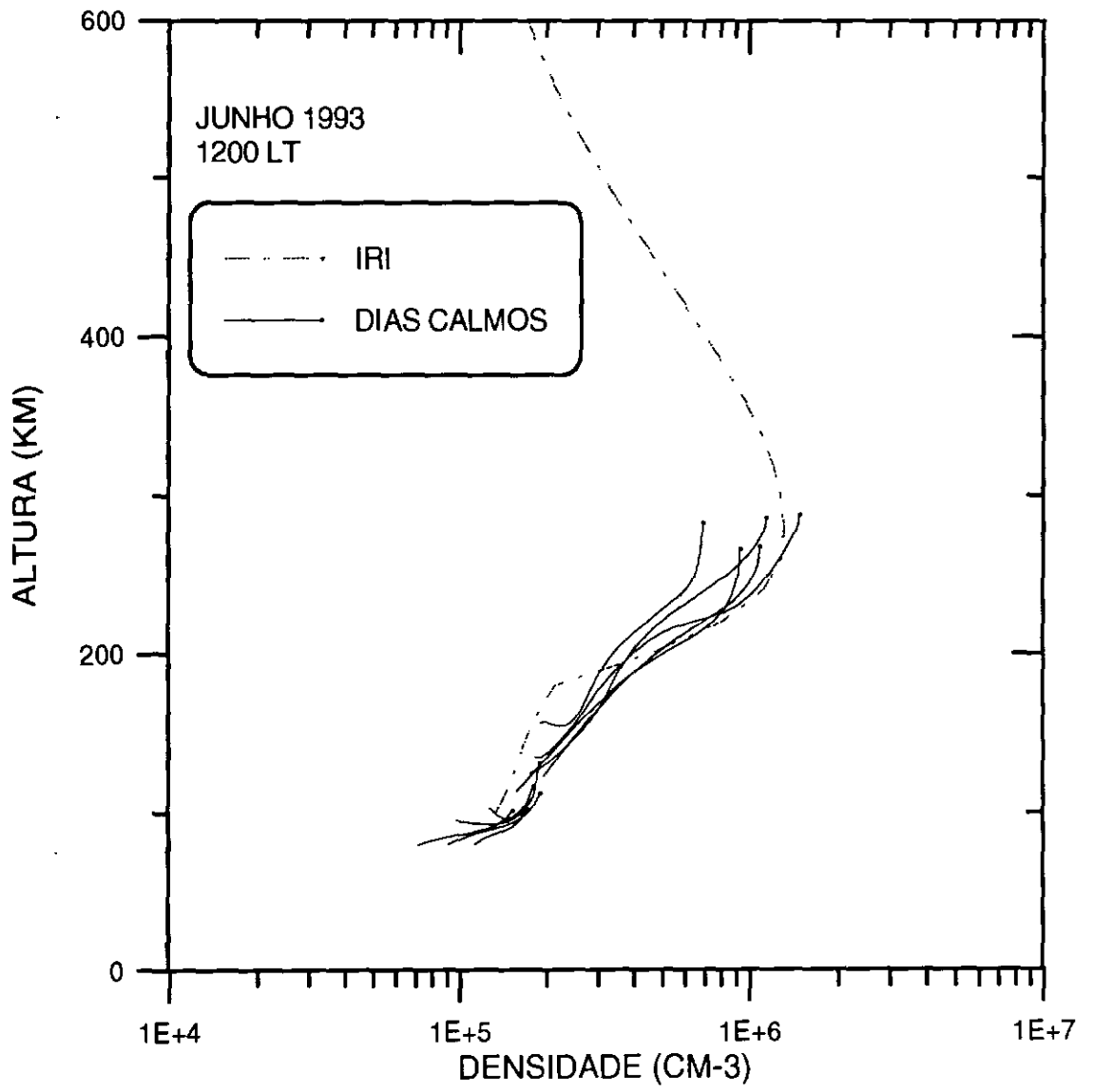


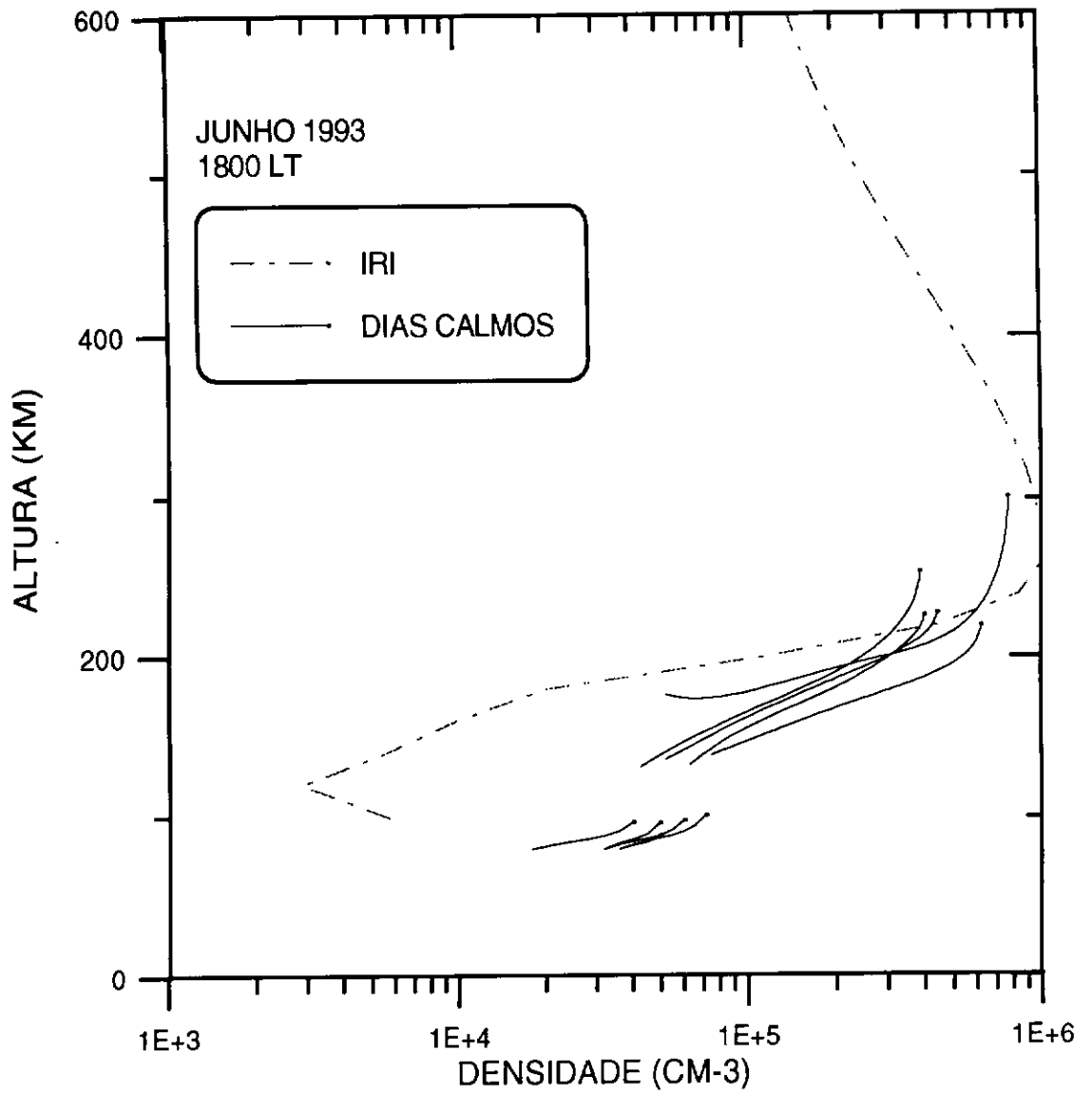


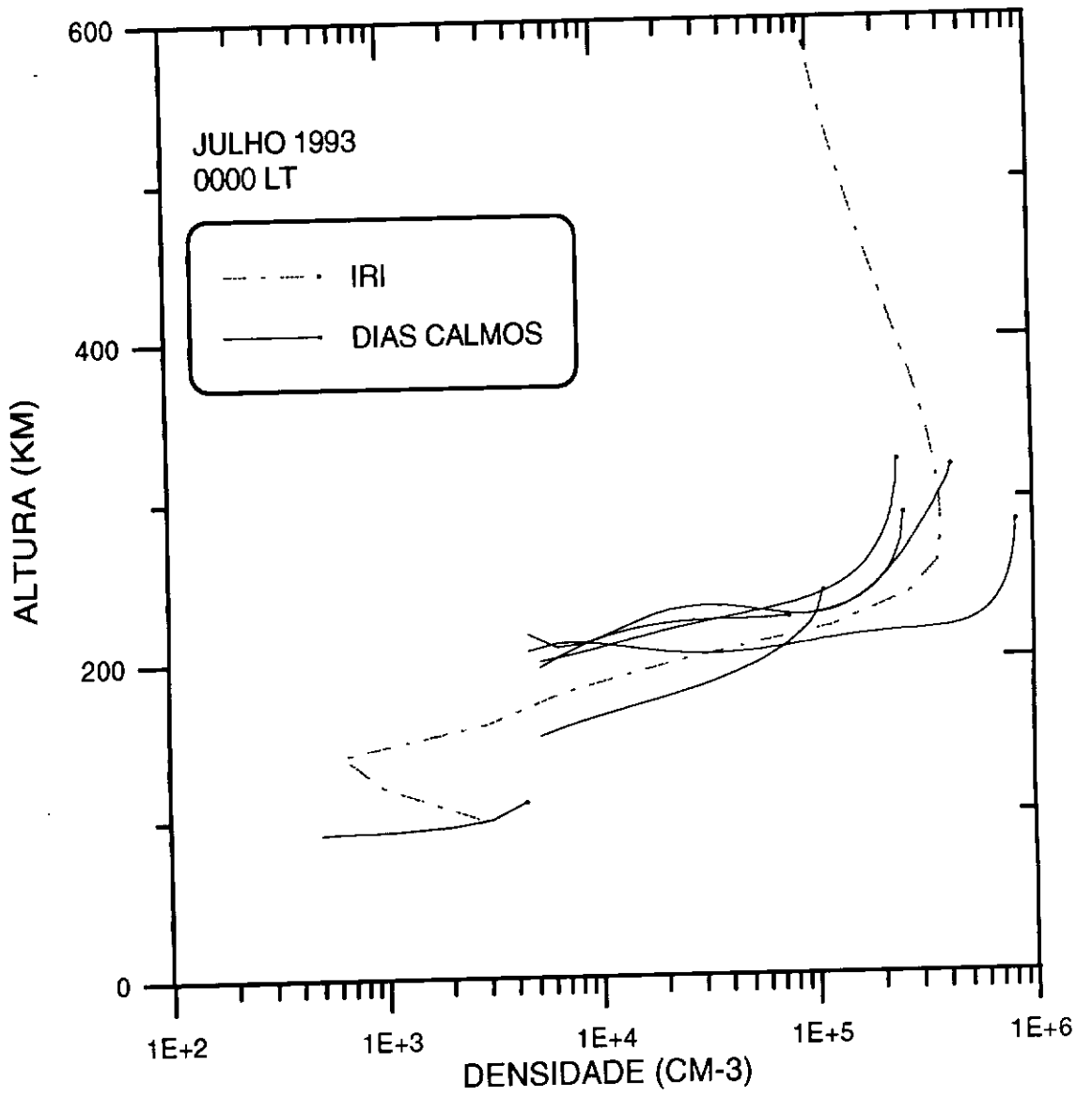


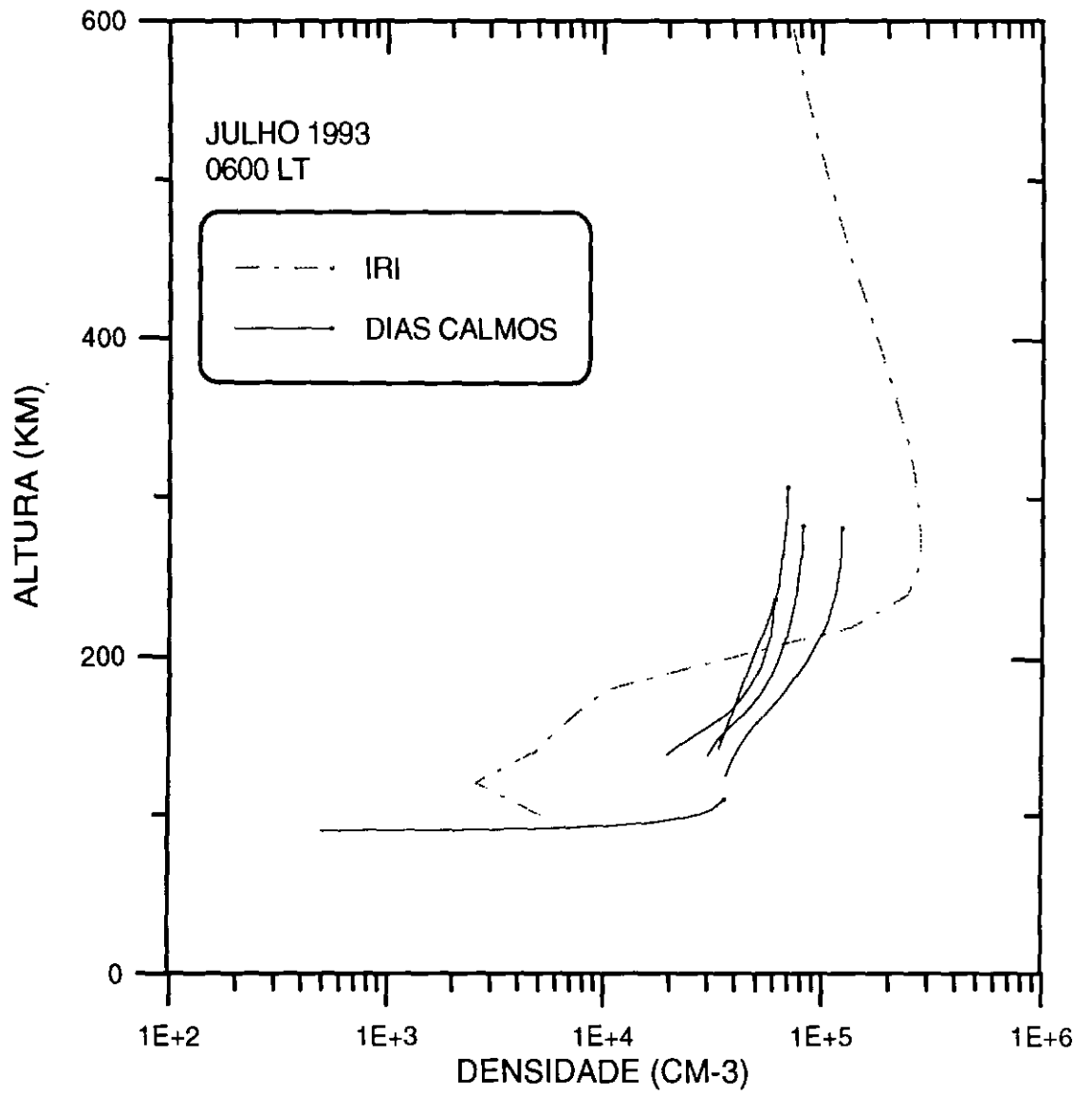


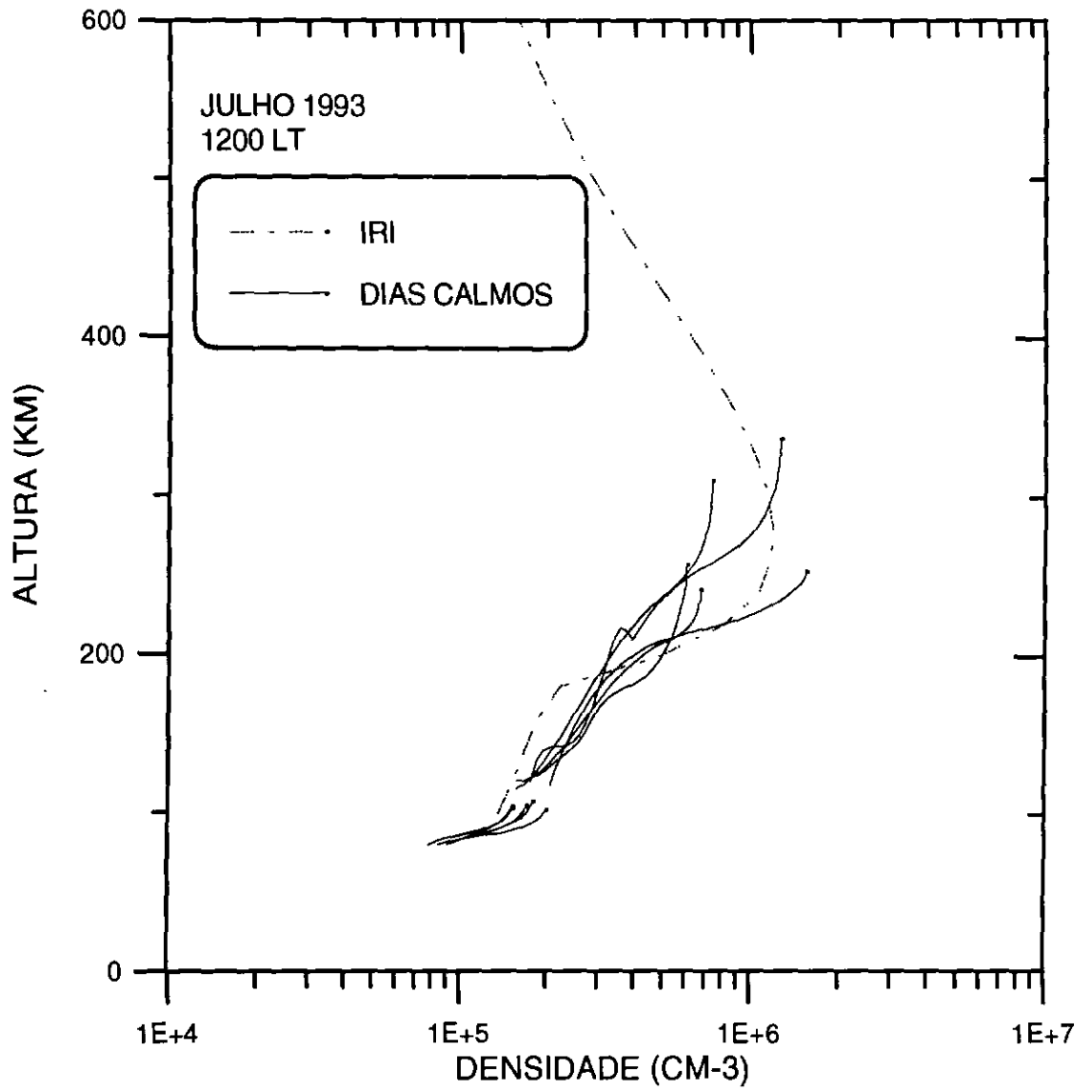


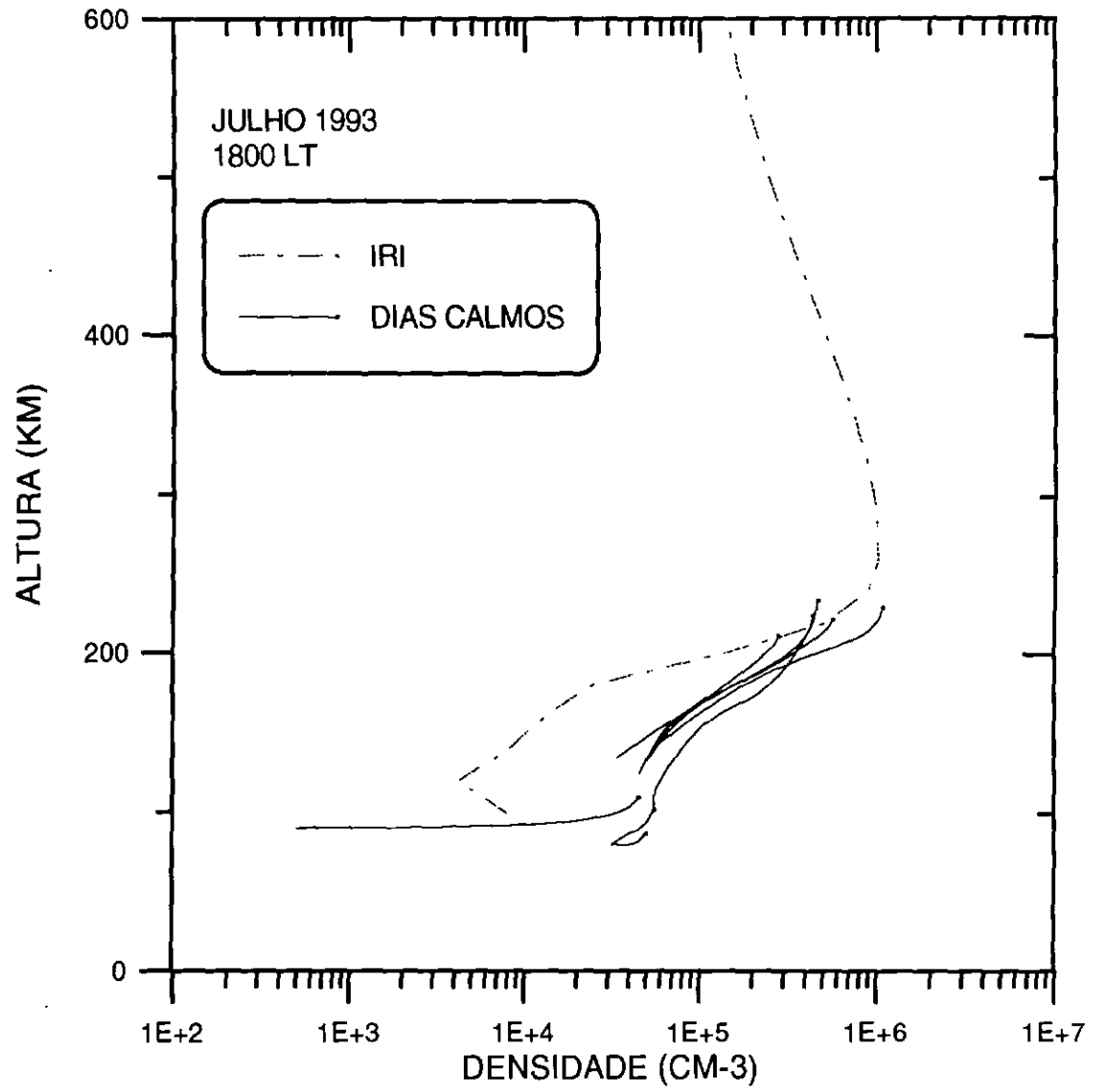


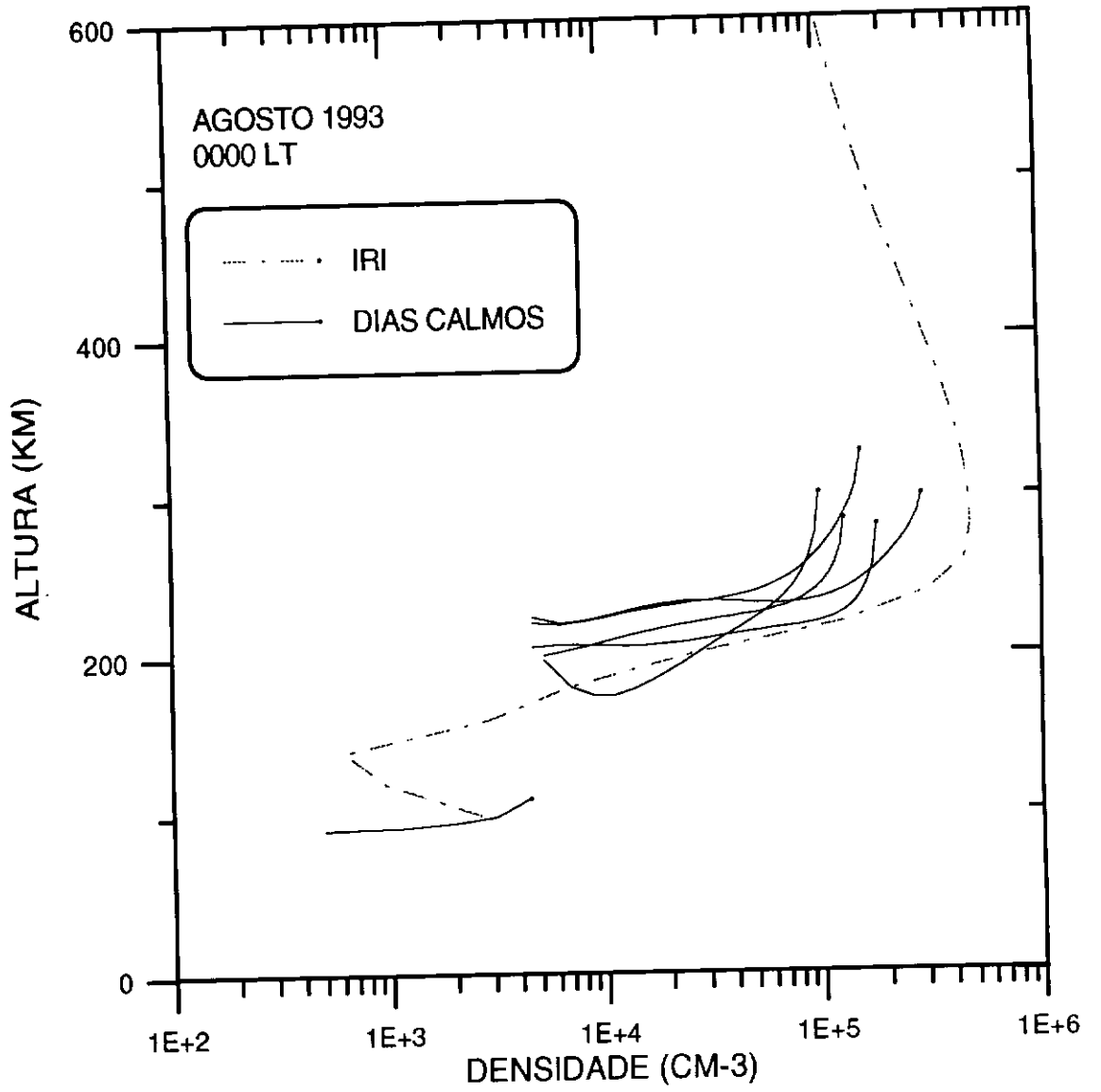


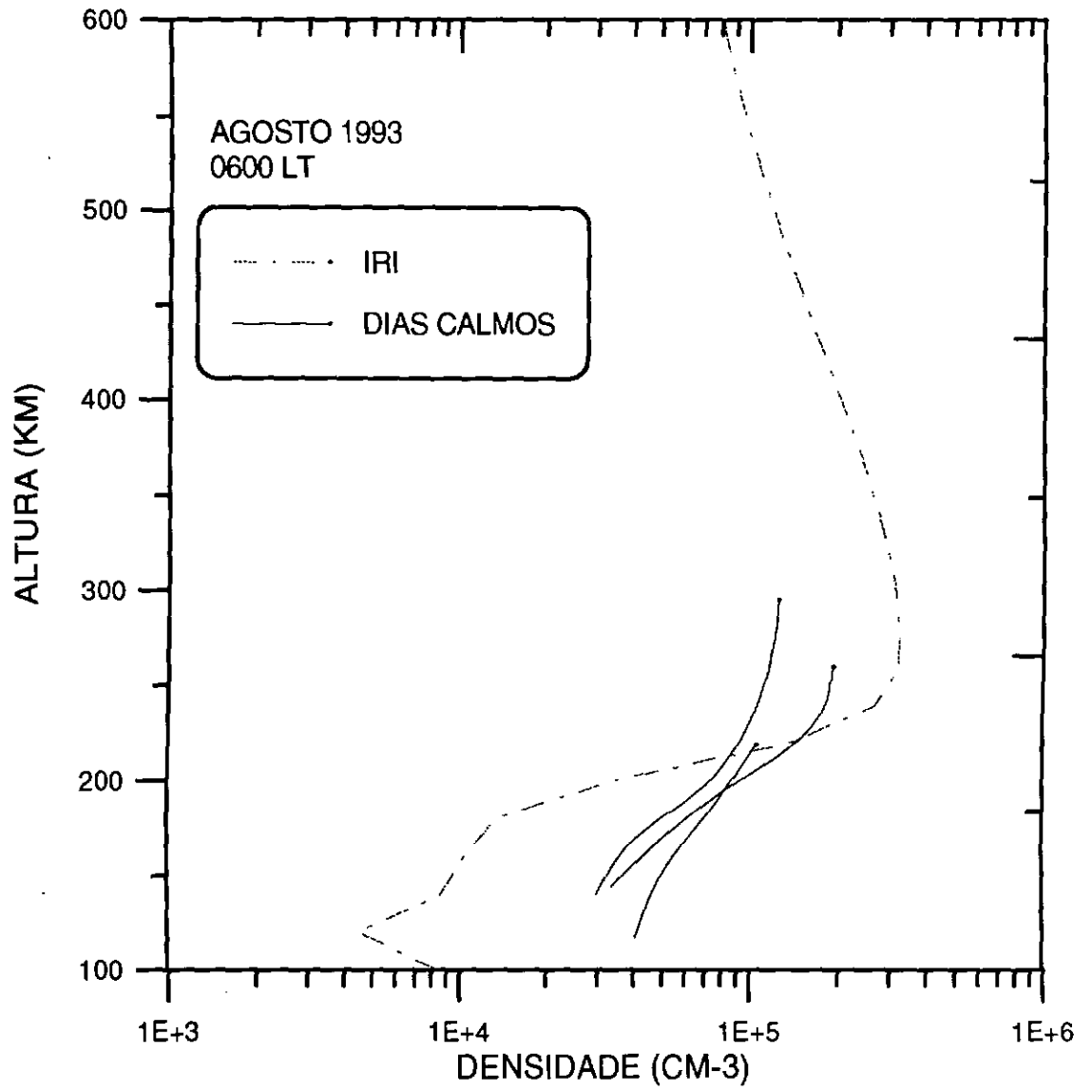


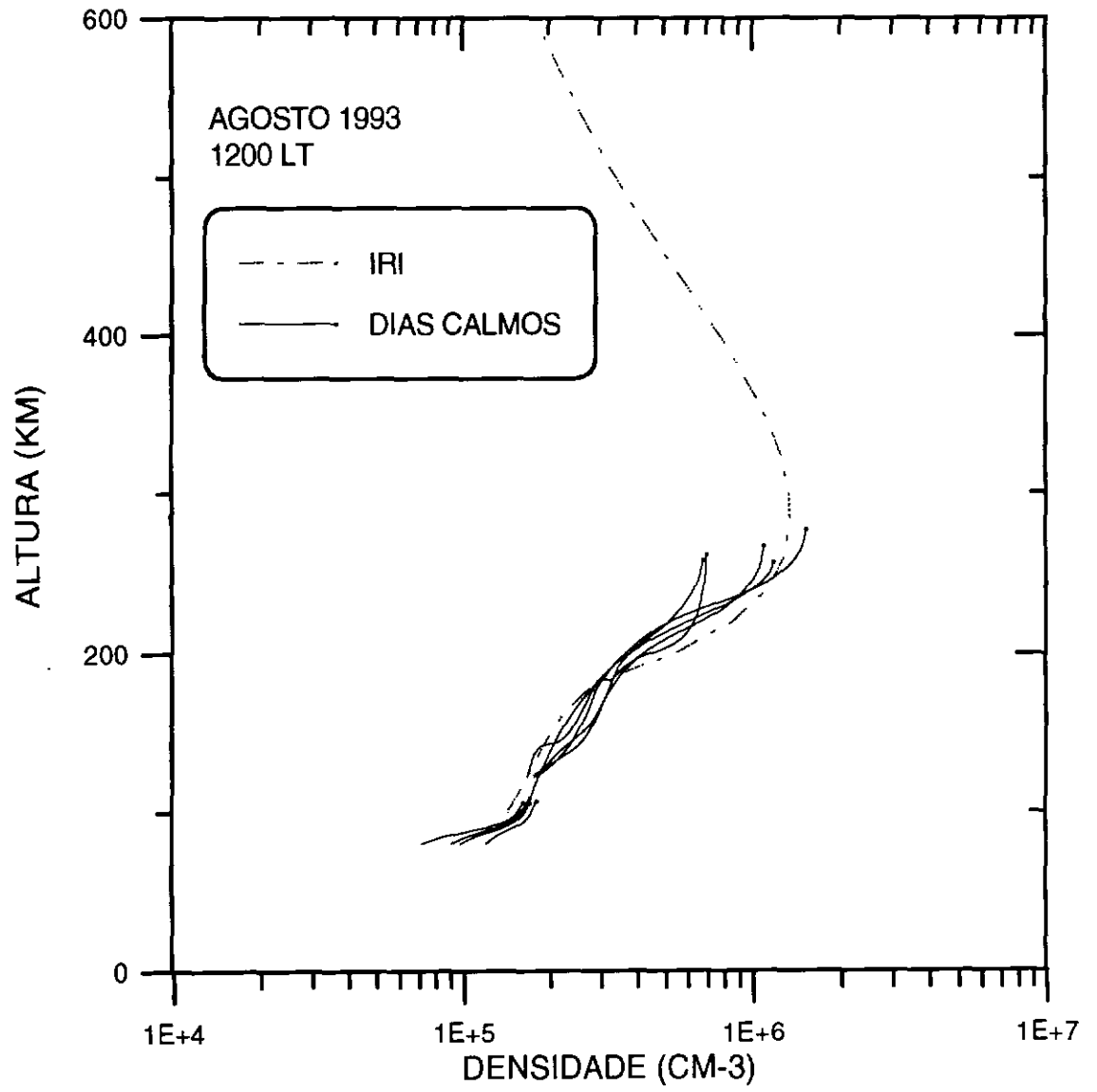


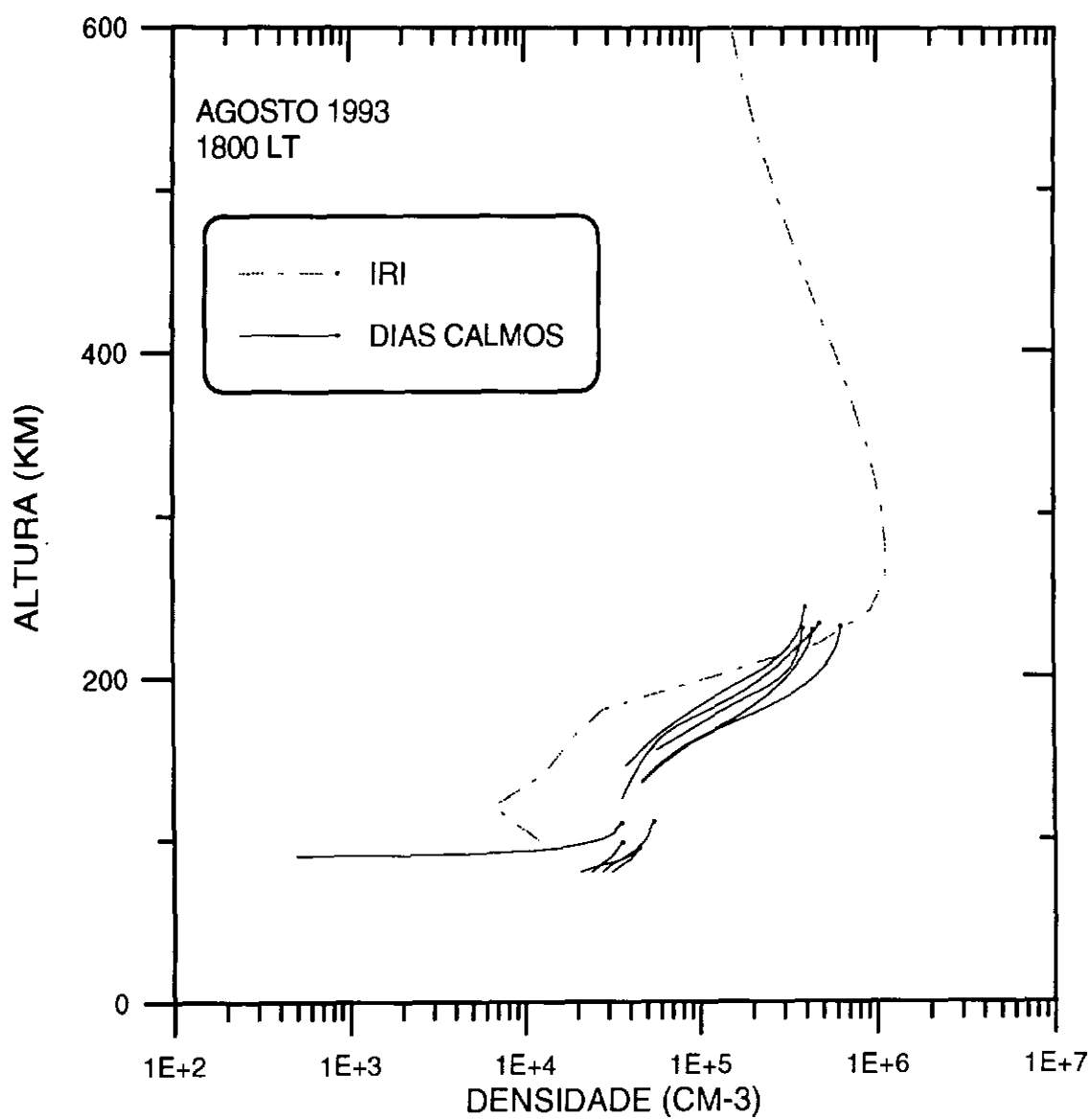


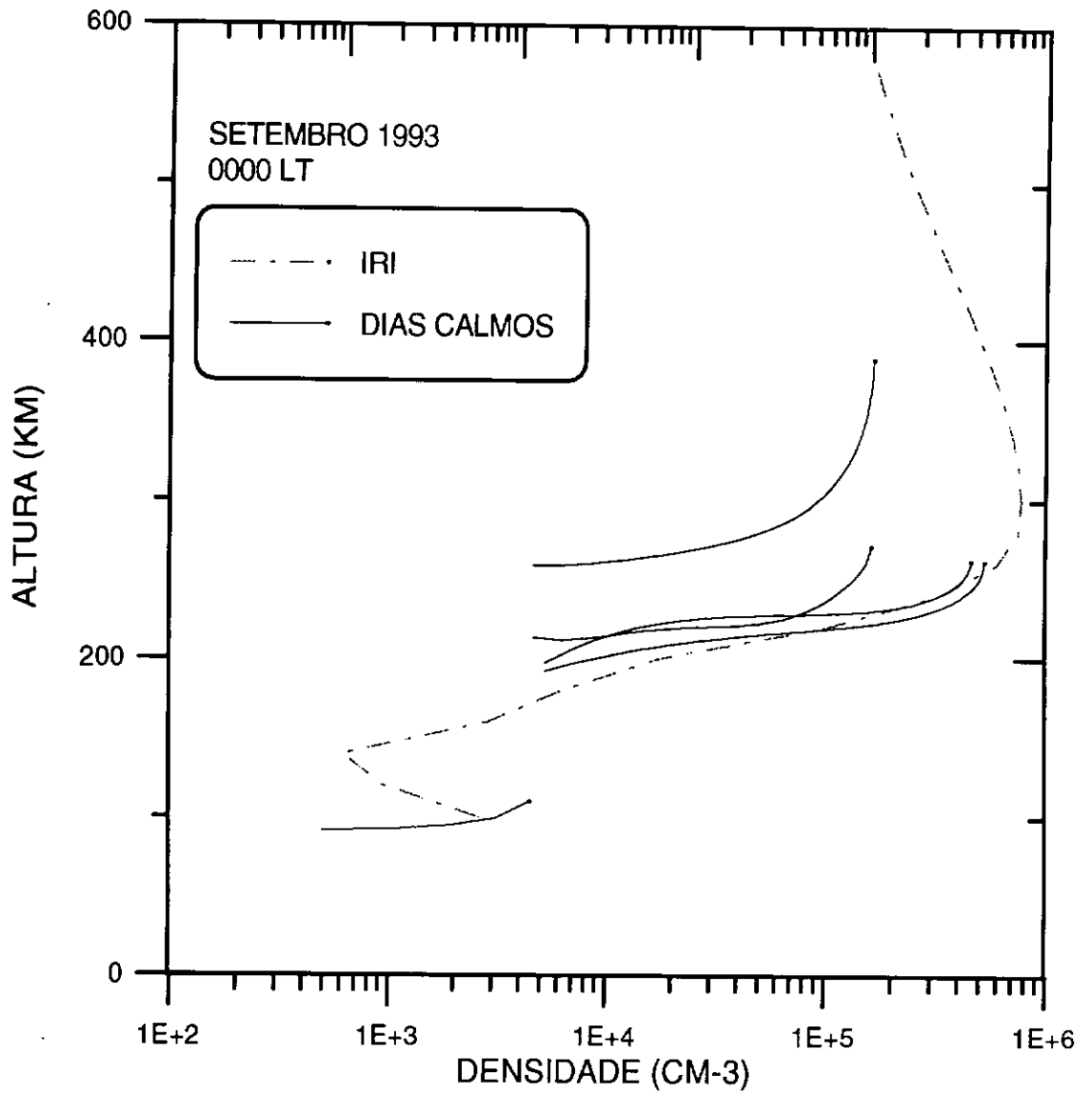


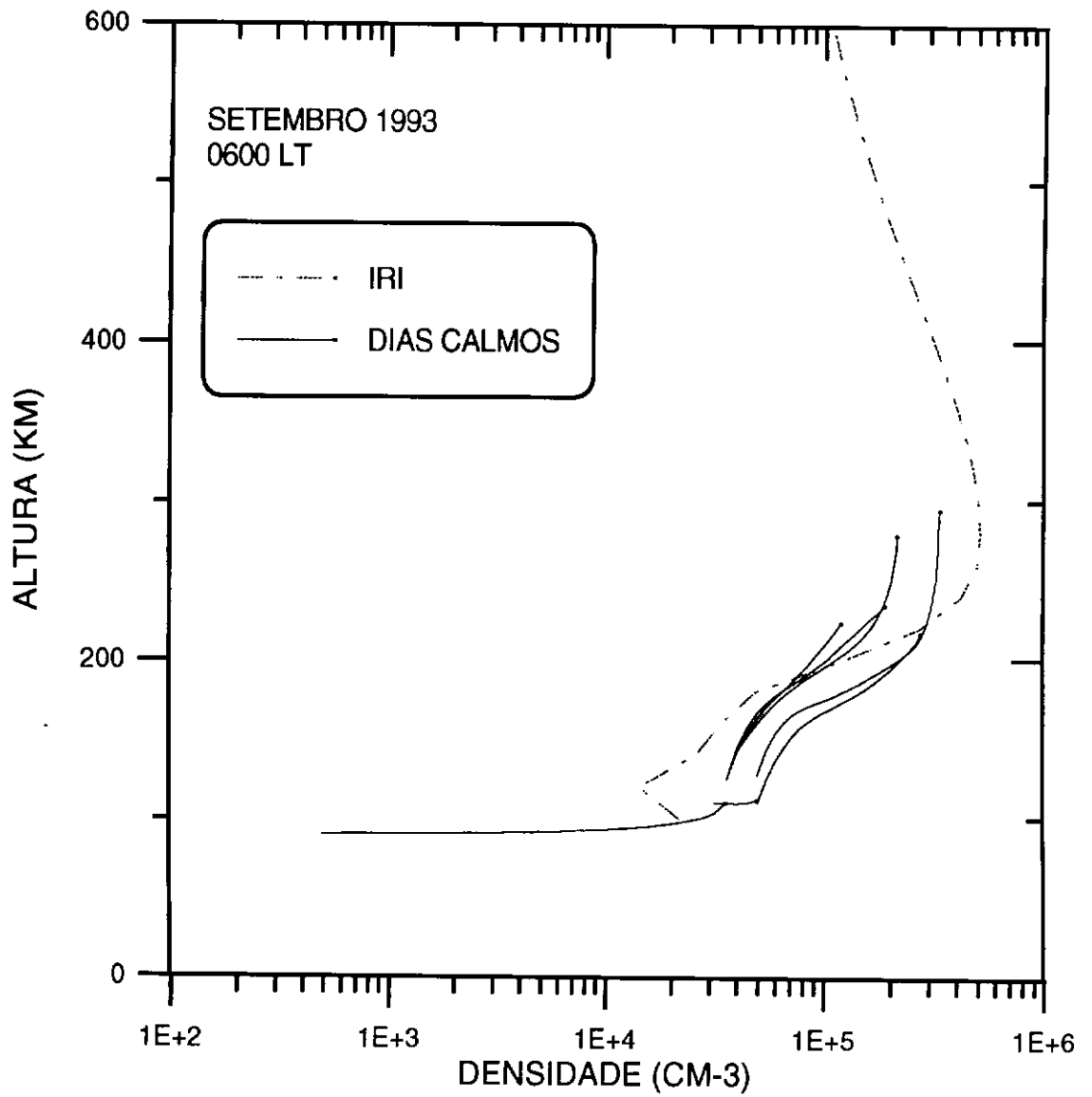


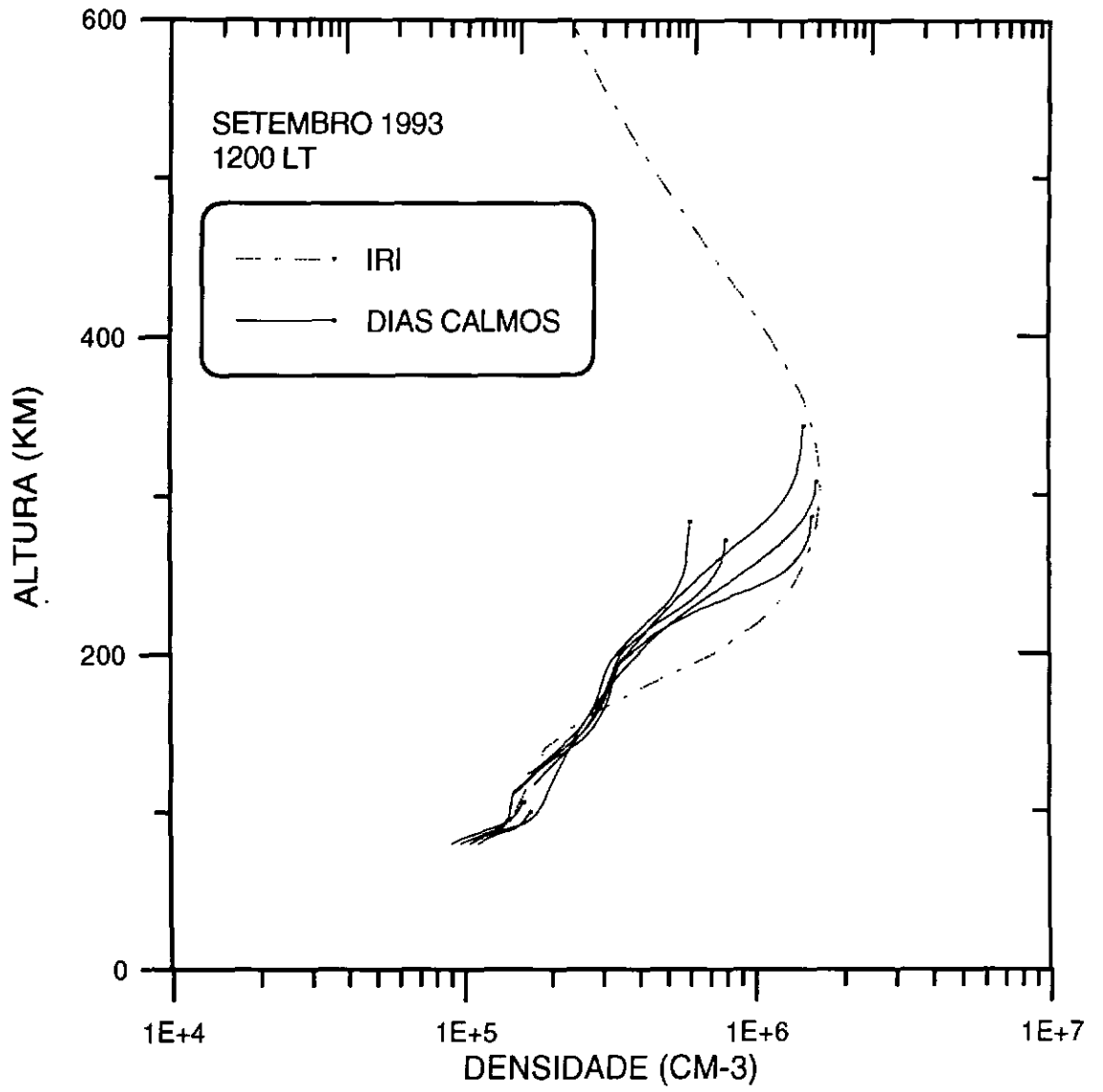












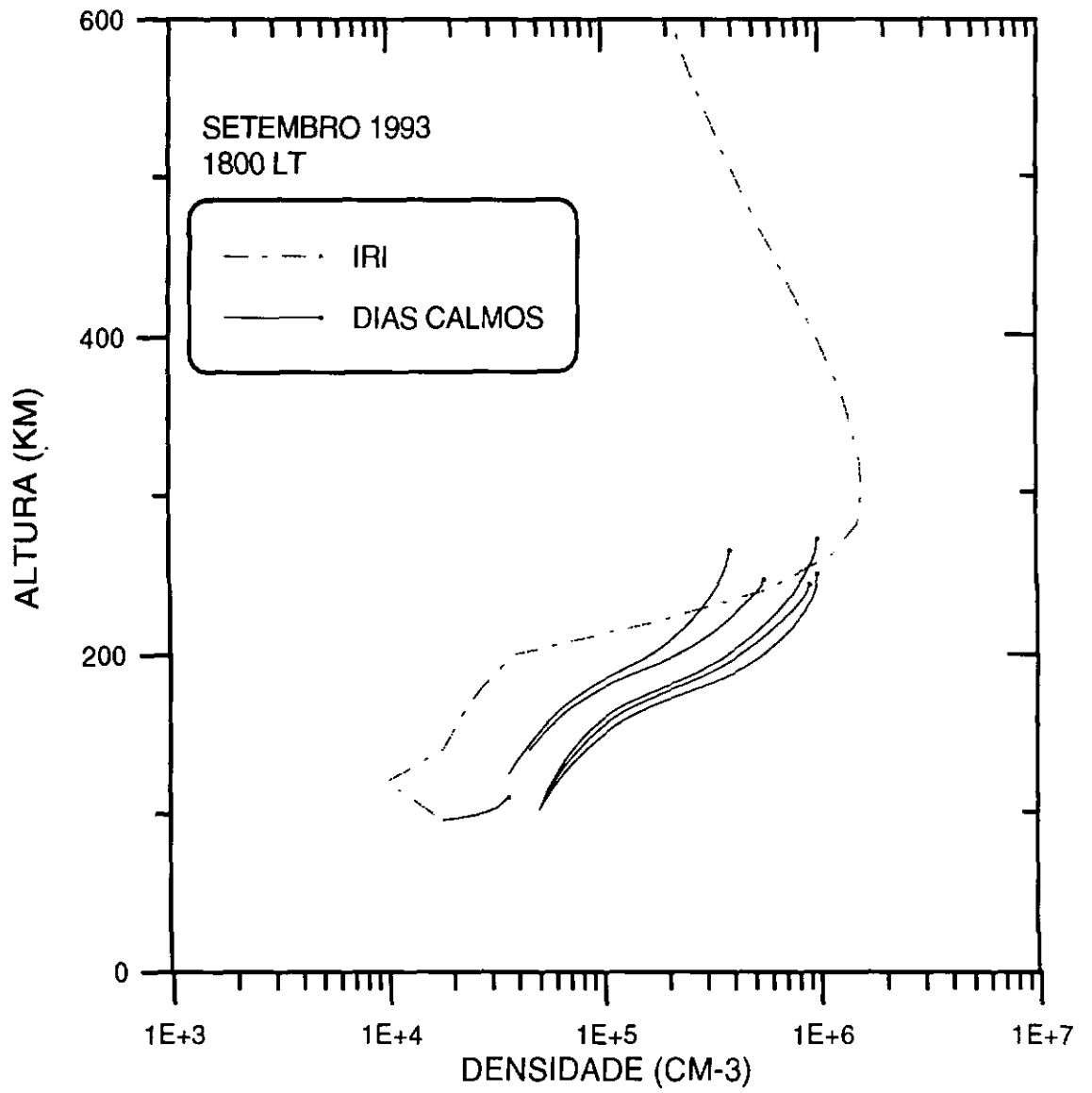
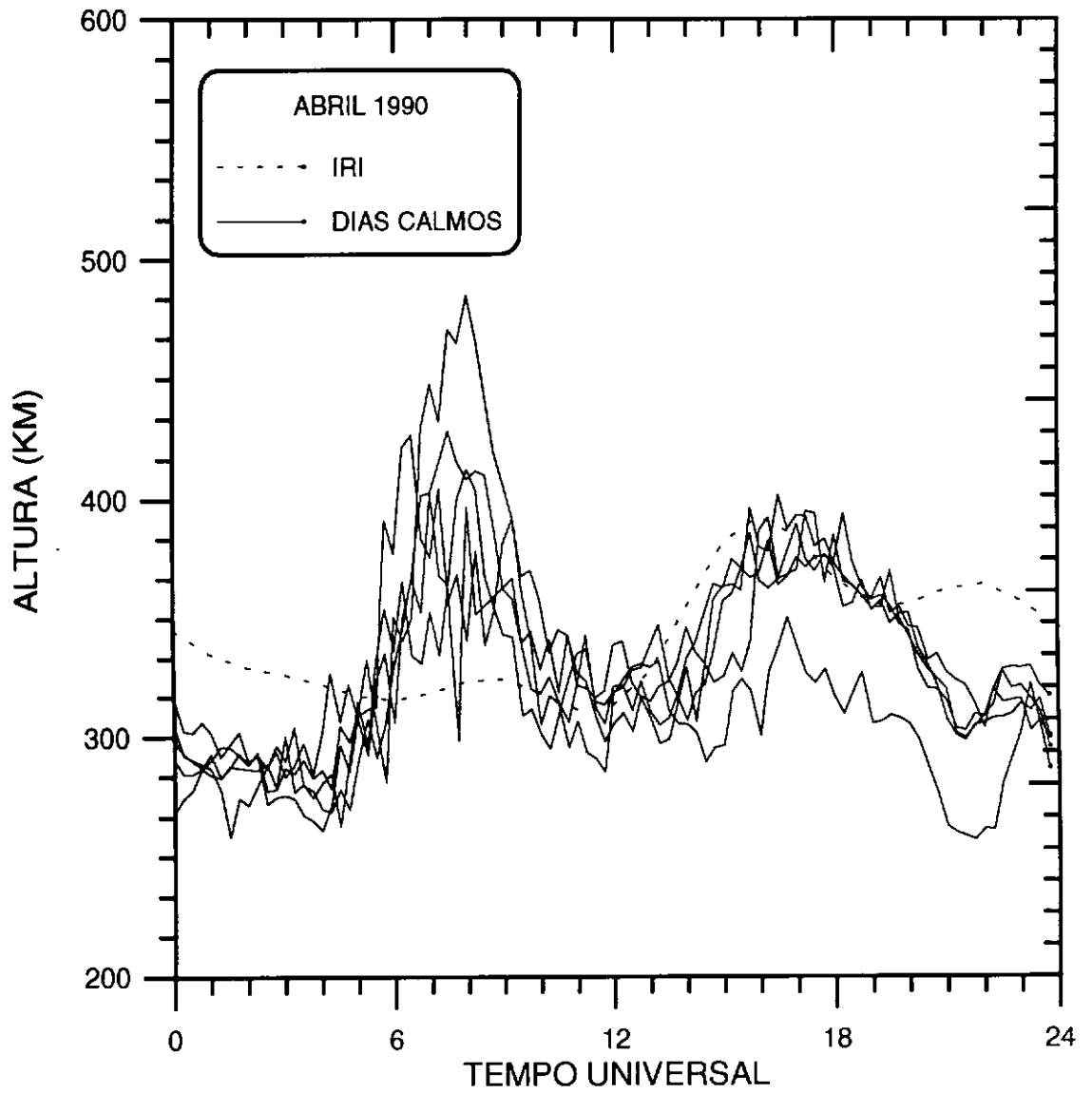


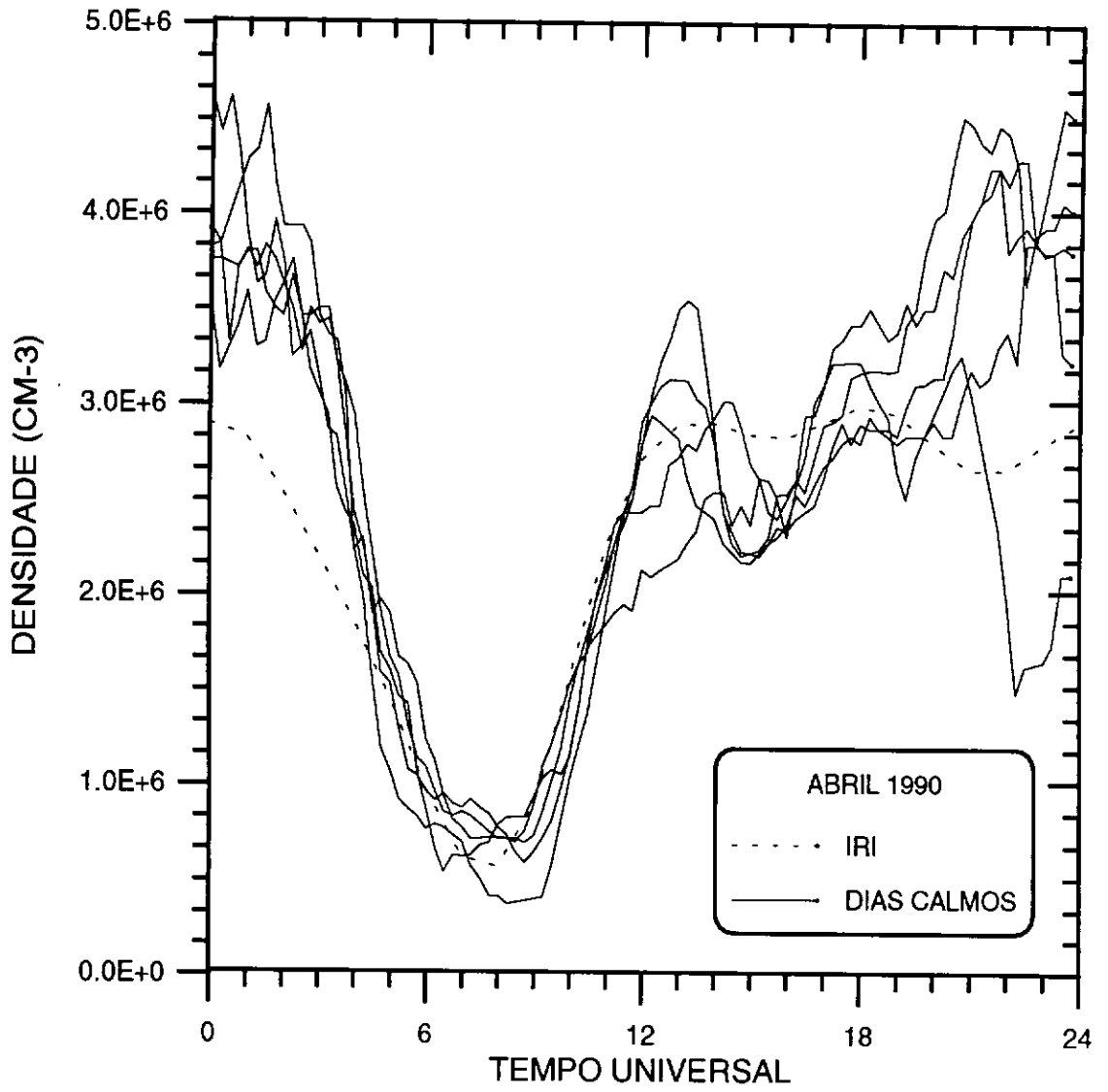
TABELA B.1 - NÚMERO DE MANCHAS SOLARES

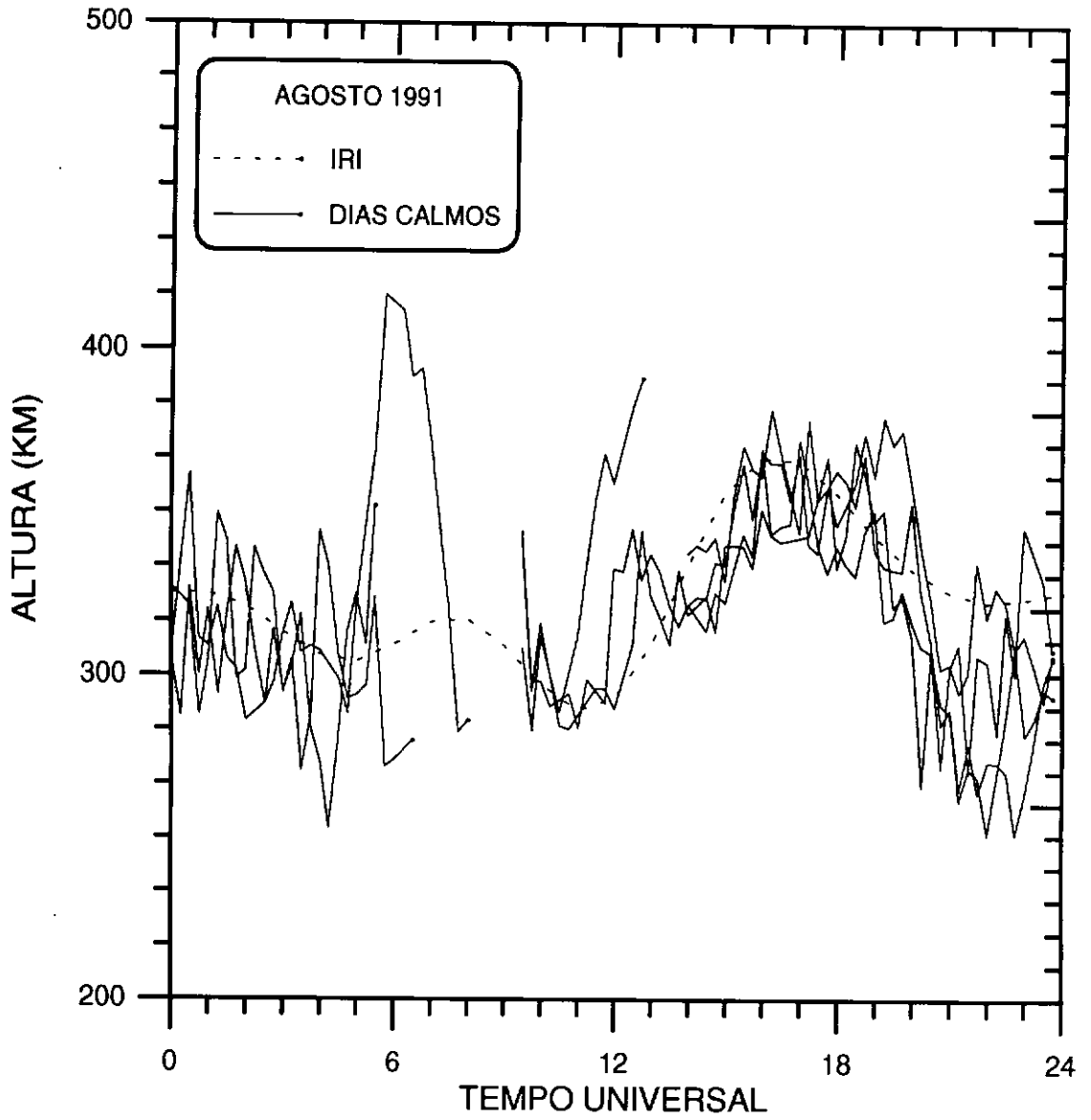
| Mês / Ano | Número de manchas solares | |
|---------------|---------------------------|-------------------|
| | Média mensal | Média de 12 meses |
| Abril 1990 | 140.3 | 156.98 |
| Agosto 1991 | 176.3 | 148.6 |
| Setembro 1991 | 125.3 | 146.6 |
| Outubro 1991 | 144.1 | 146.6 |
| Julho 1992 | 85.7 | 127.4 |
| Agosto 1992 | 64.5 | 120.1 |
| Novembro 1992 | 92.0 | 101.0 |
| Janeiro 1993 | 59.3 | 95.3 |
| Maio 1993 | 61.3 | 75.6 |
| Junho 1993 | 49.8 | 74.6 |
| Julho 1993 | 57.3 | 73.3 |
| Agosto 1993 | 42.0 | 70.95 |
| Setembro 1993 | 21.7 | 69.1 |

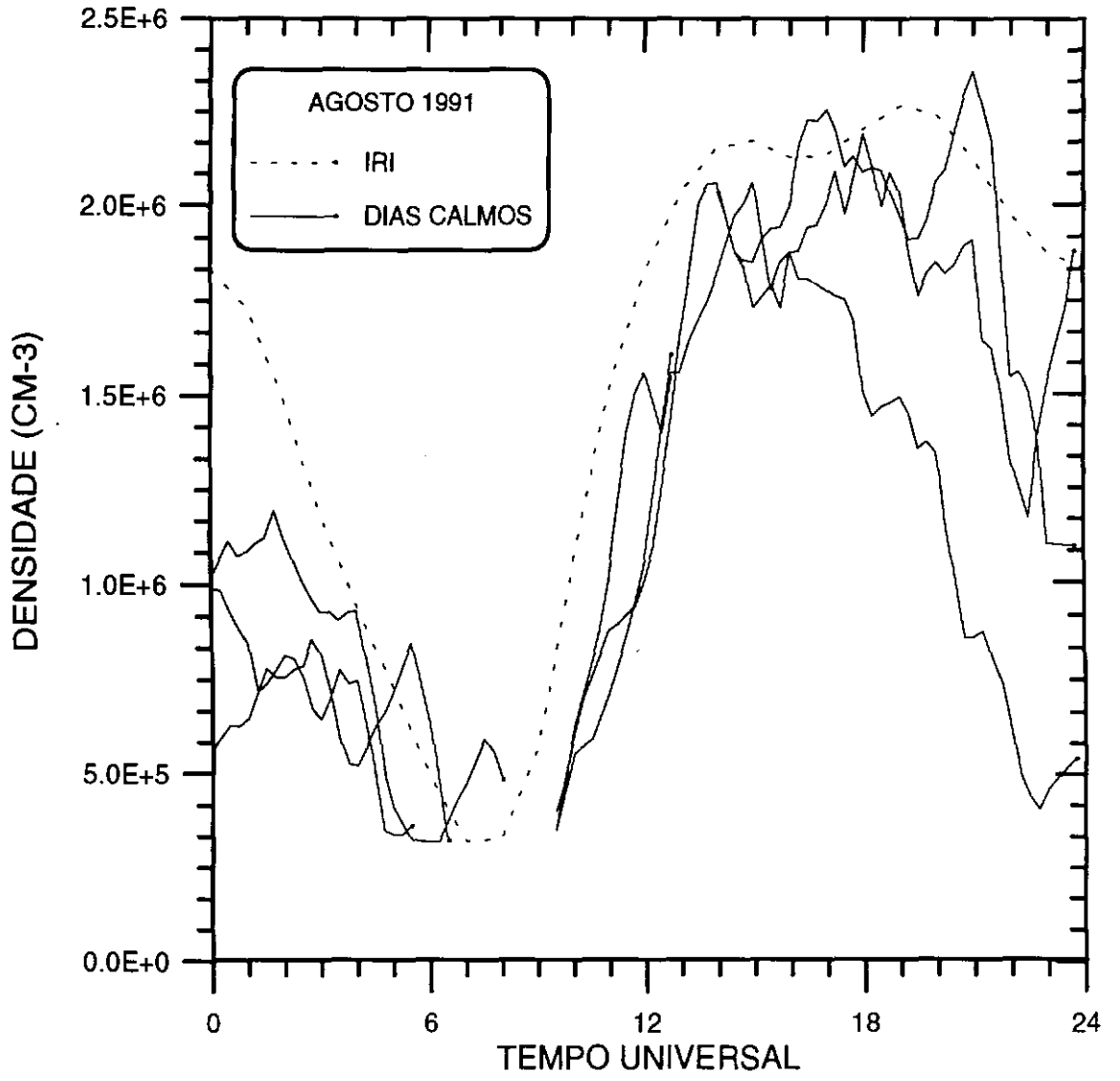
APÊNDICE - C

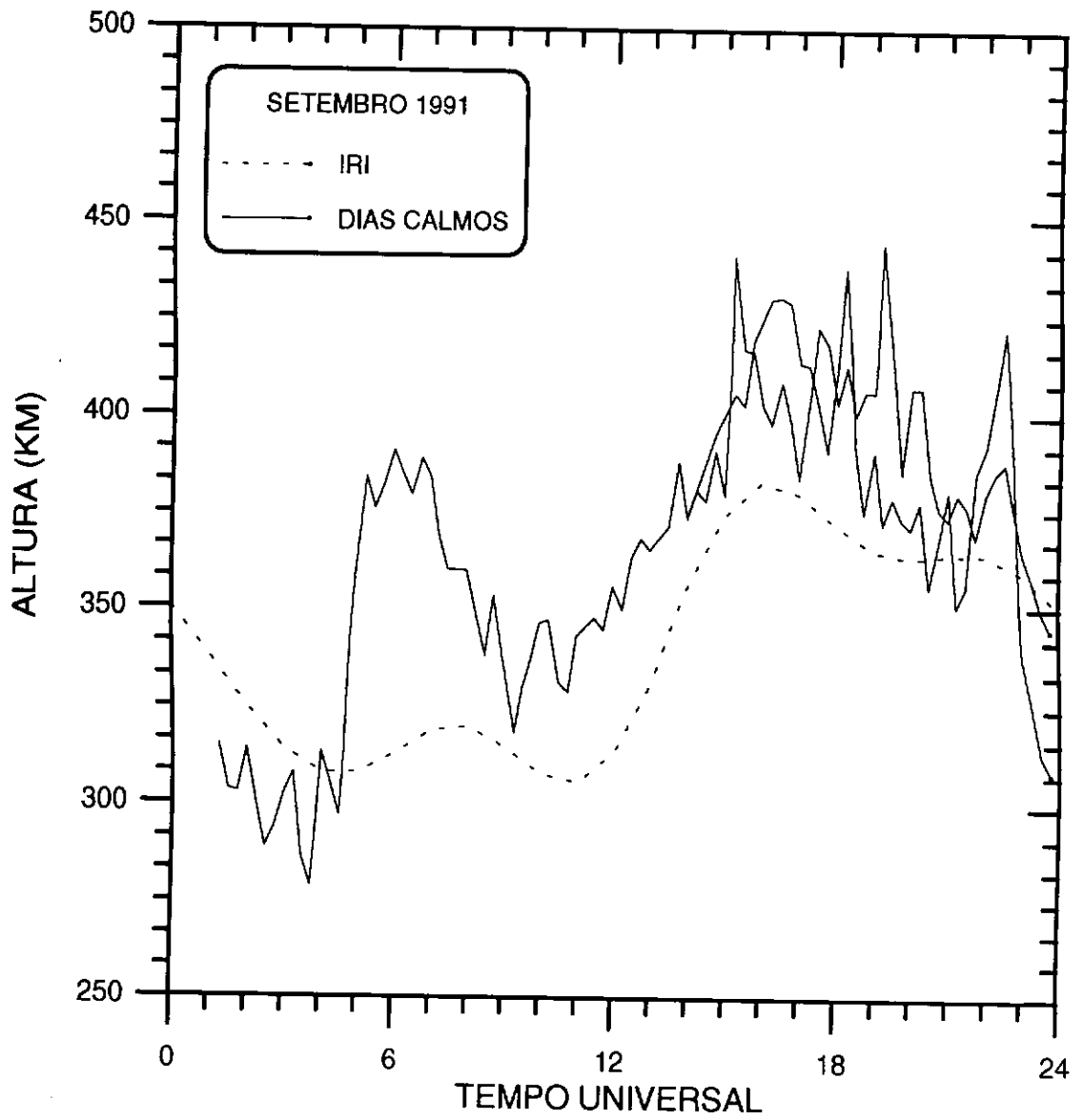
Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e altura do pico da camada F.

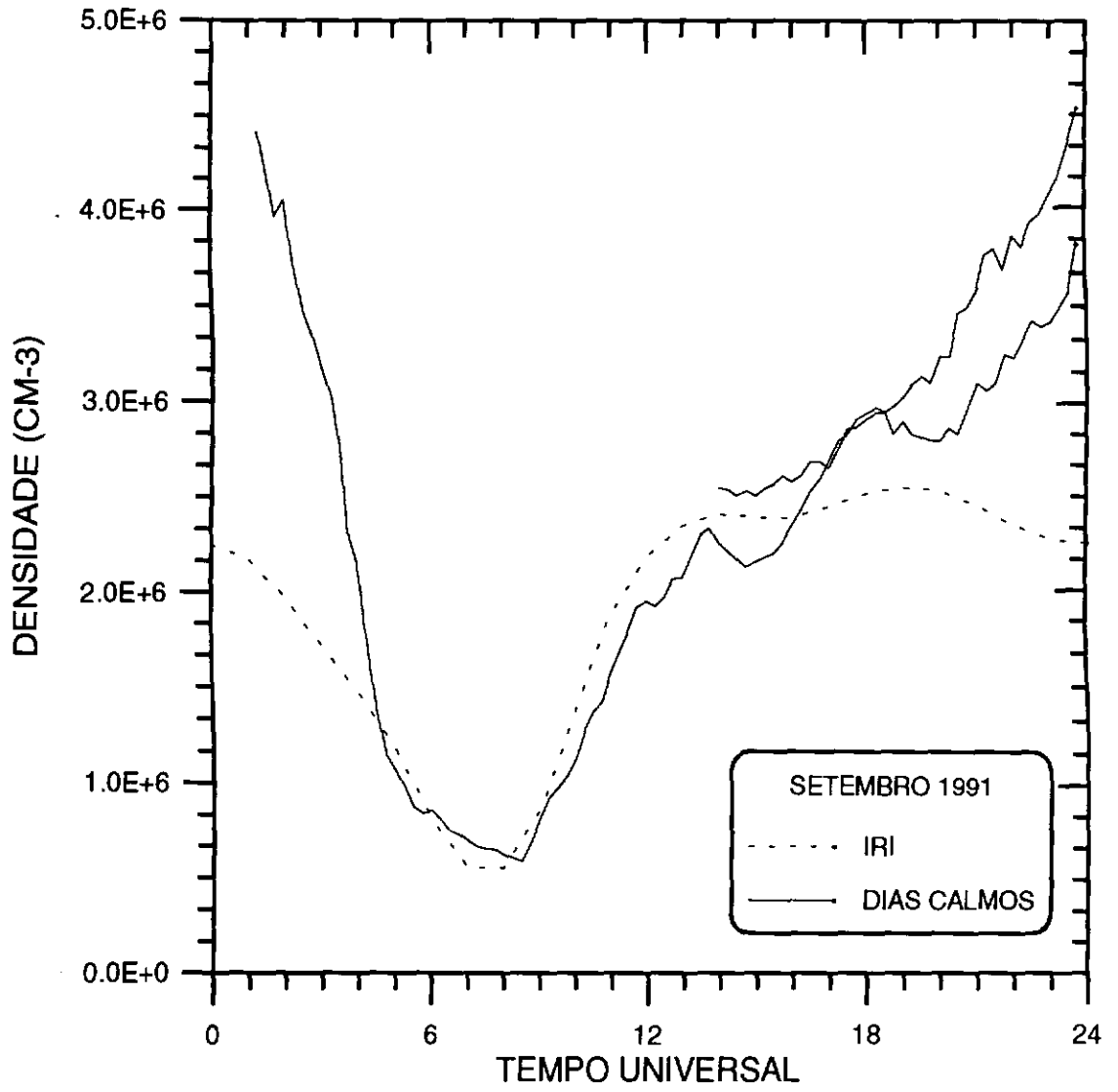


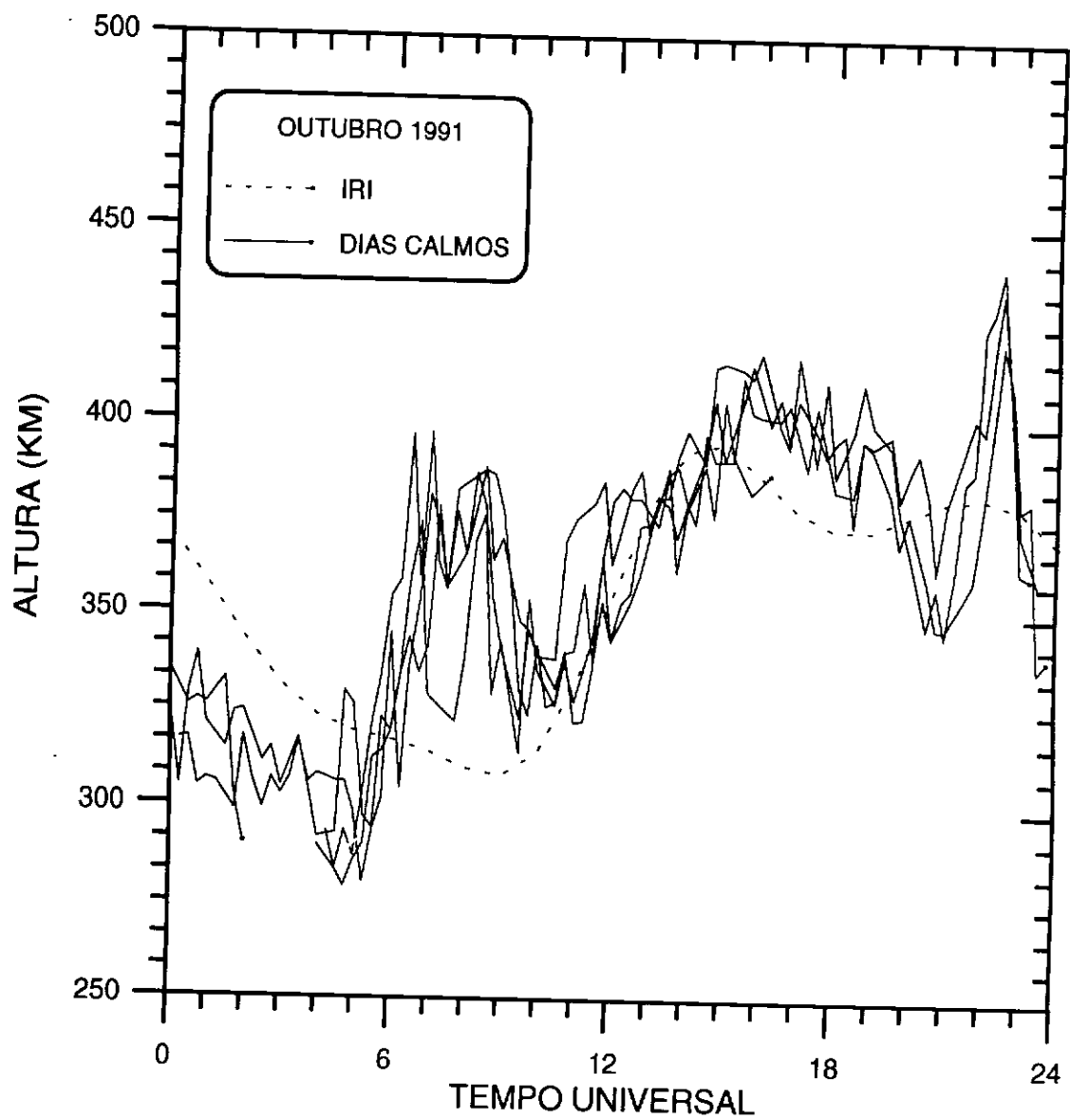


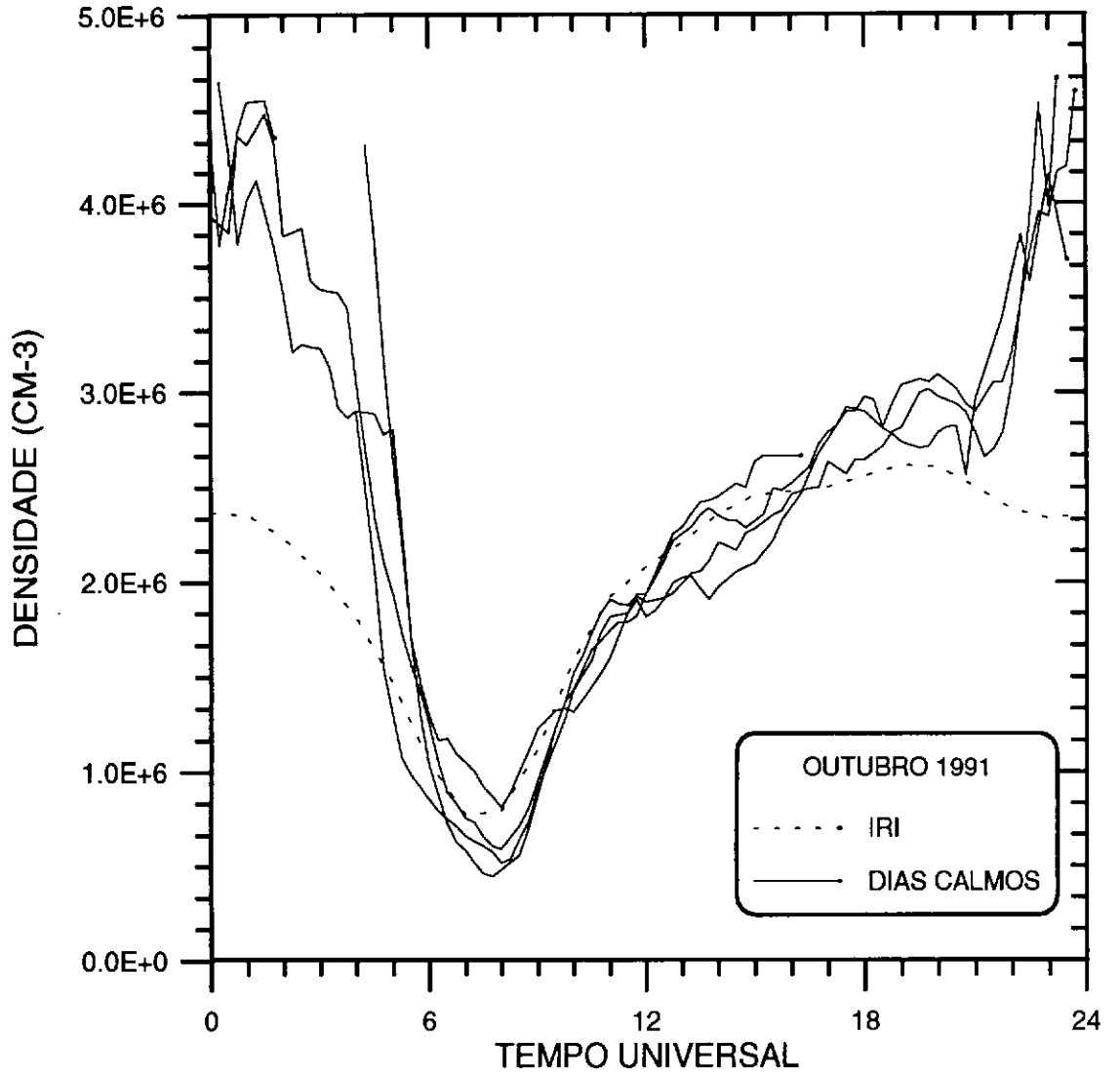


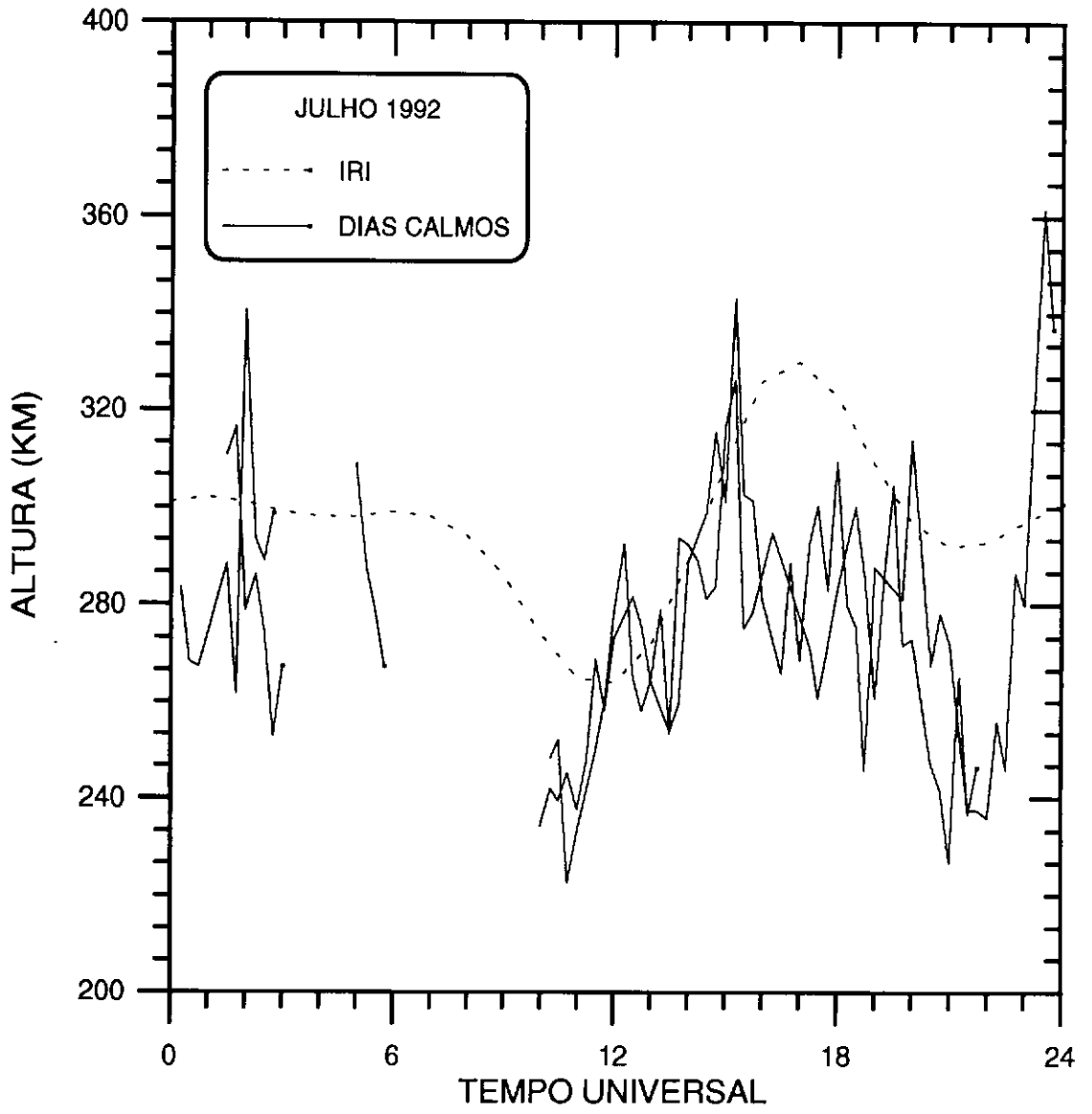


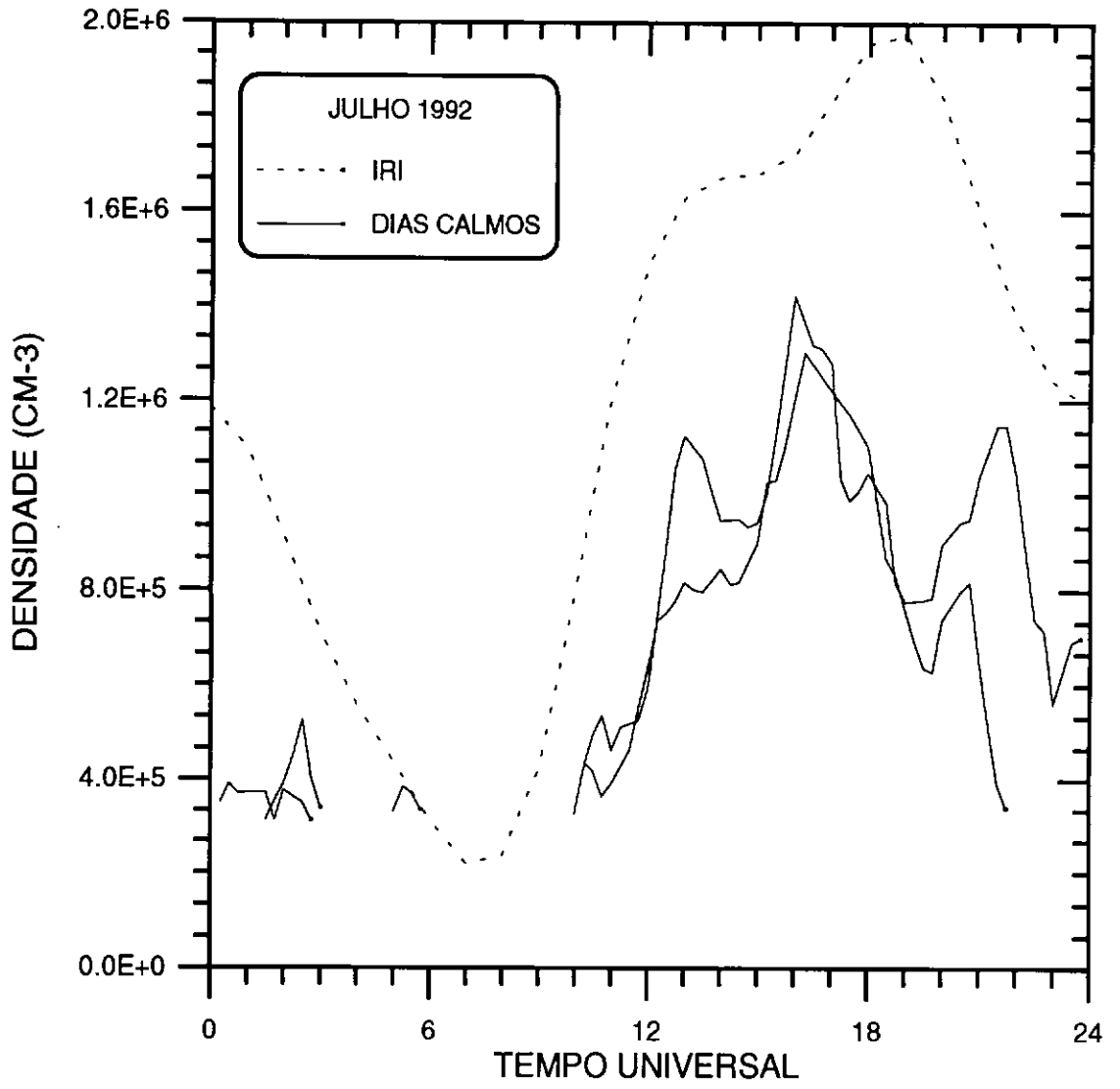


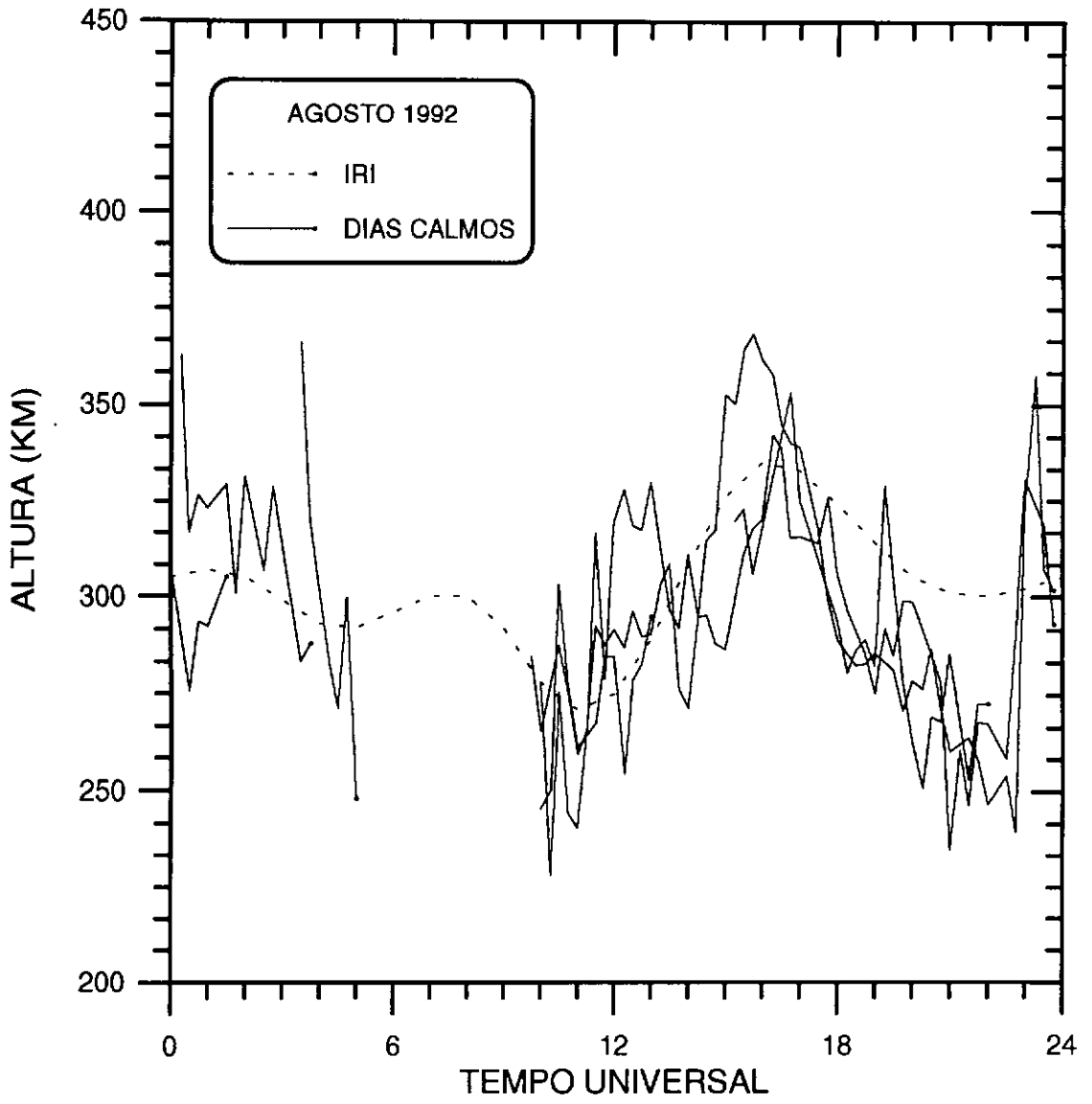


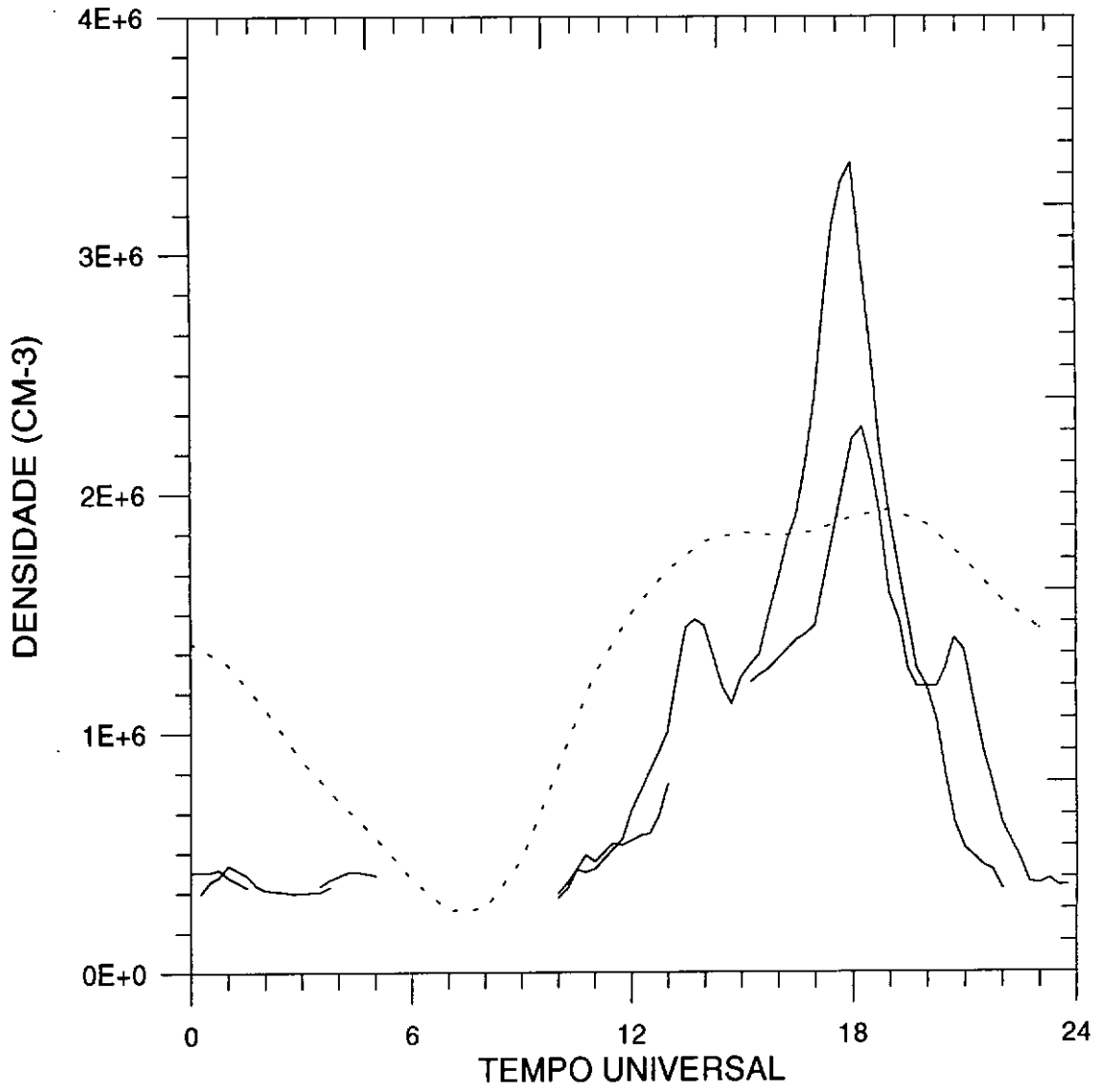


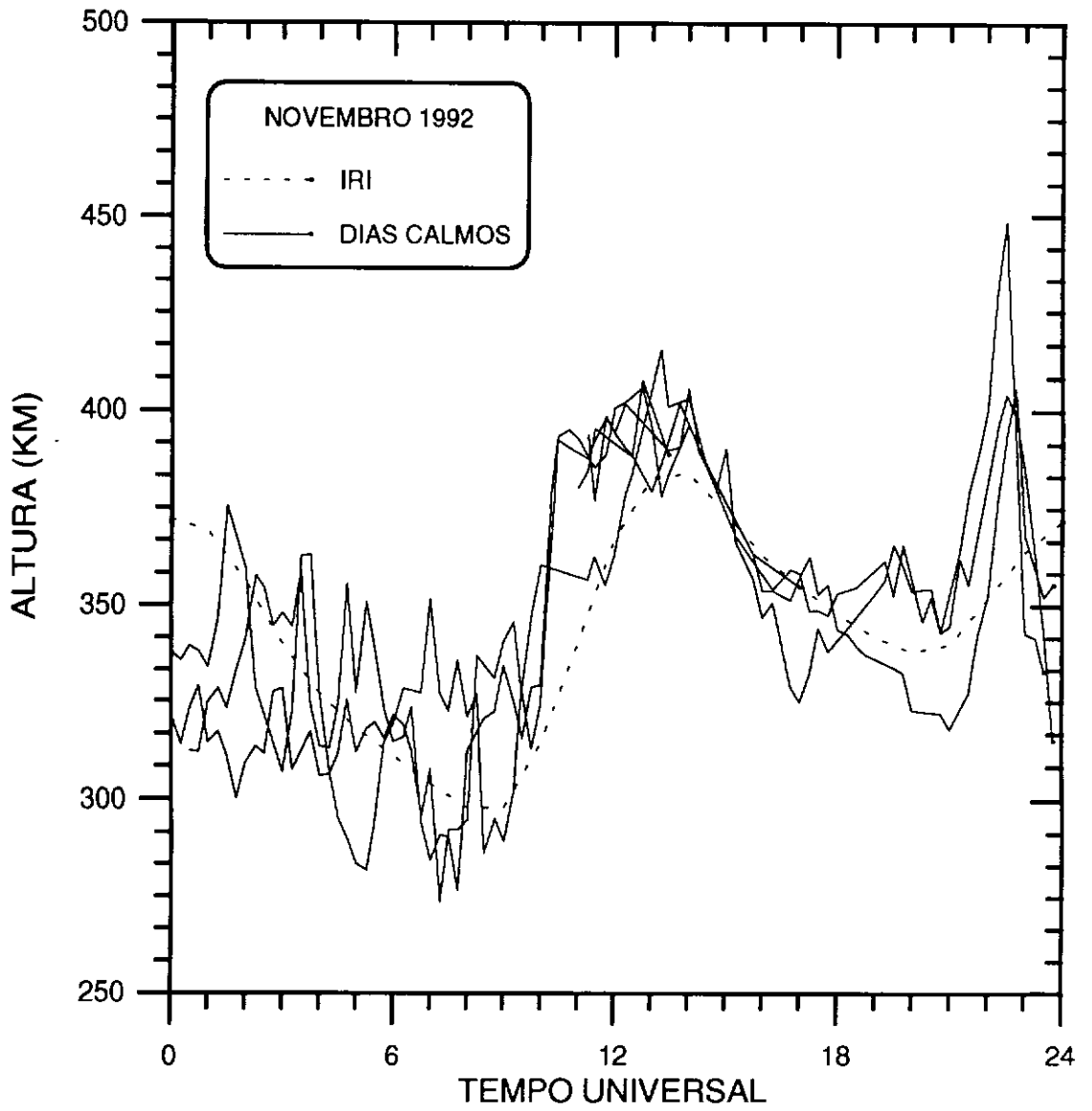


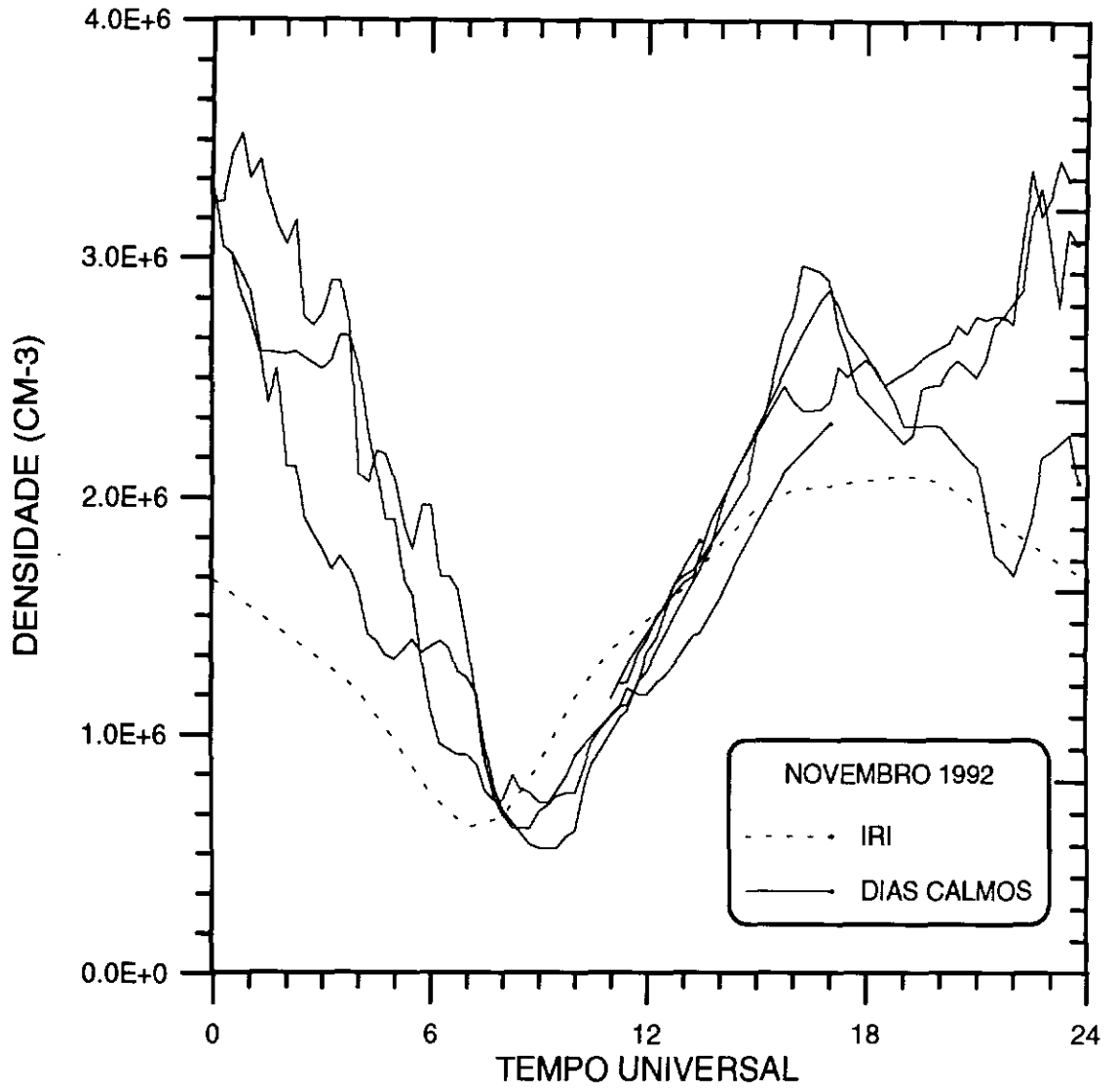


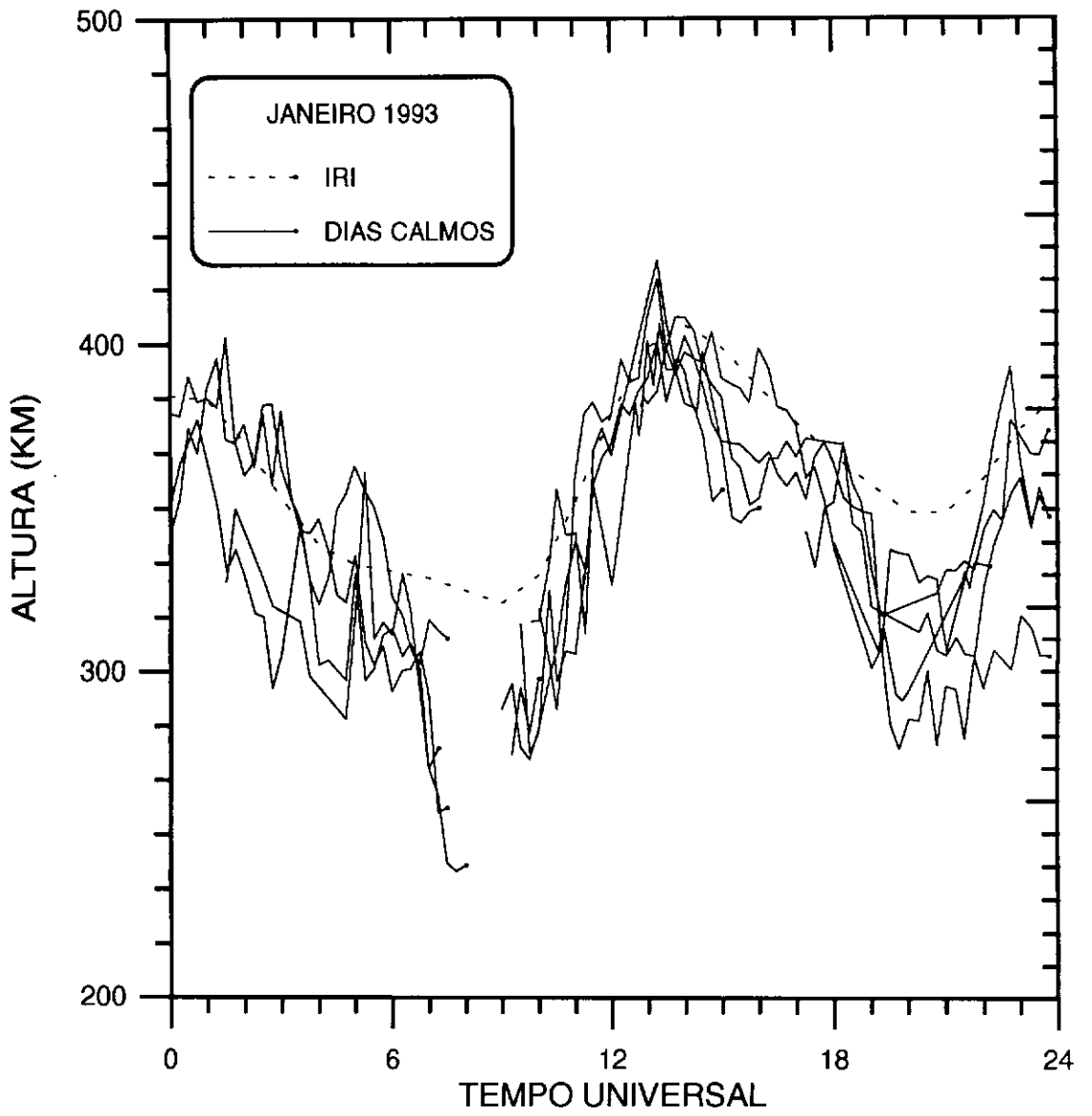


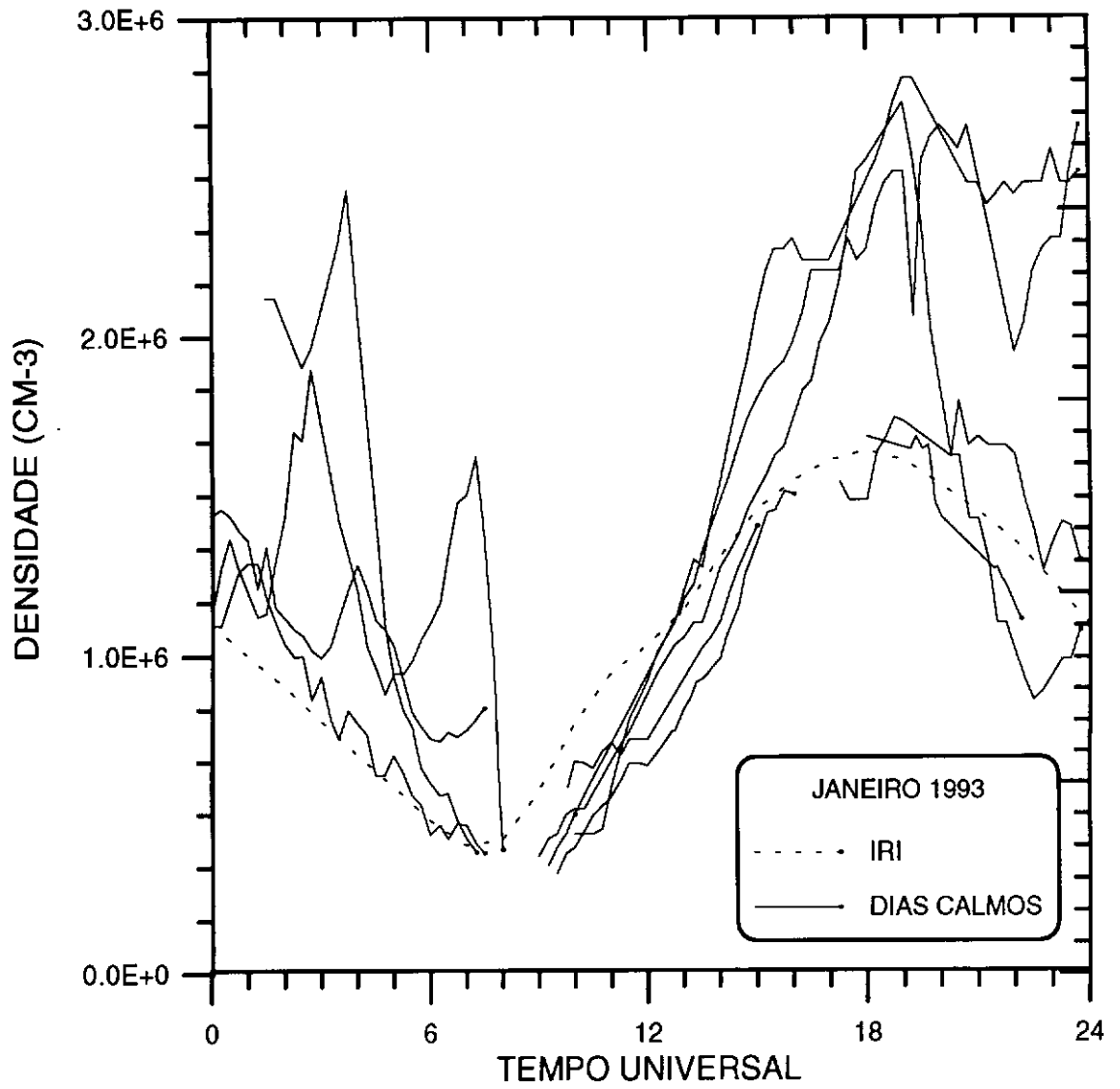


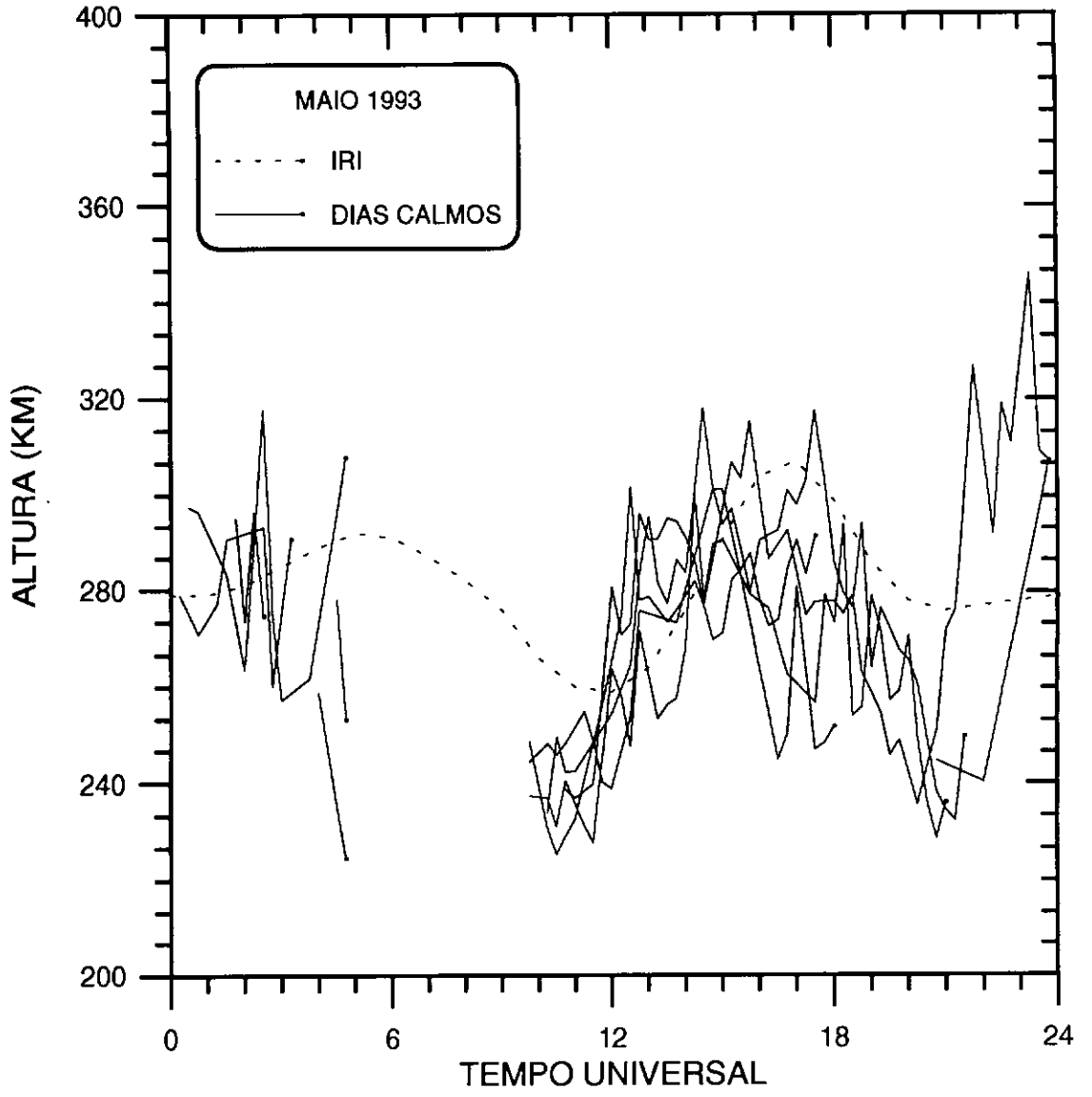


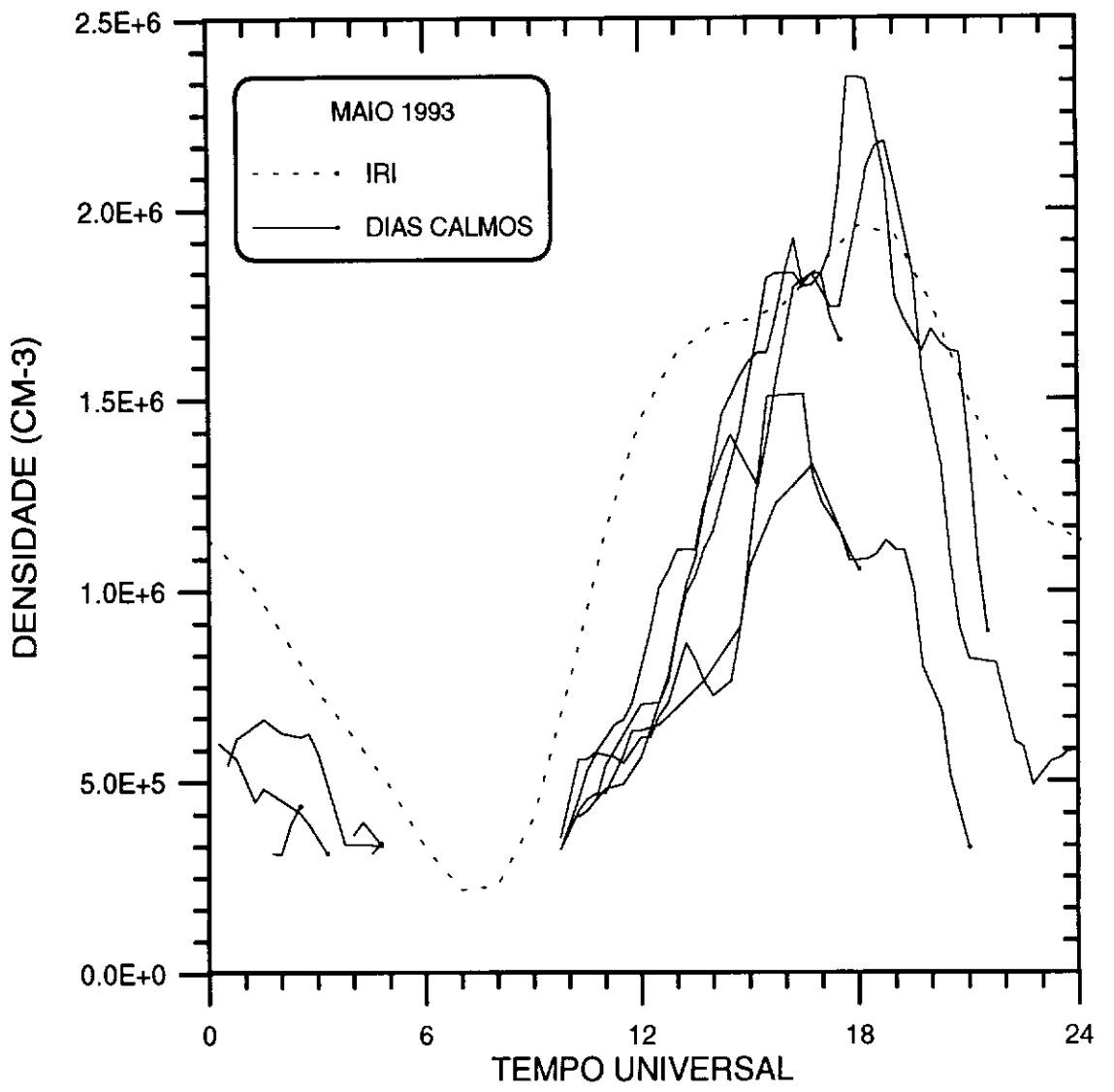


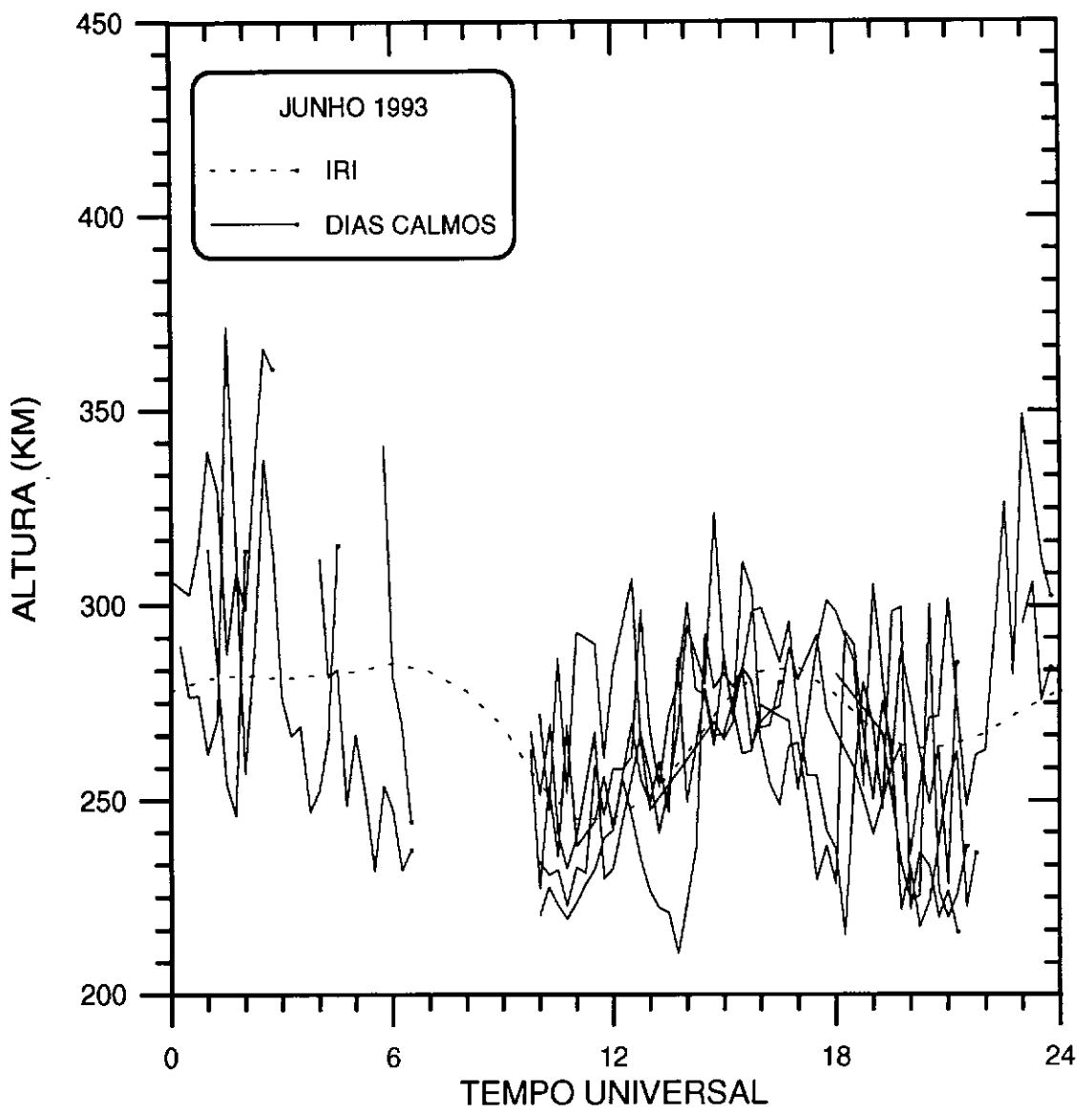


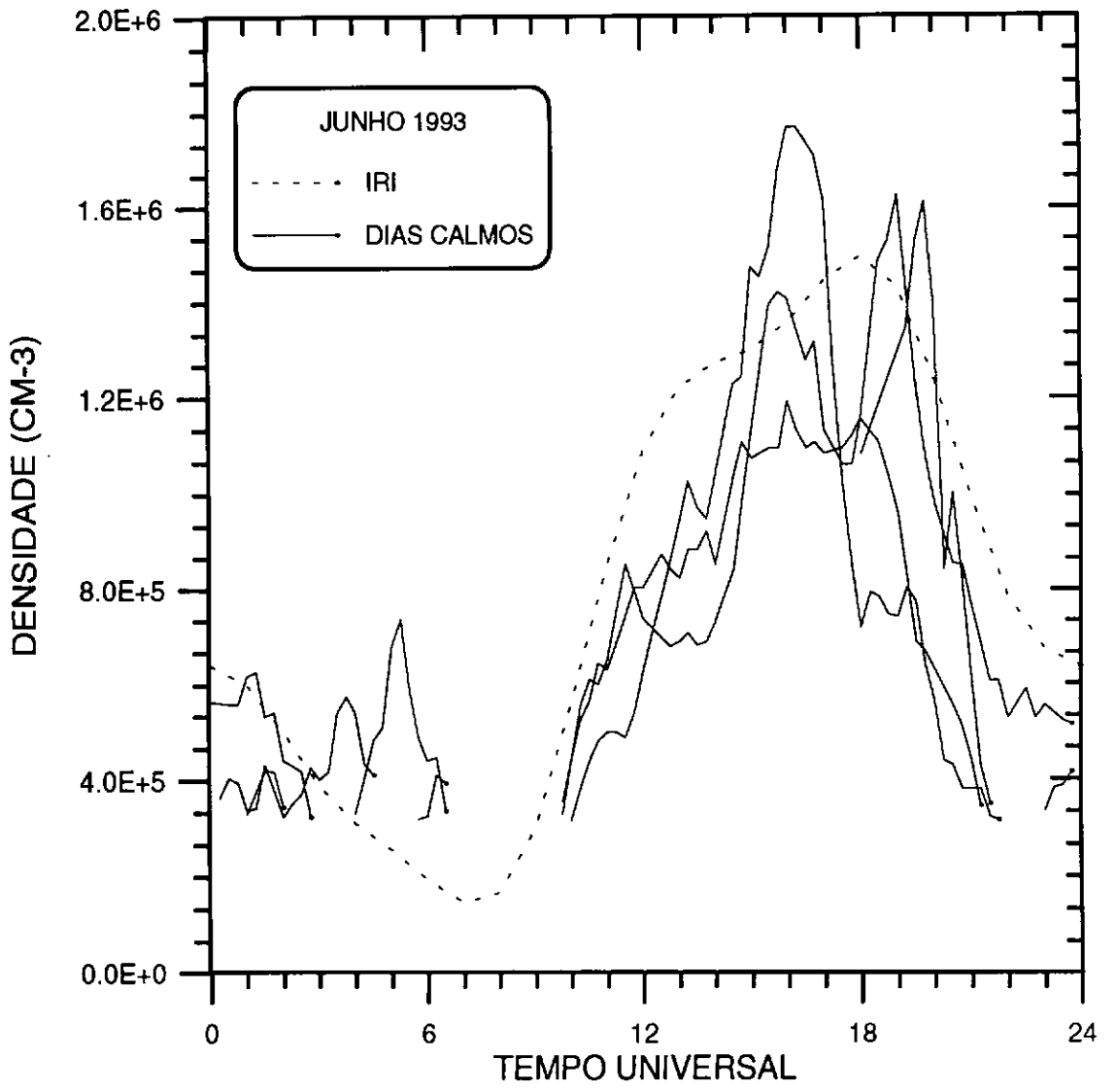


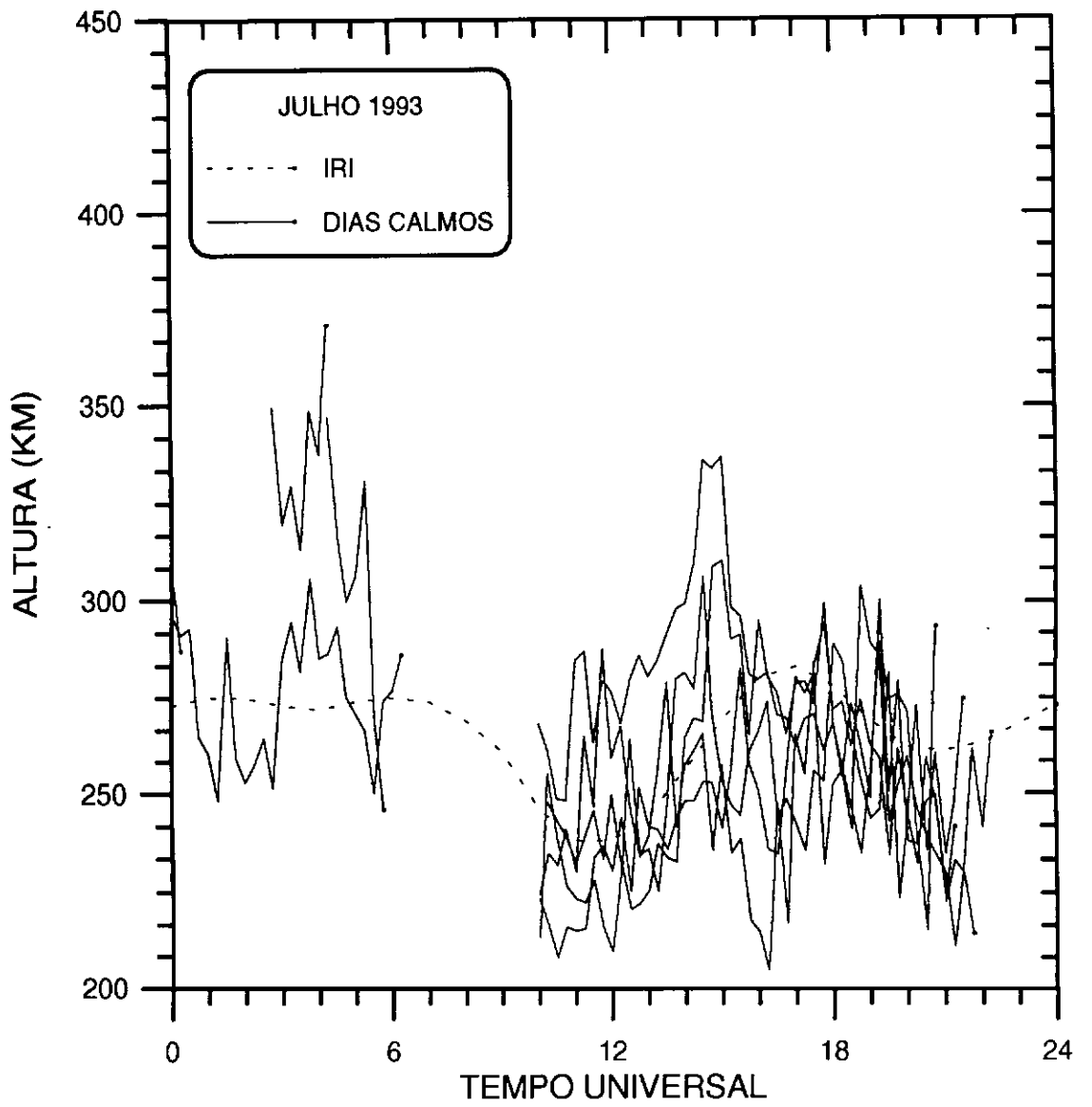


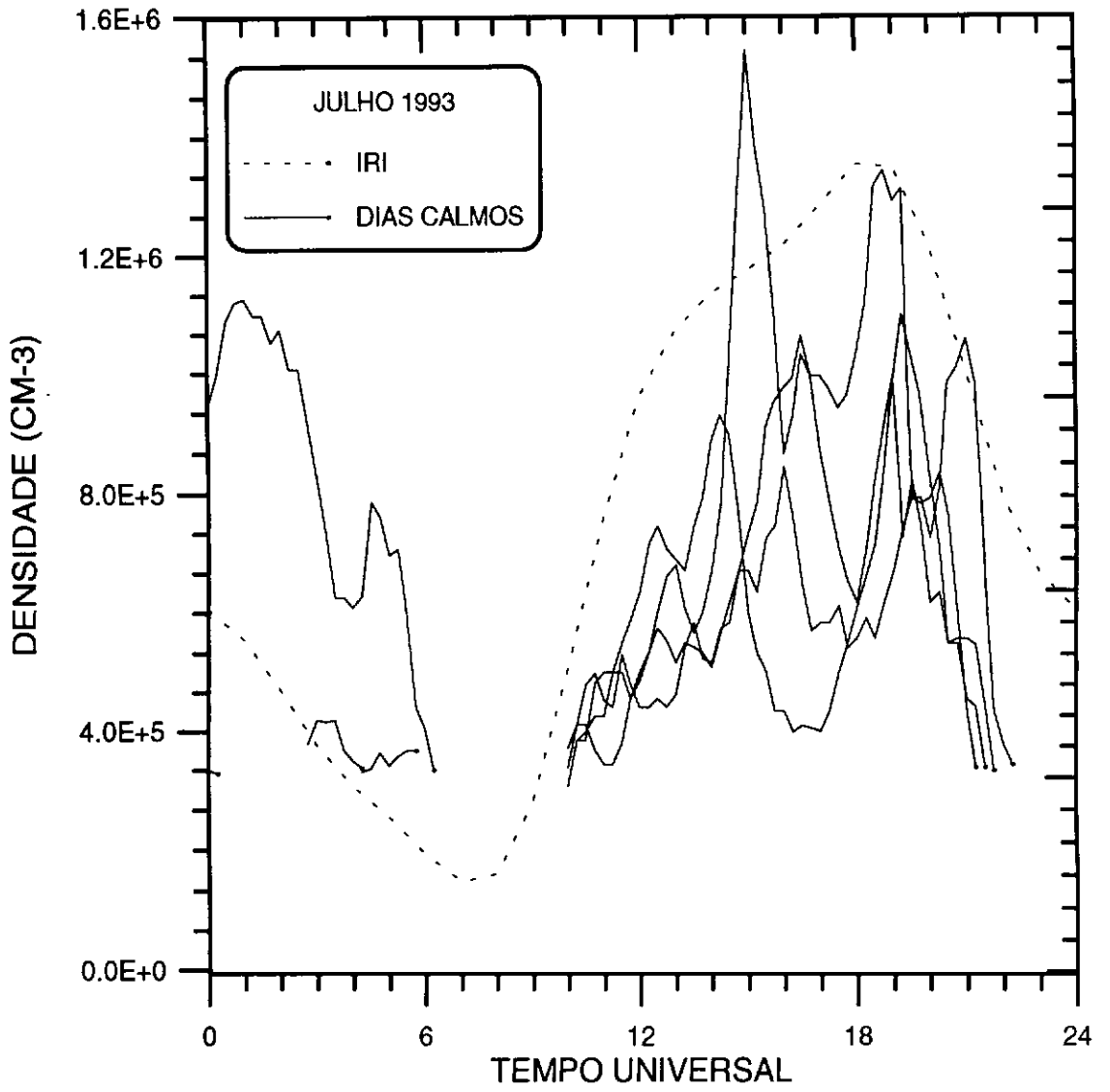


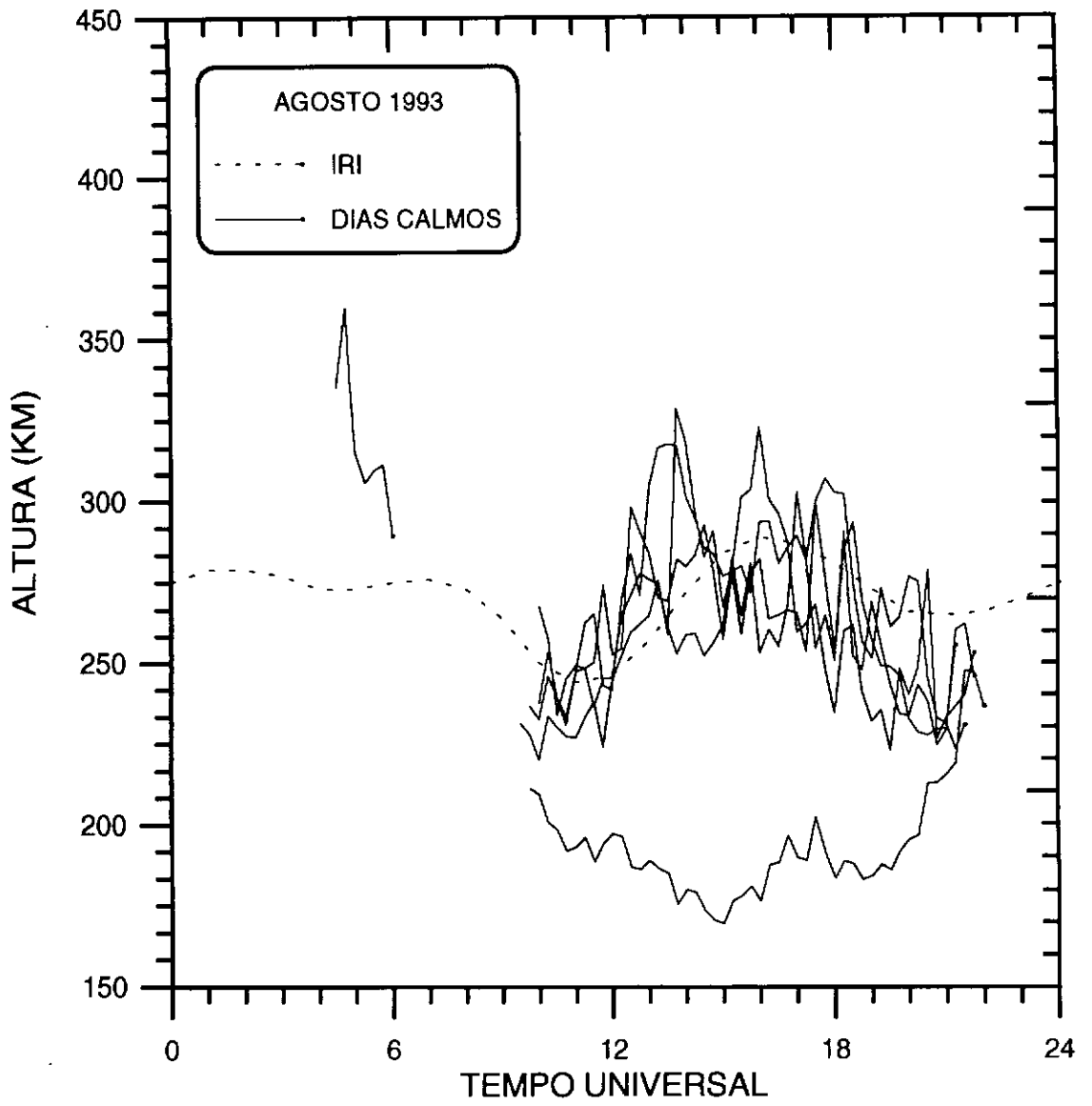


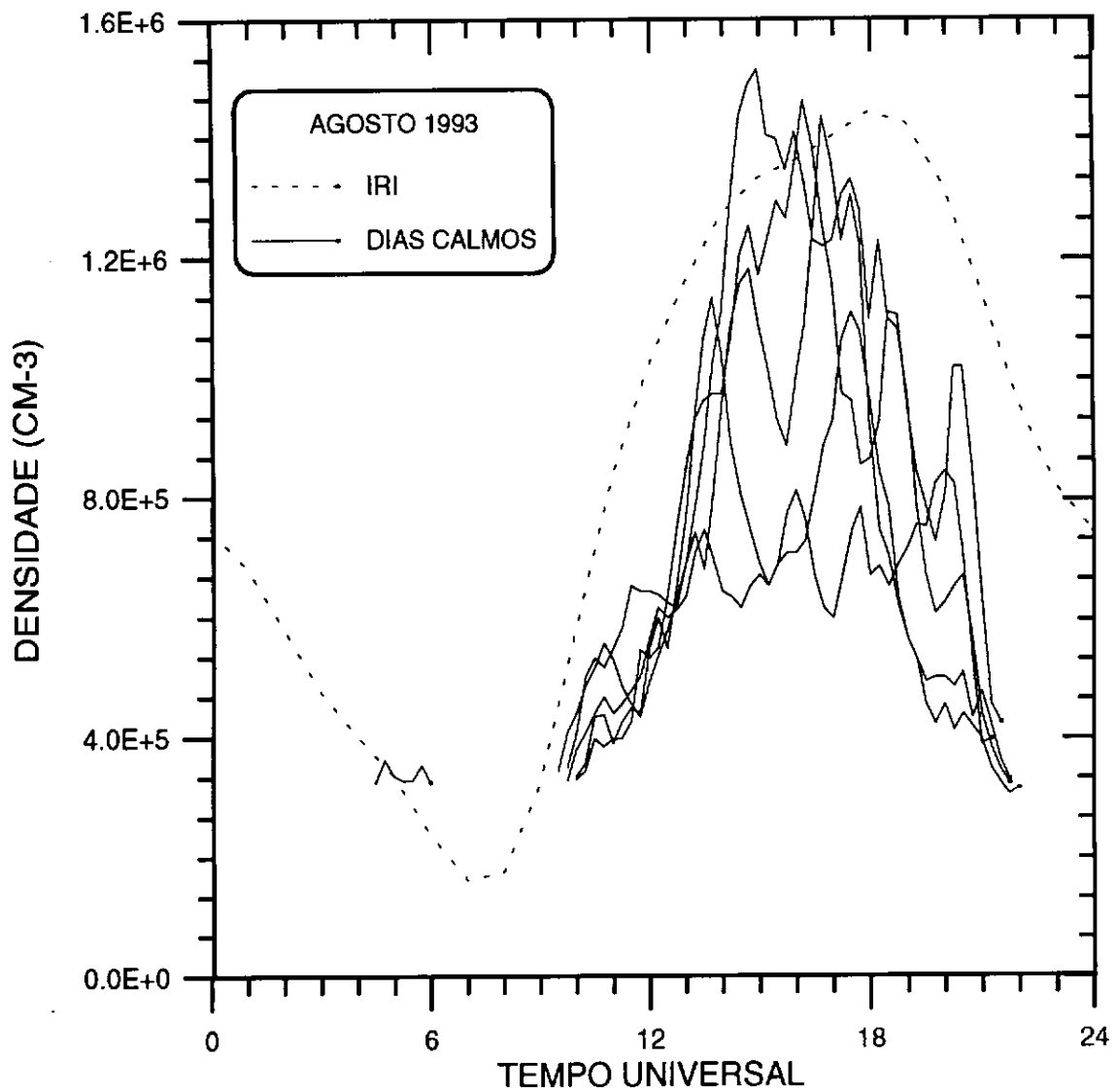


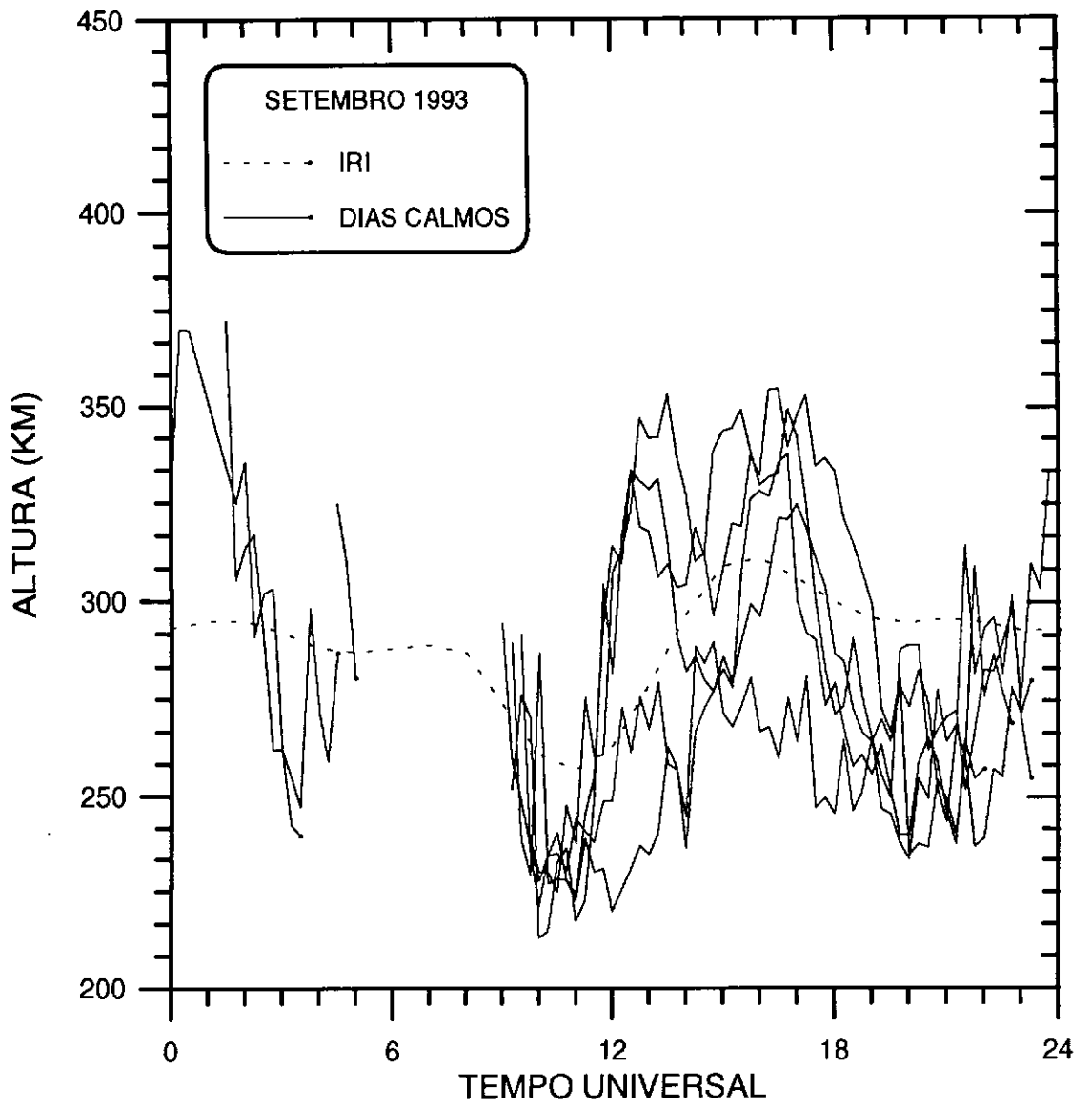


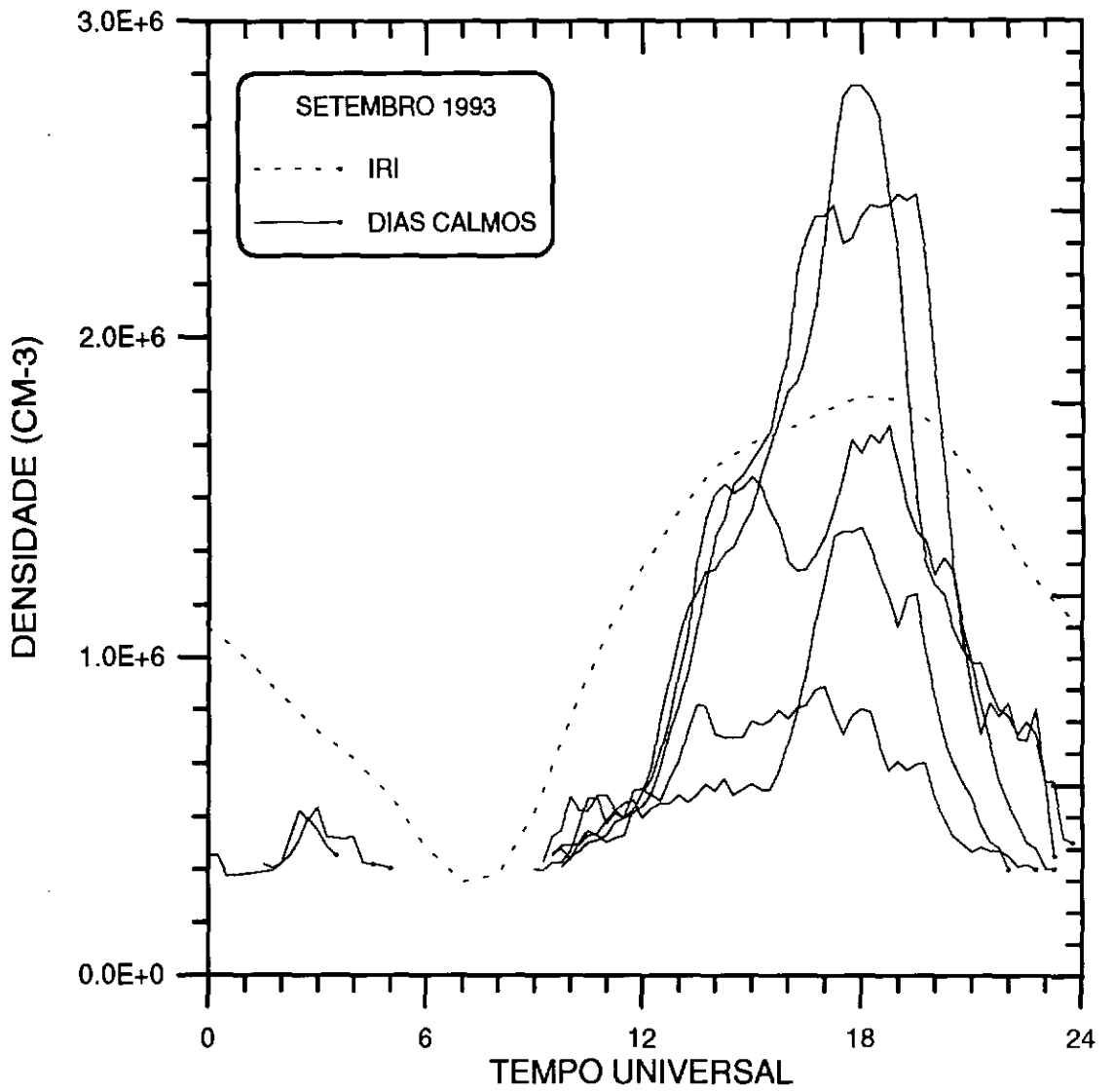












APÊNDICE - D

Listagem do programa para o cálculo das médias.

```
/*PROGRAMA PARA CALCULO DA MEDIA DO PICO E DA DENSIDADE
(MPD) /
```

```
/*Leticia T. Cottini*/
```

```
/*INPE - maio/1995*/
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
#include <dos.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
#include <dir.h>
```

```
#include <conio.h>
```

```
#include <ctype.h>
```

```
char hora[5],altura[10],f0f2[10],dhdt[10],pico[10],arquivo[30];
```

```
int i,j,cont[96];
```

```
float h=0.0,mf0,mpi,mde,
```

```
hr[96],f0[96],pi[96],de[96],shr[96],sf0[96],spi[96],sde[96];
```

```
FILE *LE,*SAI,*ARQ;
```

```
calc_soma(){
```

```
    i=0;
```

```
    for (j=0;j<=96;j++){
```

```
        if(shr[j]==hr[i]){
```

```
            sf0[j]+=f0[i];
```

```
            spi[j]+=pi[i];
```

```
            sde[j]+=de[i];
```

```
            cont[j]++;
```

```
            i++;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

```
calc_media(){
```

```
    for (i=0;i<=96;i++){
```

```
        if (cont[i]!=0){
```

```
            sf0[i]=sf0[i]/cont[i];
```

```
            spi[i]=spi[i]/cont[i];
```

```
            sde[i]=sde[i]/cont[i];
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```



```

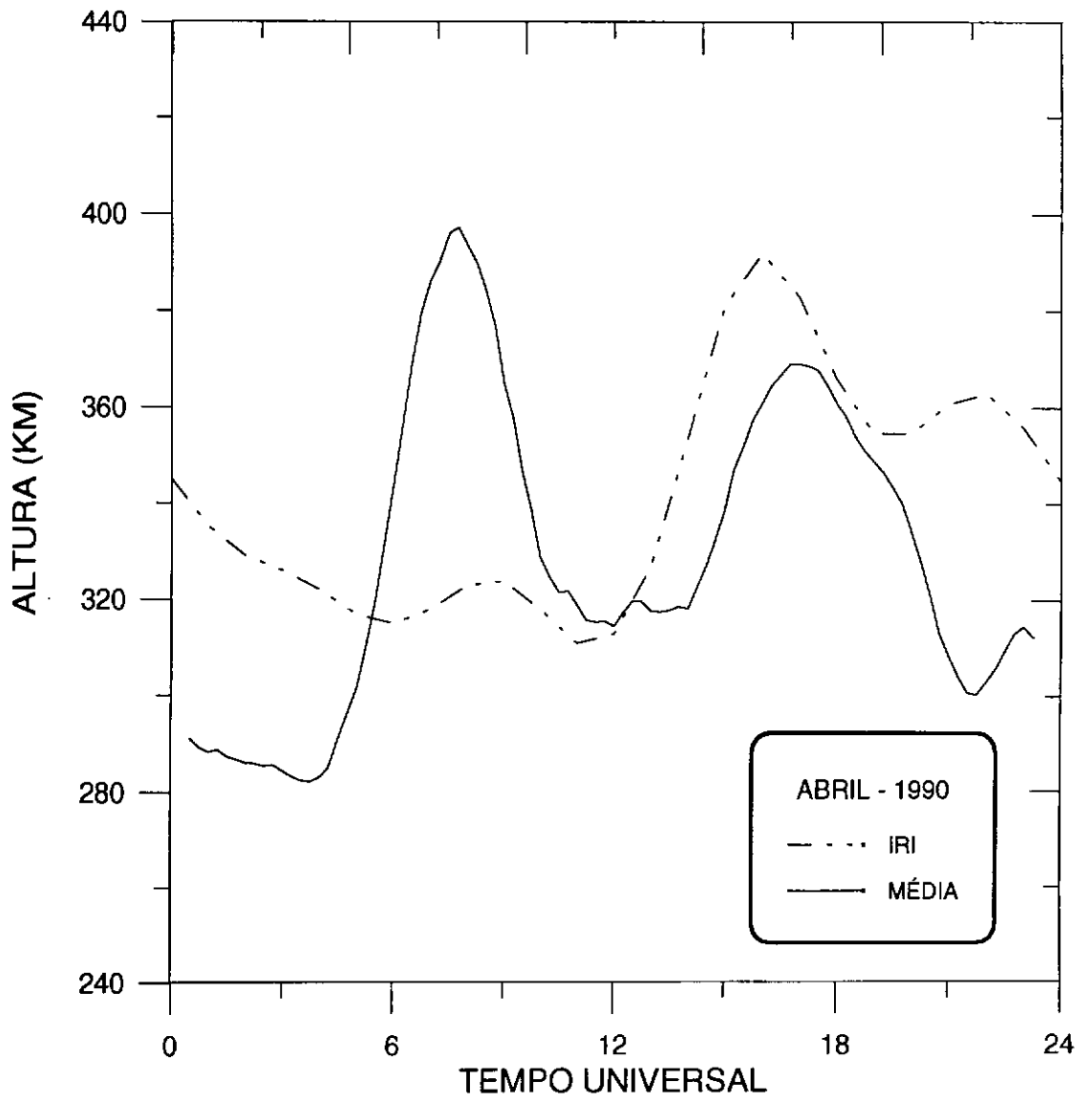
void main(void){
    for(i=0;i<=96;i++){
        shr[i]=h;
        h+=0.25;
        cont[i]=0;
    }
    if((ARQ=fopen("arquivos.dat","r"))==NULL){
        printf("Nao posso abrir o arquivo");
        getch();
        exit(1);
    }
    while((fscanf(ARQ,"%s",arquivo)) != EOF){
        if((LE=fopen(arquivo,"r"))==NULL){
            printf ("Nao posso abrir o arquivo de entrada");
            exit(1);
        }
        printf ("%s\n",arquivo);
        i=0;
        while ((fscanf(LE,"%s %s %s %s %s" ,hora, altura, dhdt, f0f2,
            pico))!=EOF){
            hr[i]=atof(hora);
            f0[i]=atof(f0f2);
            pi[i]=atof(pico);
            de[i]=(f0[i]*f0[i]*1.24*10000);
            i++;
        }
        fclose(LE);
        calc_soma();
    }
    fclose(ARQ);
    calc_media();
    if((SAI=fopen("arqmedia.dat","wt"))==NULL){
        printf("Nao posso abrir o arquivo de saida");
        exit(1);
    }
    fprintf (SAI,"HORA F0f2 PICO DENSIDADE N.ELEMENTOS\n\n");
    for (i=0;i<96;i++){
        if (cont[i]!=0){
            fprintf(SAI,"%2.2f %4.3f %4.3f %4.3f %d\n", %d\n",
                shr[i],sf0[i],spi[i],sde[i],cont[i]);
        }
    }
}

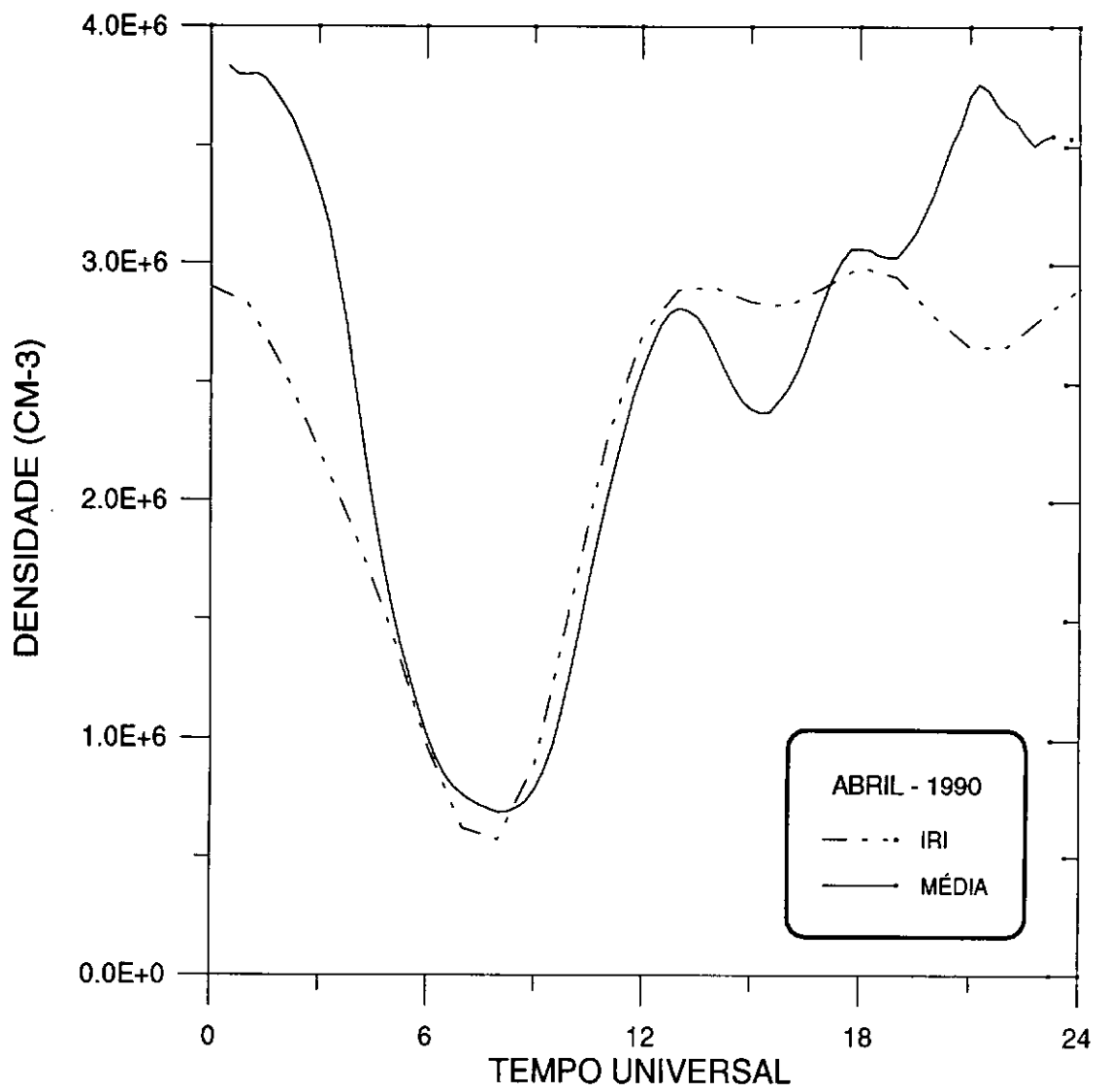
```

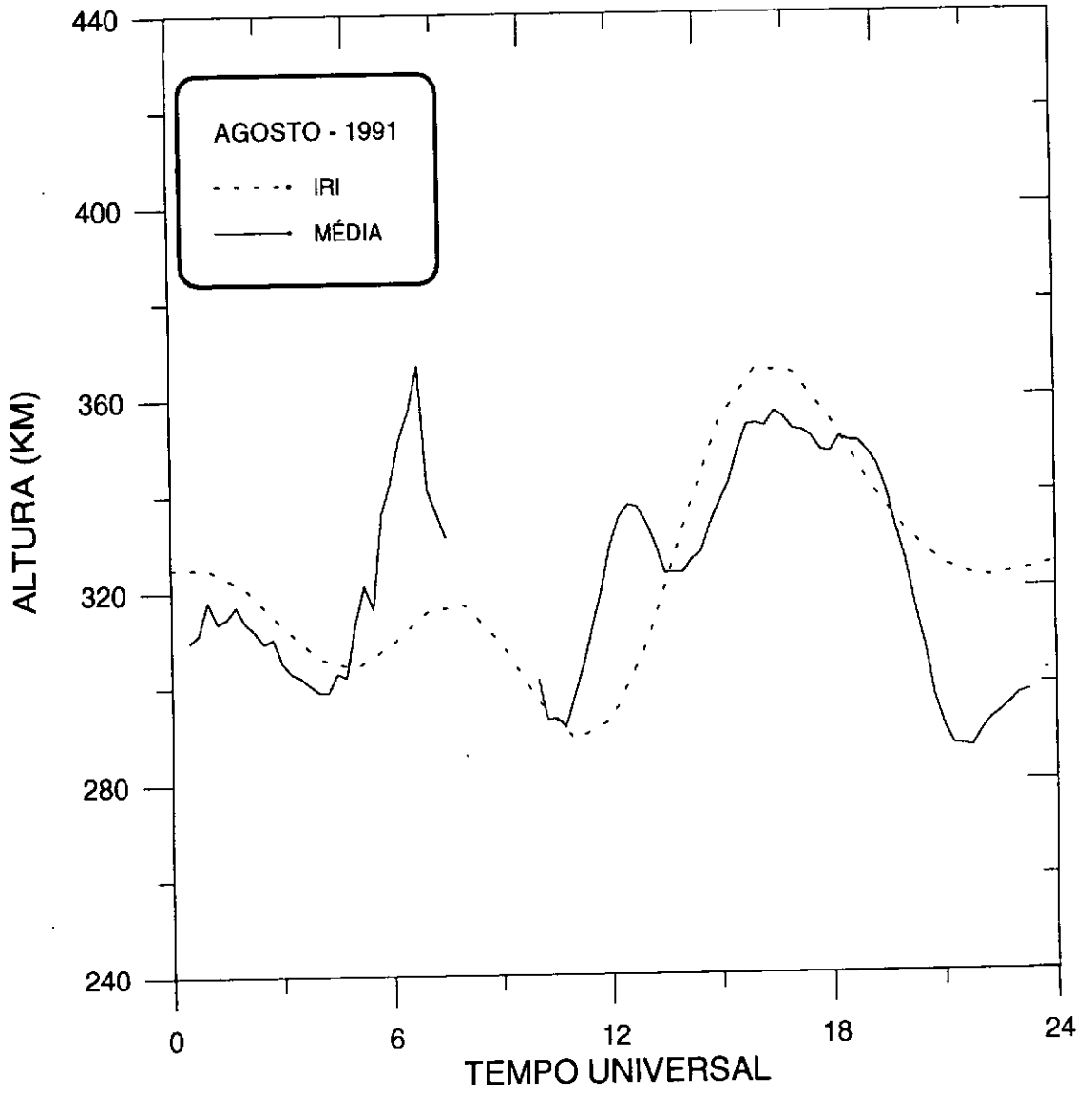
```
    }  
    fclose(SAI);  
    exit(0);  
}
```

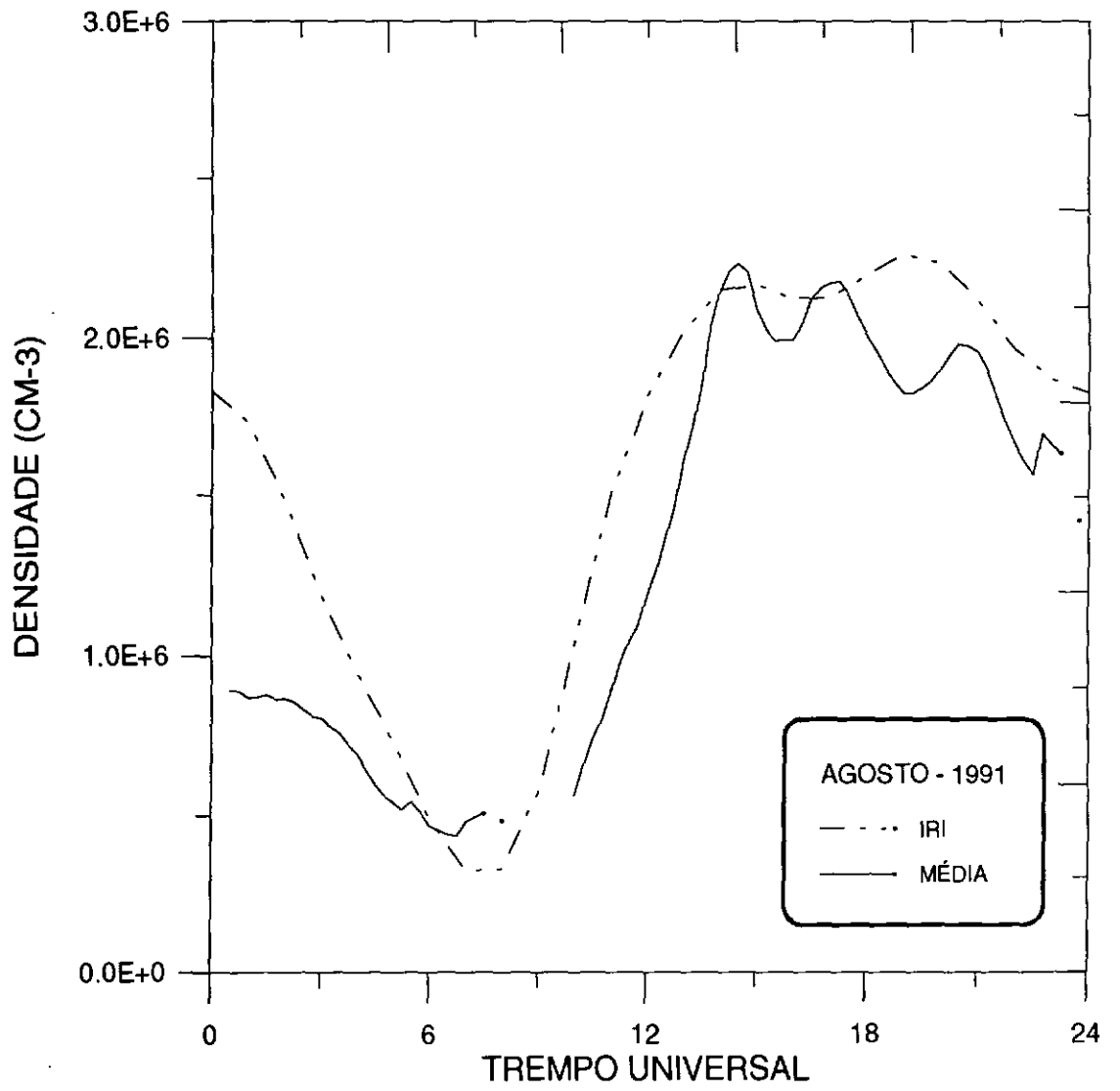
APÊNDICE - E

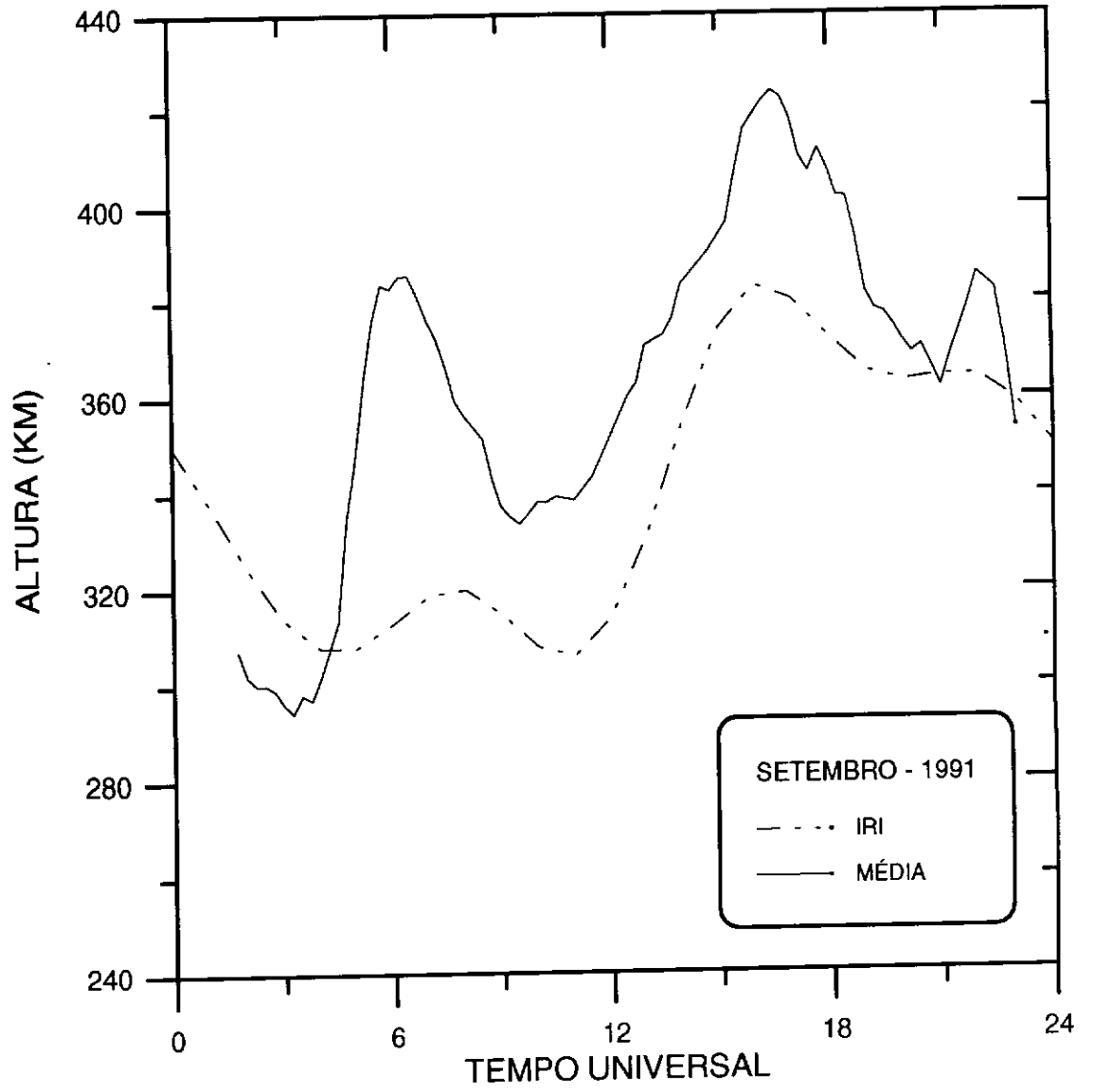
Gráficos da variação diurna da densidade eletrônica e da altura do pico da camada F (média dos dias mais calmos).

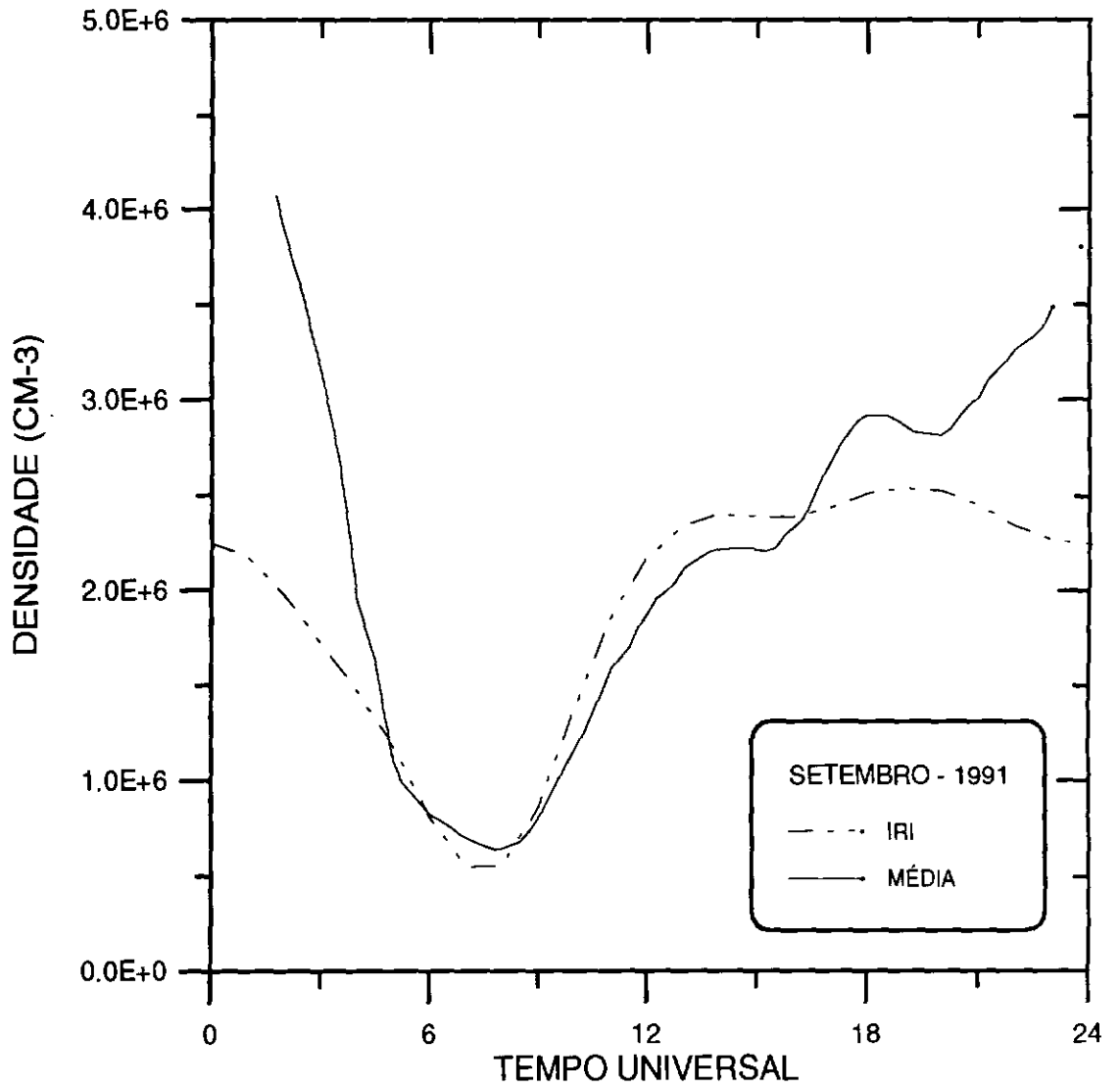


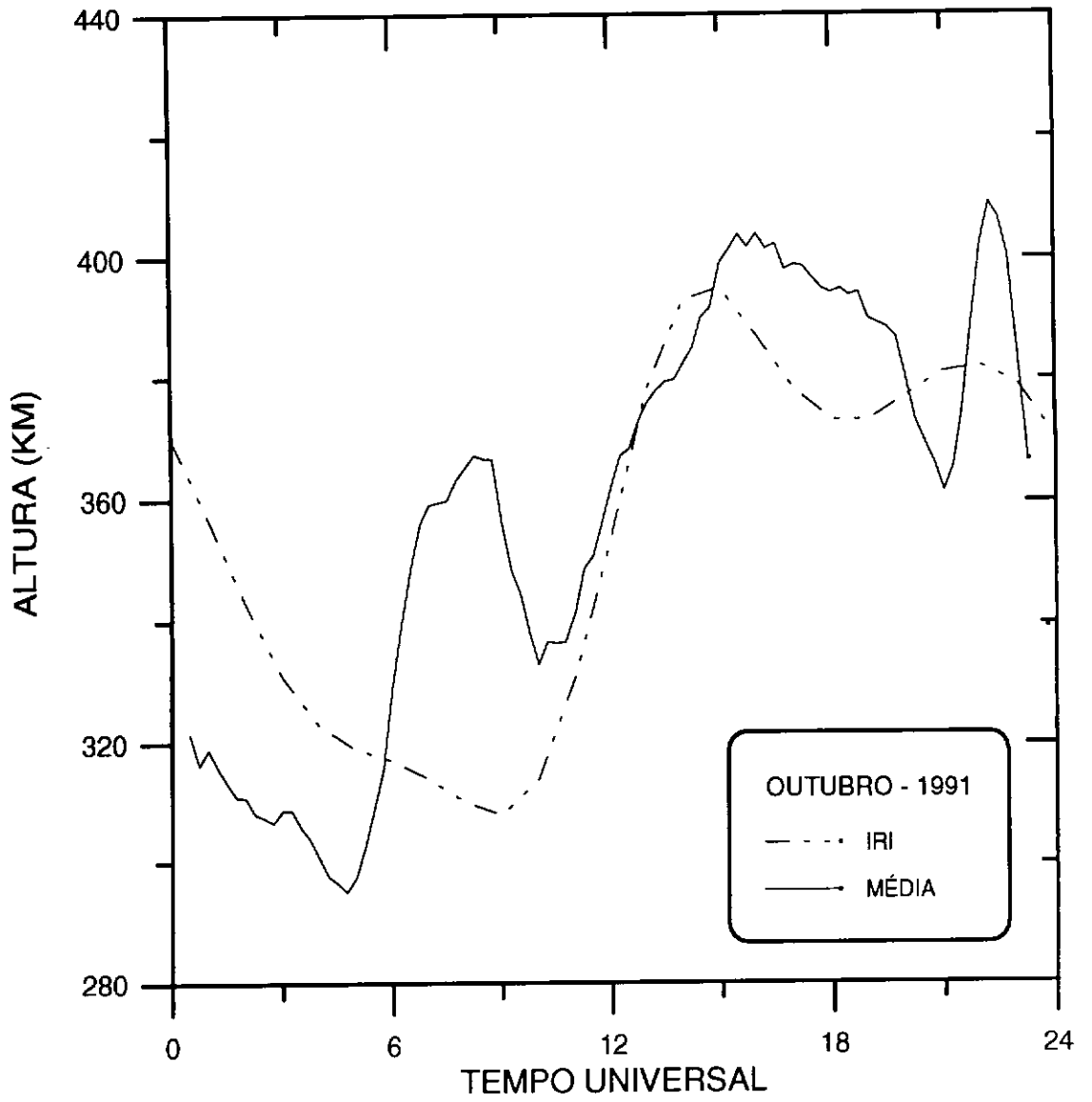


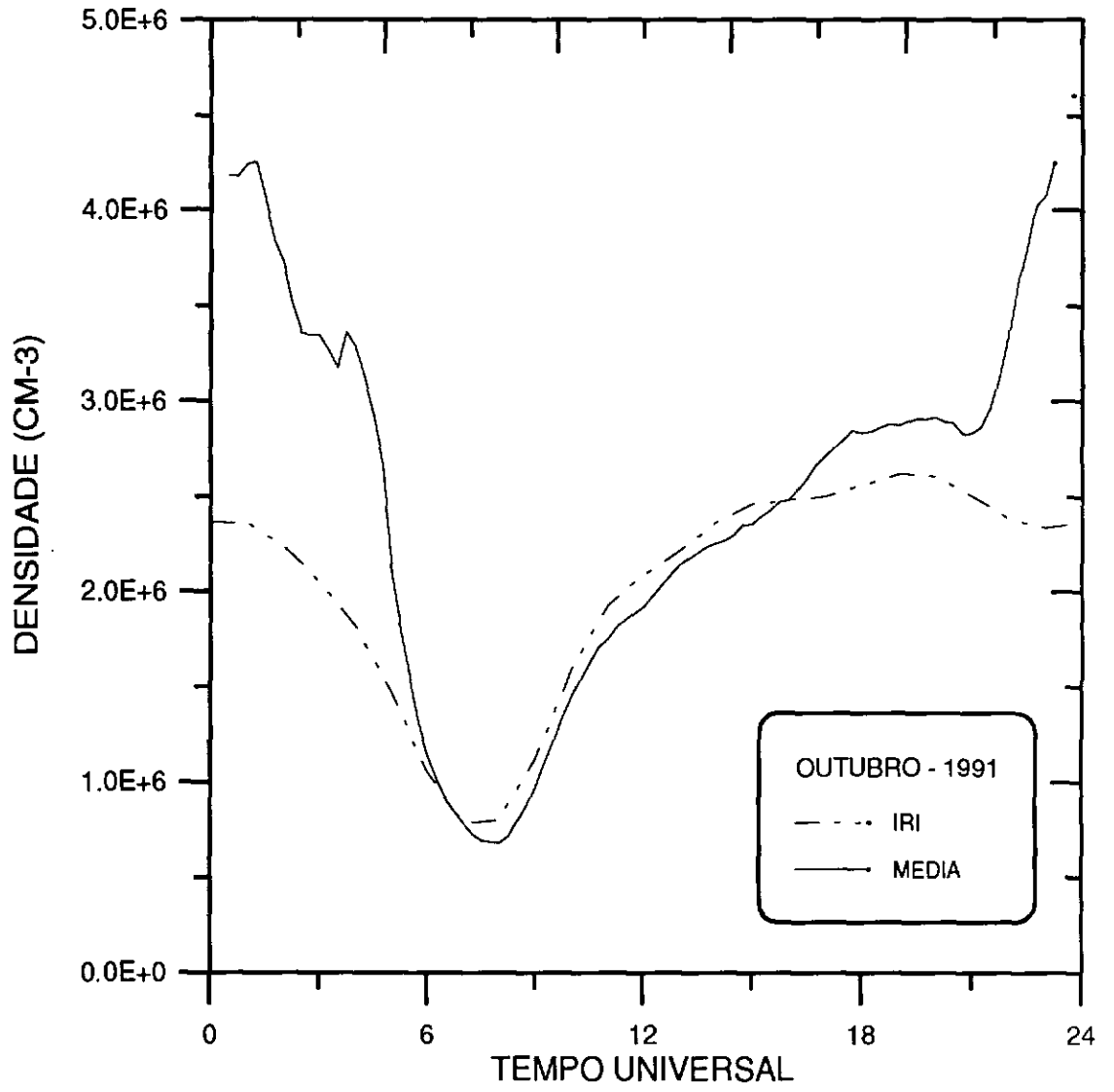


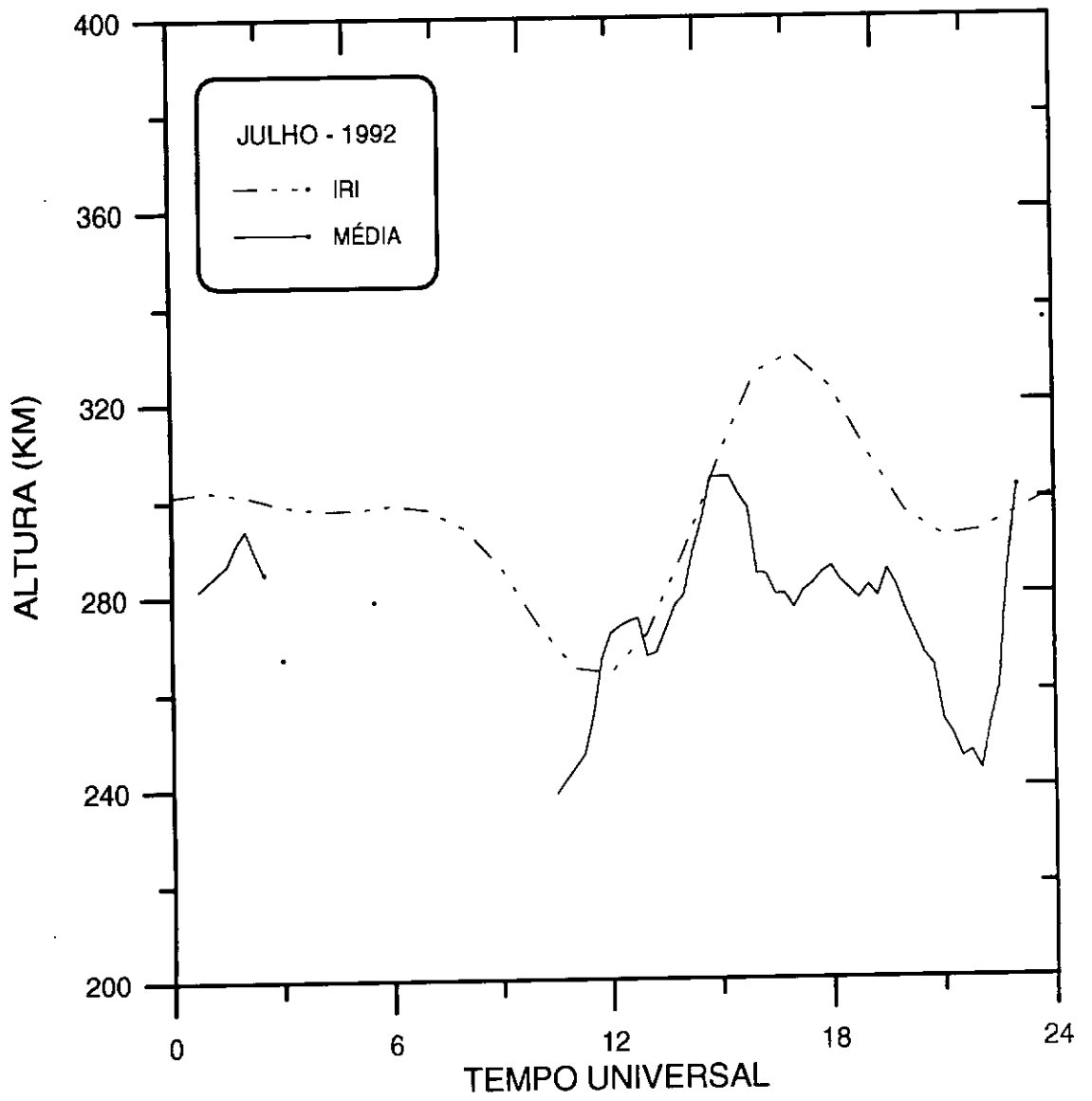


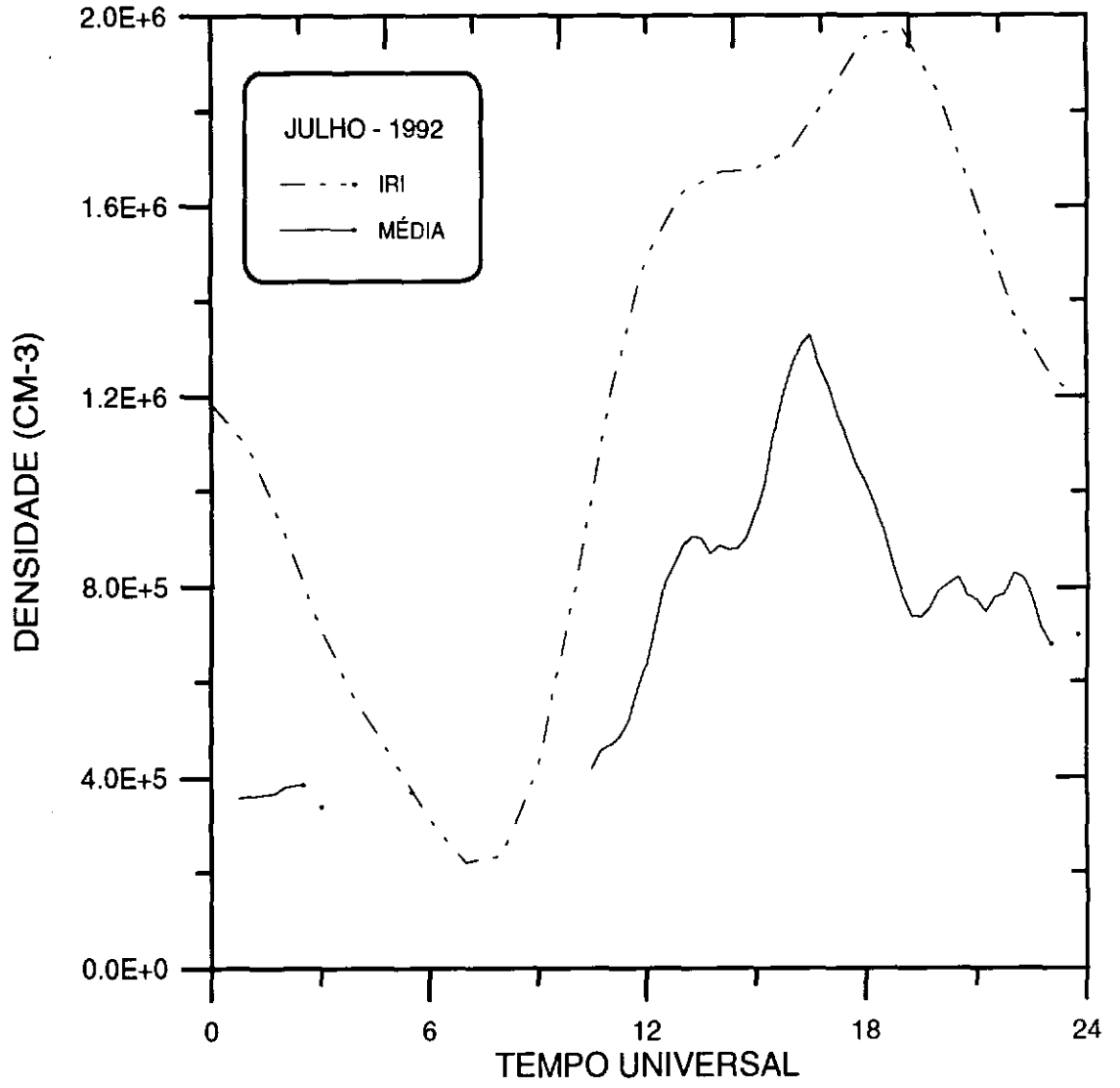


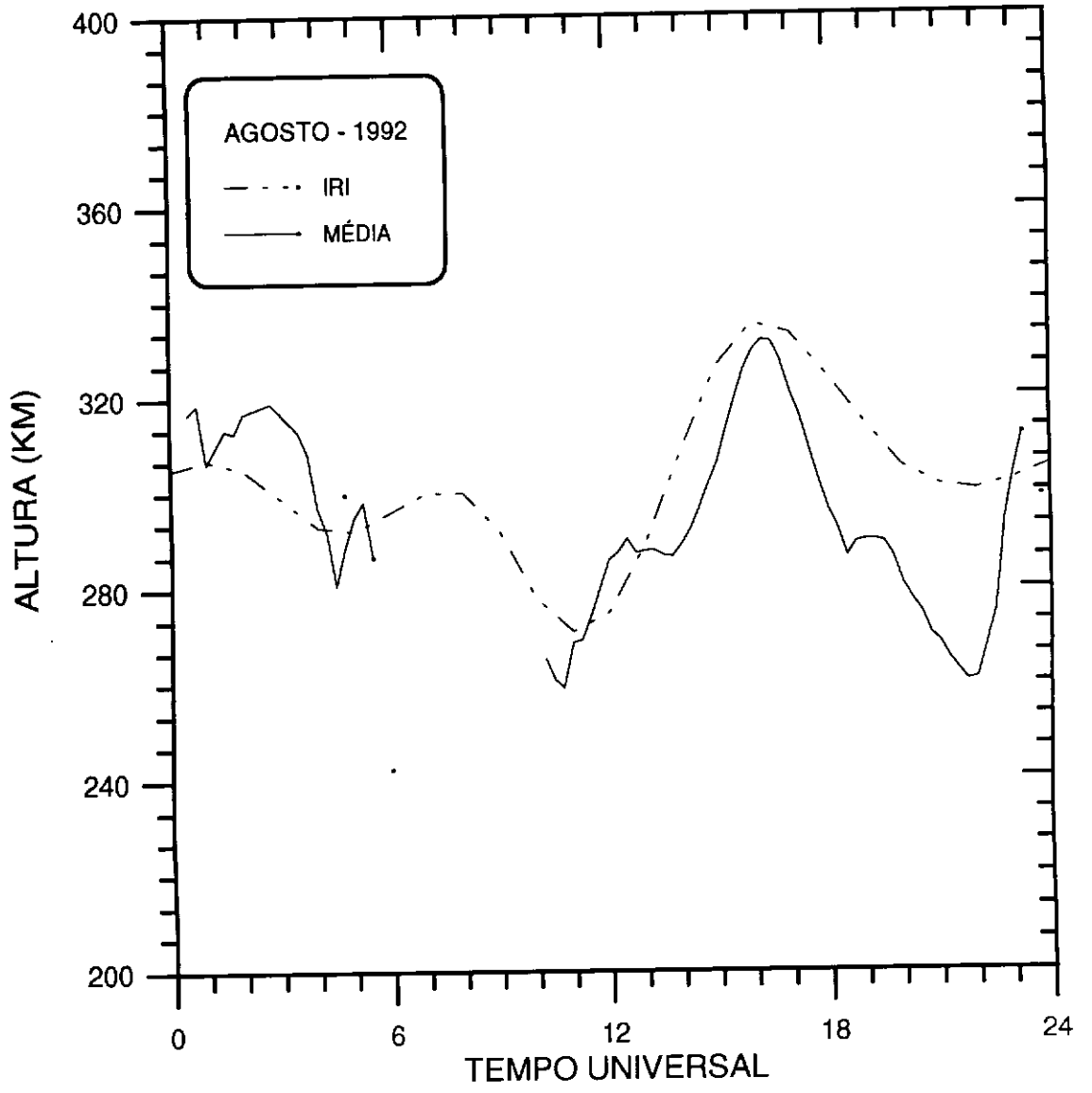


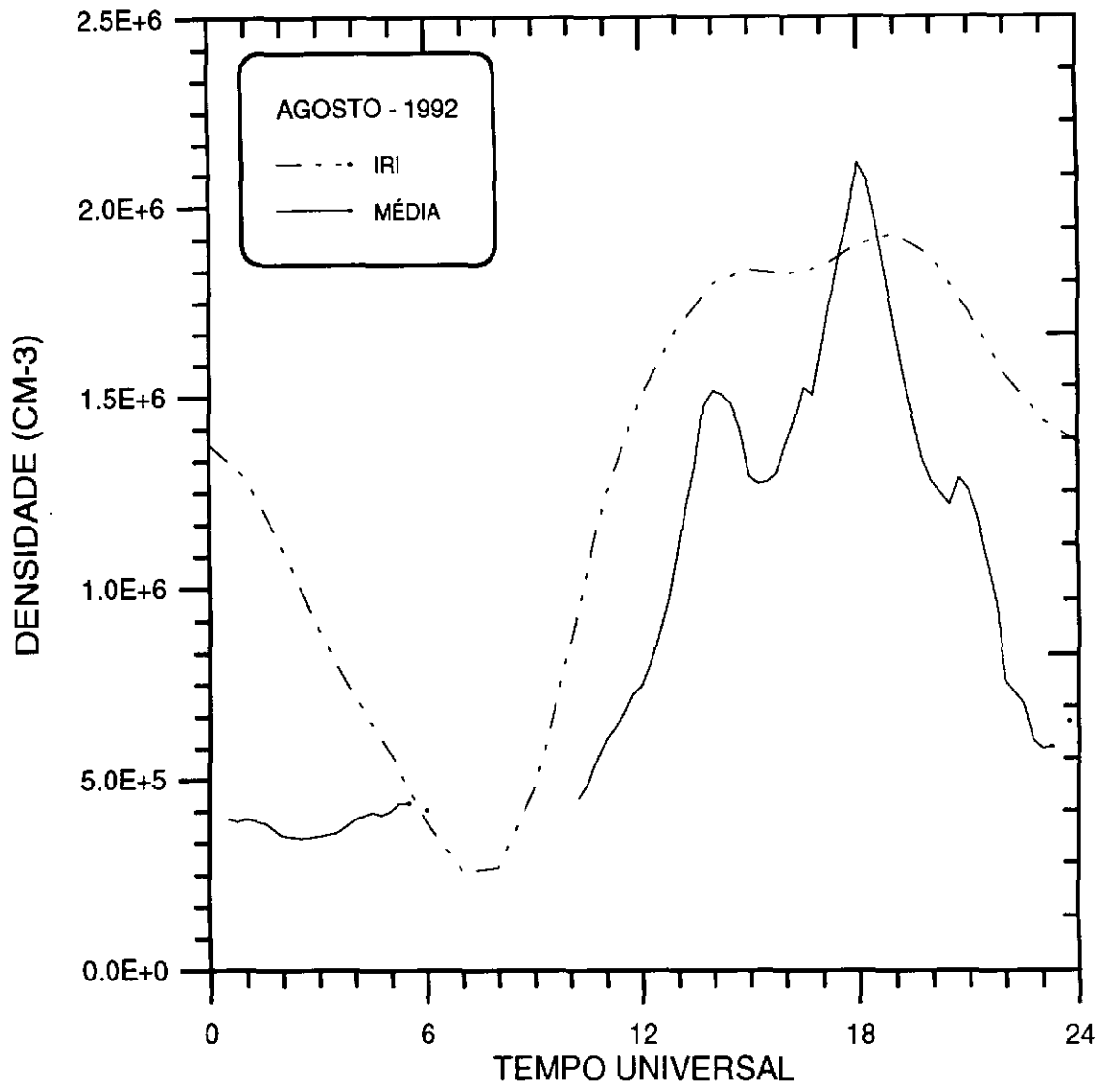


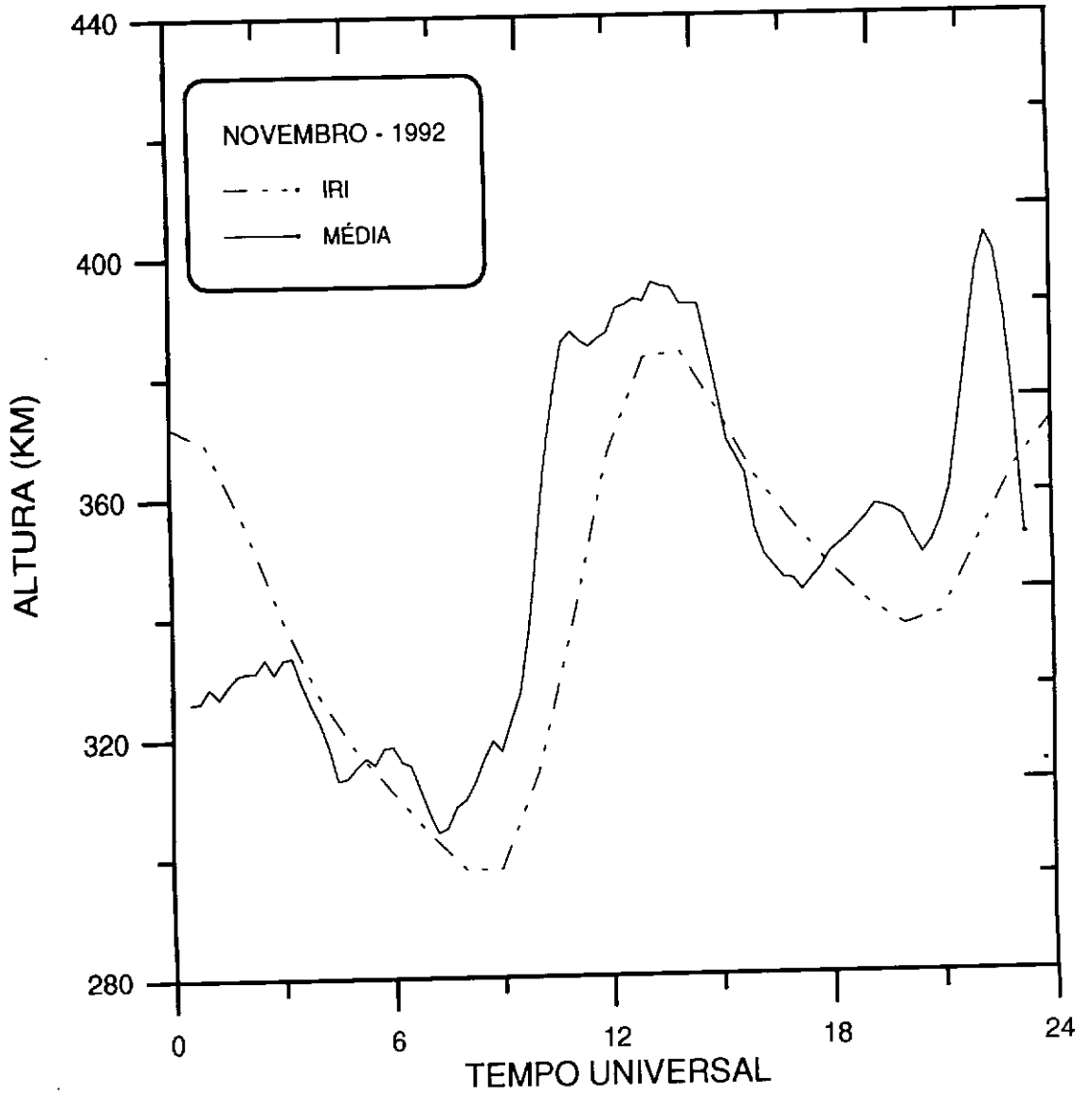


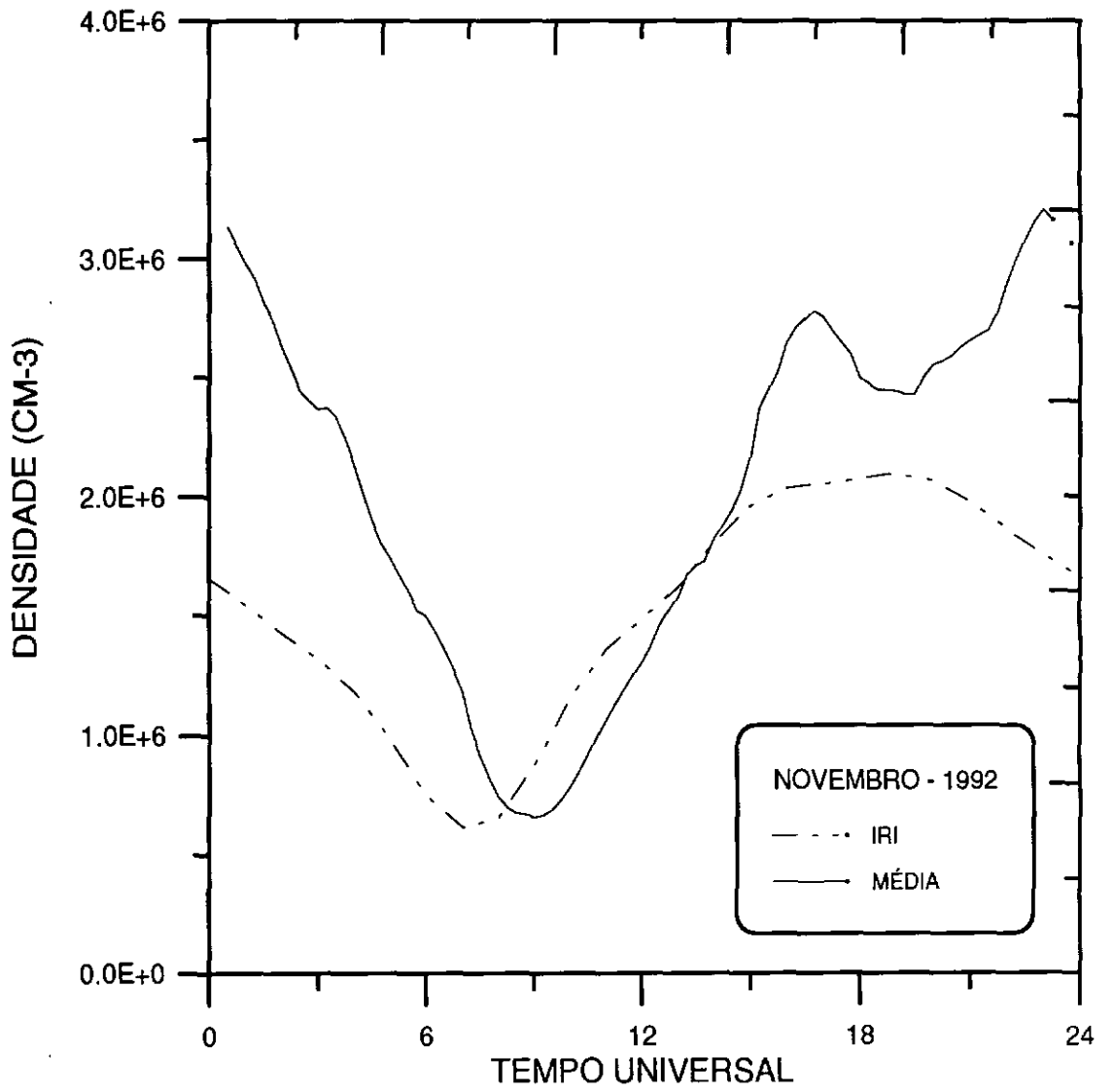


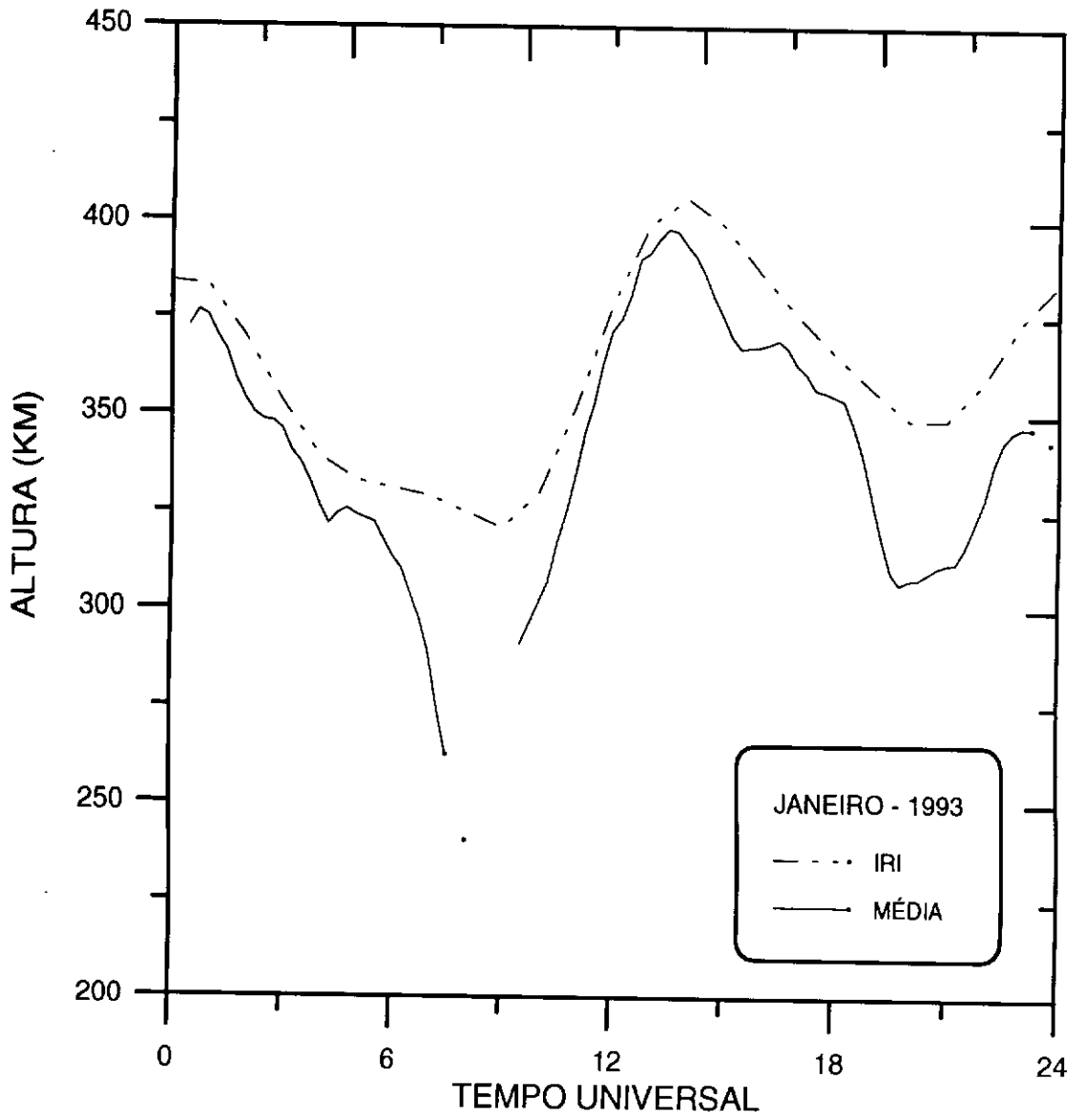


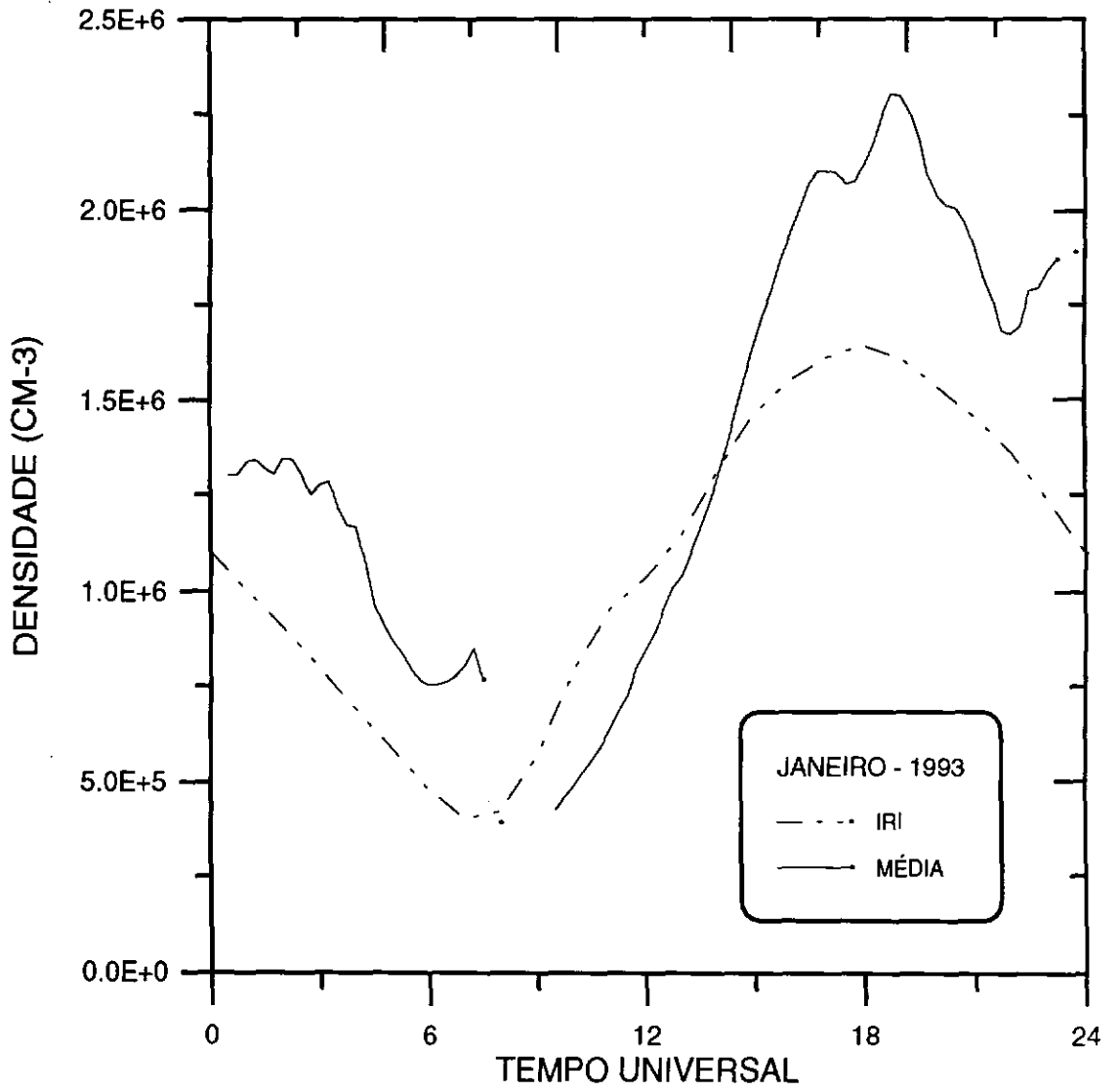


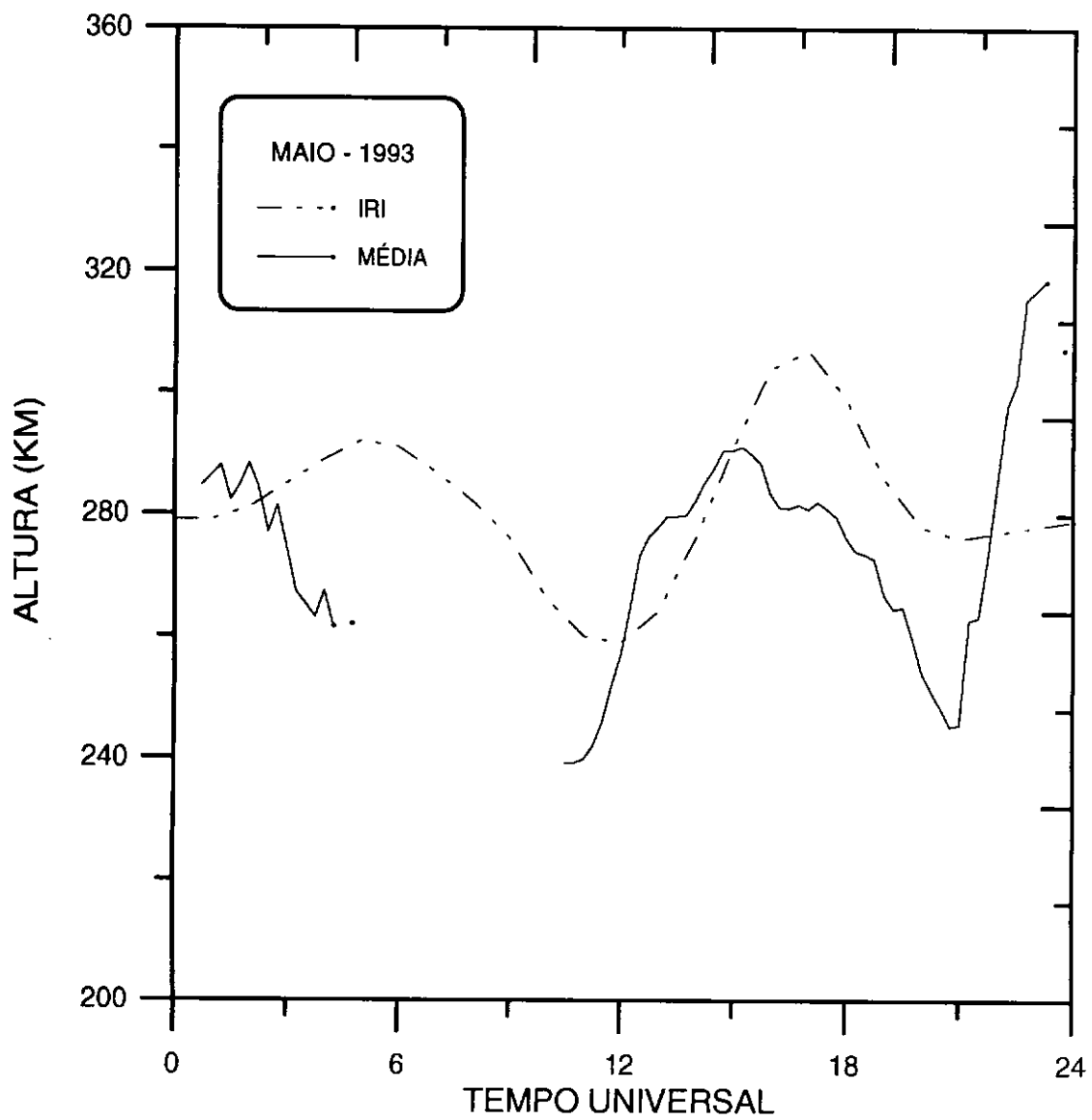


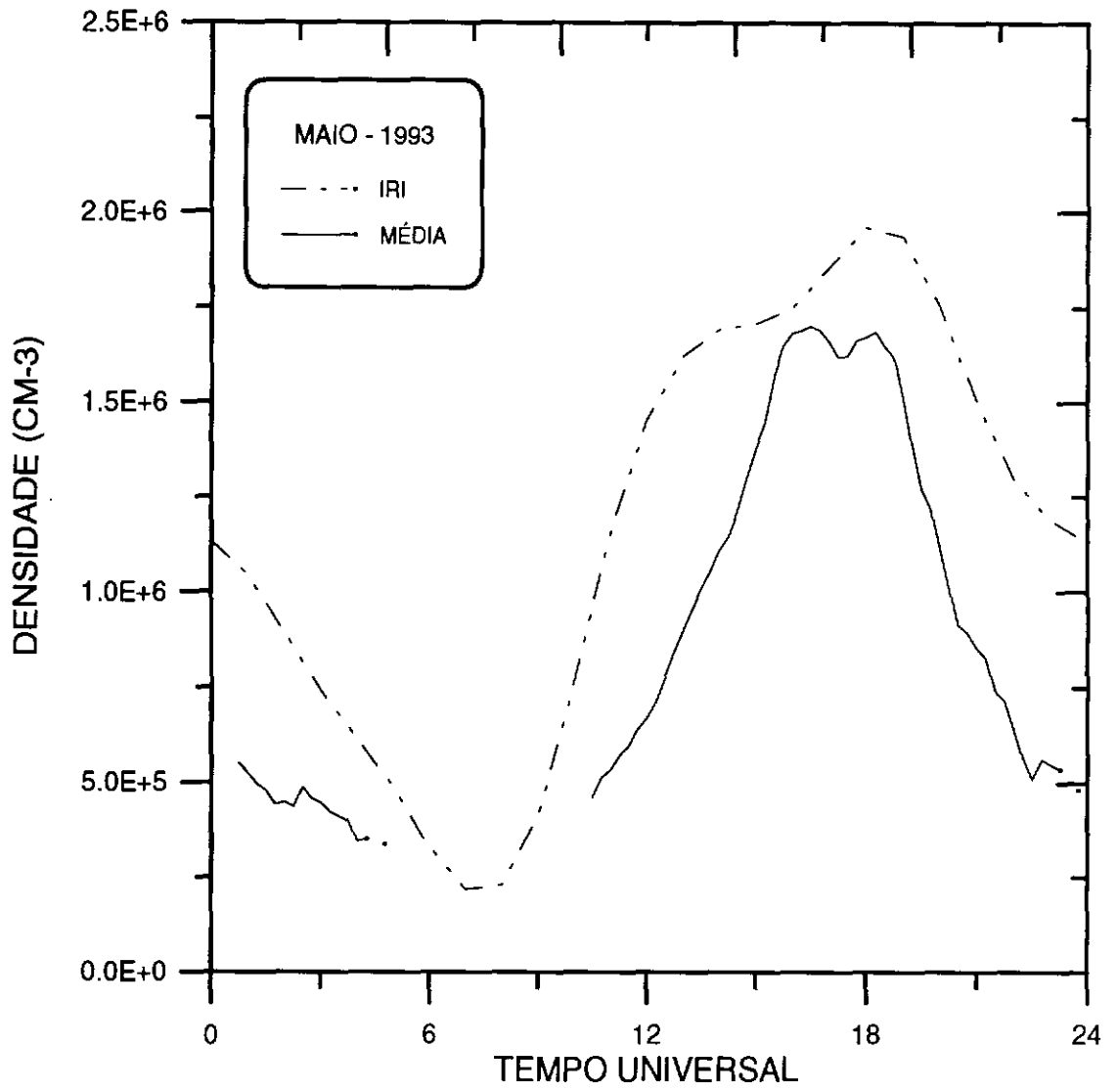


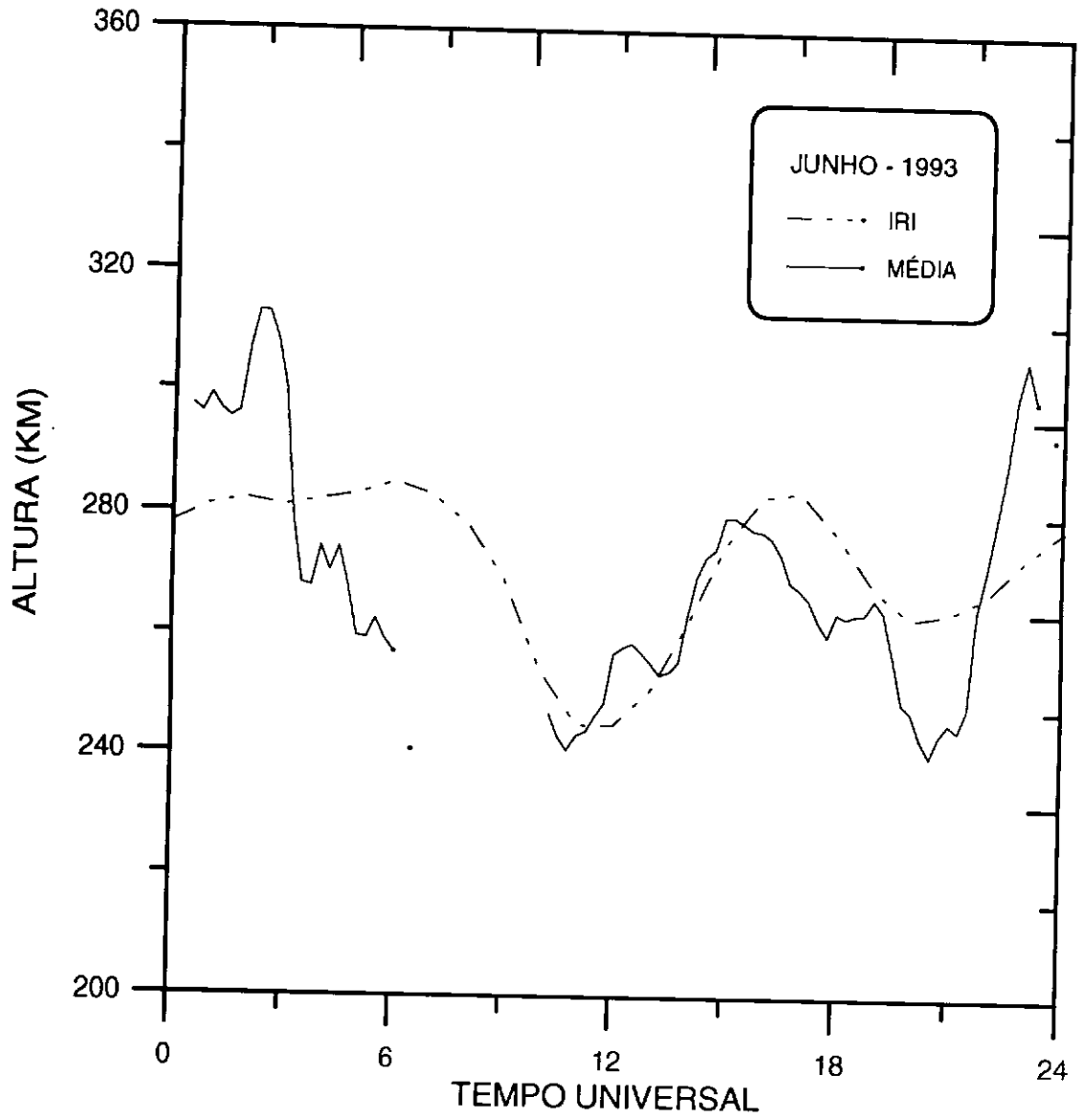


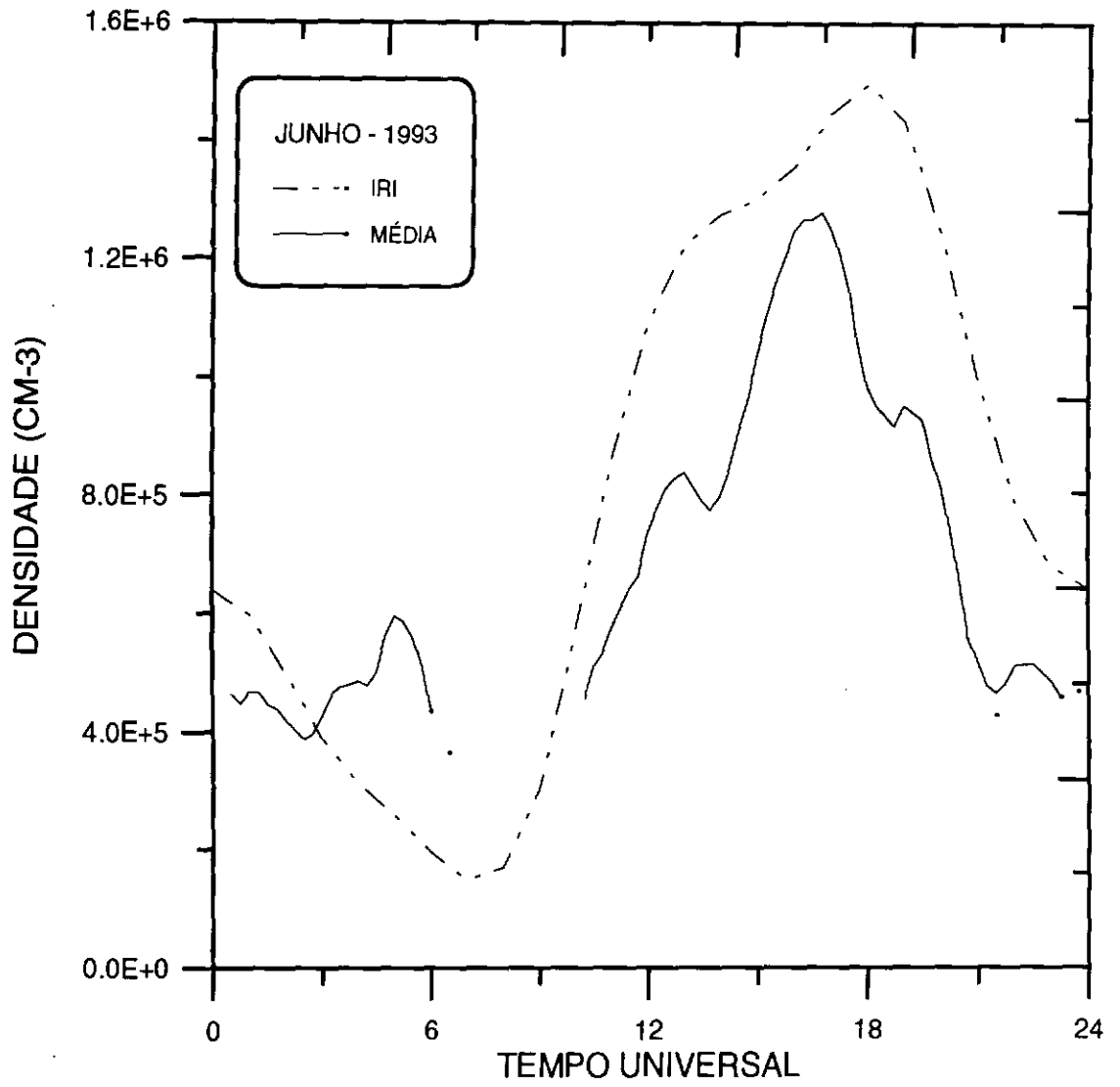


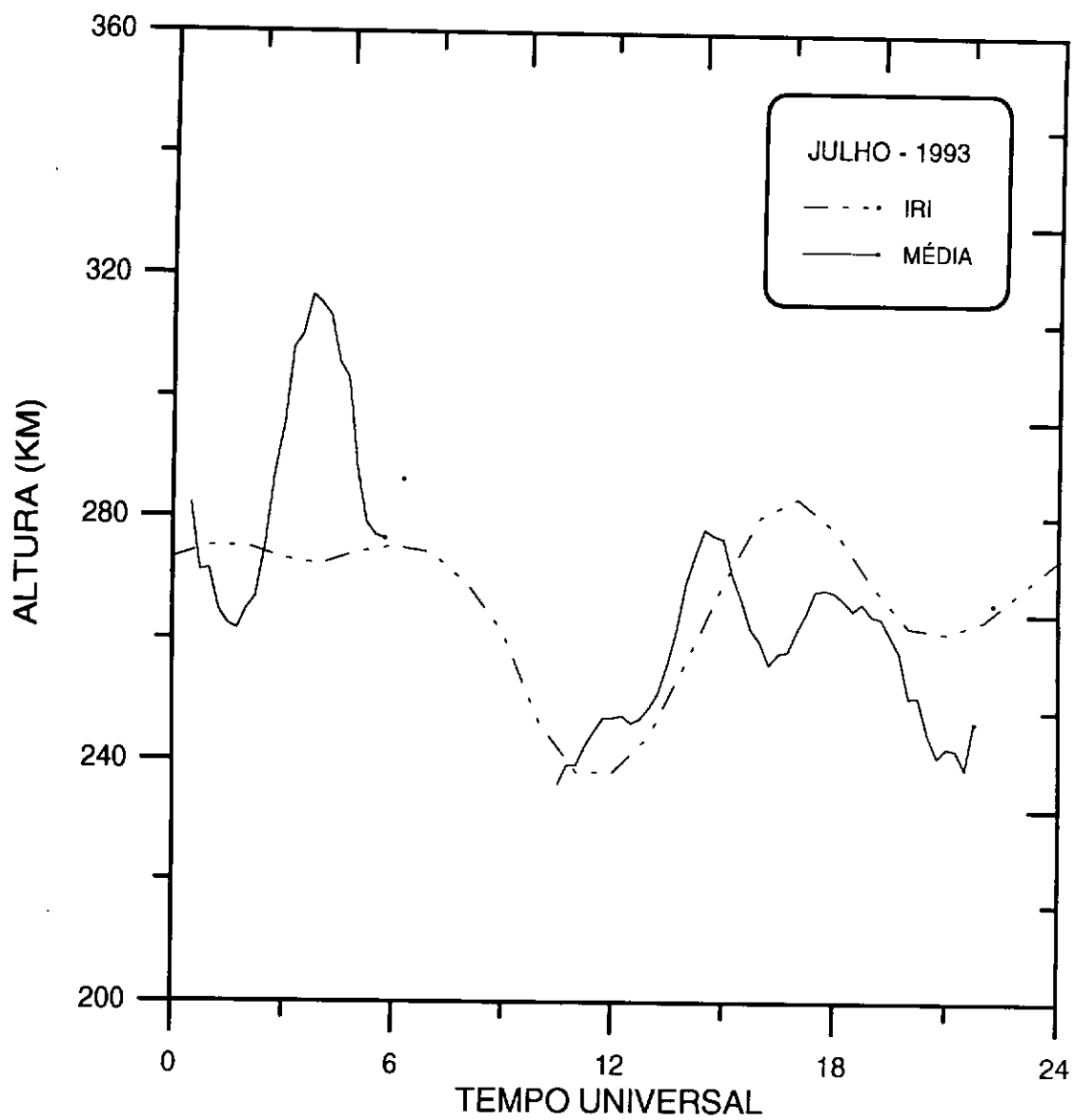


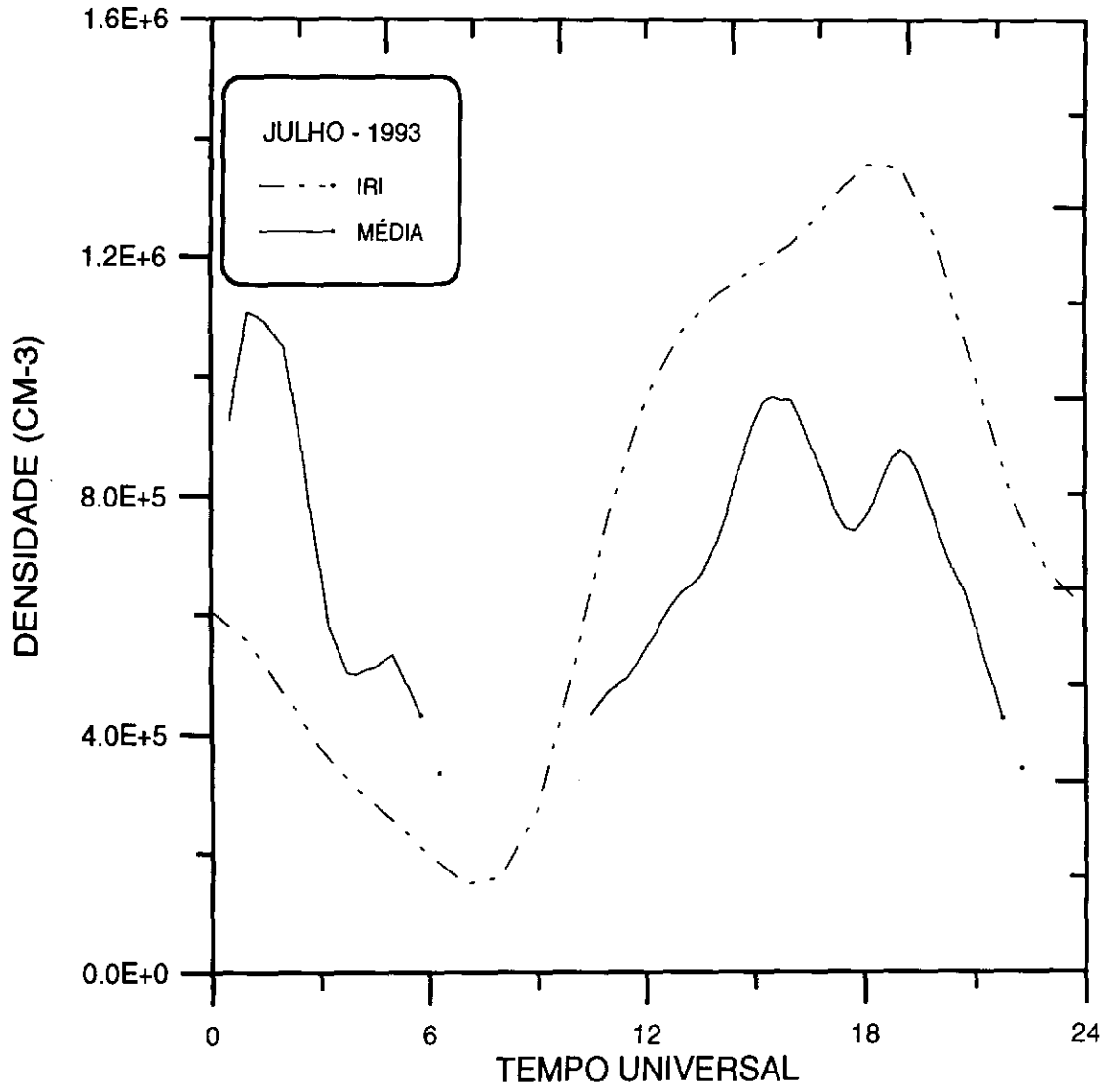


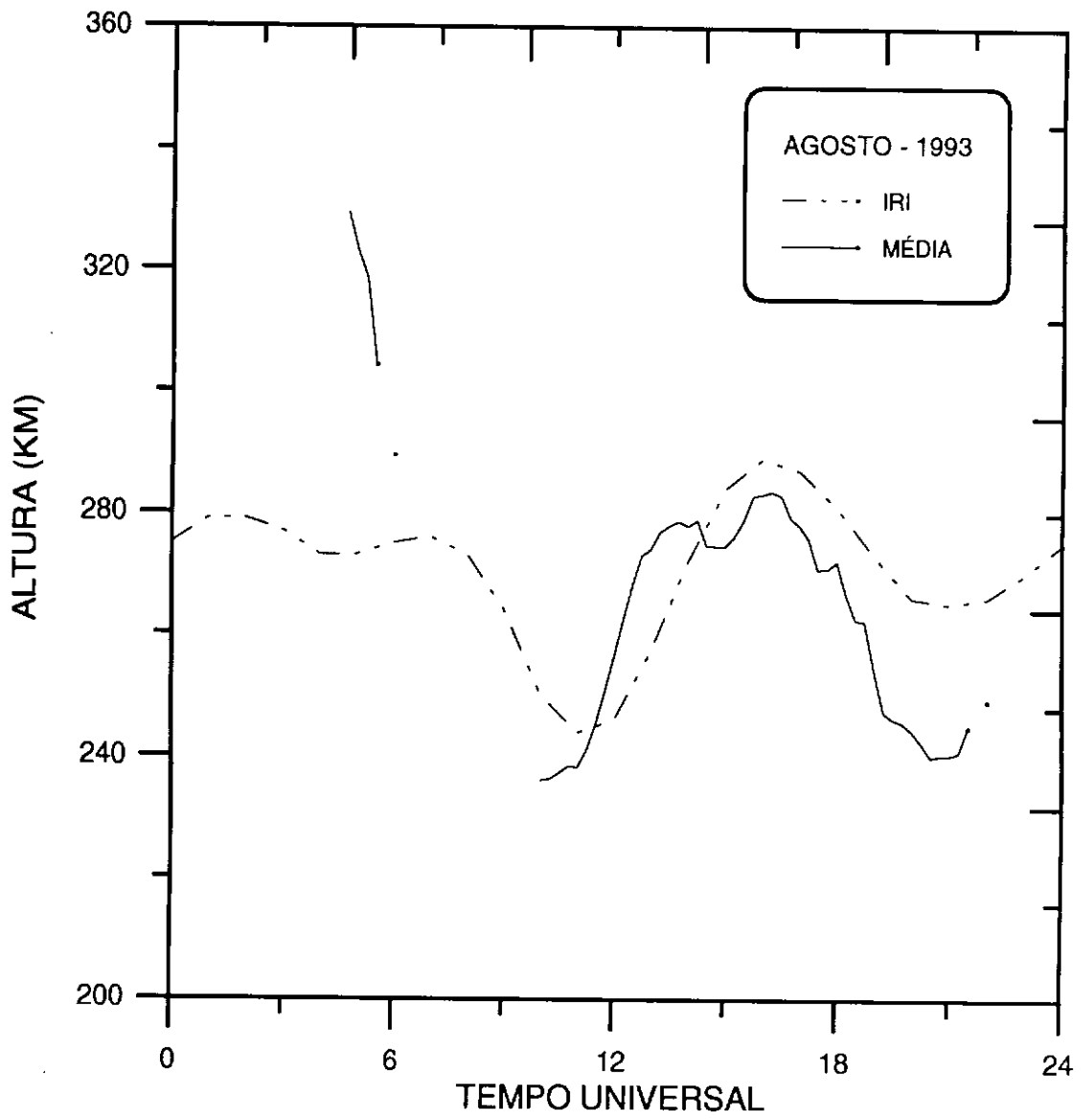


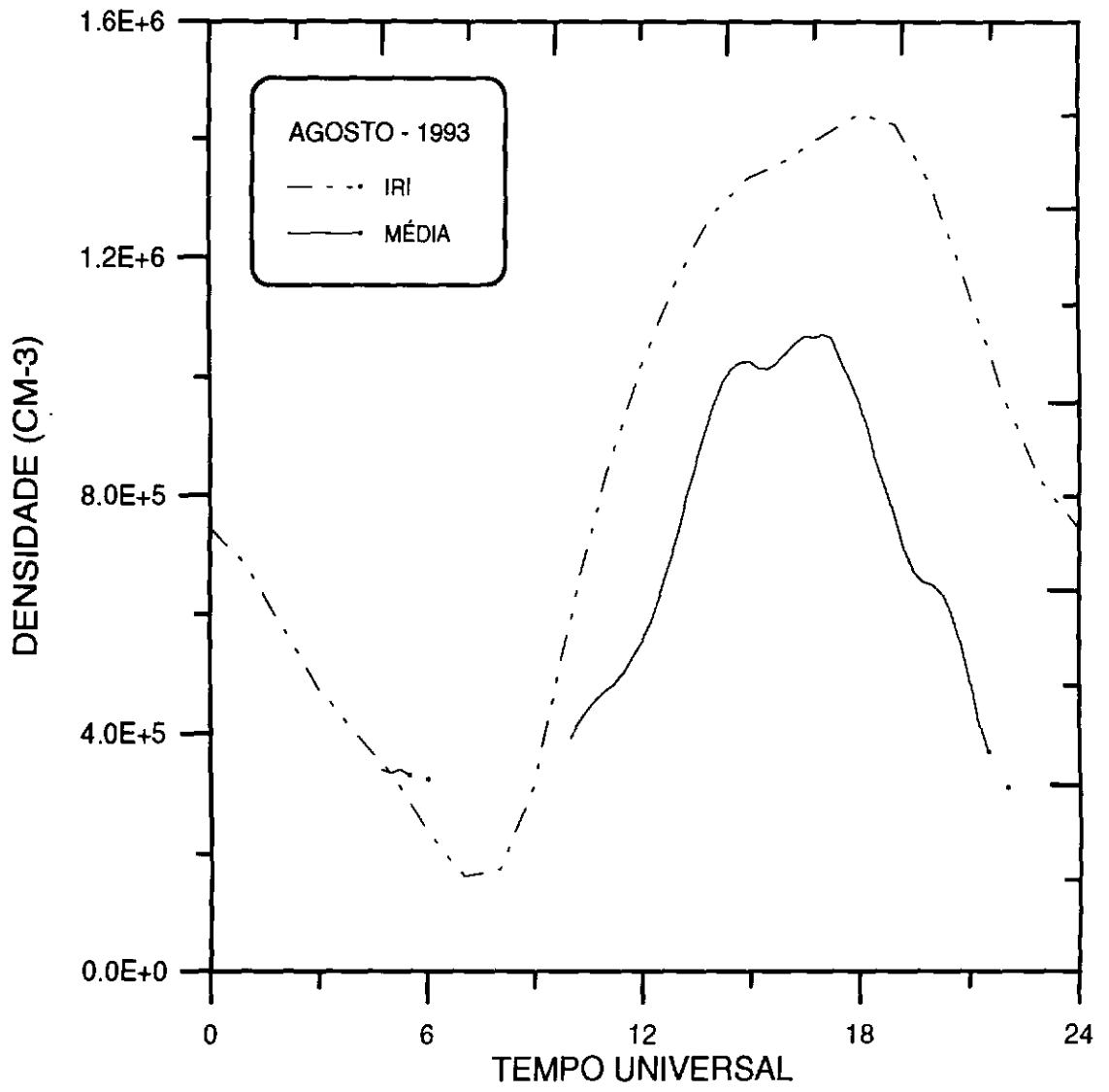


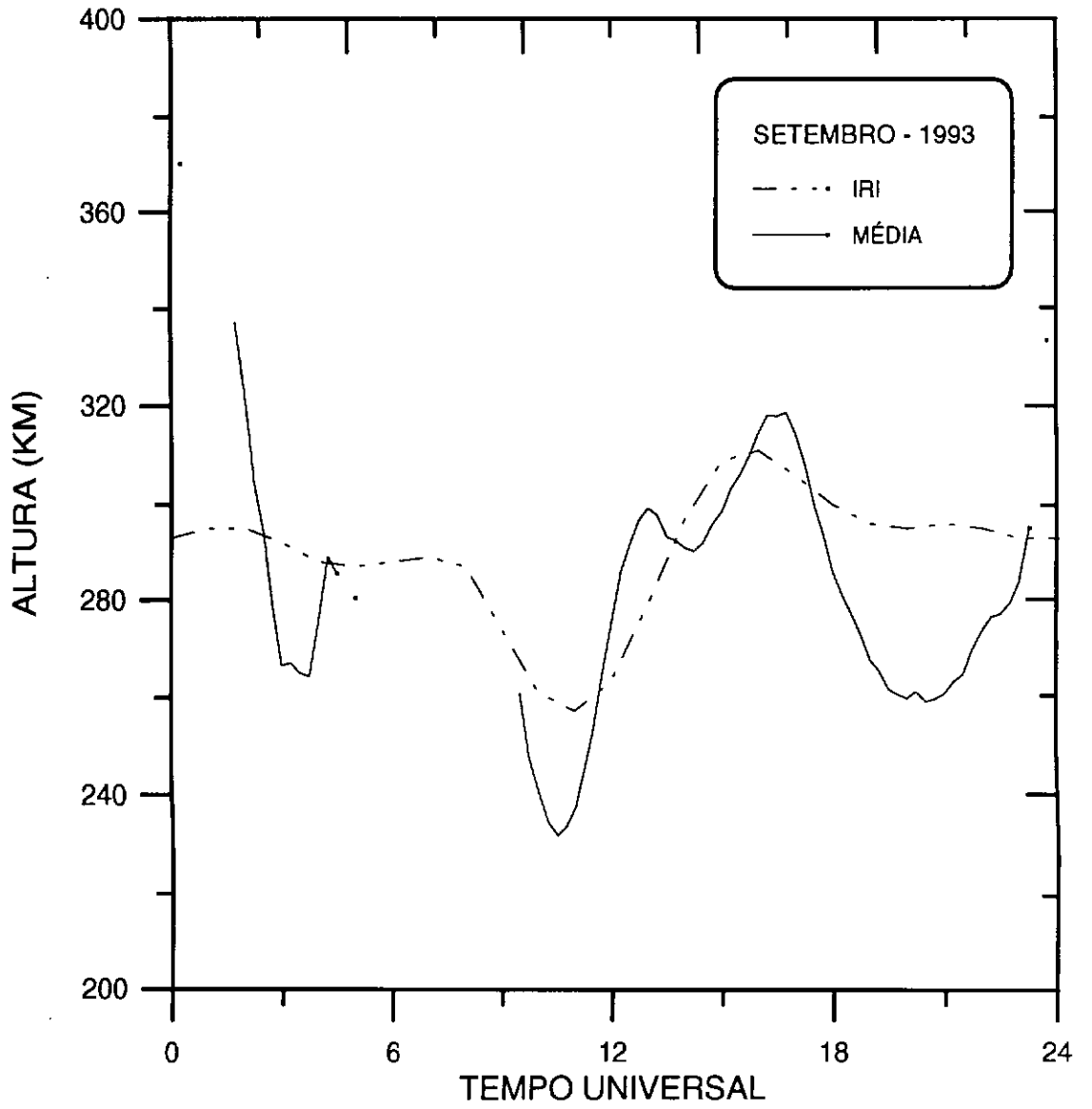


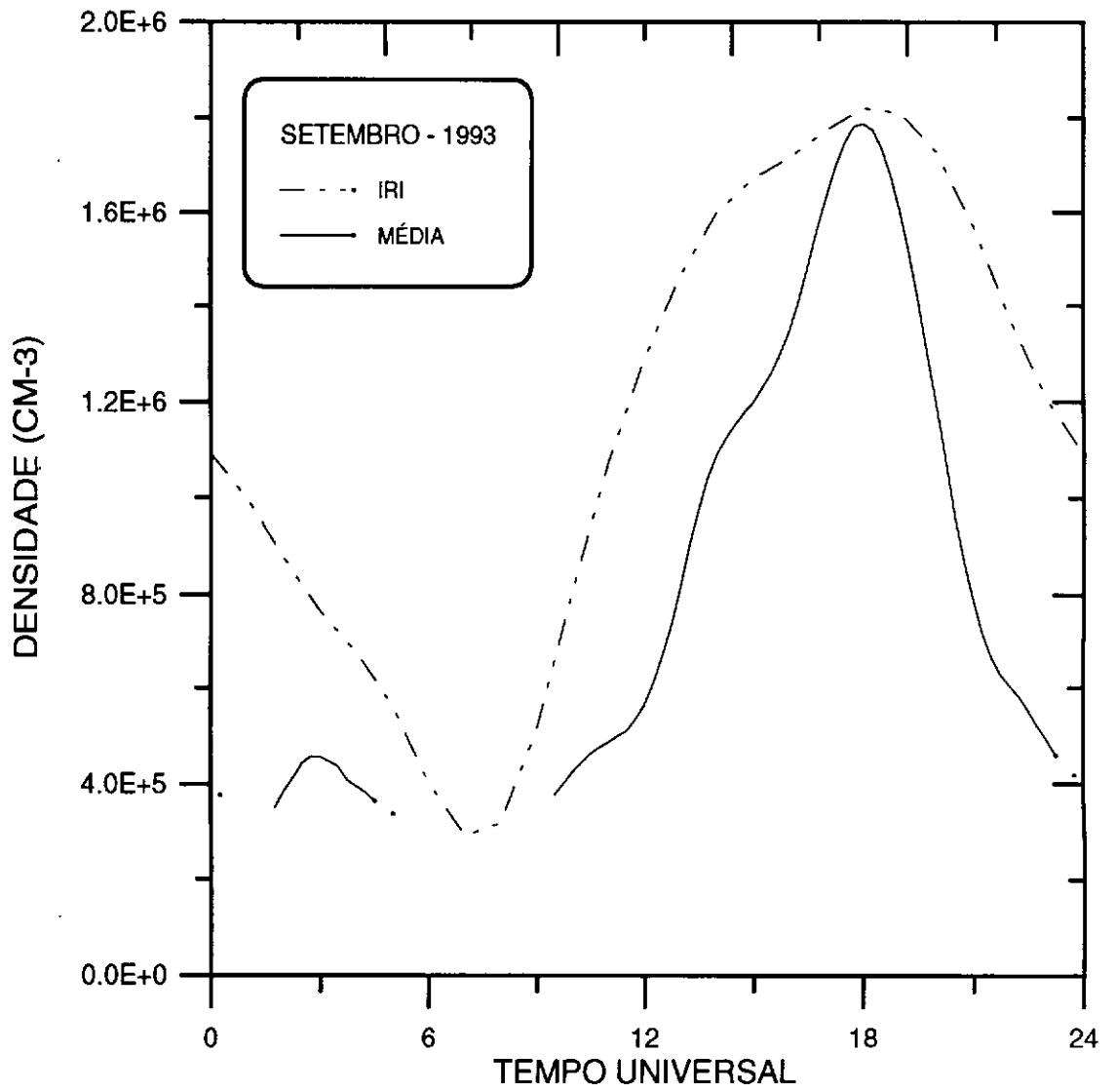












**PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS
EDITADAS PELO INPE**

RELATÓRIOS DE PESQUISA

- Reportam resultados de pesquisa tanto de natureza técnica quanto científica.

NOTAS TÉCNICO-CIENTÍFICAS

- Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, software, sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados e atlas, e documentação de projetos de engenharia.

MANUAIS TÉCNICOS

- Descrevem normas, procedimentos, instruções e orientações.

PUBLICAÇÕES DIDÁTICAS

- Apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

TESES E DISSERTAÇÕES

- Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

PUBLICAÇÕES SERIADAS

- Periódicos Técnico-científicos: Boletim de Sensoriamento Remoto, Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática.
- Anais de Eventos