

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

VARIAÇÃO SAZONAL DO VAPOR D'ÁGUA NA
ATMOSFERA SOBRE O BRASIL.

Elenice Lucas Di Pace

Campina Grande

Dezembro - 1984

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

VARIAÇÃO SAZONAL DO VAPOR D'ÁGUA NA
ATMOSFERA SOBRE O BRASIL .

Elenice Lucas Di Pace

Campina Grande

Dezembro - 1984

E L E N I C E L U C A S D I P A C E

VARIAÇÃO SAZONAL DO VAPOR D'ÁGUA
NA ATMOSFERA SOBRE O BRASIL

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM METEOROLOGIA da Uni
versidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METEOROLOGIA APLICADA

DR. HUKUM SINGH RATHOR

Orientador

Campina Grande
Dezembro - 1984

V A R I A Ç Ã O S A Z O N A L D O V A P O R
D'Á G U A N A A T M O S F E R A S O B R E O B R A S I L

A você, papai e a você, mamãe com saudades do
grande amor que me deram enquanto viveram, meu

Reconhecimento

A

Frederico, esposo e companheiro;
e aos nossos filhos, Fabiano e
Fabrício,

dedico-lhes

HOMENAGEM ESPECIAL

Ao Prof. MARCOS ALBERTO ANDRADE DE ARAÚJO
pelo apoio e entusiasmo durante o desenvolvi -
mento desta pesquisa.

A G R A D E C I M E N T O S

"À DEUS, acima de tudo e de todos, fonte infinita de sabedoria".

À UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS por possibilitar-me a realização do Mestrado.

Ao Dr. HUKUM SINGH RATHOR pela sua valiosa orientação.

Ao CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS pela concessão da bolsa de estudos.

Ao INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA pelos dados de superfície e radiossondagens.

Ao NÚCLEO DE PROCESSAMENTO DE DADOS. UFPb. Campus II - Campina Grande.

Ao PROF. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO pelas sugestões e facilidades oferecidas.

À PROFª CLÉA CARDOSO DE MELLO pela sua contribuição e apoio.

Aos COLEGAS DO DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA E METEOROLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS pelo apoio e ambiente de amizade que me proporcionaram.

Aos AMIGOS que contribuíram, direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA APLICADA
Av. Apolônio Viana, 882 - Caixa Postal 518
Campina Grande — Paraíba

ELENICE LUCAS DI PACE

TESE APROVADA EM 19/12/84

H S Rathor
HUKUM SINGH RATHOR
Orientador

Abel Tenório Cavalcante
ABEL TENÓRIO CAVALCANTE
Componente da Banca

Manoel Sylvio O. Campello Netto
MANOEL SYLVIO O. CAMPELLO NETTO
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE
DEZEMBRO- 1984

RESUMO

No presente trabalho pretende-se apresentar os resultados do estudo do campo do vapor d'água, transporte e sua divergência para atmosfera sobre o Brasil. Para isso foram selecionados dois anos com características diferentes em termos de precipitação e estudados os meses típicos das quatro estações de cada ano.

Foram analisados os totais mensais de precipitação, os desvios da precipitação mensal em relação à normal e os valores de E-P (Evaporação menos Precipitação) mensais para 144 estações agroclimatológicas distribuídas na região de estudo, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro durante os anos de 1976 e 1977.

Através dos dados de 19 estações aerológicas da região foram computados, para o mesmo período, os valores mensais de água precipitável total integrado verticalmente W_p (em $g.cm^{-2}$) através da seguinte equação:

$$W_{p \text{ sup}, 300} = g^{-1} \int_P^{P_{sup}} q \, dp$$

onde g é a aceleração da gravidade, q é a umidade específica, P_{sup} é a pressão atmosférica à superfície da Terra e P é a pressão no topo da atmosfera

Os valores das componentes dos fluxos zonal (Q_λ), meridional (Q_ϕ) e total de vapor d'água (\vec{Q}), em $g.(cm.S)^{-1}$ foram determinados utilizando as equações abaixo, respectivamente:

$$Q_\lambda = g^{-1} \int_P^{P_{sup}} q \, u \, dp ; \text{ onde } u = \text{componente zonal do vento}$$

$$Q_\phi = g^{-1} \int_P^{P_{sup}} q \, v \, dp ; \text{ onde } v = \text{componente meridional do vento}$$

e

$$\vec{Q} = g^{-1} \int_P^{P_{sup}} q V d p$$

onde V é o vetor representativo do vento total

Os campos da divergência do fluxo de vapor d'água foram obtidos usando uma grade de 2,5° de espaçamento e o método de diferenças finitas por:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = \frac{1}{a \cos \phi} \left[\frac{dQ}{d\lambda} + \frac{d}{d\phi} (Q \phi \cos \phi) \right]$$

onde: λ é a longitude

ϕ é a latitude, e

a = raio da terra.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO. 15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .18
3. METODOLOGIA .21
 - 3.1. Dados de Superfície.21
 - 3.2. Dados de Radiossondagens. 21
 - 3.3. Escolha do período em estudo . 30
 - 3.4. Metodologia seguida no cálculo da Água Precipitável (W_p) e do Fluxo de Vapor D'água (\vec{Q}).30
 - 3.5. Metodologia seguida no cálculo da Divergência Mensal ($\nabla \cdot \vec{Q}$). 35
4. RESULTADOS OBTIDOS . 38
 - 4.1. A Precipitação (P). 38
 - 4.2. O Desvio da Precipitação em Relação à Normal (D_p). 49
 - 4.3. A Evaporação menos Precipitação (E-P) . 61
 - 4.4. A Água Precipitável (W_p) e a Distribuição vertical da Umidade Específica Média (\bar{q}). 72
 - 4.5. O Fluxo de Vapor D'água (\vec{Q}). 92
 - 4.6. A Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$). 105
5. CONCLUSÕES . 116
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

L I S T A D E F I G U R A S

1. A Área em Estudo . 17
2. A Localização das Estações Agroclimatológicas Utilizadas.27
3. Localização das Estações de Radiossondas Utilizadas . 29
4. Esquema para o Cálculo da $(\nabla \cdot \vec{Q})_{k,j}$. 36
5. Carta do Total de Precipitação do mês de janeiro de 1976 . 41
6. Carta do Total de Precipitação do mês de abril de 1976.42
7. Carta do Total de Precipitação do mês de julho de 1976.43
8. Carta do total de Precipitação do mês de outubro de 1976 .44
9. Carta do Total de Precipitação do mês de janeiro de 1977.45
10. Carta do Total de Precipitação do mês de abril de 1977.46
11. Carta do Total de Precipitação do mês de julho de 1977.47
12. Carta do Total de Precipitação do mês de outubro de 1977.48
13. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de janeiro de 1976 . 53
14. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de abril de 1976 . 54
15. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de julho de 1976 . 55
16. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de outubro de 1976 . 56
17. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de janeiro de 1977. 57
18. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de abril de 1977 . 58
19. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de julho de 1977 . 59

20. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de outubro de 1977. 60
21. Carta de E-P : JANEIRO DE 1976 . 64
22. Carta de E-P : ABRIL de 1976. 65
23. Carta de E-P : JULHO de 1976. 66
24. Carta de E-P : OUTUBRO de 1976. 67
25. Carta de E-P : JANEIRO de 1977. 68
26. Carta de E-P : ABRIL de 1977. 69
27. Carta de E-P : JULHO de 1977. 70
28. Carta de E-P : OUTUBRO de 1977. 71
29. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de janeiro de 1976. 76
30. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de abril de 1976 . 77
31. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de julho de 1976 . 78
32. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de outubro de 1976. 79
33. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de janeiro de 1977. 80
34. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de abril de 1977 . 81
35. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de julho de 1977 . 82
36. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de outubro de 1977. 83
37. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de janeiro de 1976. 84
38. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de abril de 1976 . 85
39. Distribuição vertical da Umidade Específica média

40. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de outubro de 1976 . 87
41. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de janeiro de 1977 . 88
42. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de julho de 1977 . 89
43. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de outubro de 1977 . 90
44. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de outubro de 1977 . 91
45. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de janeiro de 1976 . 97
46. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de abril de 1976 . 98
47. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de julho de 1976 . 99
48. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de outubro de 1976 . 100
49. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de janeiro de 1977 . 101
50. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de abril de 1977 . 102
51. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de julho de 1977 . 103
52. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\vec{Q}) no mês de outubro de 1977 . 104
53. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de janeiro de 1976 . 108
54. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de abril de 1976 . 109
55. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água

56. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água
($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de outubro de 1976 . 111
57. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água
($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de janeiro de 1977 . 112
58. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água
($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de abril de 1977. 113
59. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água
($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de julho de 1977 . 114
60. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água
($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de outubro de 1977. 115

L I S T A D E T A B E L A S

1. Estações Agroclimatológicas Utilizadas. 23
2. Estações de Radiossondagens Utilizadas. 28
3. Valores Mensais de Água Precipitável. Ano: 1976. 74
4. Valores Mensais de Água Precipitável. Ano: 1977. 75
5. Valores Mensais da Componente do Fluxo de Vapor
Zonal (Q_{λ}) e Meridional (Q_{ϕ}). Ano: 1976. 95
6. Valores Mensais da Componente do Fluxo de Vapor
Zonal (Q_{λ}) e Meridional (Q_{ϕ}). Ano: 1977. 96

O Brasil, quanto ao aspecto físico é sem dúvida, um país de contrastes. Vejam, por exemplo, a exuberância da floresta amazônica e sua extensa rede hidrográfica e a vegetação rasteira do árido solo nordestino. A extensão desse colossal país é de 8.511.965 km² e ocupa cerca da metade da América do Sul, localizado conforme Figura 1. As precipitações variam de uma região para outra contrastando o Norte, onde são diárias, com o Nordeste, muito escassas.

Dada a sua grande extensão, o clima do Brasil divide-se em:

- a) Clima Equatorial, na Amazônia;
- b) Clima Tropical, na região Nordeste e Centro-Oeste;
- c) Clima Semi-Árido, no interior do Nordeste e Norte da Bahia;
- d) Clima Tropical de Altitude, em São Paulo, Rio de Janeiro, parte de Minas Gerais e Mato Grosso;
- e) Clima Subtropical, ao Sul.

Apesar do nosso país possuir tal variedade de climas não há, todavia, variações extremas, salvo algumas geadas ocasionais que no inverno ocorrem em algumas localidades da região Sul.

Embora já se tenha vários estudos meteorológicos sobre a região Brasileira, e em especial sobre o Nordeste, a maior parte desses estudos foram realizados com base em dados de superfície. Em parte isto se deve a inexistência, até recentemente, de dados de altitude disponíveis.

Felizmente, em 1971, começou-se a operar, com certa regularidade, uma rede de estações de radiossondagem e balão piloto.

Uma primeira tentativa de análise do clima do ar superior sobre o Nordeste do Brasil, explorando os aspectos da energética, do fluxo de vapor d'água, da circulação geral e suas relações com as variações anuais e interanuais da precipitação foi realizada por Silva Marques (1981).

Alguns dos resultados obtidos na análise do campo da divergência e do campo do transporte do vapor d'água na atmosfera vieram provocar nos diferentes ramos da geofísica um interesse tão generalizado, que nos afigura importante o estudo sobre outros aspectos do mesmo assunto.

No presente trabalho pretende-se apresentar os resultados do estudo do campo da divergência e do campo do transporte do vapor d'água na atmosfera sobre o Brasil e discutir algumas das suas implicações nos domínios da hidrologia e da climatologia. Para isso, foi necessário cumprir as seguintes fases:

- . Analisar os totais mensais de precipitação, os desvios da precipitação em relação à normal e os campos de E-P (evaporação menos precipitação);
- . Construir e interpretar os perfis médios mensais da umidade específica;
- . Computar e analisar os valores de água precipitável, dos fluxos zonal, meridional e total de vapor d'água integrados verticalmente;
- . Obter e analisar os valores mensais da divergência do fluxo da umidade;
- . Interpretar e procurar alguma relação entre os campos de divergência e os da quantidade E-P.

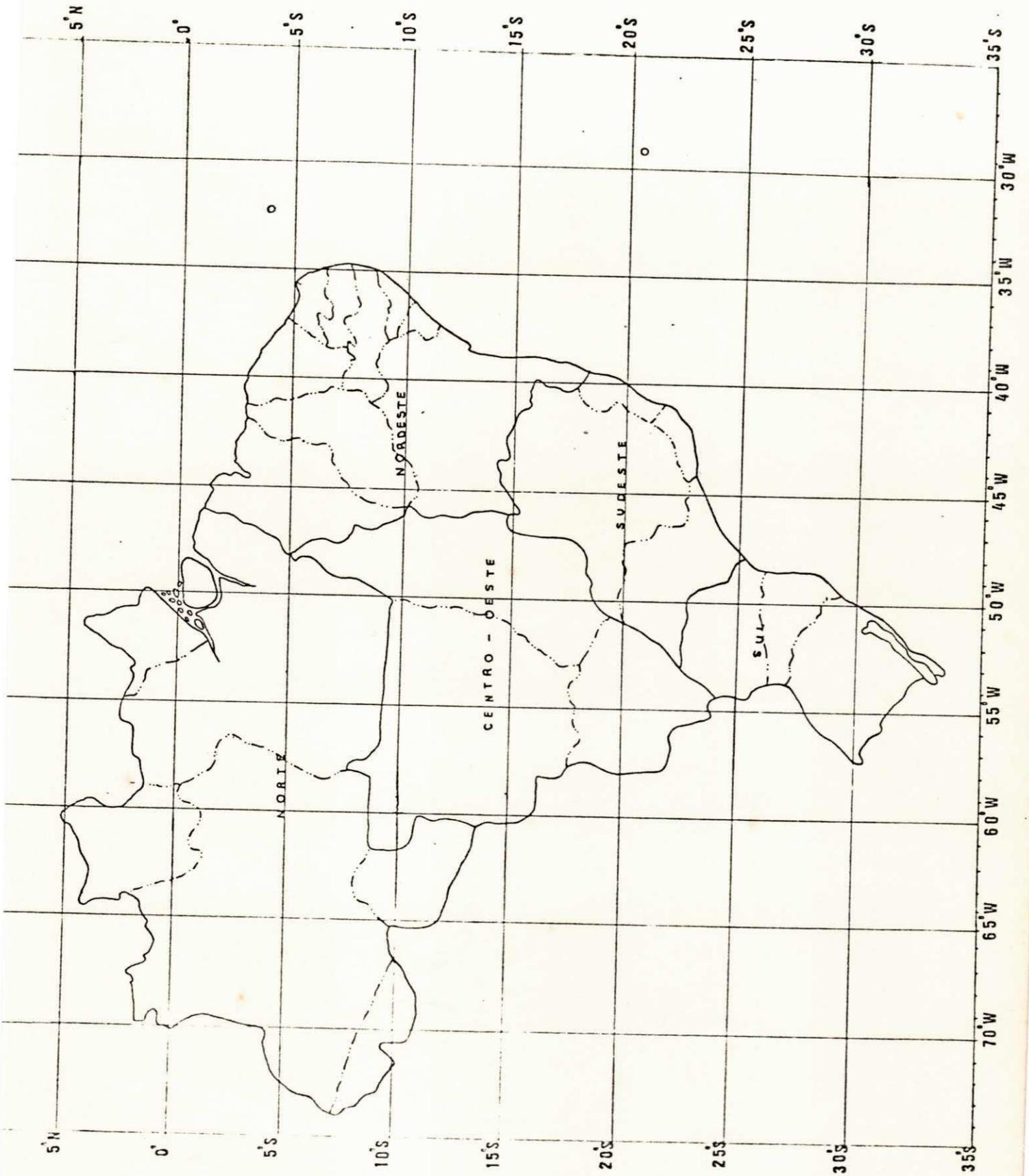


Figura 1. A Área em Estudo.

- A área em estudo abrange todo o Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em escala regional e para curtos períodos, vários estudos sobre o transporte aéreo do vapor d'água foram feitos, dentre outros, por Benton & Estoque (1954) e Rasmusson (1966, 1967) para os Estados Unidos; Palmén & Sodermmman (1966) para o Mar Báltico; e para Bacia Amazônica por Molion (1975), Marques (1976) e Marques et alii (1977).

Segundo Benton & Estoque (1954), o vento geostrófico tem sido usado para determinar o fluxo de vapor d'água sobre o continente Norte-Americano. Estes sistemas de fluxos estão relacionados com a distribuição da precipitação e, tem sido demonstrado que uma grande parte da transferência total do vapor d'água está associado ao sistema de turbulência laterais, particularmente para o fluxo na direção meridional.

Starr & Peixoto (1958), estudando o campo da divergência do vapor d'água na atmosfera constatou a existência de centros de divergências com intensidades elevadas sobre a maioria das regiões desérticas no Hemisfério Norte, o que implica em evaporação muito ativa.

Peixoto (1959), analisando o campo da divergência horizontal do transporte médio total do vapor d'água, integrado ao longo da vertical, referente ao ano de 1950, mostrou que no Hemisfério Norte, as áreas das regiões de convergência e de divergência se compensam. Por consequência, a evaporação total para a atmosfera deve igualar a precipitação total no intervalo de um ano. As regiões dos centros de máximo do campo da divergência do vapor d'água, $\overline{VQ} = \bar{E} - P$, nos oceanos, observam-se nas latitudes subtropicais, em concordância com as posições médias dos grandes anticiclones subtropicais, onde constituem fontes de vapor d'água.

dade da atmosfera, e o seu deslocamento para Norte no verão, es tá de acordo com a conhecida migração desses grandes anticiclones subtropicais, que acompanham o sol no seu movimento anual aparente.

Benwell (1965) esclarece que, para fins práticos, a água precipitável contida na atmosfera pode ser considerada co mo suficientemente representativa do vapor d'água disponível pa ra o processo de precipitação.

Namias (1972) num estudo de inter-correlação entre a circulação à 700 mb sobre o Atlântico Norte e a precipitação em Quixeramobim (Ceará), notou que a atividade ciclônica muito in tensa próximo à Terra Nova está associada com a precipitação aci ma do normal em Quixeramobim. Sugeriu que essa atividade ciclôni ca aumenta a circulação da célula de Hadley, incrementando as sim os ventos alíseos, de Nordeste e Sudeste.

* Aragão (1975) afirmou que, durante os períodos de se ca não há falta de umidade nos baixos níveis da troposfera, mas in existe um mecanismo dinâmico capaz de provocar movimentos as cendentes que tenham como resultado formação de nuvens suficien temente desenvolvidas para produzir a precipitação.

Marques (1976) aplicou o método aerológico, para anali sar o comportamento do campo de vapor d'água e sua transferência na atmosfera, em uma faixa da Amazônia entre Belém e Manaus, cu ja região tem um dos mais altos índices de precipitação global. Observou que o Oceano Atlântico constitui a principal fonte de umidade para a região, sendo o suprimento do vapor d'água reali zado pela costa Nordeste da América do Sul. O fluxo de vapor d'água para a área em estudo foi predominantemente zonal de Este.

Silva Marques (1981) ressaltou que quanto ao fluxo de vapor d'água, as diferenças fundamentais entre as estações seca e chuvosa são reveladas através das fronteiras Norte e Sul e en

Sudeste. Estes dois resultados levam a crer que as variações relevantes no balanço de vapor d'água na região Nordeste do Brasil devam estar ligadas à variação do posicionamento da Z C I T (Zona de Convergência Intertropical), associada com possíveis penetrações de massas de ar procedentes do sul do continente.

Araújo (1982) analisando o comportamento do vapor d'água sobre o Nordeste do Brasil para o ano de 1975, observou que valores elevados de água precipitável foram condição necessária, mas não suficiente, para provocar valores altos de precipitação; os aspectos sinóticos e possivelmente orográficos que originam movimentos verticais na atmosfera devem ser considerados. Resultados obtidos, parecem indicar que o método aerológico pode ser usado no estudo do comportamento do vapor d'água sobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil.

Howarth (1983) estudando a Variação Sazonal do transporte do vapor d'água integrado verticalmente sobre o Hemisfério Sul notou que a variação sazonal é máxima nos trópicos e subtropicos para W_p e Q_λ , quando Q_ϕ não varia.

Peixoto & Oort (1983) estudando o aspecto atmosférico para o ciclo hidrológico e climatológico no período de 10 anos (1963 a 1973), para o Globo, mostrou a importância do vapor d'água no ciclo energético da atmosfera e Circulação Geral.

3. METODOLOGIA

3.1. Dados de Superfície

Neste trabalho foram utilizados, os valores to tais mensais de precipitação e evapotranspiração potencial, bem como os valores dos desvios em relação à normal de precipitação, obtidos nas estações agroclimatológicas relacionadas na Tabela 1, cuja distribuição se encontra na Figura 2. Esses dados foram extraídos do "BOLETIM AGROCLIMATOLÓGICO" divulgado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.2. Dados de Radiossondagens

Foram utilizados dados obtidos por radiossonda gens diárias, em níveis isobáricos padrões da superfície, 850, 700, 500 e 300 mb; das estações de altitude relacionadas na Tabela 2, e cuja distribuição se encontra na Figura 3.

Os registros mensais de radiossondagens contém dados de temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, alti tude da superfície isobárica, direção e velocidade do vento; ob tidos diariamente às 12:00 H M G.

Esses dados foram inicialmente submetidos a uma triagem manual, onde eliminaram-se os erros de registros, as sim como aqueles cuja explicação física não era aceitável. Elimi nados tais erros, todos os dados disponíveis foram perfurados em cartões I B M (cerca de 2.516 radiossondagens) e foram elaborados programas para os cálculos da água precipitável (W_p), dos fluxos zonal (Q_λ), meridional (Q_ϕ) e total (\vec{Q}) e dos valores médios da umidade específica (\bar{q}), devido ao grande volume de cá

Neste trabalho só foram considerados meses com um número mínimo de 15 sondagens diárias para uma dada estação .

Os registros mensais das estações de radiossondagens foram extraídos dos arquivos existentes na seção de Climatologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

TABELA 1. ESTACOES AGROCLIMATOLOGICAS UTILIZADAS

º DE ORDEM	Nº SINÓTICO	ESTACÃO	LATITUDE (º) (S)	LONGITUDE (º) (W)	ELEVAÇÃO (metros)
01	82 024	Bõa Vista	2 49 N	60 39	90
02	82 067	Iauretê	0 37 N	69 12	122
03	82 098	Macapá	0 03 N	51 03	59
04	82 113	Barcelos	0 59	62 55	40
05	82 141	Soure	0 43	48 33	10
06	82 172	Óbidos	1 55	55 33	37
07	82 188	Brevês	1 40	50 29	16
08	82 191	Belém	1 27	48 22	5
09	82 212	Fonte Boa	2 33	66 10	56
10	82 240	Parintins	2 38	56 44	30
11	82 243	Tapérinha	2 25	54 42	20
12	82 263	Cametá	2 15	49 39	24
13	82 280	São Luis	2 32	44 17	51
14	82 317	Parnaibu	2 55	41 36	22
15	82 317	Tifé	3 22	64 41	47
16	82 331	Manaus	3 08	60 01	60
17	82 336	Itacoatiara	3 08	58 26	40
18	82 353	Altamira	3 12	52 12	74
19	82 361	Tucuruí	3 43	49 43	40
20	82 392	Sobral	3 42	40 21	83
21	82 397	Fortaleza	3 46	38 33	20
22	82 410	Benjamin Constante	4 23	70 02	65
23	82 425	Coari	4 05	63 08	46
24	82 445	Itaituba	4 16	55 35	45
25	82 533	Manicoré	5 49	61 18	49
26	82 562	Marabá	5 21	49 09	102
27	82 571	Barra do Corda	5 30	45 16	153
28	82 583	Crateús	5 11	40 40	300
29	82 586	Quixeramobim	5 12	39 18	212
30	82 590	Apodi	5 39	37 48	65
31	82 594	Macau	5 07	36 38	6
32	82 596	Natal	5 39	35 25	61
33	82 610	Eirunepê	6 41	69 56	104
34	82 669	São Felix do Xingu	6 38	51 58	150
35	82 678	Floriano	6 46	43 02	123
36	82 693	Cruzeta	6 26	36 39	227

º DE ORDEM	Nº SINÓTICO	E S T A Ç Ã O	LATITUDE (º) (S)	LONGITUDE (º) (W)	ELEVAÇÃO (Metros)
37	82 741	Alto Tapajós	7 20	57 30	140
38	82 765	Carolina	7 20	47 28	193
39	82 784	Barbalha	7 19	39 18	400
40	82 795	Campina Grande	7 13	35 53	560
41	82 798	João Pessoa	7 06	34 52	7
42	82 807	Taranacá	8 10	70 46	190
43	82 825	Porto Velho	8 46	63 55	95
44	82 861	Conceição do Araguaia	8 15	49 17	160
45	82 893	Garanhuns	8 53	36 31	823
46	82 900	Curado	8 04	34 52	8
47	82 915	Rio Branco	7 38	72 40	170
48	82 975	Bom Jesus	9 06	44 21	332
49	82 983	Petrolina	9 23	40 30	370
50	82 994	Maceió	9 40	35 42	45
51	83 064	Porto Nacional	10 31	48 43	250
52	83 096	Aracajú	10 55	37 03	7
53	83 097	Propriá	10 12	36 52	34
54	83 182	Irecê	11 18	41 52	747
55	83 186	Jacobina	11 12	40 28	488
56	83 190	Serrinha	11 39	38 58	359
57	83 195	Itabaianinha	10 55	37 16	12
58	83 229	Salvador	13 00	38 31	45
59	83 231	Paraná	12 33	47 51	265
60	83 236	Barreiras	12 09	45 00	439
61	83 242	Lençóis	12 34	41 23	439
62	83 244	Itaberaba	12 33	40 26	268
63	83 264	Gleba (Celeste)	12 12	56 30	415
64	83 288	Bom Jesus da Lapa	13 16	43 25	440
65	83 331	Cuiabá	15 33	56 07	179
66	83 337	Montes Claros	16 43	43 52	646
67	83 339	Caetité	14 03	42 28	883
68	83 344	Vitória da Conquista	14 57	40 53	1 042
69	83 348	Ilhéus	14 47	39 03	65
70	83 368	Aragarças	15 54	52 14	345
71	83 374	Goiás	15 55	50 08	495
72	83 377	Brasília	15 47	47 56	1 158
73	83 393	Pedra Azul	16 00	41 17	649

Nº DE ORDEM	Nº SINÓTICO	E S T A Ç Ã O	LATITUDE (S)		LONGITUDE (W)		ELEVAÇÃO (metros)
			(°)	(')	(°)	(')	
74	83 423	Goiânia	16	41	49	16	729
75	83 442	Aracajú	16	51	41	59	284
76	83 467	Minheiros	17	34	52	33	800
77	83 470	Rio Verde	17	55	50	55	727
78	83 483	Pirapora	17	21	44	57	505
79	83 492	Teófilo Otoni	17	51	41	31	356
80	83 498	Caravelas	17	44	39	15	3
81	83 512	Coxim	18	30	54	46	286
82	83 526	Catalão	18	11	47	57	857
83	83 531	Patos de Minas	18	36	46	31	896
84	83 543	Governador Valadares	18	51	41	56	277
85	83 552	Corumbá	19	05	57	39	130
86	83 574	Frutal	20	02	48	56	544
87	83 577	Uberaba	19	46	47	56	743
88	83 581	Florestal	19	52	44	25	749
89	83 589	C. do Mato Dentro	19	02	43	26	675
90	83 592	Caratinga	19	48	42	09	610
91	83 611	Campo Grande	20	27	54	37	600
92	83 618	Três Lagoas	20	47	51	42	313
93	83 630	Franca	20	33	47	26	996
94	83 637	Oliveira	20	41	44	49	966
95	83 642	Viçosa	20	45	42	51	690
96	83 648	Vitória	20	19	40	20	31
97	83 672	Araçatuba	21	12	50	26	398
98	83 687	Lavras	21	14	45	00	842
99	83 688	São João Del Rei	21	08	44	16	991
100	83 692	Juiz de Fora	21	46	43	21	940
101	83 695	Itaperuna	21	12	41	53	124
102	83 698	Campos	21	45	41	20	11
103	83 702	Ponta Porã	22	32	55	44	650
104	83 704	Invinhema	22	11	53	36	369
105	83 716	Presidente Prudente	22	07	51	23	436
106	83 719	Alcalis	22	59	42	02	7
107	83 722	Bauru	22	19	49	04	591
108	83 729	Campinas	22	54	47	05	669
109	83 736	São Lourenço	22	06	45	01	900

Nº DE ORDEM	Nº SINÓTICO	E S T A Ç Ã O	LATITUDE (S)		LONGITUDE (W)		ELEVAÇÃO (metros)
			(°)	(')	(°)	(')	
110	83 738	Resende	22	29	44	28	439
111	83 742	Vassouras	22	24	43	40	437
112	83 744	Teresópolis	22	27	42	56	874
113	83 766	Londrina	23	19	51	19	566
114	83 767	Maringá	23	25	51	57	560
115	83 769	Jacarezinho	23	09	49	58	471
116	83 784	Taubaté	23	01	45	34	586
117	83 775	Guaira	24	05	54	15	230
118	83 813	Castro	24	47	50	00	1 009
119	83 814	Jaguariaíva	24	15	49	42	923
120	83 821	Iguape	24	43	47	33	3
121	83 823	Santos	23	55	46	25	3
122	83 826	Foz do Iguaçu	25	33	54	34	154
123	83 834	Guarapuava	25	24	51	28	1 078
124	83 836	Irati	25	28	50	38	837
125	83 842	Curitiba	25	20	49	14	915
126	83 852	Ubatuba	23	26	45	06	6
127	83 864	Porto União	26	14	51	04	778
128	83 867	Rio Negro	26	06	49	48	824
129	83 874	São Francisco do Sul	26	15	48	39	72
130	83 887	Campos Novos	27	24	51	12	947
131	83 897	Florianópolis	27	36	48	38	2
132	83 907	São Luiz Gonzaga	28	24	55	01	260
133	83 912	Cruz Alta	28	38	53	36	473
134	83 914	Passo Fundo	28	15	52	24	667
135	83 919	Bom Jesus do Triunfo	28	40	50	24	1 048
136	83 927	Uruguaiana	29	45	57	05	62
137	83 936	Santa Maria	29	42	53	42	95
138	83 942	Caxias do Sul	29	10	51	12	787
139	83 948	Torres	29	21	49	50	36
140	83 953	Santana do Livramento	30	53	55	31	231
141	83 967	Porto Alegre	30	01	51	13	47
142	83 995	Rio Grande	32	01	52	05	2
143	83 997	Santa Vitória do Palmar	33	31	63	21	24
144	83 980	Bagé	31	20	54	06	216



Figura 2. Localização das Estações Agroclimatológicas.
 - Os números são os mesmos da Tabela 1.

TABELA 2. ESTAÇÕES DE RADIOSSONDAGENS UTILIZADAS

Nº DE ORDEM	Nº SINÓTICO	EST A Ç Ã O	Nº de SONDAGENS	LATITUDE (S) (° ')		LONGITUDE (W) (° ')		ELEVAÇÃO (metros)
01	82 191	Belém	25	1	27	48	28	5
02	82 280	São Luis ←	129	2	32	44	17	51
03	82 331	Manaus	170	3	08	60	01	65
04	82 397	Fortaleza ←	46	3	46	38	36	26
05	82 400	Fernando de Noronha ←	129	3	51	32	25	45
06	82 596	Barreira do Inferno ←	220	5	39	35	15	49
07	82 678	Florianópolis ←	150	6	46	43	01	123
08	82 765	Carolina	45	7	20	47	28	193
09	82 900	Recife ←	181	8	03	34	55	7
10	82 983	Petrolina ←	120	9	23	40	29	370
11	83 229	Salvador	102	13	00	38	31	45
12	83 288	B. Jesus da Lapa	30	13	16	43	25	440
13	83 377	Brasília	240	15	47	47	56	1 158
14	83 498	Caravelas	27	17	44	39	15	3
15	83 611	Campo Grande	175	20	27	54	37	600
16	83 650	Trindade	70	20	30	29	10	
17	83 781	São Paulo	185	23	30	46	37	795
18	83 842	Curitiba	232	25	20	49	14	930
19	83 967	Porto Alegre	240	30	01	51	13	56



Figura 3. Localização das Estações de Radiossondagens Utilizados.

- Os números são os mesmos da Tabela 2.

3.3. Escolha do Período em Estudo

Procurou-se selecionar um par de anos, entre 1975 e 1980, com características diferentes em termos de precipitação para serem estudados nos meses típicos das quatro estações do ano.

Embora a diversidade climática do Território Brasileiro e as irregularidades nas operações das estações de altitudes tenha dificultado a escolha do período, procurou-se verificar bem a questão de disponibilidade de dados.

Um resumo de literaturas recentes mostraram que os anos de 1976 e 1977 são típicos para esse tipo de estudo.

3.4. Metodologia seguida no cálculo da Água Precipitável (W_p) e do Fluxo de Vapor D'água (\vec{Q}).

Os valores da água precipitável (W_p) e do fluxo de vapor d'água (\vec{Q}) foram computados a partir de dados obtidos por sondagens diárias do ar superior durante os meses de janeiro, abril, julho e outubro dos anos de 1976 e 1977, para as estações mencionadas na Tabela 2, nos níveis isobáricos padrões da superfície, 850, 700, 500 e 300 mb.

Se q é a umidade específica da atmosfera, Z a altura, p a pressão e ρ a densidade; a água precipitável é dada por:

$$W_p = \int q \rho \, dZ \quad (1)$$

Segundo Crisi (1964) podemos introduzir a equação hidrostática ($dP = -\rho g dZ$), porque a atmosfera na maioria das vezes, está em um estado de equilíbrio hidrostático ou muito próximo dele; é uma suposição válida e certamente pode ser usada

com erro extremamente pequeno em um estudo como este. A partir dela, a altura Z , pode ser substituída pela pressão p , como coordenada vertical nas integrais usadas. Desta forma a equação (1) pode ser escrita da seguinte forma:

$$W_p = \frac{1}{g} \int_P^{P_{sup}} q \, dp \quad (2)$$

onde g é a aceleração da gravidade. P_{sup} é a pressão atmosférica a superfície da Terra e P é a pressão no topo da atmosfera.

Se a pressão (p) é expressa em milibares ($1 \text{ mb} = 10^3$ dinas/cm²), q em (g/kg) e g aproximadamente igual a 10 m/s^2 , sendo o erro cometido muito pequeno para o cálculo do vapor d'água atmosférico, segundo Ananthakrishnan et alii (1965). Assim, podemos escrever:

$$W_p = 10^{-3} \int_{P_0}^{P_{sup}} q \, dp \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}] \quad (3)$$

As componentes dos fluxos zonal (Q_λ) e meridional (Q_ϕ) integrados verticalmente, será portanto, definidas pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$Q_\lambda = \frac{1}{g} \int q \, u \, dp \quad \text{e} \quad Q_\phi = \frac{1}{g} \int q \, v \, dp \quad \dots$$

$$Q_\lambda = 10^{-1} \int_P^{P_{sup}} q \, u \, dp \quad [\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{s})^{-1}] \quad (4)$$

e

$$Q_\phi = 10^{-1} \int_P^{P_{sup}} q \, v \, dp \quad [\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{s})^{-1}] \quad (5)$$

onde u = componente zonal do vento (m/s)

v = componente meridional do vento (m/s)

Já que a variação da umidade específica não é linear

tal (Sup/300 mb) em camadas intermediárias, reduziria de modo bem significativo o erro cometido. Como a umidade específica (q) no nível de 300 mb é praticamente nula, desprezou-se a camada acima desse nível. Desta forma, a equação (3), pode ser escrita como:

$$W_{P \text{ sup. } 300} = 10^3 \left(\int_{850}^{\text{sup}} \bar{q} \, dp + \int_{700}^{850} \bar{q} \, dp + \int_{500}^{700} \bar{q} \, dp + \int_{300}^{500} \bar{q} \, dp \right) \quad (3 \text{ a})$$

Para fins de cálculo prático, a equação (3 a) pode ser transformada em:

$$W_{P \text{ sup. } 300} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{\text{sup. } 850} \Delta P_1 + \bar{q}_{850, 700} \Delta P_2 + \bar{q}_{700, 500} \Delta P_3 + \bar{q}_{500, 300} \Delta P_4 \right) \quad \dots$$

$$W_{P \text{ sup. } 300} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{\text{sup. } 850} \cdot 150 + \bar{q}_{850, 700} \cdot 150 + \bar{q}_{700, 500} \cdot 200 + \bar{q}_{500, 300} \cdot 200 \right) \quad \dots$$

$$W_{P \text{ sup. } 300} = 5 \cdot 10^2 \left(3\bar{q}_{\text{sup. } 850} + 3\bar{q}_{850, 700} + 4\bar{q}_{700, 500} + 4\bar{q}_{500, 300} \right) \quad (3 \text{ b})$$

onde \bar{q} é a umidade específica média mensal entre dois níveis padrões da atmosfera.

Para as estações de radiossondagens situadas ao nível de 950 mb e 900 mb, os cálculos de água precipitável foram determinados utilizando-se as equações (3 c) e (3 d), respectivamente:

$$W_{P \text{ 950, } 300} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{950, 850} \cdot \Delta P_1 + \bar{q}_{850, 700} \cdot \Delta P_2 + \bar{q}_{700, 500} \cdot \Delta P_3 + \bar{q}_{500, 300} \cdot \Delta P_4 \right) \quad \dots$$

$$W_{P_{950,300}} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{950,850} \cdot 100 + \bar{q}_{850,700} \cdot 150 + \bar{q}_{700,500} \cdot 200 + \bar{q}_{500,300} \cdot 200 \right) \dots$$

$$W_{P_{950,300}} = 5 \cdot 10^{-2} \left(2 \bar{q}_{950,850} + 3 \bar{q}_{850,700} + 4 \bar{q}_{700,500} + 4 \bar{q}_{500,300} \right) \quad (3 \text{ c})$$

$$W_{P_{900,300}} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{900,850} \cdot \Delta P_1 + \bar{q}_{850,700} \cdot \Delta P_2 + \bar{q}_{700,500} \cdot \Delta P_3 + \bar{q}_{500,300} \cdot \Delta P_4 \right) \dots$$

$$W_{P_{900,300}} = 10^{-3} \left(\bar{q}_{900,850} \cdot 50 + \bar{q}_{850,700} \cdot 150 + \bar{q}_{700,500} \cdot 200 + \bar{q}_{500,300} \cdot 200 \right) \dots$$

$$W_{P_{900,300}} = 5 \cdot 10^{-2} \left(\bar{q}_{900,850} + 3 \bar{q}_{850,700} + 4 \bar{q}_{700,500} + 4 \bar{q}_{500,300} \right) \quad (3d)$$

Utilizando o mesmo artifício, usado para o cálculo da água precipitável, as equações (4) e (5) passam a serem escritas como as equações (4 a) e (5 a), respectivamente:

$$Q_{\lambda} = 10^{-1} \left(\int_{850}^{\text{sup}} \bar{q} \bar{u} \, d p + \int_{700}^{850} \bar{q} \bar{u} \, d p + \int_{500}^{700} \bar{q} \bar{u} \, d p + \int_{300}^{500} \bar{q} \bar{u} \, d p \right) \quad (4 \text{ a})$$

$$\text{e} \quad Q_{\phi} = 10^{-1} \left(\int_{850}^{\text{sup}} \bar{q} \bar{v} \, d p + \int_{700}^{850} \bar{q} \bar{v} \, d p + \int_{500}^{700} \bar{q} \bar{v} \, d p + \int_{300}^{500} \bar{q} \bar{v} \, d p \right) \quad (5 \text{ a})$$

onde $\bar{q} \bar{u}$ = transporte médio zonal mensal entre dois níveis padrões da atmosfera.

$\bar{q} \bar{v}$ = transporte médio meridional mensal entre dois níveis padrões da atmosfera.

Para fins de cálculo prático, também utilizando os mes

mesmos artifícios para a água precipitável, temos:

$$Q_{\lambda \text{ sup. } 300} = 5 \cdot (\overline{q u}_{\text{sup}, 850} + \overline{q u}_{850, 700} + \overline{q u}_{700, 500} + \overline{q u}_{500, 300}) \quad (4 \text{ b})$$

e

$$Q_{\phi \text{ sup. } 300} = 5 \cdot (\overline{q v}_{\text{sup}, 850} + \overline{q v}_{850, 700} + \overline{q v}_{700, 500} + \overline{q v}_{500, 300}) \quad (5 \text{ b})$$

Para as estações situadas nos níveis de 950 e 900 mb, temos:

$$Q_{\lambda \text{ 950}, 300} = 5 \cdot (\overline{q u}_{950, 850} + \overline{q u}_{850, 700} + \overline{q u}_{700, 500} + \overline{q u}_{500, 300}) \quad (4 \text{ c})$$

$$Q_{\phi \text{ 950}, 300} = 5 \cdot (\overline{q v}_{950, 850} + \overline{q v}_{850, 700} + \overline{q v}_{700, 500} + \overline{q v}_{500, 300}) \quad (5 \text{ c})$$

$$Q_{\lambda \text{ 900}, 300} = 5 \cdot (\overline{q u}_{900, 850} + \overline{q u}_{850, 700} + \overline{q u}_{700, 500} + \overline{q u}_{500, 300}) \quad (4 \text{ d})$$

$$Q_{\phi \text{ 900}, 300} = 5 \cdot (\overline{q v}_{900, 850} + \overline{q v}_{850, 700} + \overline{q v}_{700, 500} + \overline{q v}_{500, 300}) \quad (5 \text{ d})$$

O fluxo total de vapor d'água integrado verticalmente (\vec{Q}), em um ponto sobre a superfície da Terra, pode ser definido por um campo vetorial bidimensional e em coordenadas esférico-polares por:

$$\vec{Q} = Q_{\lambda} \vec{i}_{\lambda} + Q_{\phi} \vec{i}_{\phi} \quad (6)$$

onde os vetores unitários \vec{i}_{λ} e \vec{i}_{ϕ} são dirigidos positivamente para Leste e Norte, respectivamente.

Como enfatiza Marques (1978), a importância da medida do conteúdo de umidade na atmosfera, definida pela água precipitável (Wp), está em poder utilizá-la para estudos hidrológicos, previsão do tempo e pesquisas meteorológicas, bem como em estudos de atenuação da radiação solar pelo vapor d'água atmosférico.

3.5. Metodologia seguida no cálculo da Divergência Mensal ($\nabla \cdot \vec{Q}^b$).

O transporte horizontal da água nas fases sólidas e líquidas na atmosfera, a evaporação e condensação nas partículas, que constituem as nuvens, são desprezáveis, quando comparados respectivamente com o transporte na fase vapor, evaporação (E) e a precipitação (P) à superfície. Logo, podemos adotar, sem erro apreciável, para os valores das grandezas E e P os que se observam à superfície. Assim, segundo Peixoto (1973) podemos utilizar no cálculo da divergência mensal, a seguinte relação:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = E - P \quad (7)$$

Esta equação (7) indicará divergência do fluxo de vapor d'água, em uma dada região da atmosfera, quando houver excesso da evaporação (E) sobre a precipitação (P), existindo aí uma fonte de vapor d'água; e indicará convergência do fluxo de vapor d'água, em uma dada região, quando houver excesso da precipitação (P) sobre a evaporação (E), existindo aí um sumidouro de vapor d'água.

Nestas condições a equação de balanço da componente de água na atmosfera, segundo Godske et alii (1957), pode escrever-se sob a forma:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = \frac{1}{a \cos \phi} \left[\frac{dQ_\lambda}{d\lambda} + \frac{d}{d\phi} (Q_\phi \cos \phi) \right] \quad (8)$$

onde, a = raio médio da Terra (≈ 6370 km)

O "continuum" bidimensional (λ, ϕ) foi substituído pelo "discretum" (λ_j, ϕ_j), sendo j um número inteiro que varia de 0 a 20 para a longitude, λ , e de 0 a 16 para a latitude, ϕ .

O cálculo numérico da divergência, no ponto (λ_k, ϕ_k), fez-se a partir dos valores dos fluxos médios zonal total Q_λ e meridional total Q_ϕ , lidos nos vértices da malha ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$), Figura 4, que define o "discretum". Empregando diferenças cen-

tradas é assim conduzido à expressão:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = \frac{1}{a \cos \phi_k} \left[\frac{dQ \lambda_k}{d\lambda_k} + \frac{d(Q\phi_k \cos \phi_k)}{d\phi_k} \right] \quad (9)$$

$$\therefore \nabla \cdot \vec{Q} = \frac{1}{a \cos \phi_k} \frac{(180)}{\pi} \left[\frac{R_1 - R_2}{2,5\phi} + \frac{R_3 \cos \phi_{k+1} - R_4 \cos \phi_{k-1}}{2,5\phi} \right] \quad (10)$$

onde:

$$R_1 = \frac{1}{2} \left[(\bar{Q} \lambda)_{k+1, j+1} + (\bar{Q} \lambda)_{k-1, j+1} \right]$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \left[(\bar{Q} \lambda)_{k+1, j-1} + (\bar{Q} \lambda)_{k-1, j-1} \right]$$

$$R_3 = \frac{1}{2} \left[(\bar{Q} \phi)_{k+1, j+1} + (\bar{Q} \phi)_{k+1, j-1} \right]$$

$$R_4 = \frac{1}{2} \left[(\bar{Q} \phi)_{k-1, j+1} + (\bar{Q} \phi)_{k-1, j-1} \right]$$

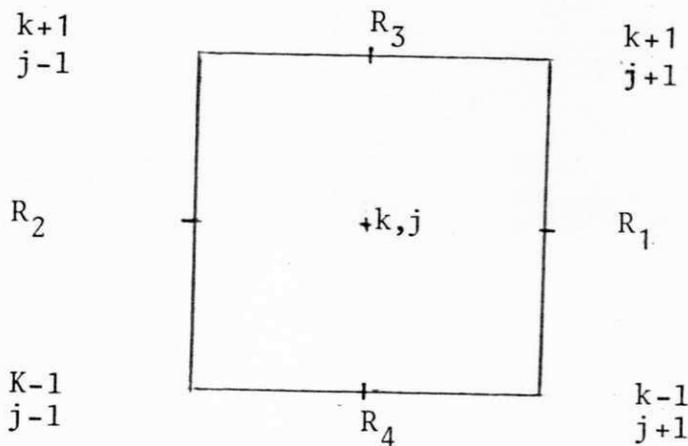


Figura 4. Esquema para o cálculo da $(\nabla \cdot \vec{Q})_{k,j}$

A expressão reduzida da equação (10) pode ser:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = C \left[\frac{R_1 - R_2 + R_3 \cos \phi_{k+1} - R_4 \cos \phi_{k-1}}{\cos \phi_k} \right] \quad (11)$$

onde: $C = \frac{180}{2,5\pi a} = 3,6 \times 10^{-9} \text{ mm}^{-1}$

e R em $\left[\frac{\text{g de vapor}}{\text{cm.s}} \right] = \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm} \cdot (1/2592 \cdot 10^3) \text{ m\~{e}s}} \right] =$
 $2592 \cdot 10^5 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}^2}$

logo, a expressão (11) terá por unidade:

$$[3,6 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^{-1} \cdot 2592 \cdot 10^5 \text{ mm}^2 \cdot \text{mês}^{-1}] =$$

$$[0,932 \text{ mm} \cdot \text{mês}^{-1}],$$

e sua forma reduzida, quando se utiliza o fluxo em $\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{s})^{-1}$,
será:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = 0,932 \frac{[R_1 - R_2 + R_3 \cos \phi_{k+1} - R_4 \cos \phi_{k-1}]}{\cos \phi_k} \text{ em } [\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}] \quad (12)$$

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. A Precipitação (P)

A análise das cartas do total mensal de precipitação, Figuras 5 a 12, mostram as seguintes variações:

No mês de janeiro de 1976, Figura 5, as precipitações estiveram elevadas em quase toda a região Norte, registrando-se porém, valores inferiores à 50mm no Território de Roraima. Para a região Nordeste, estiveram inferiores à 50 mm, com exceção dos Estados do Maranhão, Piauí e Oeste do Estado da Bahia. Na região Centro-Oeste, estiveram em torno 100 e 200 mm, porém no Estado do Mato Grosso foram registrados valores inferiores à 50 mm. Na região Sudeste, estiveram baixas ao Norte, crescendo ao Sul e a Leste. E estiveram em torno de 100 e 200 mm, para a região Sul.

No mês de abril de 1976, Figura 6, as precipitações estiveram elevadas em quase toda a região Norte, registrando-se ao Norte, valores superiores à 400 mm. Para a região Nordeste, estiveram elevadas, porém, em quase todo o Estado da Bahia e Sul do Estado do Piauí os valores registrados foram inferiores à 50 mm. Na região Centro-Oeste, estiveram em torno de 50 e 100 mm. Para as regiões Sudeste e Sul, foram baixas, com exceção do Estado de São Paulo.

No mês de julho de 1976, Figura 7, as precipitações estiveram elevadas ao Norte da região Norte e foram de crescendo em direção ao Sul da região, onde registrou-se valores inferiores à 25 mm. Nas outras regiões as precipita-

de precipitações inferiores à 25 mm, com exceção de parte do litoral Leste e de grande parte da região Sul.

No mês de outubro de 1976, Figura 8, as precipitações estiveram em quase toda a região Norte, apresentando porém, precipitação abaixo de 25 mm ao Norte do Estado do Pará e em todo o Território do Amapá. Para a região Nordeste, foram registrados ao Norte da região valores inferiores à 25 mm, crescendo em direção ao litoral Leste e ao Sul da região. Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul as precipitações estiveram em torno de 100 e 200 mm, sendo que valores inferiores à 50 mm foram registrados à Leste do Estado do Rio Grande do Sul.

No mês de janeiro de 1977, Figura 9, as precipitações também estiveram elevadas em quase toda a região Norte, registrando-se porém valores inferiores à 25 mm no Território de Roraima. Para a região Nordeste foram registrados valores superiores à 300 mm nos Estados do Maranhão e Piauí, e valores inferiores à 50mm no litoral do Estado de Alagoas. As precipitações estiveram elevadas em todas as regiões Centro-Oeste e Sudeste. Na região Sul, estiveram em torno de 100 e 200 mm.

No mês de abril de 1977, Figura 10, as precipitações estiveram elevadas em quase todas as regiões Norte e Nordeste. Na região Centro-Oeste, estiveram em torno de 50 e 100 mm. A maior parte da região Sudeste acha-se em torno de 200 e 300 mm. Na região Sul, as precipitações, estiveram baixas em quase toda a região.

No mês de julho de 1977, Figura 11, as precipitações foram elevadas ao Norte e decrescendo em direção ao Sul da região Norte. Nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste as precipitações estiveram baixas, com exceção de parte do litoral Leste da região Nordeste. As precipitações se intensificaram bastante para a região

Sul, onde foram registrados valores superiores à 500 mm ao Sul da região.

No mês de outubro de 1977, Figura 12, as precipitações estiveram elevadas em quase toda a região Norte, apresentando porém, valores abaixo de 25 mm no Estado do Pará. Estiveram baixas em toda a parte Norte da região Nordeste, chegando a não ocorrer precipitação em várias localidades, as precipitações foram aumentando em direção ao Sul e Leste da região. Grande parte da região Centro-Oeste tiveram seus valores em torno de 100 e 200 mm, porém no Estado do Mato Grosso do Sul foram registrados valores inferiores à 50 mm. Na região Sudeste, foram baixas ao Norte e aumentando em direção ao Sul e a Leste da região. Na região Sul, os valores estiveram em torno de 100 e 200 mm, porém valores inferiores a estes foram registrados a Oeste do Estado do Rio Grande do Sul e a Norte do Estado de São Paulo.

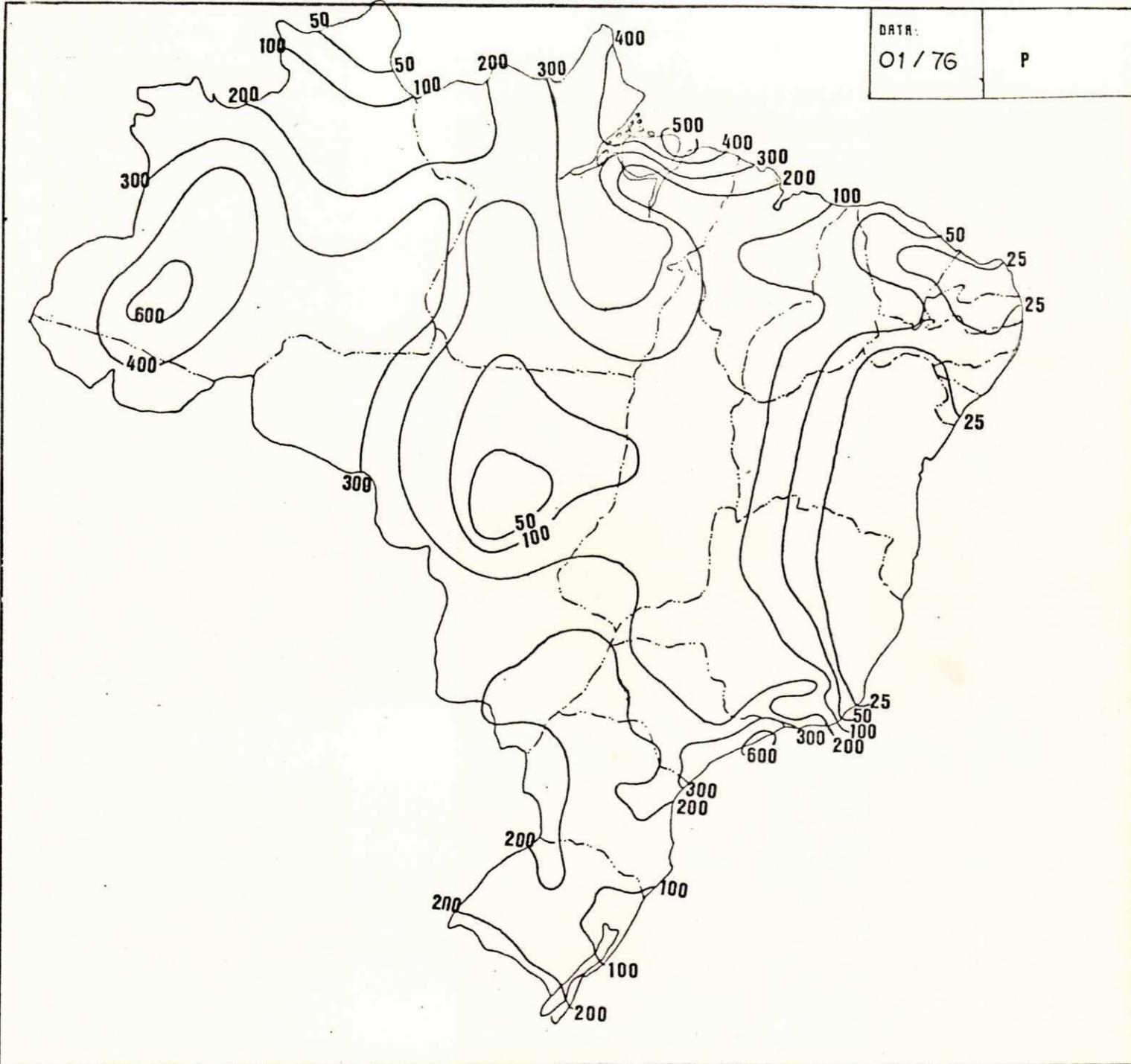


Figura 5. Carta do Total de Precipitação do mês de JANEIRO de 1976.

- Em [mm].

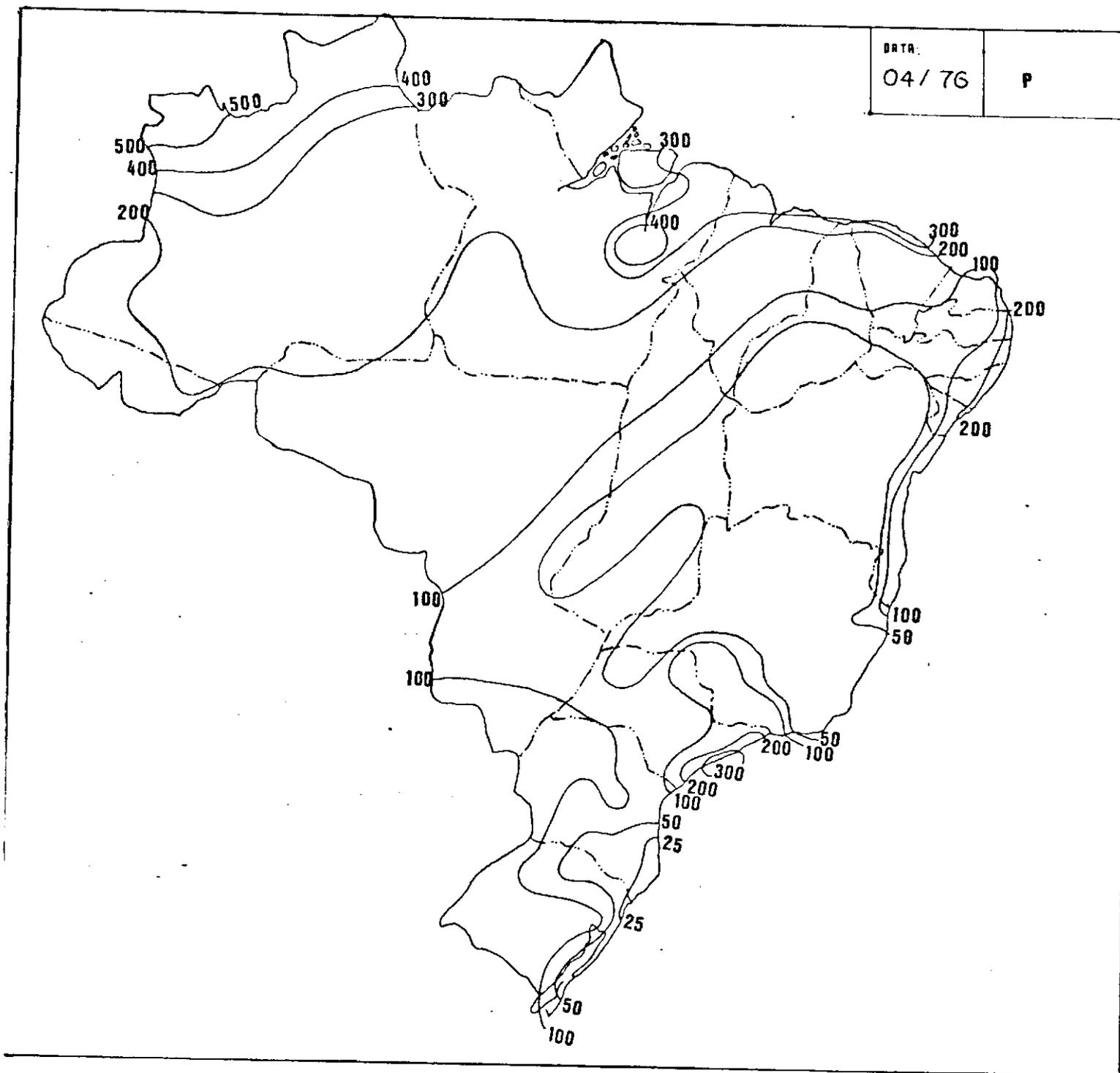


Figura 6. Carta do Total de Precipitação do mês de ABRIL de 1976.

- Em [mm].

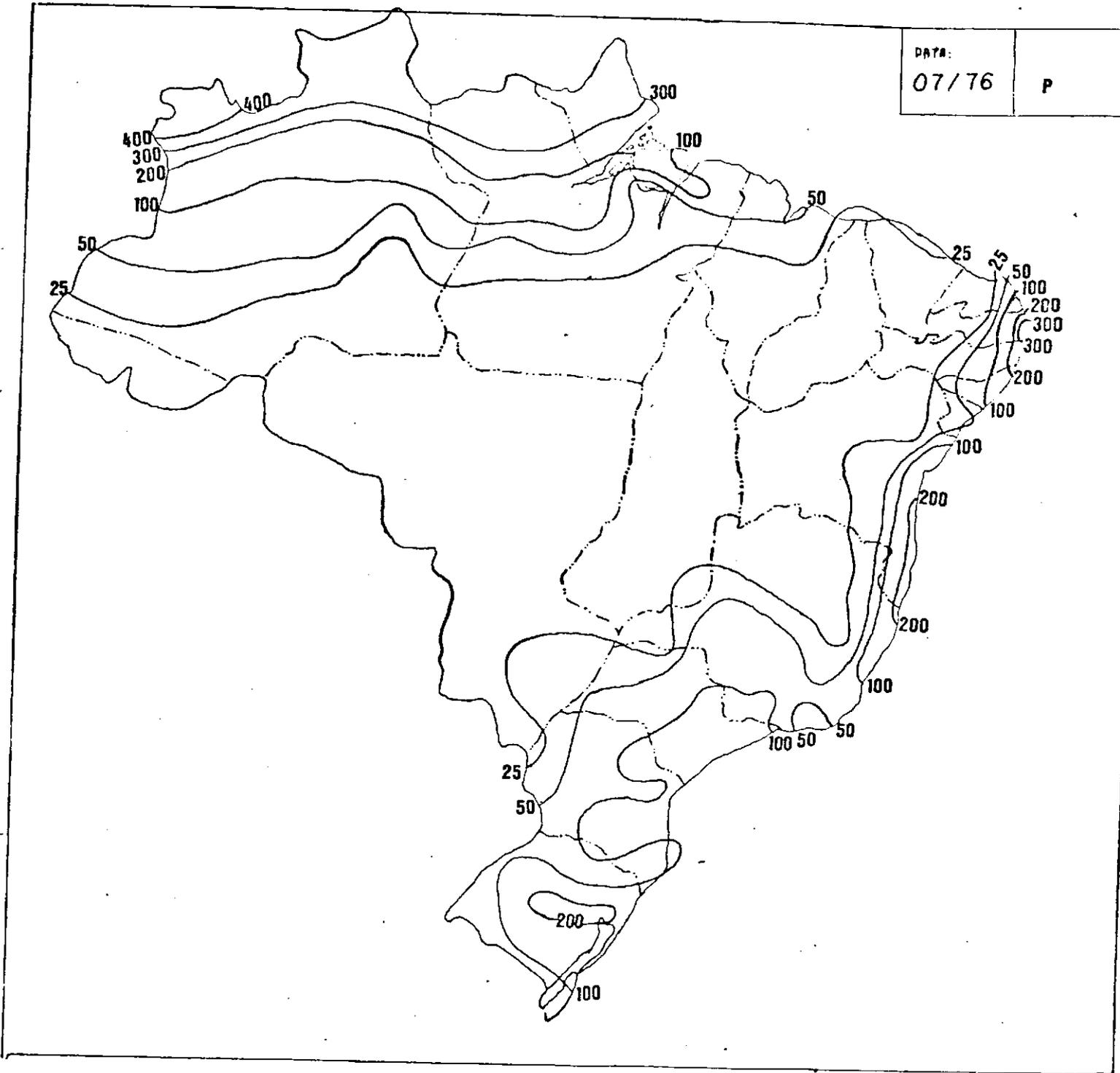


Figura 7. Carta do Total de Precipitação do mês de JULHO de 1976.
- Em [mm].

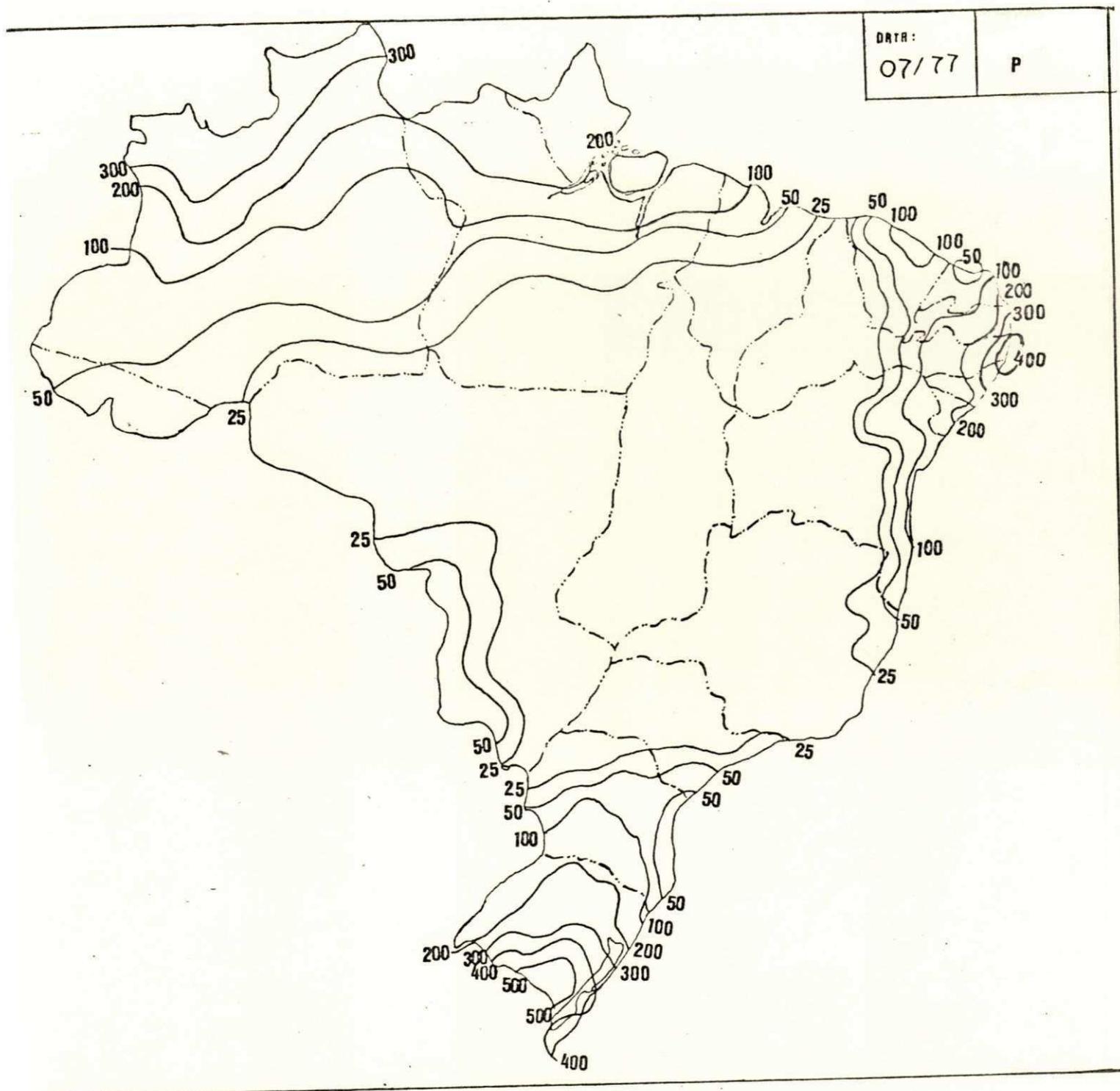


Figura 11. Carta do Total de Precipitação do mês de JULHO de 1977.
- Em [mm].

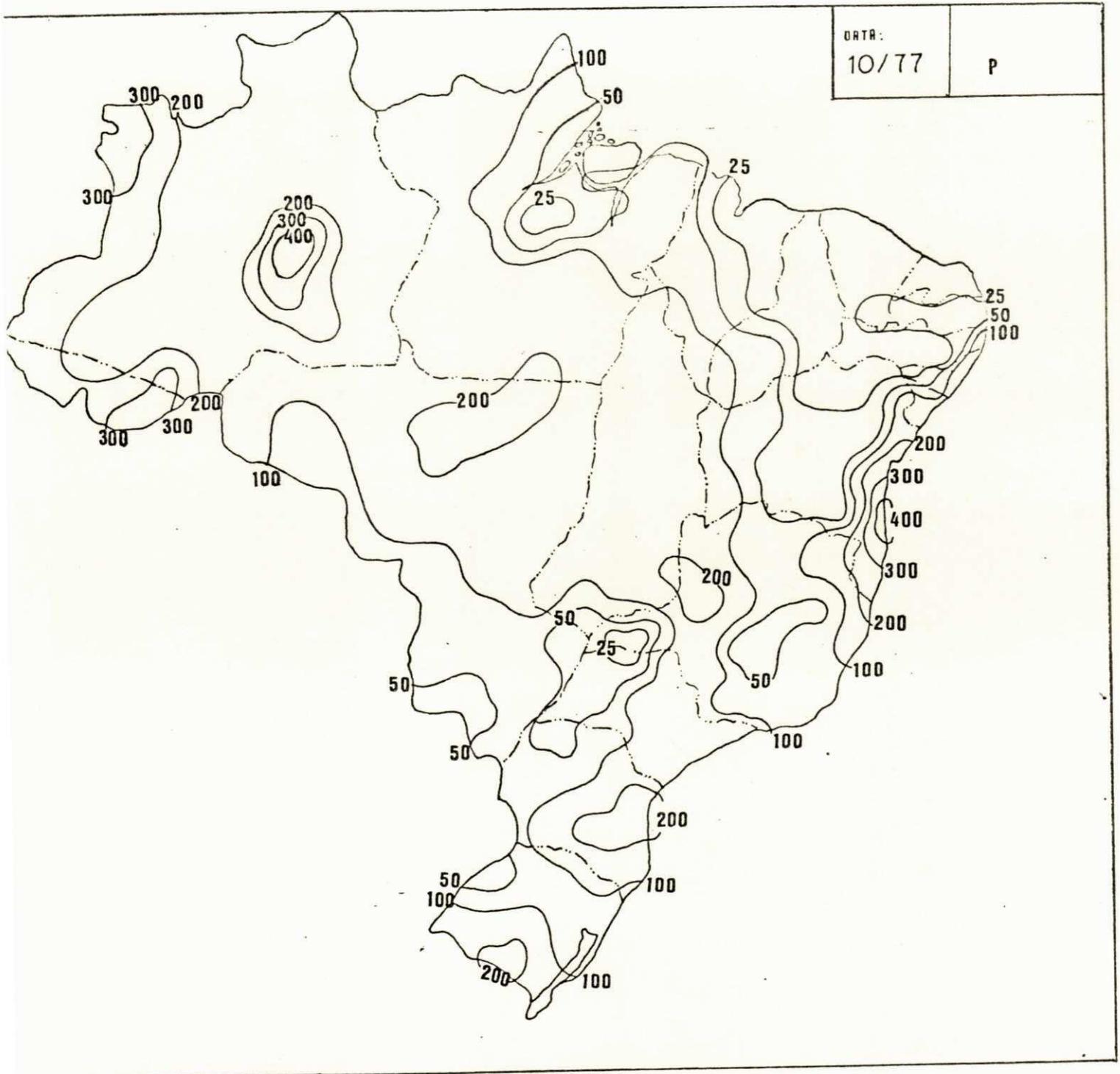


Figura 12. Carta do Total de Precipitação do mês de OUTUBRO de 1977.

- Em [mm].

4.2. O Desvio da Precipitação em Relação à Normal (Dp).

A análise das cartas do desvio da Precipitação em relação à Normal de precipitação (baseada em valores médios de mais de 30 anos de observações), Figuras 13 a 20, mostram as seguintes variações.

No mês de janeiro de 1976, Figura 13, os totais pluviométricos estiveram acima da Normal em quase todo o Estado do Amazonas, Nordeste do Estado do Pará e em todo o Estado do Acre. Na região Nordeste, estiveram abaixo da Normal em quase toda a região, excetuando uma pequena faixa do Estado do Maranhão. Estiveram abaixo da Normal em toda a região Centro-Oeste. Estiveram acima da Normal em quase todo o Estado de São Paulo, no restante da região Sudeste estiveram abaixo da Normal. Na região Sul, estiveram abaixo da Normal em quase todo o Estado do Paraná, litoral do Estado de Santa Catarina e parte do litoral do Estado do Rio Grande do Sul.

No mês de abril de 1976, Figura 14, os totais pluviométricos estiveram acima da Normal em quase todo o Estado do Amazonas, todos os Estados do Acre e Rondônia, todo o Território de Roraima e Noroeste do Estado do Pará. Estiveram abaixo da Normal em quase toda a região Nordeste, com exceção de parte do litoral do Estado do Ceará, litoral do Estado da Paraíba e uma faixa que abrange quase todos os Estados de Alagoas e Sergipe. Estiveram abaixo da Normal em quase toda a região Centro-Oeste, excetuando toda a parte Oeste da região e Sul do Estado de Goiás. Na região

Sudeste, estiveram abaixo da Normal, com exceção do Sul do Estado de Minas Gerais e quase todo o Estado de São Paulo. Estiveram abaixo da Normal em quase toda a região Sul, com exceção de grande parte do Estado do Paraná.

No mês de julho de 1976, Figura 15, os totais pluviométricos estiveram abaixo da Normal em quase toda a região Norte, excetuando toda a parte Norte da região. Estiveram abaixo da Normal em quase toda a região Nordeste, com exceção do Sul do Estado da Bahia e parte do litoral e interior dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Ceará. Foram bastante inferiores a Normal em quase toda a região Centro-Oeste, com exceção do Leste e centro do Estado do Mato Grosso do Sul. Na região Sudeste, estiveram bem acima da Normal em quase toda a região. Estiveram abaixo da Normal apenas ao Sul e Oeste da região Sul.

No mês de outubro de 1976, Figura 16, na região Norte, os totais pluviométricos estiveram acima da Normal em todo o Estado do Acre, quase todos os Estados do Amazonas e Rondônia e a Leste do Estado do Pará. Nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste estiveram quase sempre acima da Normal. Estiveram abaixo da Normal em grande parte da região Sul, com exceção do Sul do Estado do Rio Grande do Sul, uma pequena faixa a Oeste dos Estados do Paraná, Santa Catarina e ao Norte do Estado do Rio Grande do Sul e outra ao Norte e centro dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

No mês de janeiro de 1977, Figura 17, na região Norte os totais pluviométricos estiveram acima da Normal em quase todo

da Normal em quase toda a região Centro-Oeste, com exceção do Sul do Estado de Goiás e de todo o Estado do Mato Grosso do Sul. Na região Sudeste, estiveram acima da Normal em grande parte dos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Estiveram abaixo da Normal em quase toda a parte Leste da região Sul e uma pequena faixa ao Norte do Estado do Paraná.

No mês de abril de 1977, Figura 18, os totais pluviométricos estiveram abaixo da Normal em grande parte da região Norte. Estiveram acima da Normal em grande parte da região Nordeste, excetuando apenas uma faixa do litoral do Estado do Rio Grande do Norte ao litoral do Estado de Alagoas, e outra pequena faixa no litoral e interior do Estado da Bahia. Na região Centro-Oeste estiveram abaixo da Normal em toda a parte Oeste, grande parte do Estado do Mato Grosso do Sul e parte do Estado de Goiás. Estiveram acima da Normal em quase toda a região Sudeste. Na região Sul, estiveram acima da Normal apenas em parte dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná.

No mês de julho de 1977, Figura 19, os totais pluviométricos estiveram abaixo da Normal na parte central do Estado do Amazonas, e em todo o Norte da região Norte. Todos os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, grande parte dos Estados do Piauí, Paraíba e Alagoas estiveram acima da Normal, no restante da região Nordeste estiveram abaixo da Normal. Na região Centro-Oeste, estiveram abaixo da Normal em todo o Estado de Goiás, grande parte do Estado do Mato Grosso do Sul e Leste do Estado do Mato Grosso. Em quase toda a região Sudeste, estiveram abaixo da Normal. E estiveram acima da Normal em quase todo o Estado do Rio Grande do Sul e a Oeste da região Sul.

tricos estiveram acima da Normal em quase todos os Estados do Amazonas e Pará, Território de Roraima e a Oeste do Território do Amapá, no restante da região Norte estiveram abaixo da Normal. Estiveram acima da Normal a Oeste do Estado do Maranhão, Sudoeste dos Estados do Piauí e da Bahia, interior e litoral Leste da região Nordeste. Apresentaram valores abaixo da Normal em quase toda a região Centro-Oeste, excetuando uma pequena área no Estado do Mato Grosso do Sul, e ao Norte e Leste do Estado de Goiás. Na região Sudeste, estiveram acima da Normal em quase todo o Estado do Espírito Santo, Norte do Estado de Minas Gerais e grande parte do Estado de São Paulo. Na região Sul, estiveram acima da Normal no litoral e interior dos Estados de Santa Catarina e Paraná, e uma pequena faixa ao Sul do Estado do Rio Grande do Sul.

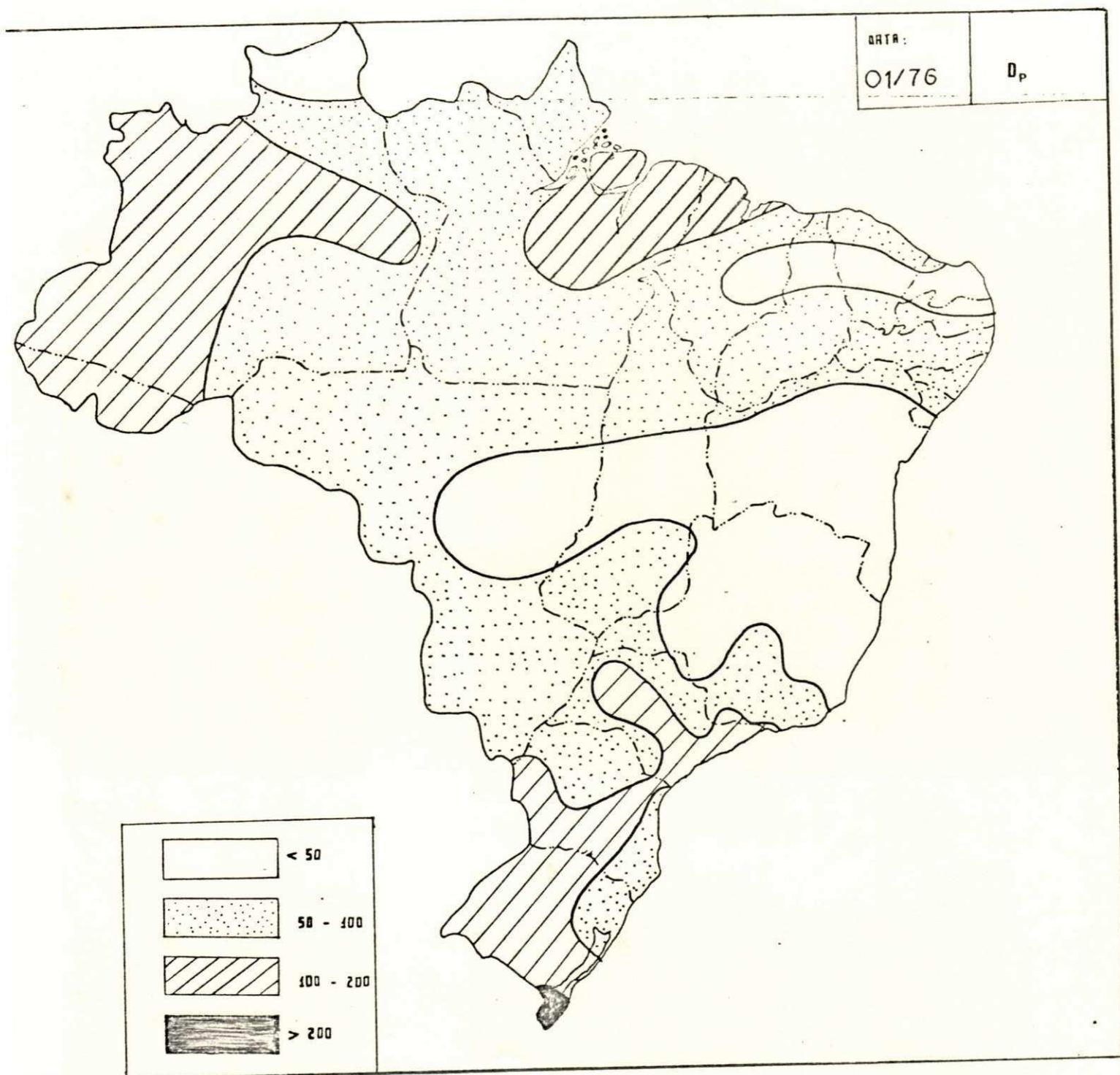


Figura 13. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no
mês de JANEIRO de 1976.

- Em [mm].

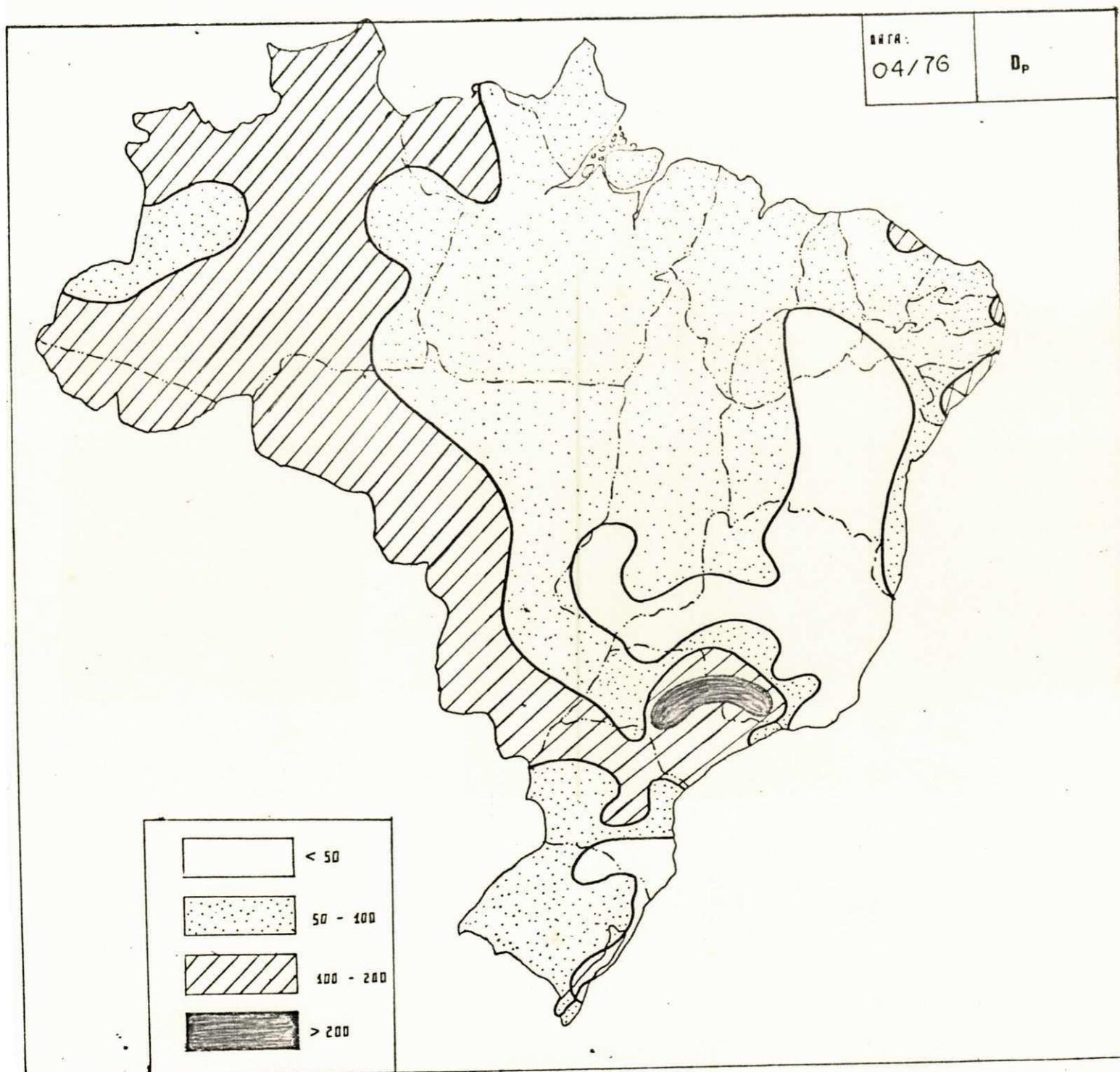


Figura 14. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de ABRIL de 1976.

- Em [mm].

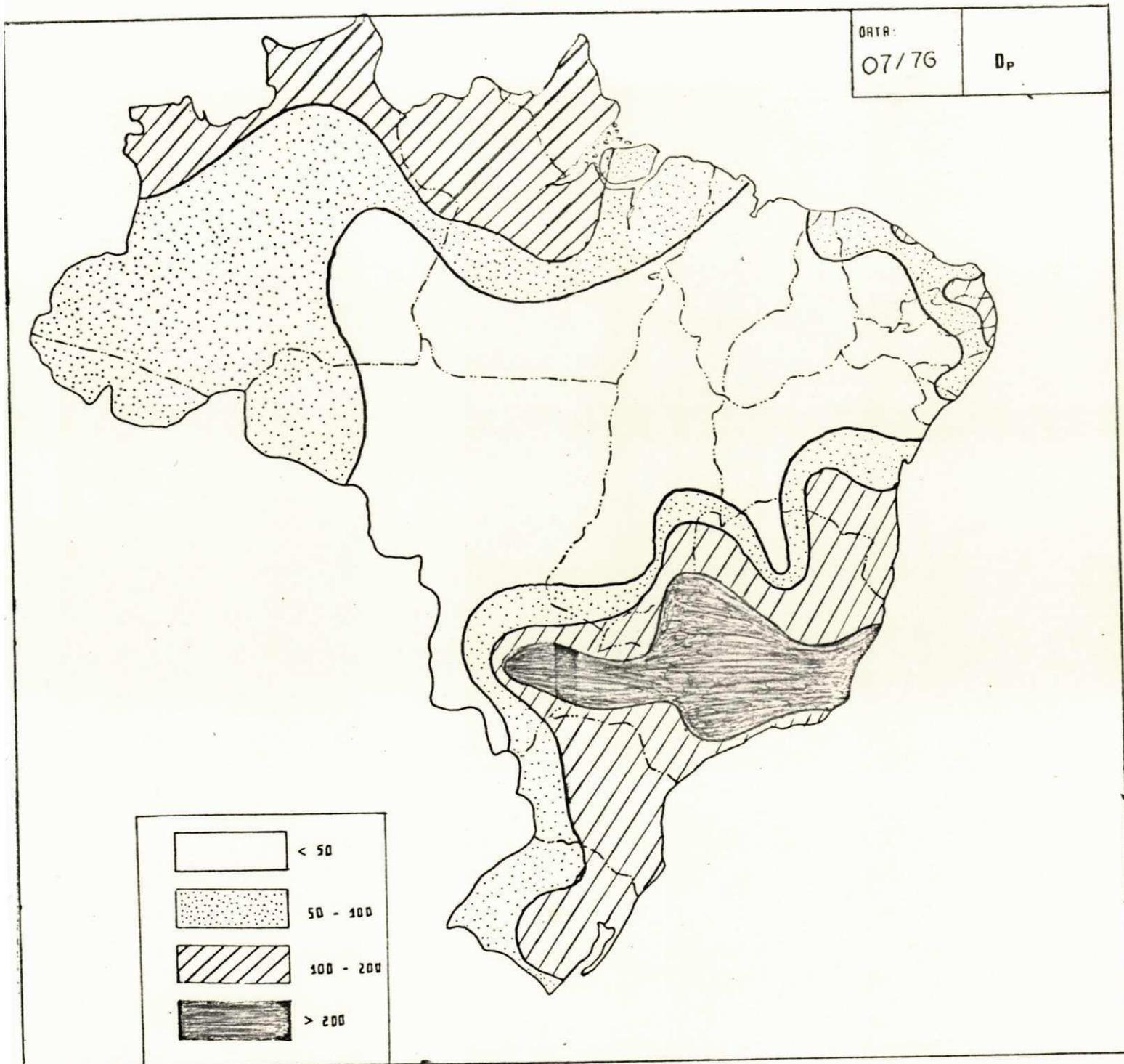


Figura 15. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de JULHO de 1976.
- Em [mm].

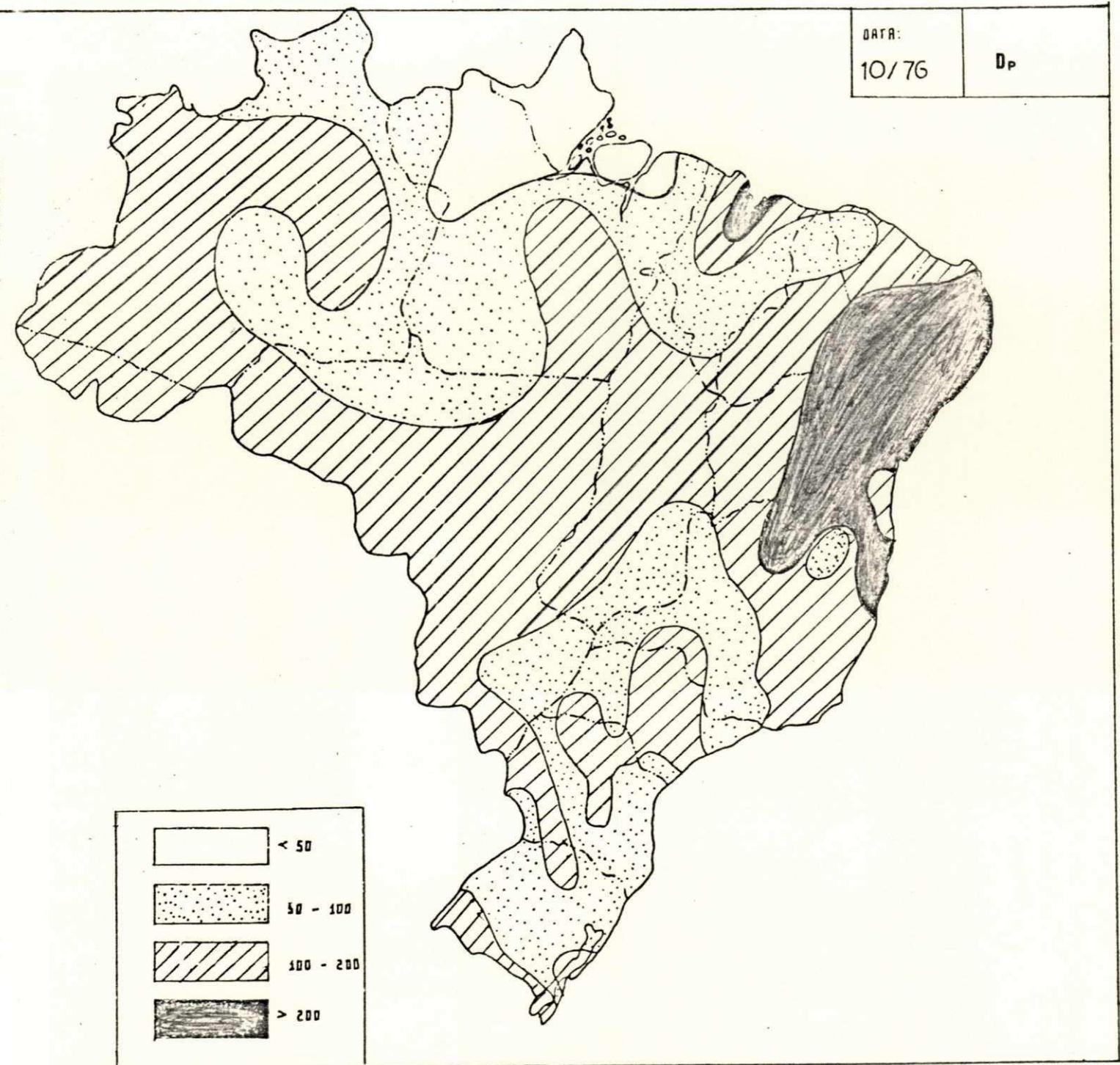


Figura 16. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal no mês de OUTUBRO de 1976.

- Em [mm].

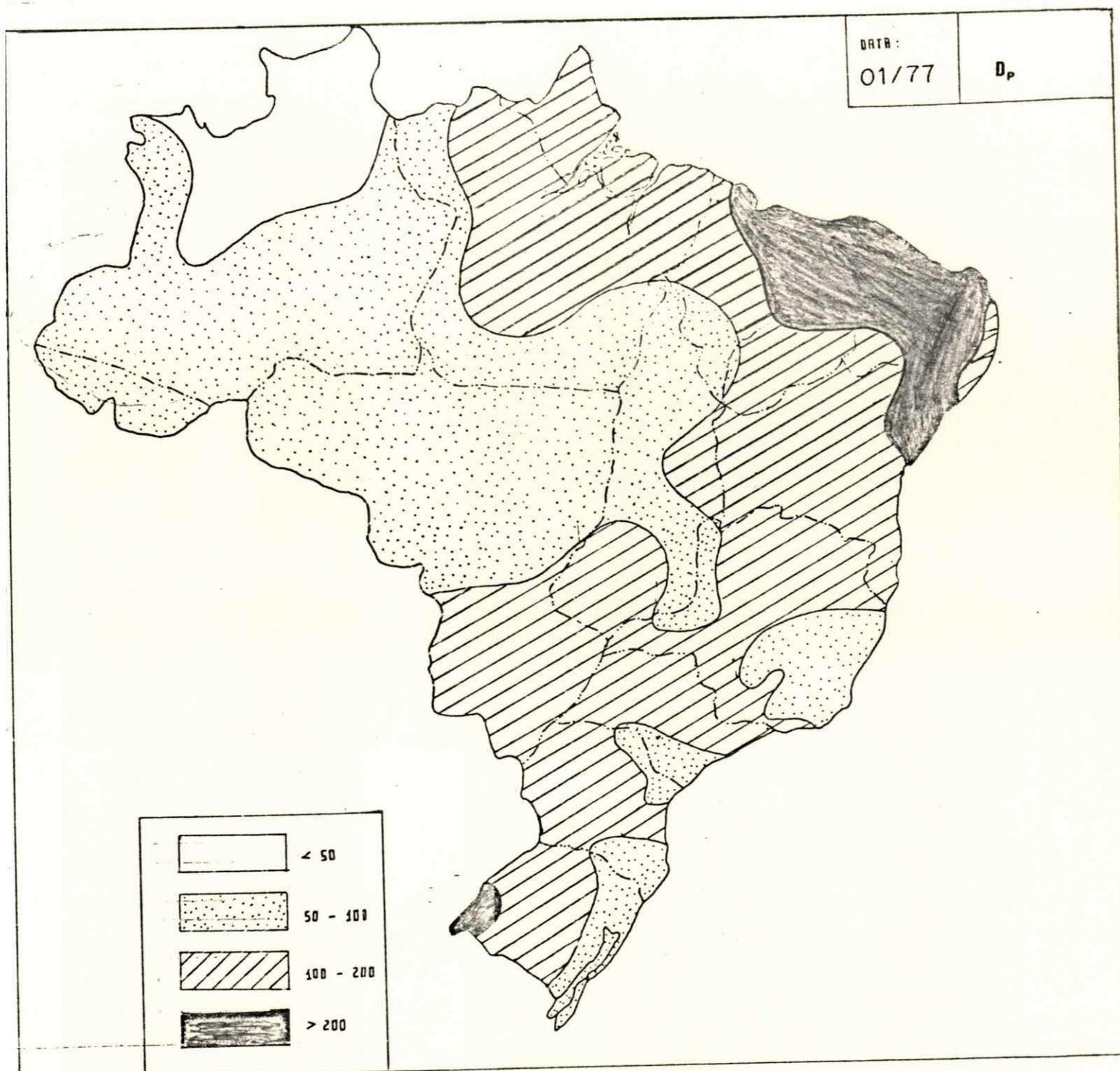


Figura 17. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal
no mês de JANEIRO DE 1977.
- Em [mm].

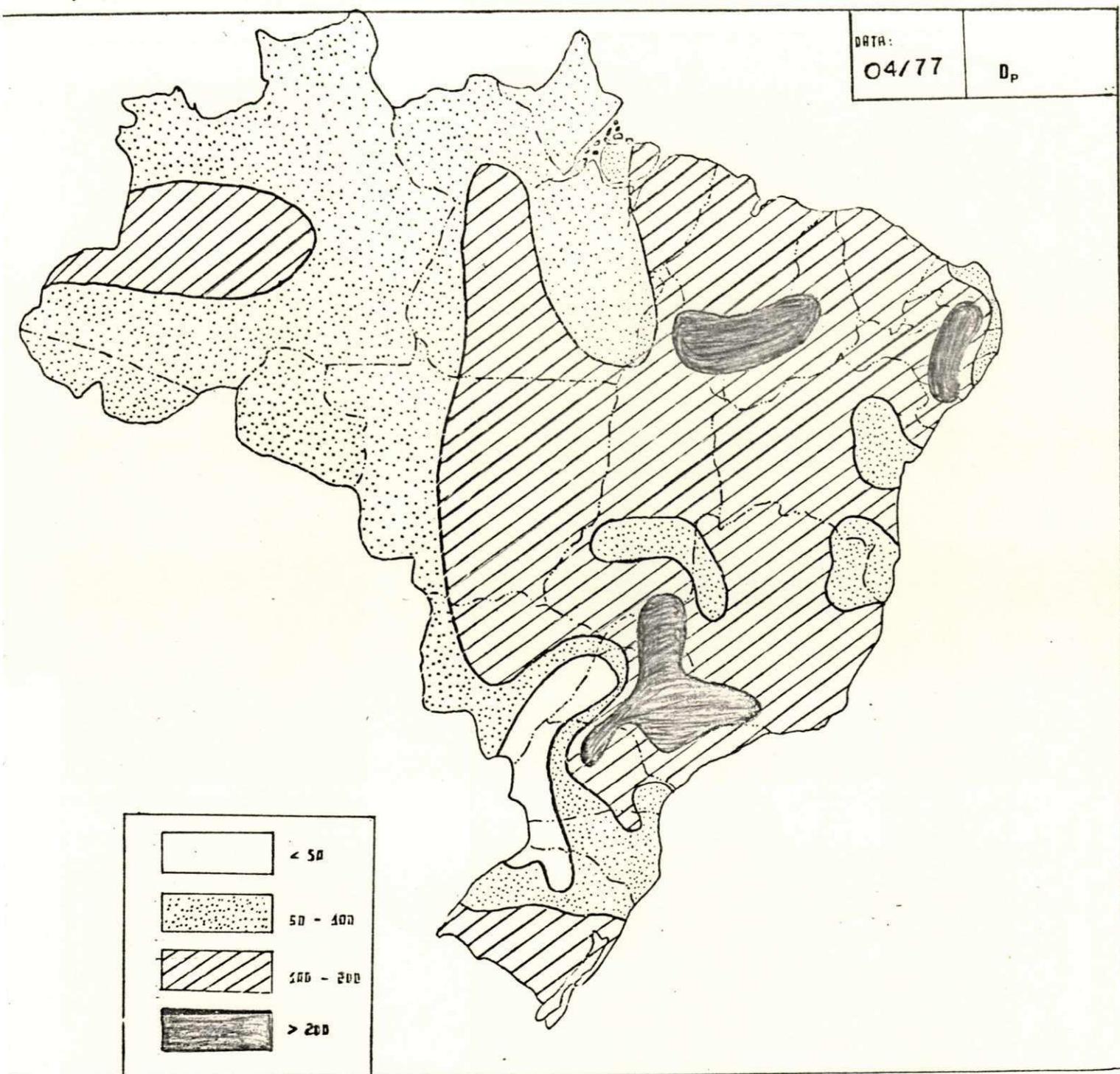


Figura 18. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal
no mês de ABRIL de 1977.
- Em [mm].

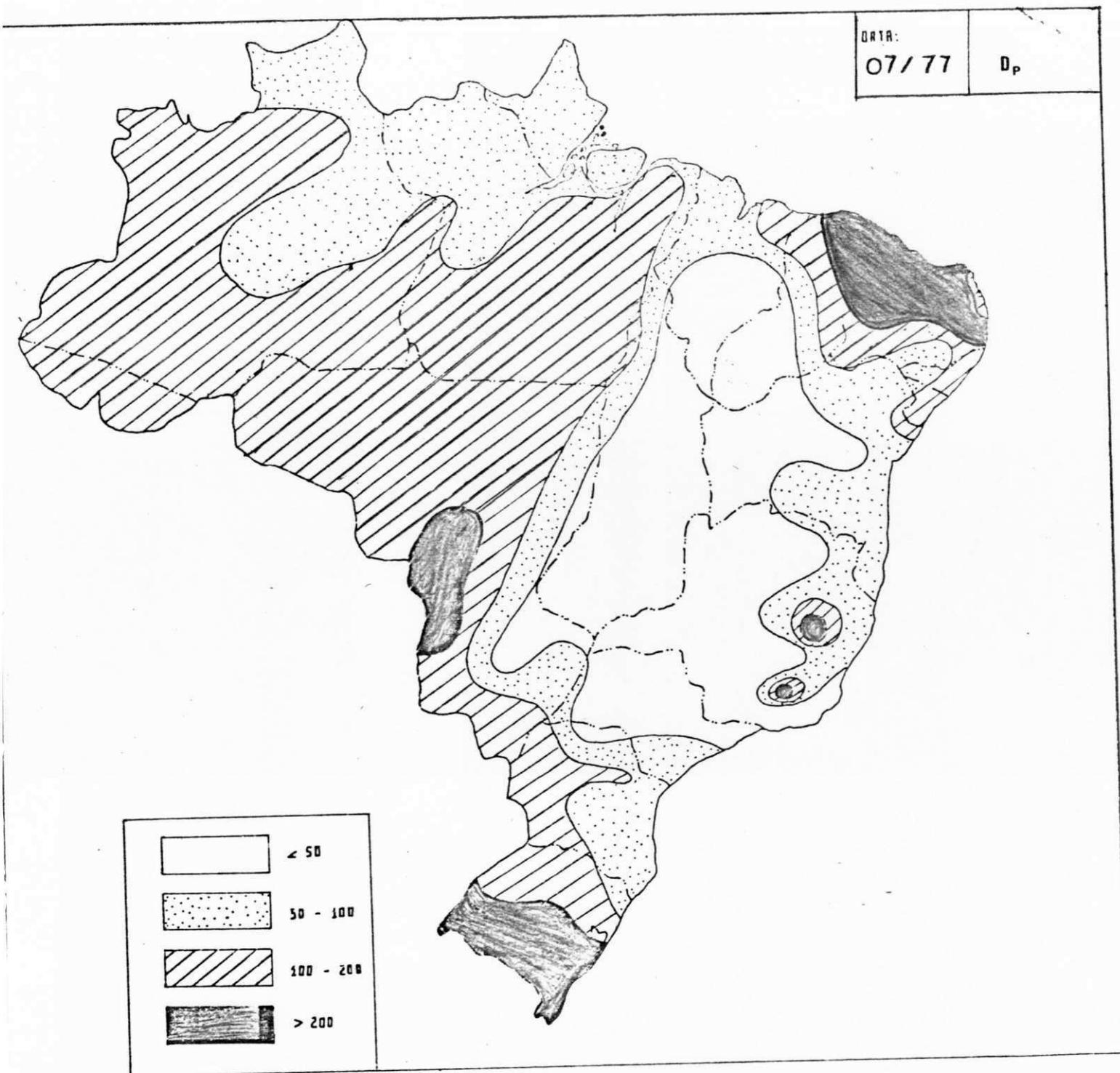


Figura 19. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal
no mês de JULHO de 1977.
- Em [mm].

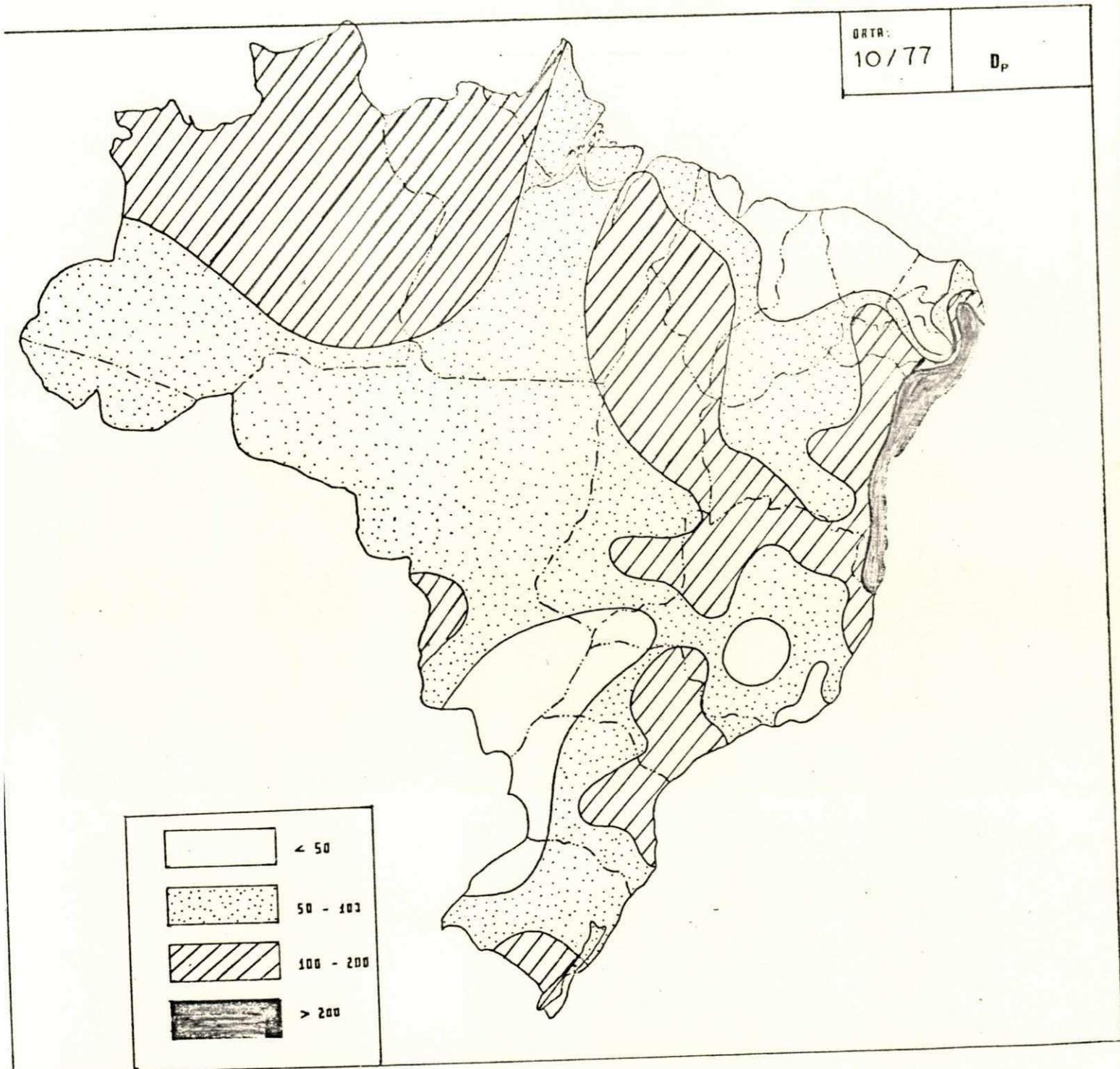


Figura 20. Carta do Desvio da Precipitação em relação à Normal
no mês de OUTUBRO de 1977.
- Em [mm].

4.3. A Evaporação menos Precipitação (E - P)

A análise das cartas dos valores de **E - P** mensais, Figuras 21 a 28, apresentaram os seguintes resultados:

No mês de janeiro de 1976, Figura 21, registrou-se excesso da Evaporação sobre a Precipitação em todo o Território de Roraima, na região Norte. Em quase toda a região Nordeste, com exceção de grande parte dos Estados do Maranhão e Piauí. No Sul do Mato Grosso, na região Centro-Oeste. Em parte dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, na região Sudeste. E em parte do litoral do Estado do Rio Grande do Sul, na região Sul.

No mês de abril de 1976, Figura 22, registrou-se excesso da Evaporação sobre a Precipitação em quase todo o interior da região Nordeste. Grande parte dos Estados de Goiás e do Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste. Em quase toda a região Sudeste, com exceção do Estado de São Paulo. E em todo o litoral da região Sul.

No mês de julho de 1976, Figura 23, a evaporação excedeu a precipitação em quase toda a região Norte, com exceção da parte Norte da região. Em quase toda a região Nordeste, com exceção de partes do litoral e interior dos Estados à Leste da região. Em toda a região Centro-Oeste. Na maior parte da região Sudeste, com exceção de quase todo o Estado de São Paulo e litoral da região.

No mês de outubro de 1976, Figura 24, a evaporação excedeu a precipitação em quase todo o Estado do Pará e em

a região Nordeste, com exceção do litoral dos Estados de Sergipe e Alagoas e parte do Estado da Bahia. À Oeste e ao Norte do Estado de Minas Gerais, na região Sudeste. E parte do litoral do Estado do Rio Grande do Sul, na região Sul.

No mês de janeiro de 1977, Figura **25**, registrou-se ex-cesso da evaporação sobre a precipitação no Território de Roraima, na região Norte. Em todos os Estados de Sergipe e Alagoas; grande parte dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte; e uma pequena faixa à Leste e ao Norte do Estado da Bahia, na região Nordeste. Uma pequena parte do litoral do Estado do Rio de Janeiro, na região Sudeste. E litoral do Estado do Rio Grande do Sul, na região Sul.

No mês de abril de 1977, Figura **26**, foi registrado ex-cesso da evaporação sobre a precipitação no Território de Roraima, na região Norte. À Oeste do Estado do Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste. Ao Norte do Estado de Minas Gerais, na região Sudeste. Em partes dos Estados do Paraná e Santa Catarina, ao Norte e ao Sul do Estado do Rio Grande do Sul, na região Sul.

No mês de julho de 1977, Figura **27**, foi registrado exces-so da evaporação sobre a precipitação em quase toda a região Norte, com exceção de toda a parte Norte da região. Em todo o interior da região Nordeste e litoral dos Estados do Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte. Em todas as regiões Cen-tro-Oeste e Sudeste . E em quase todo o Estado do Paraná, na região Sul.

No mês de outubro de 1977, Figura **28**, registrou-se o ex

região Norte, com exceção de quase todo o Estado do Amazonas. Em grande parte da região Nordeste, com exceção do litoral Leste desde o Estado de Alagoas até o Estado da Bahia. Em quase toda a região Centro-Oeste, com exceção de uma pequena faixa a Sudeste do Estado de Goiás. Em quase toda a região Sudeste, com exceção do Norte do Estado do Espírito Santo, uma pequena faixa a Oeste do Estado de Minas Gerais e outra no litoral do Estado de São Paulo. Em todo o Oeste da região Sul e partes do Estado do Rio Grande do Sul.

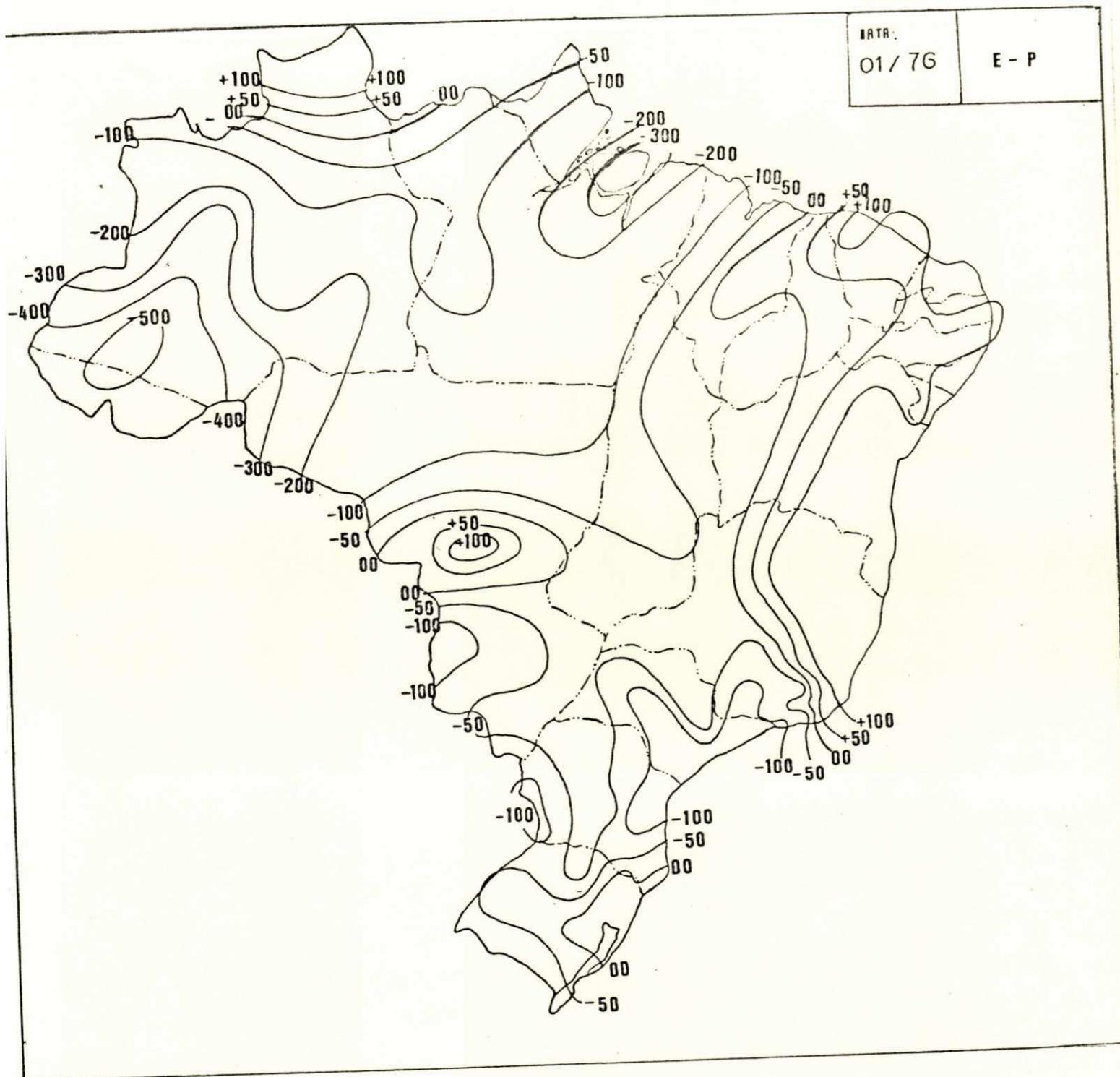


Figura 21. Carta de E - P: JANEIRO de 1976.

- Em [mm].

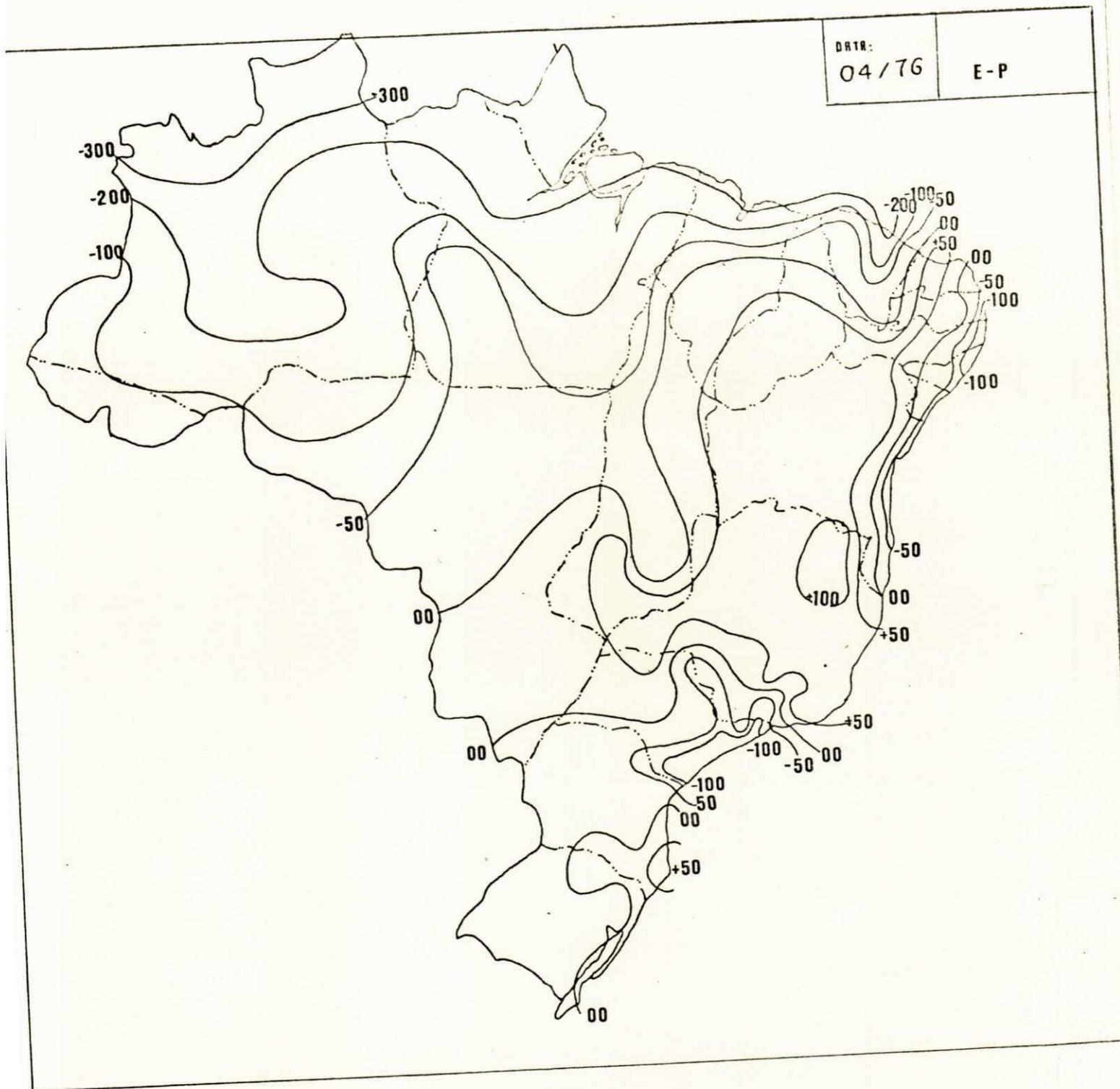


Figura 22. Carta de E - P: ABRIL de 1976.

- Em [m m].

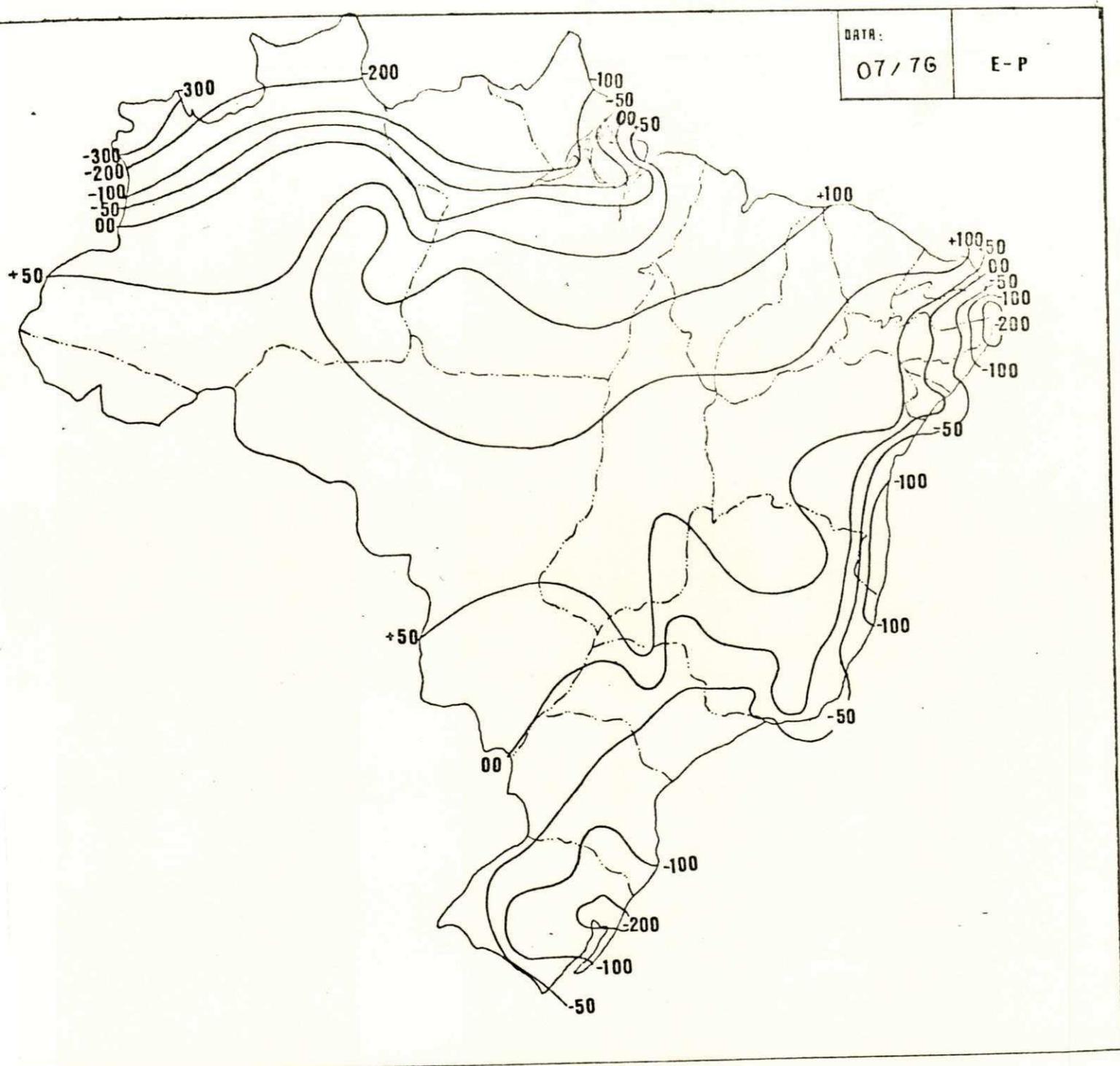


Figura 23. Carta de E - P: JULHO de 1976.

- Em [mm].

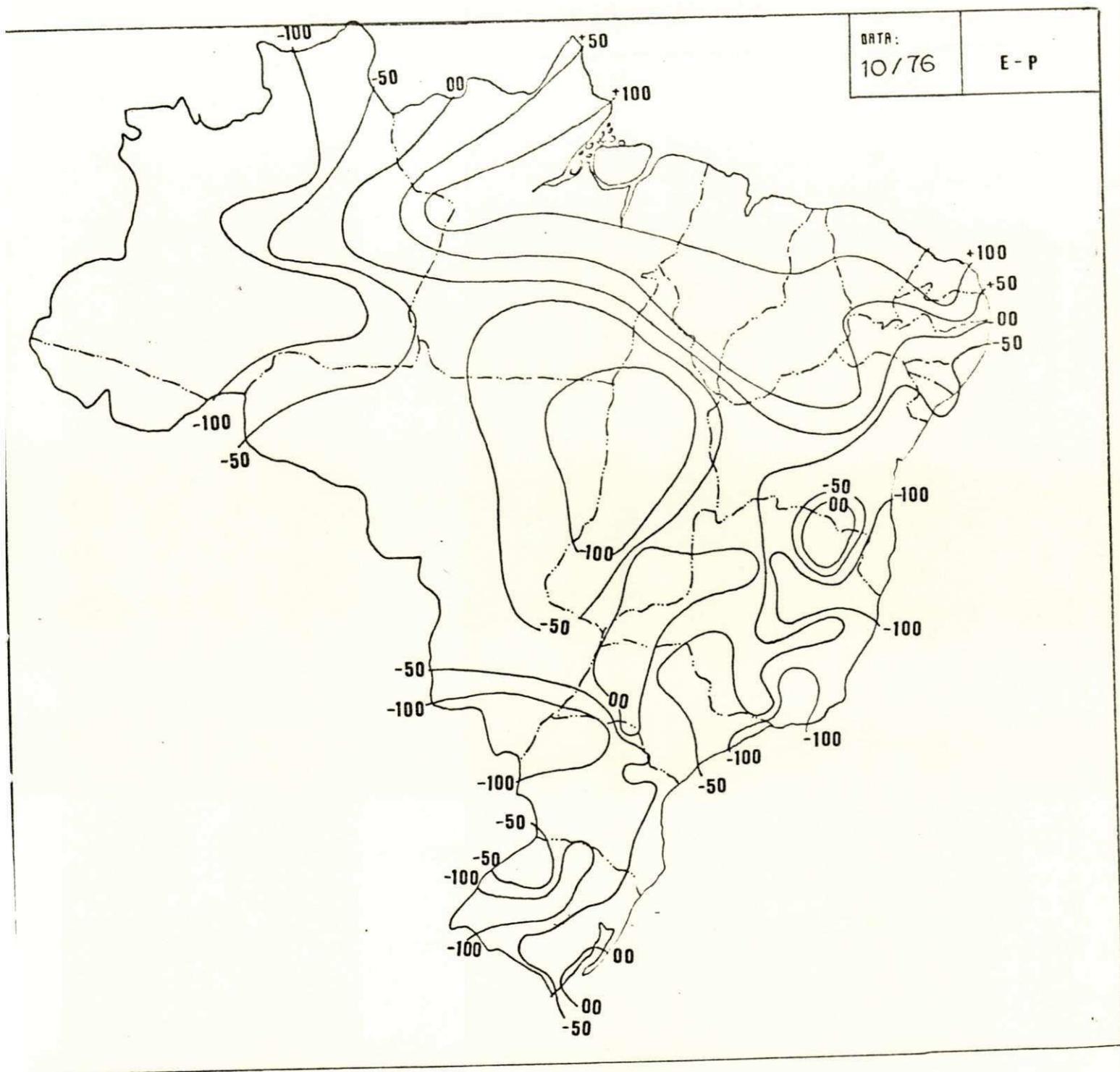


Figura 24. Carta de E - P: OUTUBRO DE 1976.

- Em [mm].

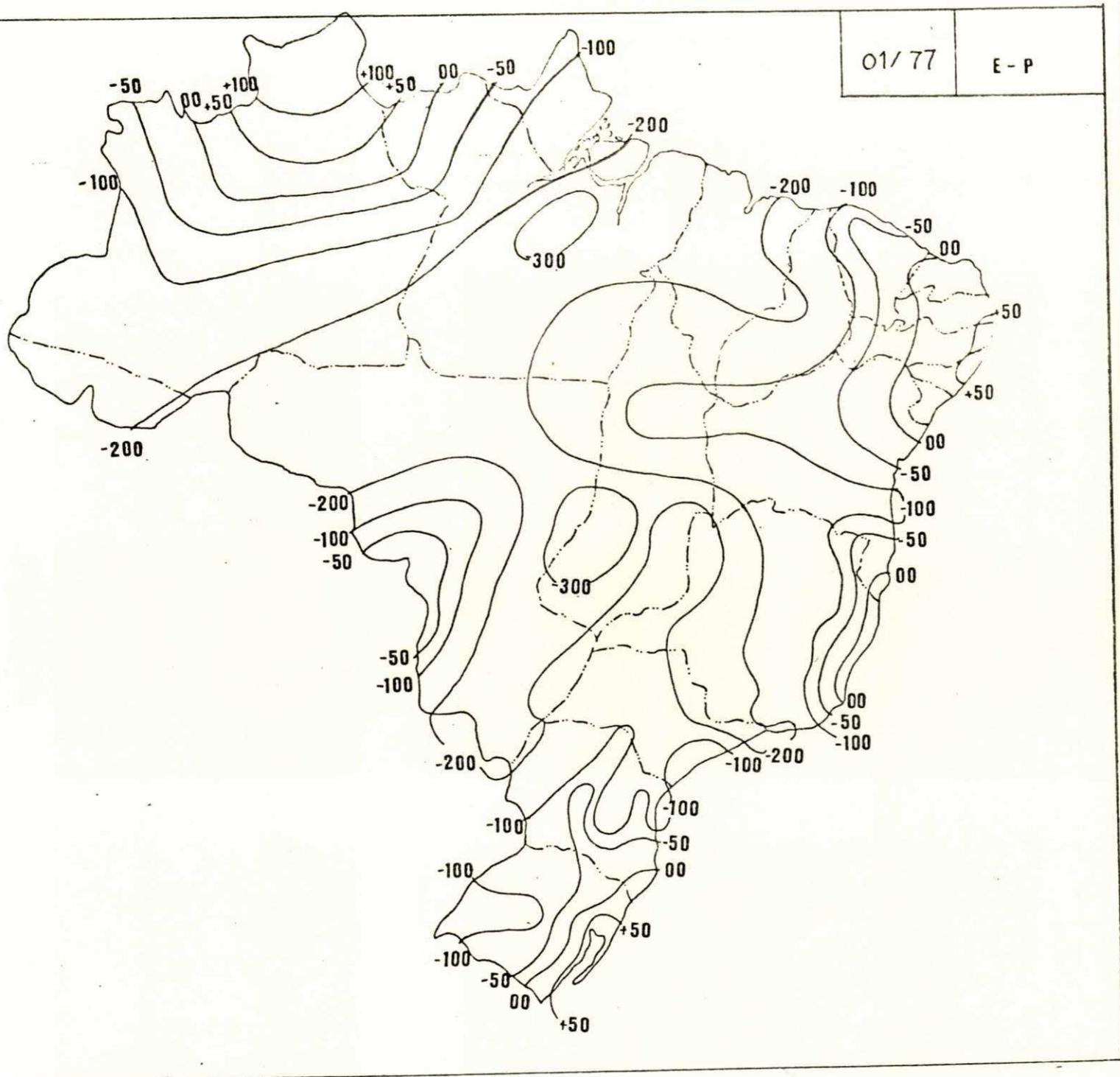


Figura 25. Carta de E - P: JANEIRO de 1977.

- Em [mm].

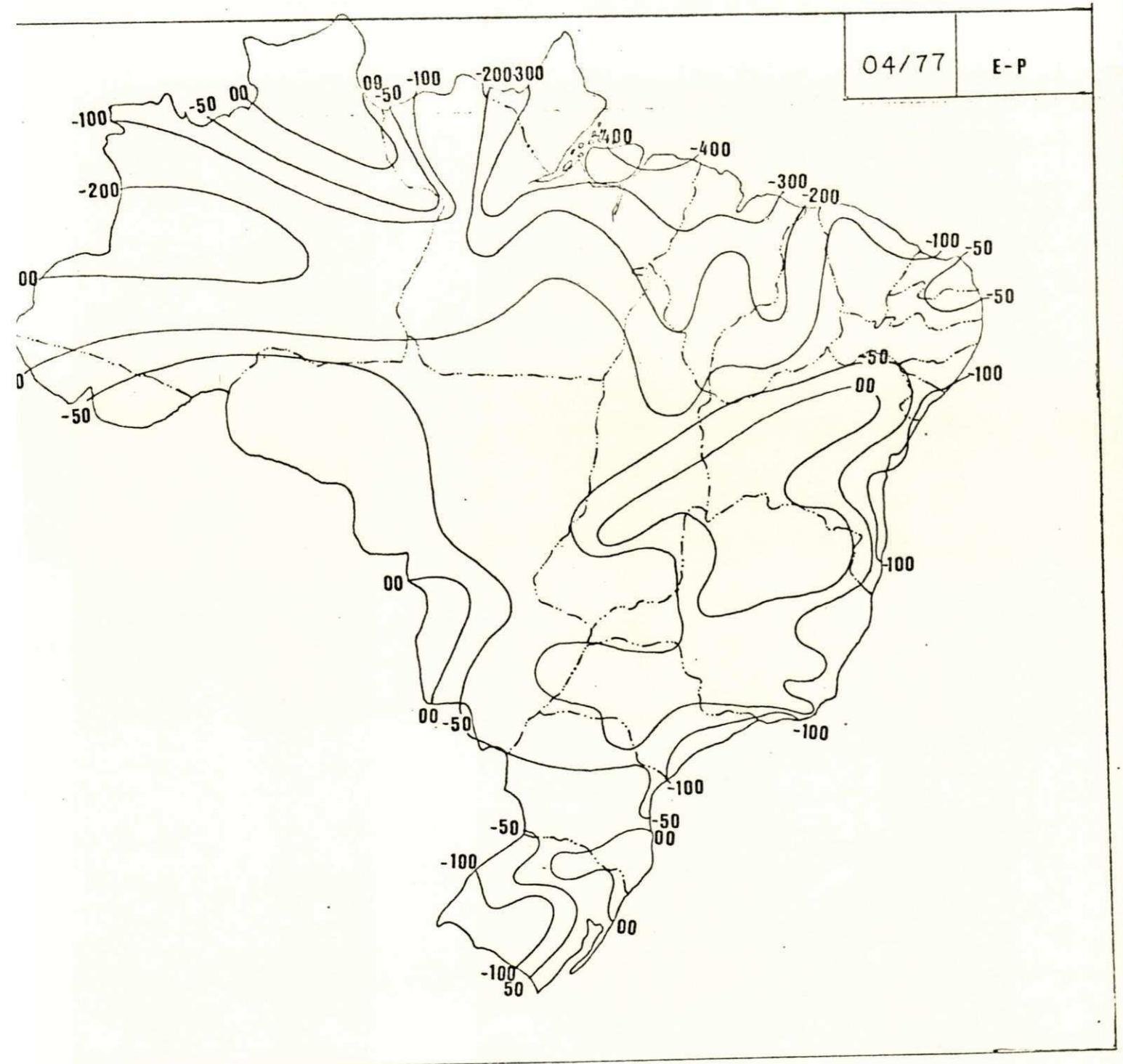


Figura 26. Carta de E - P: ABRIL de 1977.
- Em [mm].

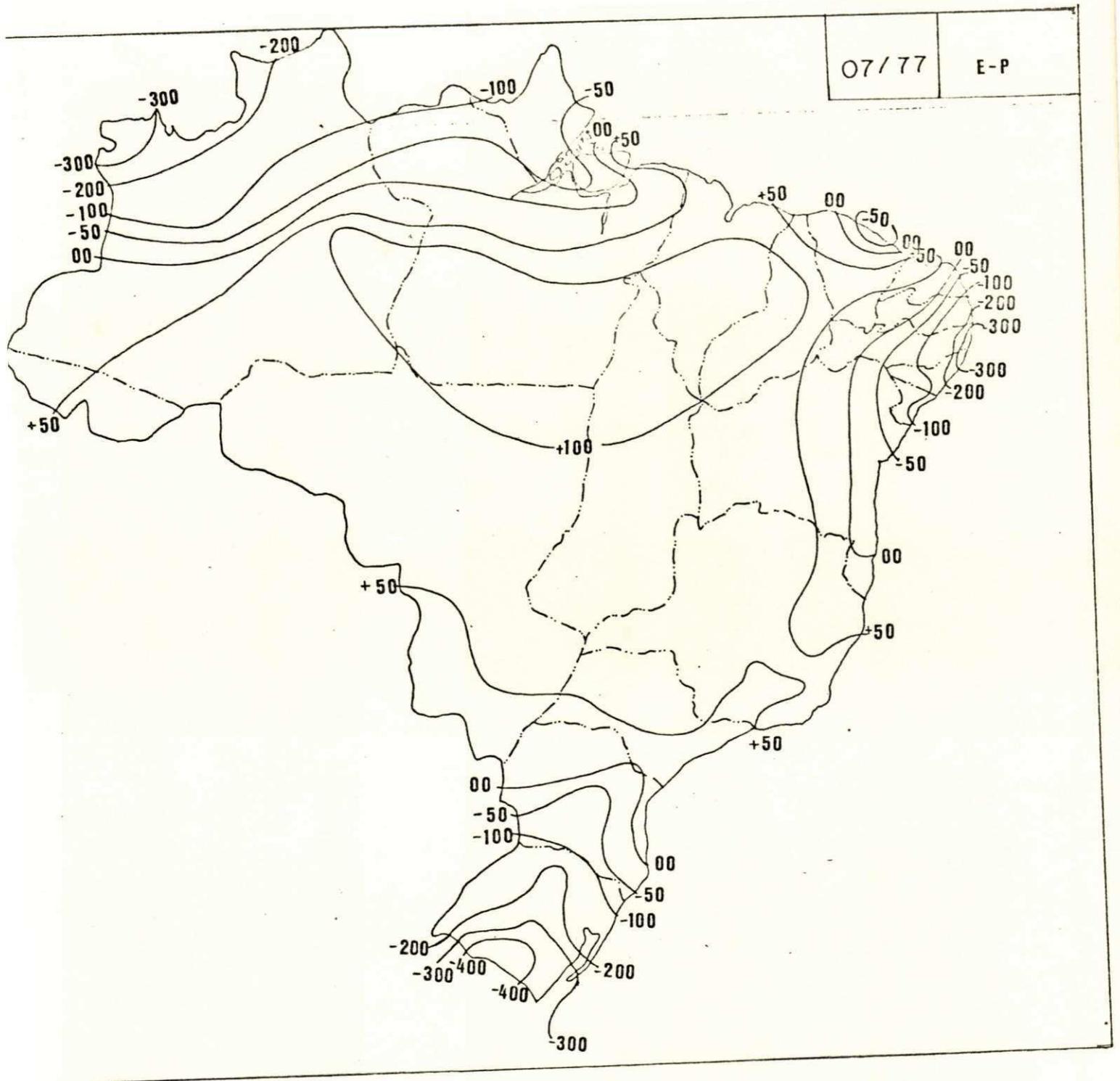


Figura 27. Carta de E - P: JULHO DE 1977.

- Em [mm].

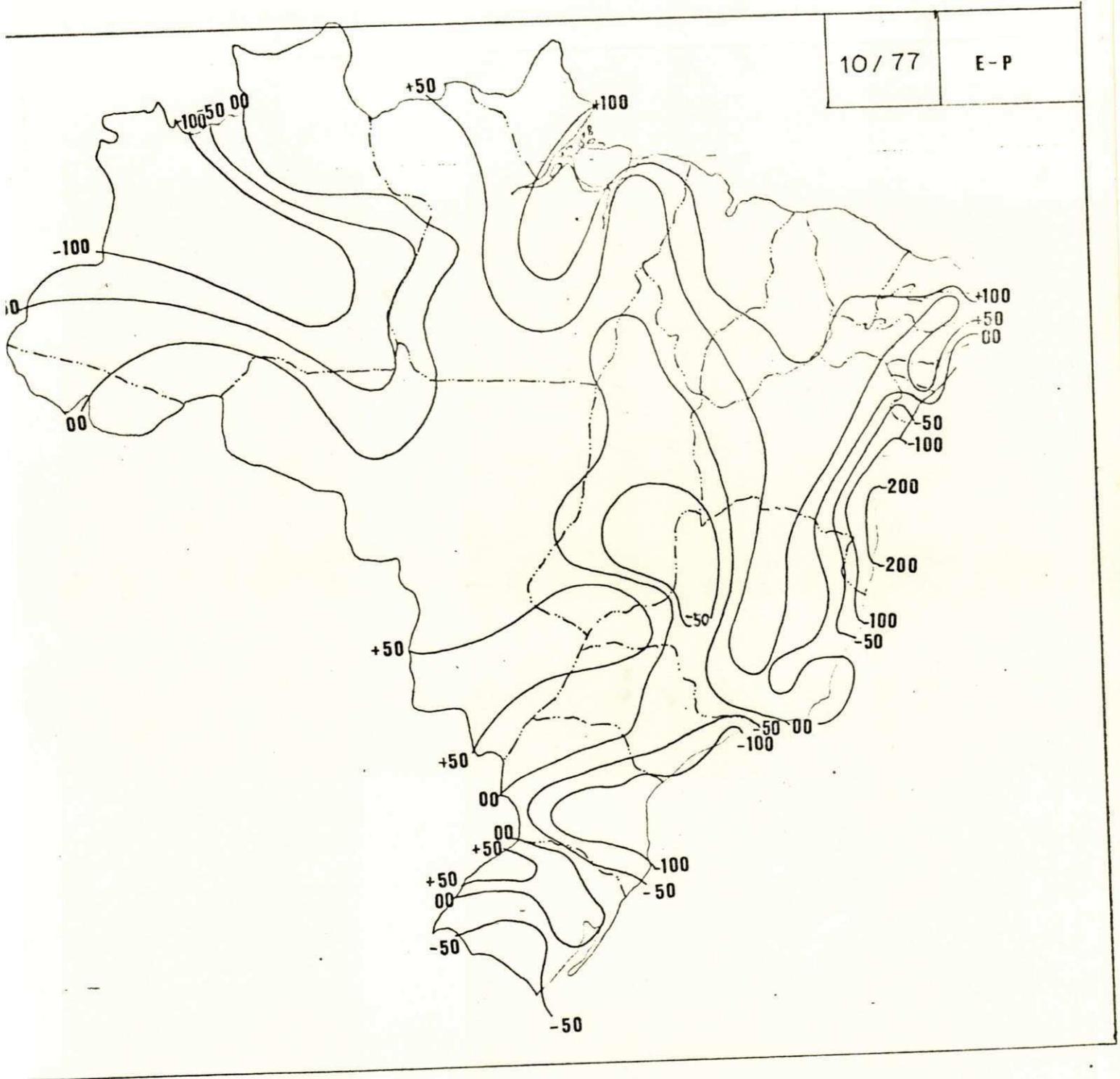


Figura 28. Carta de E - P: OUTUBRO de 1977.

- Em [mm].

4.4. A Água Precipitável (W_p) e a Distribuição vertical da Umidade Específica média (\bar{q})

Os valores mensais de água precipitável integrado verticalmente (em $g \cdot cm^{-2}$) para cada estação de altitude, encontra-se nas tabelas 3 e 4 e sua distribuição espacial nas Figuras 29 a 36. A distribuição vertical da umidade específica média (em g/kg) é mostrada nas Figuras 37 a 44. As análises dessas informações mostram que:

Em geral, a variação sazonal dos valores de água precipitável, Tabelas 3 e 4, são mais altas no verão que no inverno. Isso mostra que o poder de retenção d'água pela atmosfera é função direta da temperatura e convecção vertical.

Os valores extremos de água precipitável, foram registrados em Manaus ($5,5 g \cdot cm^{-2}$, máximo) no mês de abril de 1976, e em Curitiba ($1,3 g \cdot cm^{-2}$, mínimo) no mês de julho de 1976.

Na região Norte, foram observados valores elevados de água precipitável durante todo o período em estudo.

Não foi observada uma variação mensal significativa no conteúdo de vapor d'água atmosférico sobre as estações aerológicas localizadas nas regiões Norte e Nordeste, porém, nas demais regiões os valores encontrados tiveram maiores amplitudes.

Em geral, as isolinhas de água precipitável, Figuras 29 a 36, mostram um gradiente significativo sobre a região Nordeste e seu litoral Leste apresentando uma configuração do tipo "cavado" com eixo localizado na direção Nordeste e Sudoeste, com valores mais baixos a Sudoeste. O eixo desse cavado localiza-se sobre o Polígono das Secas e parcialmente, explica, a acentuada deficiência de precipitação observada naquela região.

Os valores de umidade específica foram praticamente

37 a 44 em todas as estações aerológicas no nível

tribuição para a transferência de vapor e da água precipitável .

Os valores extremos da umidade específica média à superfície, foram registrados em Barreira do Inferno (19,3 g.kg⁻¹, máximo) no mês de abril de 1977, Curitiba (7,9 g.Kg⁻¹, mínimo) e Porto Alegre (7, 9 g. kg⁻¹ mínimo) ambos no mês de julho de 1976.

TABELA 3

VALORES MENSIS DA ÁGUA PRECIPITÁVEL (g.cm^{-2}) PARA O ANO DE 1976

ESTACÃO	MÊS			
	JAN	ABR	JUL	OUT
BELÉM	5,1	-	-	-
SÃO LUIS	4,3	5,1	4,1	4,0
MANAUS	5,0	5,5	4,3	4,5
FORTALEZA	-	-	3,6	-
FERNANDO DE NORONHA	3,8	4,7	3,6	3,0
BARREIRA DO INFERNO	3,7	4,6	3,7	4,0
FLORIANO	4,5	4,2	2,8	-
CAROLINA	-	4,8	-	-
RECIFE	3,7	4,4	3,4	3,7
PETROLINA	3,2	3,2	2,3	-
SALVADOR	-	-	3,3	4,3
B. JESUS DA LAPA	-	-	-	-
BRASÍLIA	3,5	2,6	1,7	2,6
CARAVELAS	-	-	-	-
CAMPO GRANDE	-	3,0	2,4	2,7
TRINDADE	2,8	3,2	2,3	-
SÃO PAULO	3,3	2,5	1,5	1,9
CURITIBA	3,2	2,1	1,3	1,8
PORTO ALEGRE	3,8	2,3	1,9	1,9

TABELA 4

VALORES MENSIS DA ÁGUA PRECIPITÁVEL ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) PARA O ANO DE 1977

ESTACÃO \ MÊS	JAN	ABR	JUL	OUT
BELÉM	-	-	-	-
SÃO LUIZ	-	-	4,2	-
MANAUS	-	-	4,1	5,3
FORTALEZA	-	-	-	3,2
FERNANDO DE NORONHA	-	-	-	3,3
BARREIRA DO INFERNO	4,7	4,8	3,8	3,4
FLORIANO	-	4,5	3,2	4,0
CAROLINA	-	-	-	4,5
RECIFE	-	-	3,9	3,4
PETROLINA	-	-	-	3,1
SALVADOR	-	-	3,1	4,0
B.JESUS DA LAPA	-	-	2,2	-
BRASÍLIA	2,7	2,8	1,5	2,6
CARAVELAS	4,1	-	-	3,8
CAMPO GRANDE	4,1	3,0	2,4	3,1
TRINDADE	-	-	-	-
SÃO PAULO	3,2	-	1,7	2,7
CURITIBA	2,8	1,9	1,7	2,1
PORTO ALEGRE	3,6	2,6	2,4	2,6

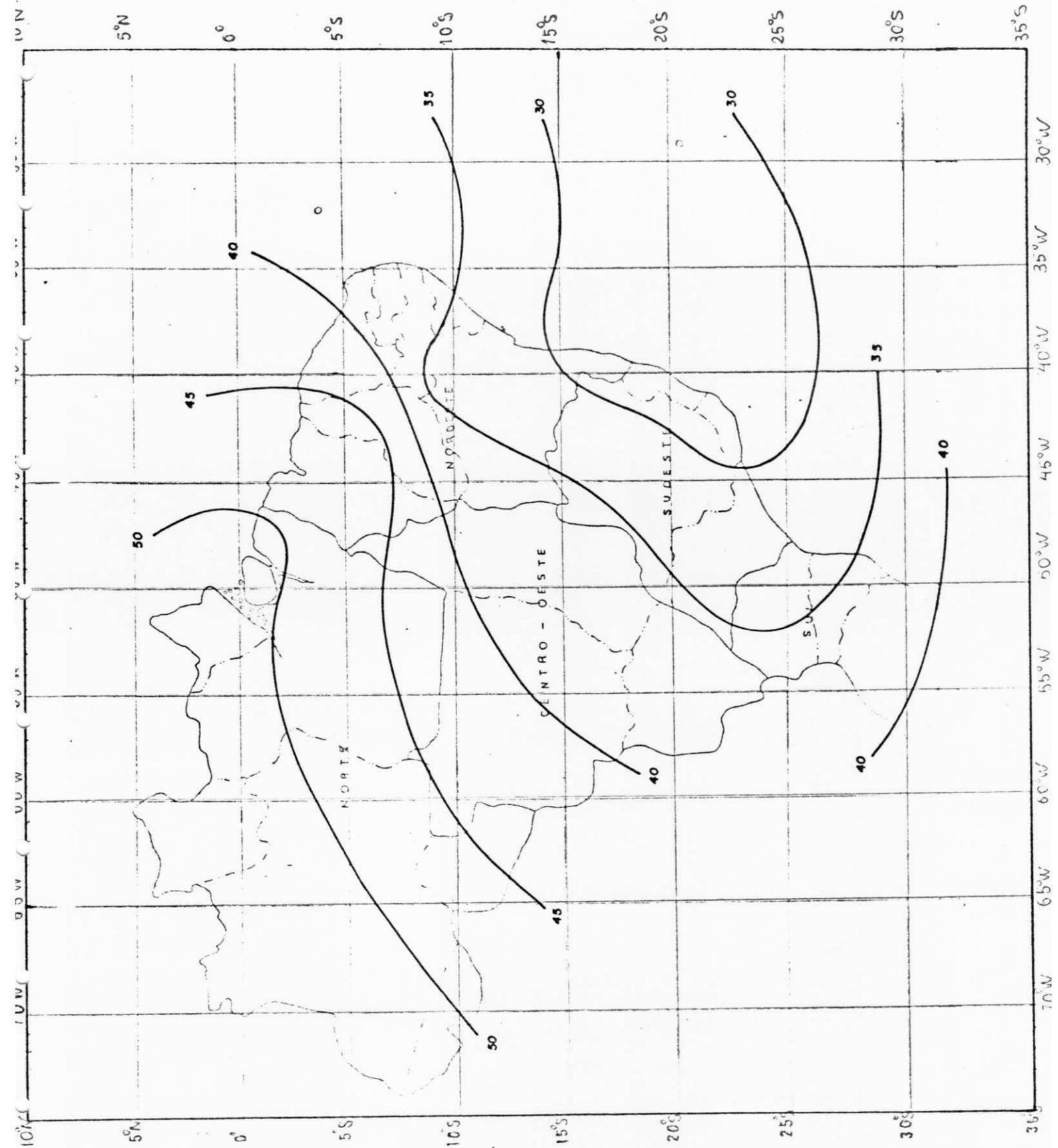


Figura 29. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de JANEIRO de 1976.

- Em $[10^{-1} \text{ g.cm}^{-2}]$.

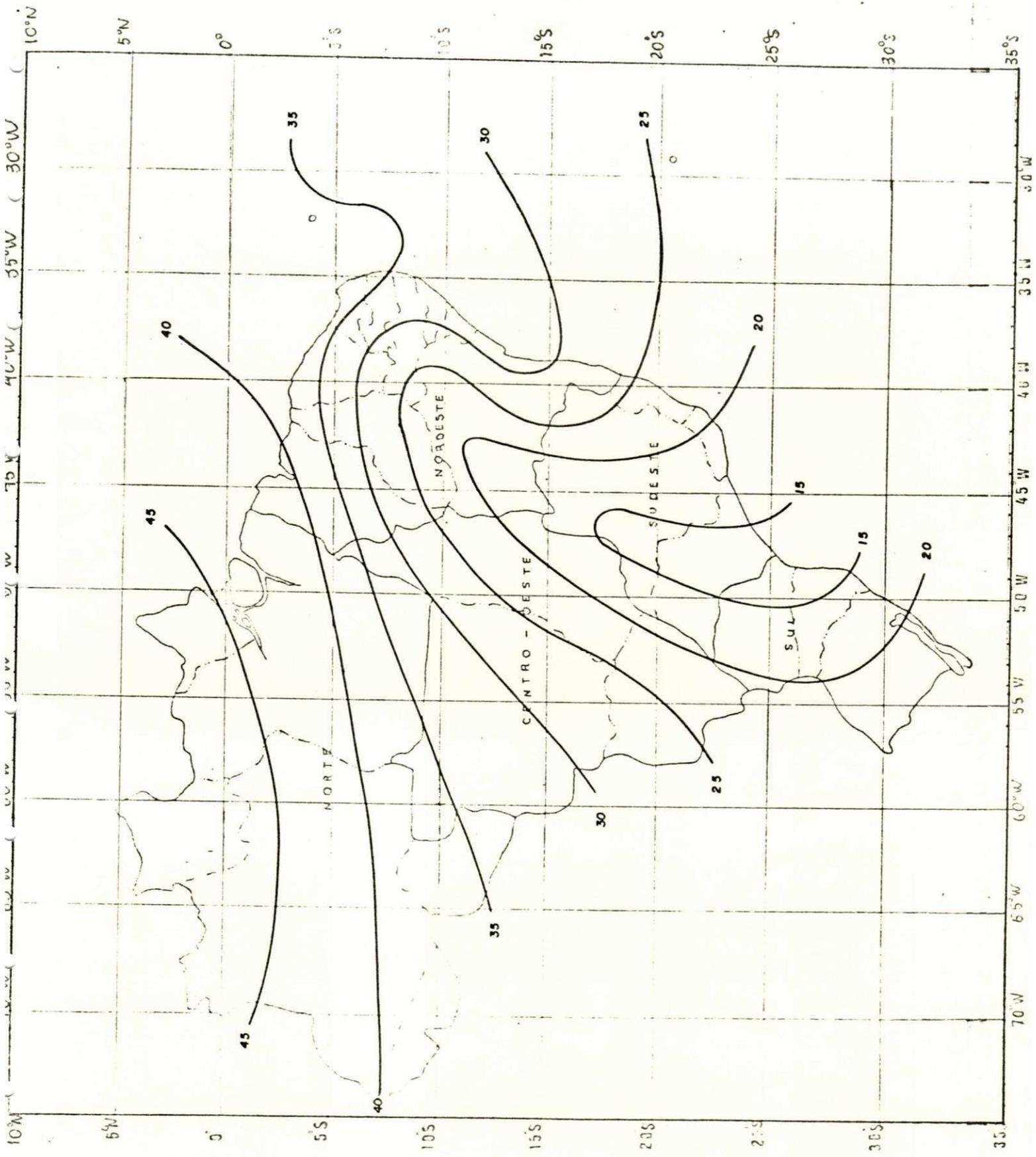


Figura 31. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de JULHO de 1976.
- Em $[10^{-1} \text{ g.cm}^{-2}]$.

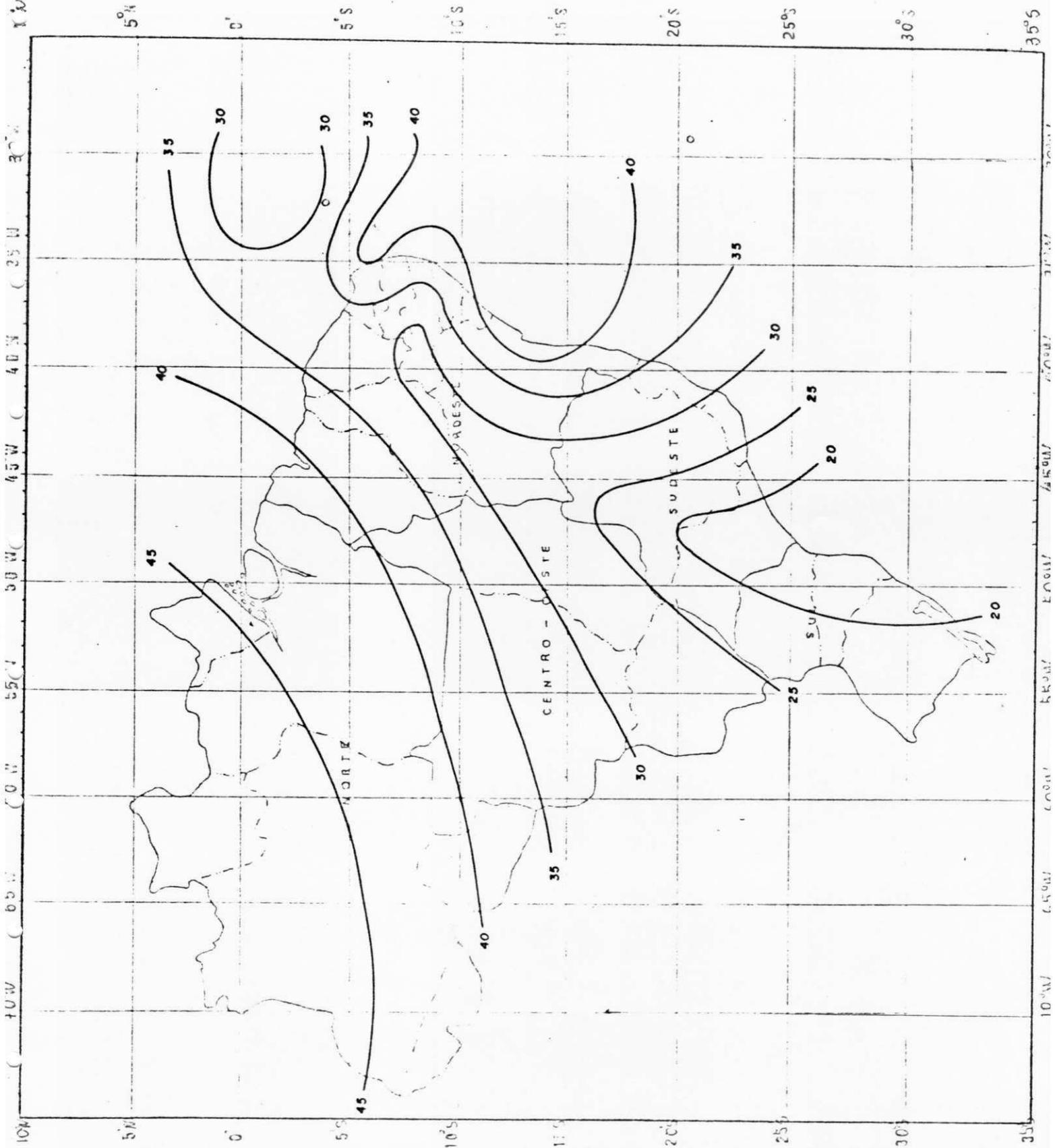


Figura 32. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de OUTUBRO de 1976.

- Em $[10^{-1} \text{ g.cm}^{-2}]$.

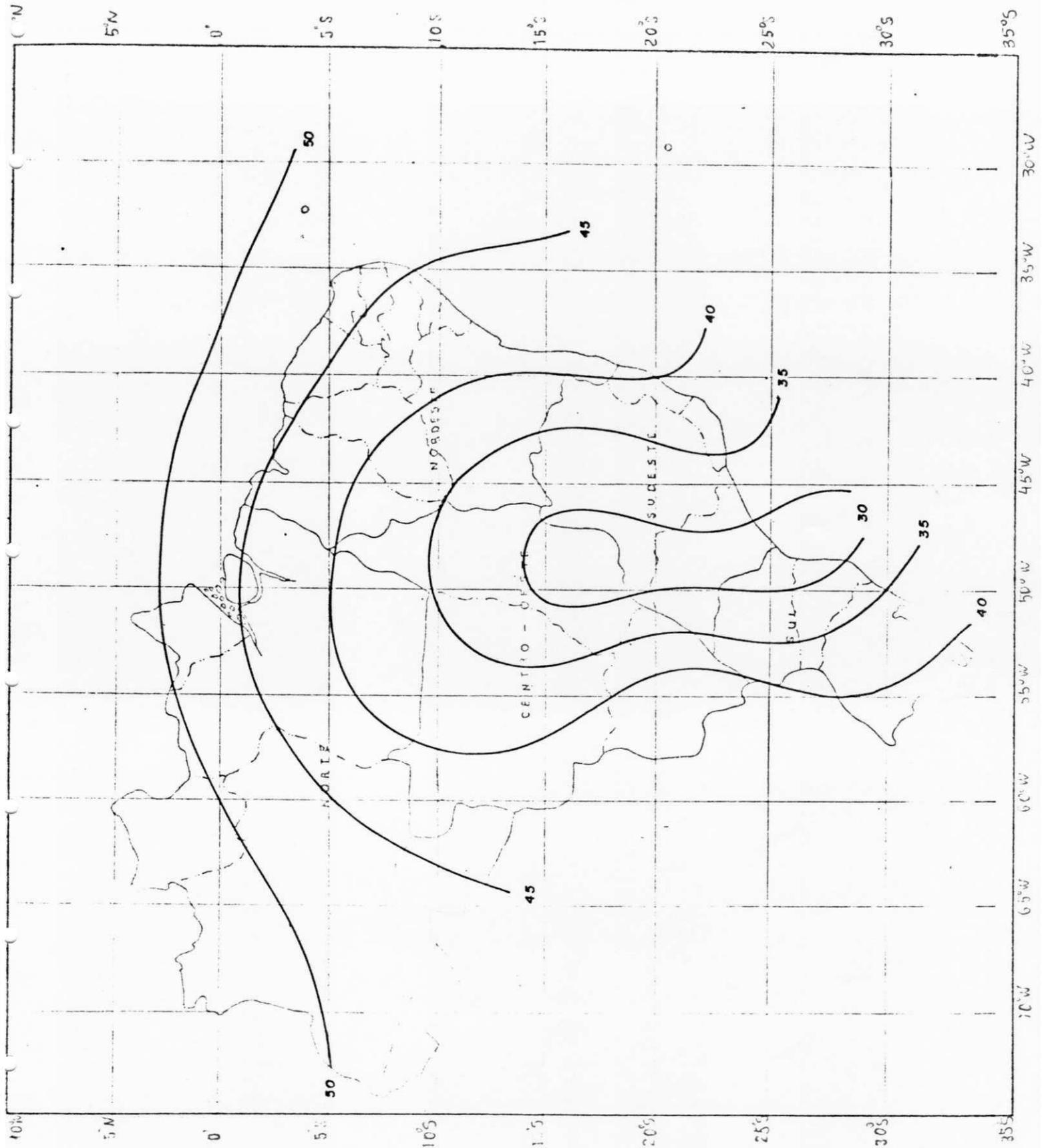


Figura 33. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de JANEIRO de 1977.

- Em $[10^{-1} \text{ g. cm}^{-2}]$.

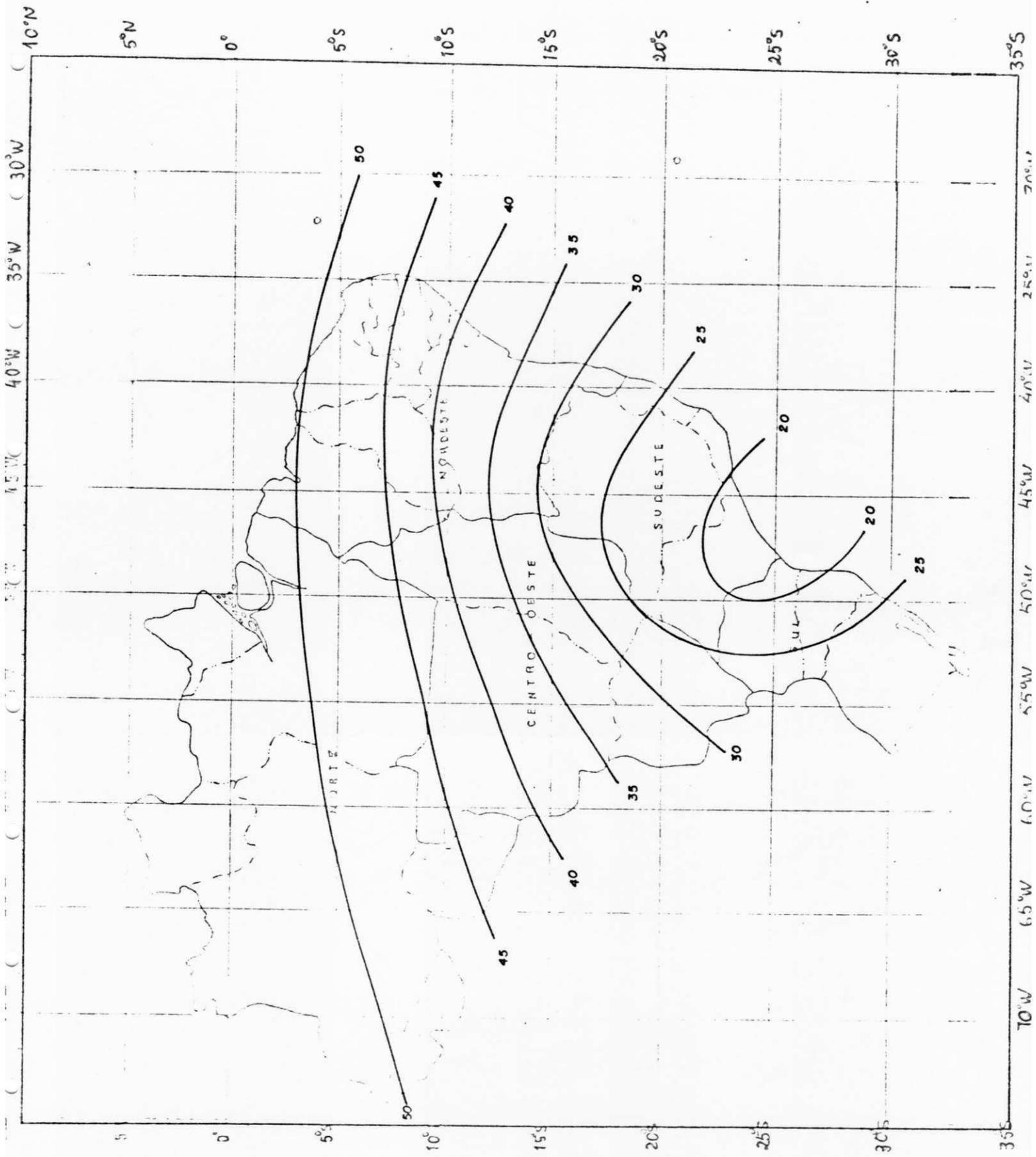


Figura 34. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de ABRIL de 1977.

- Em $[10^{-1} \text{ g.cm}^{-2}]$.

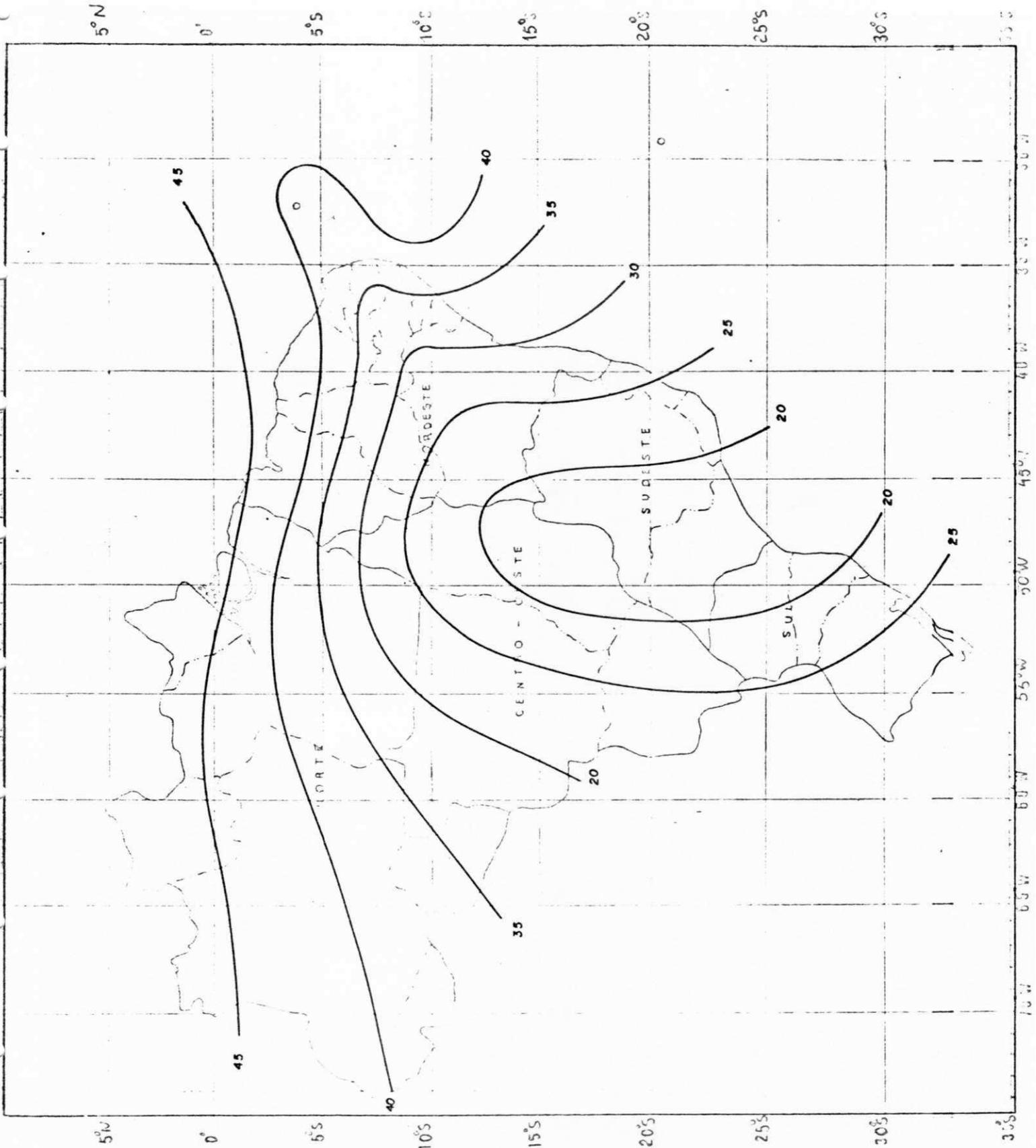


Figura 35. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de JULHO de 1977.

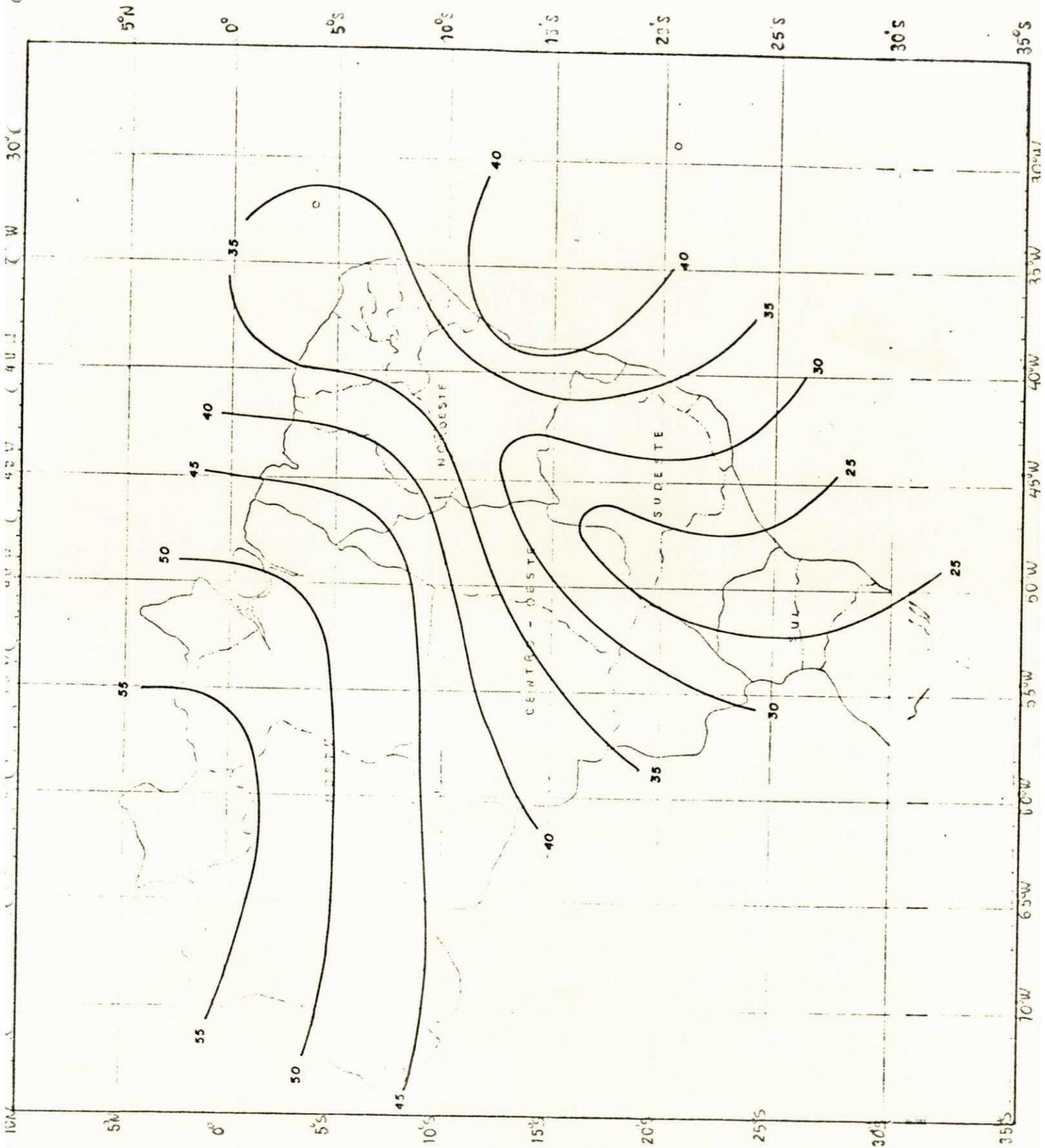


Figura 36. Distribuição espacial da Água Precipitável no mês de OUTUBRO de 1977.

JANEIRO 1976

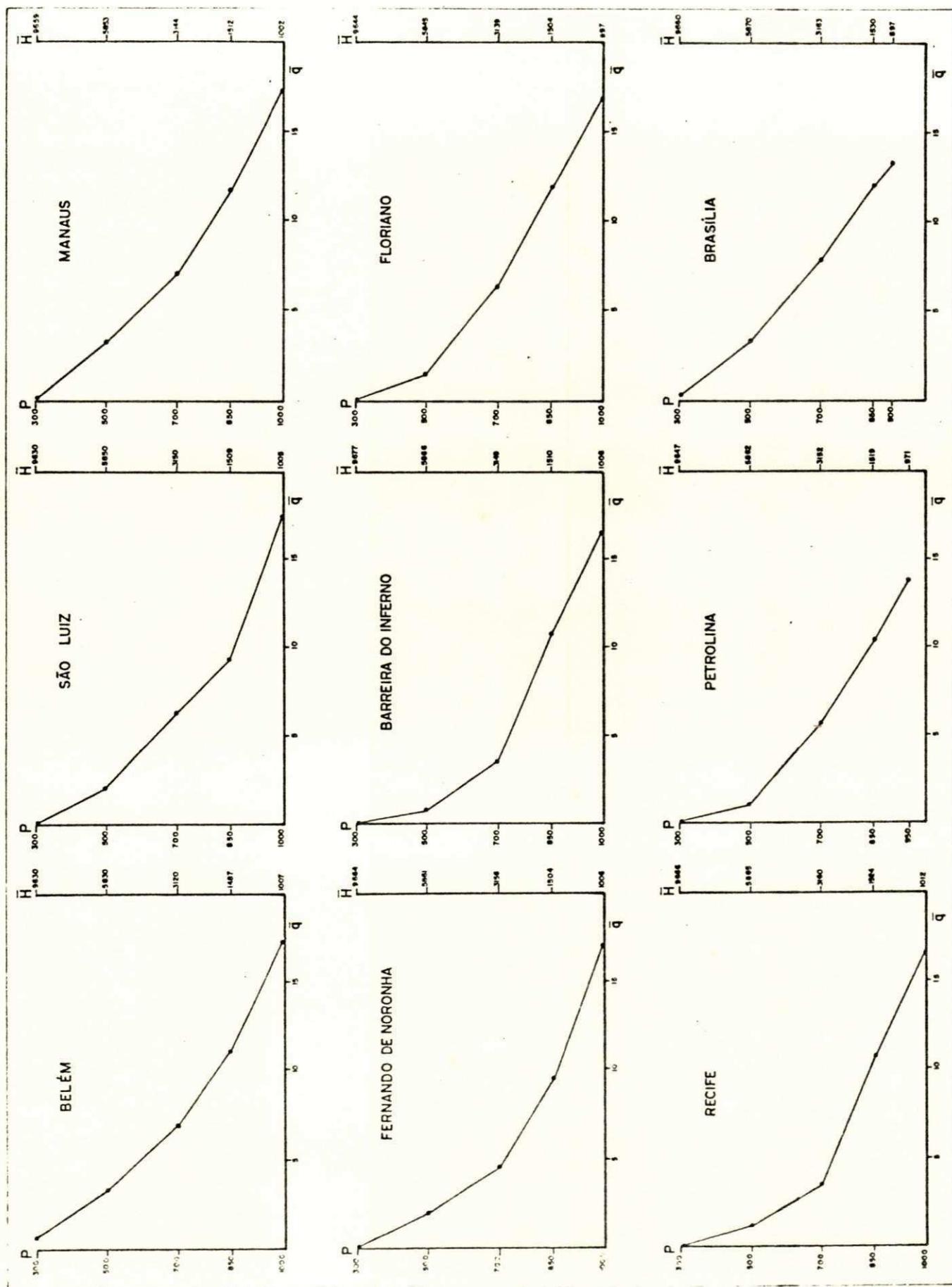


Figura 37. Distribuição vertical da Umidade Específica média do mês

JANEIRO 1976

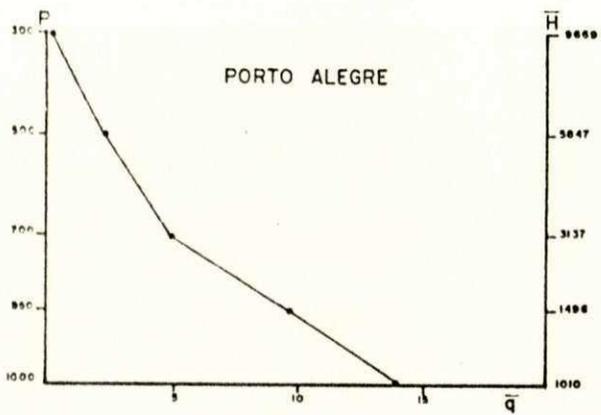
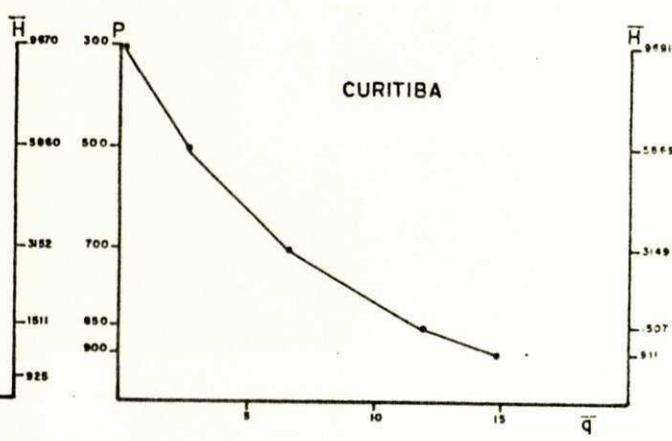
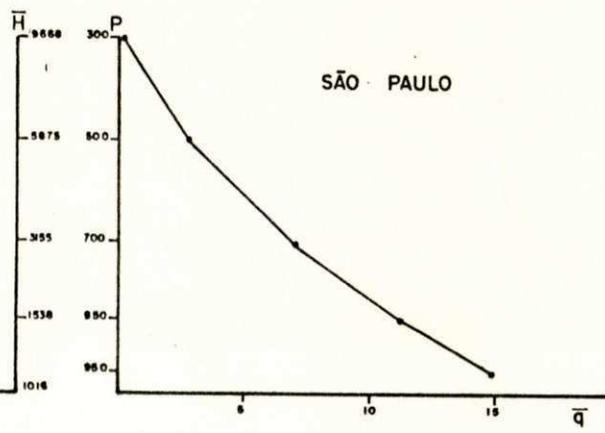
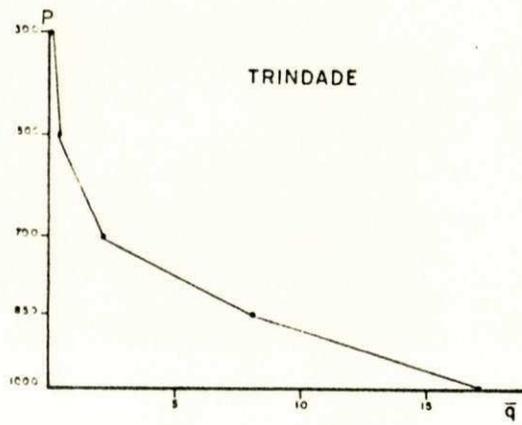
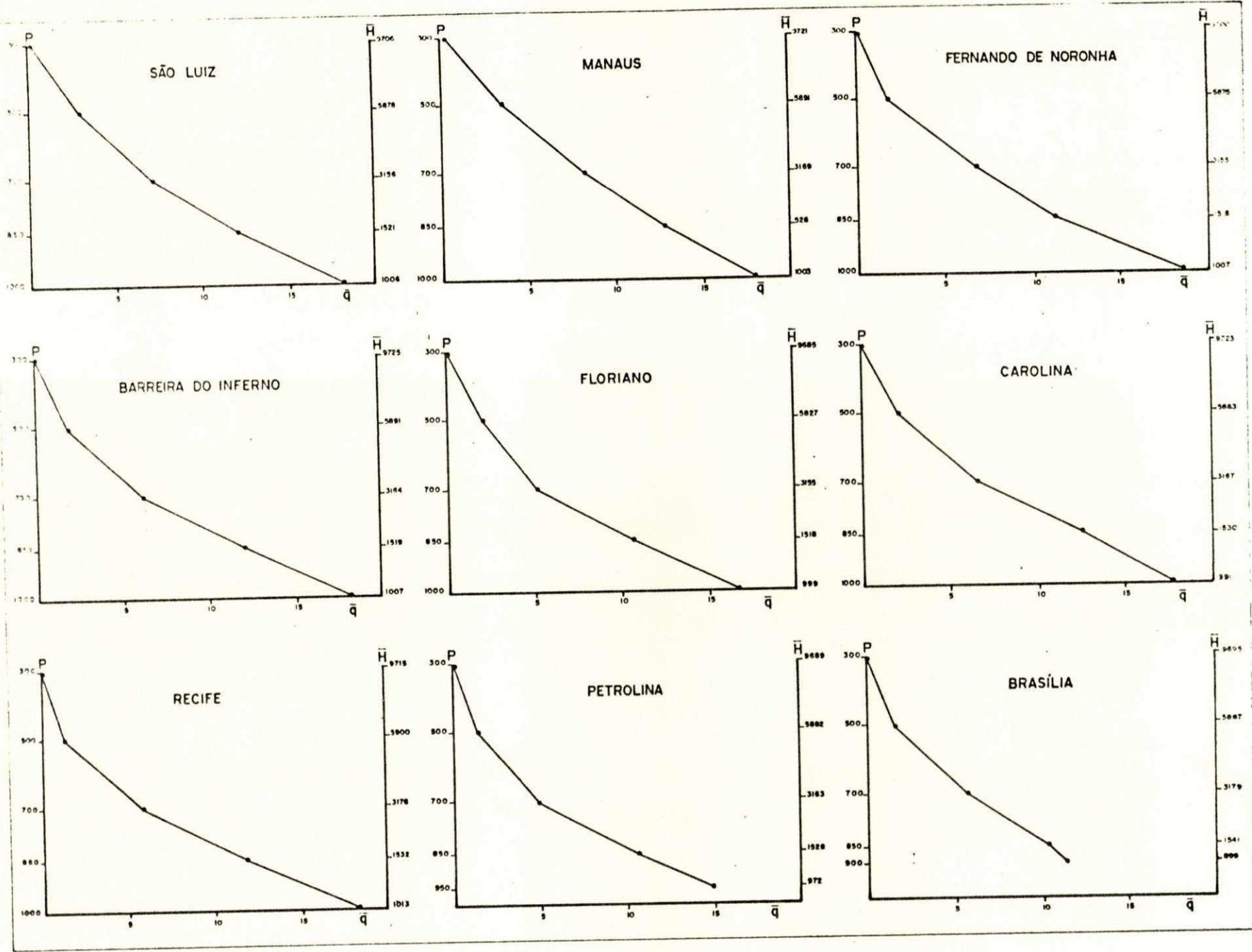
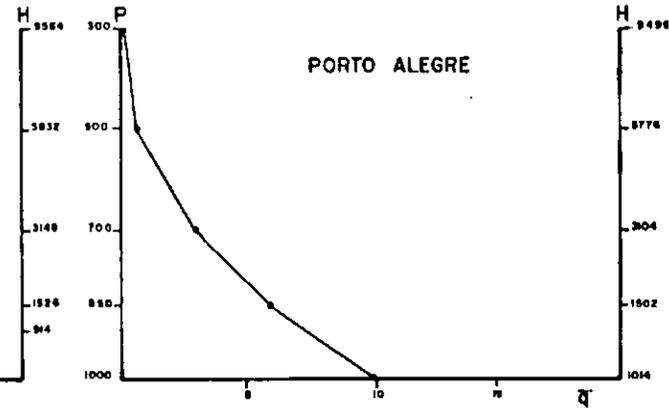
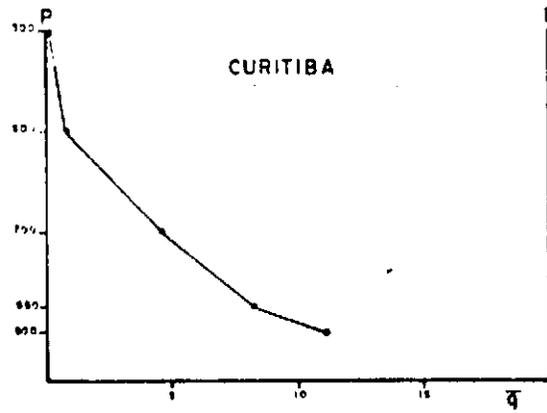
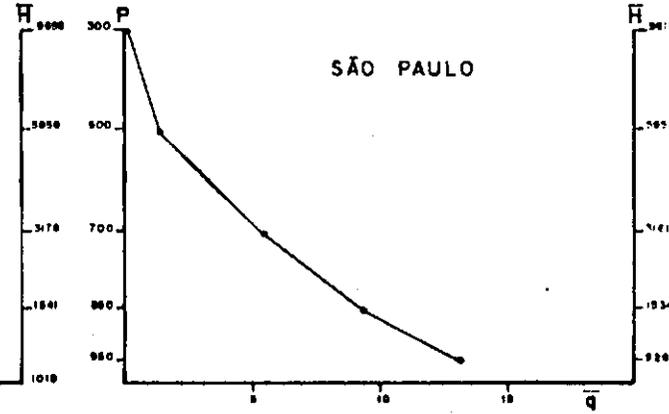
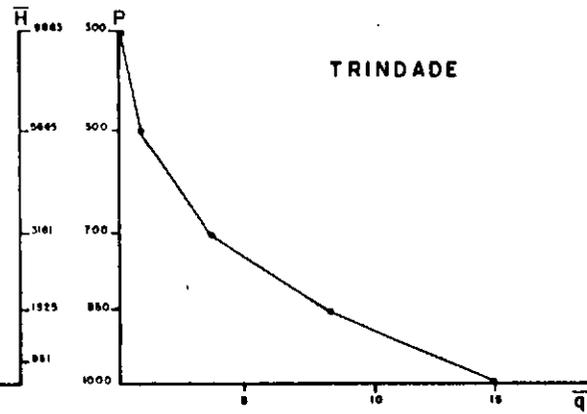
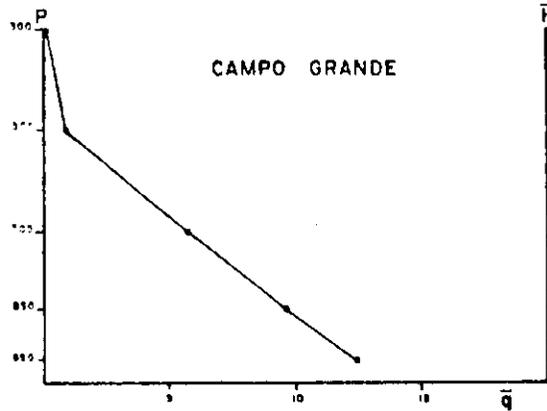


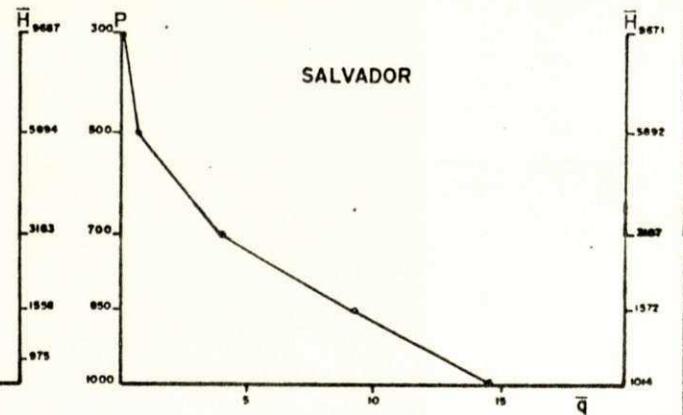
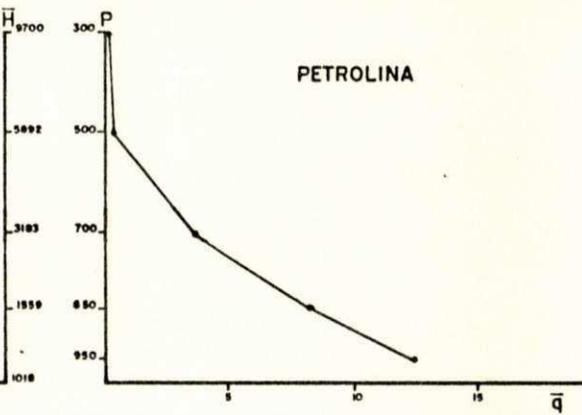
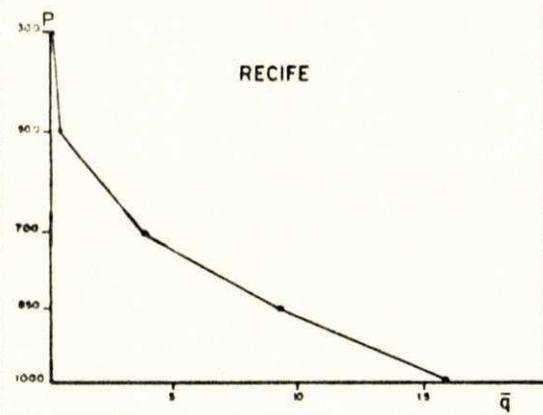
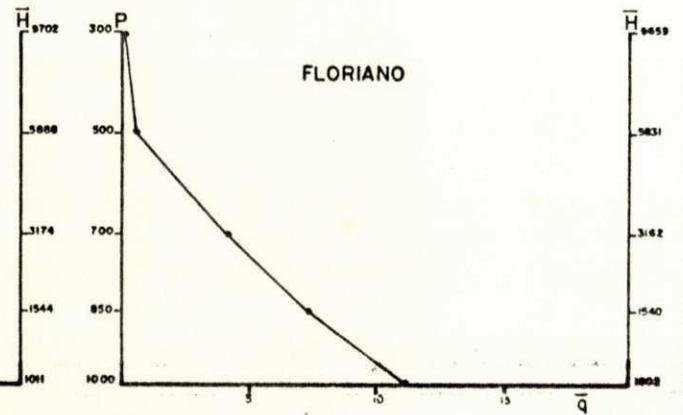
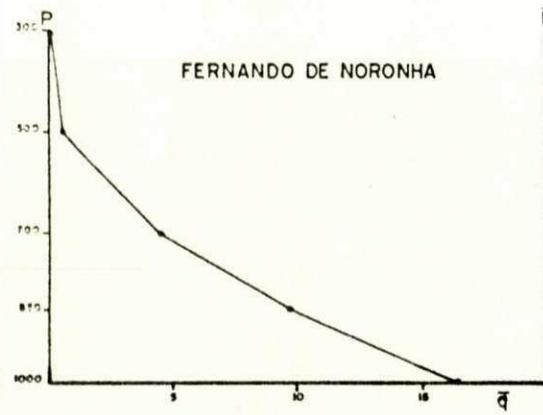
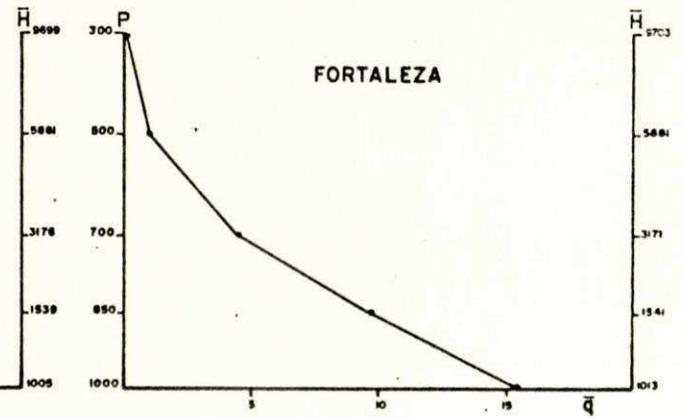
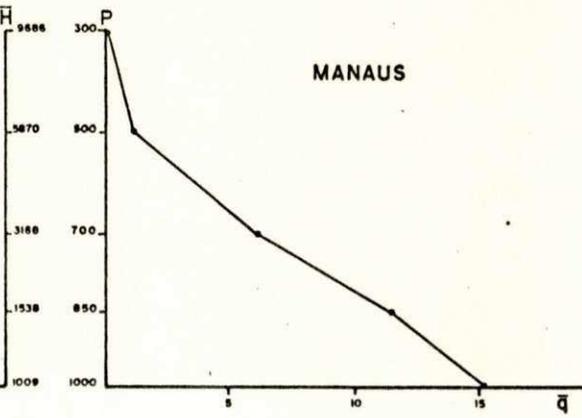
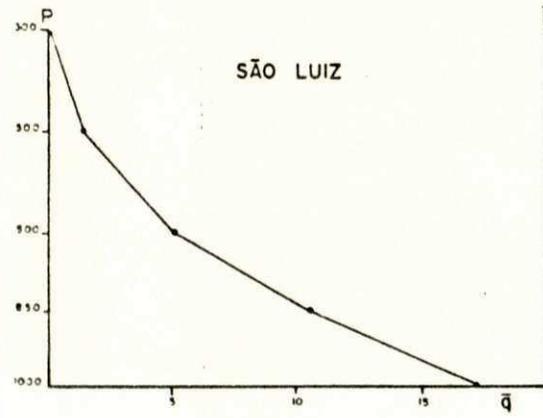
Figura 28 Distribuição vertical da Umidade Específica média do mês



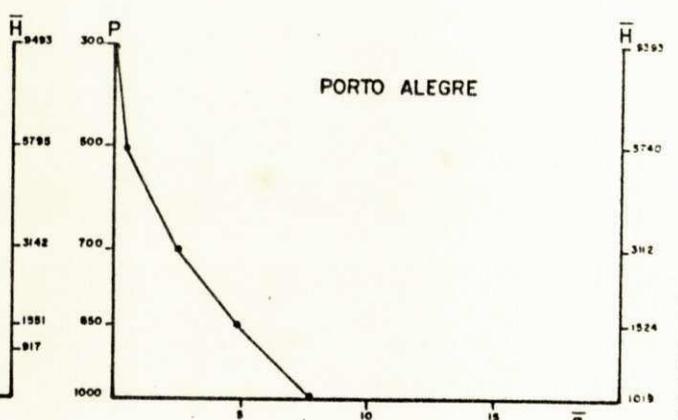
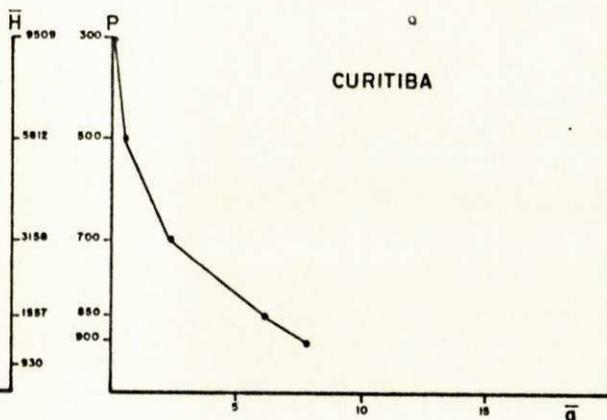
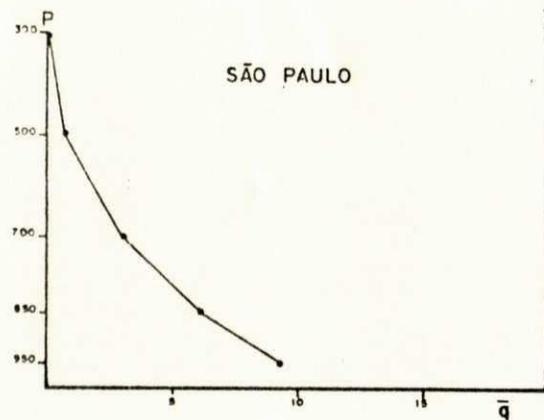
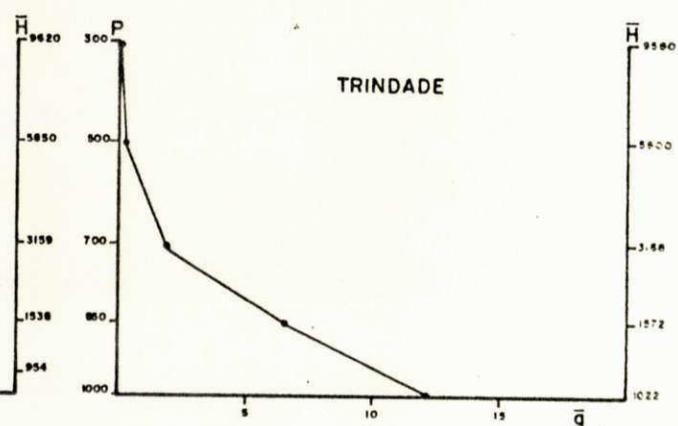
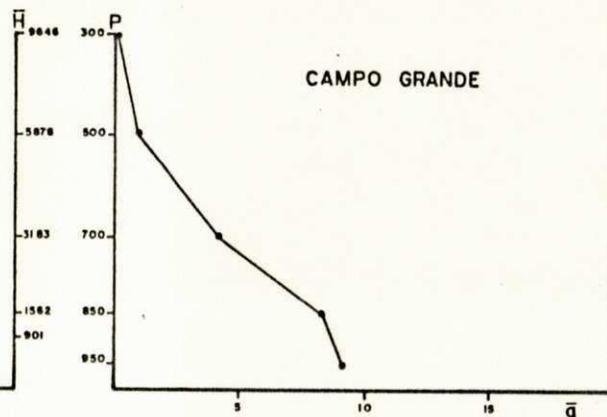
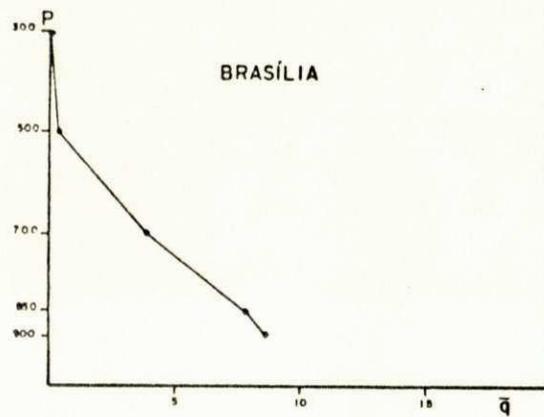


JULHO 1976

Distribuição vertical da Umidade Específica média do mês



JULHO 1976



OUTUBRO 1976

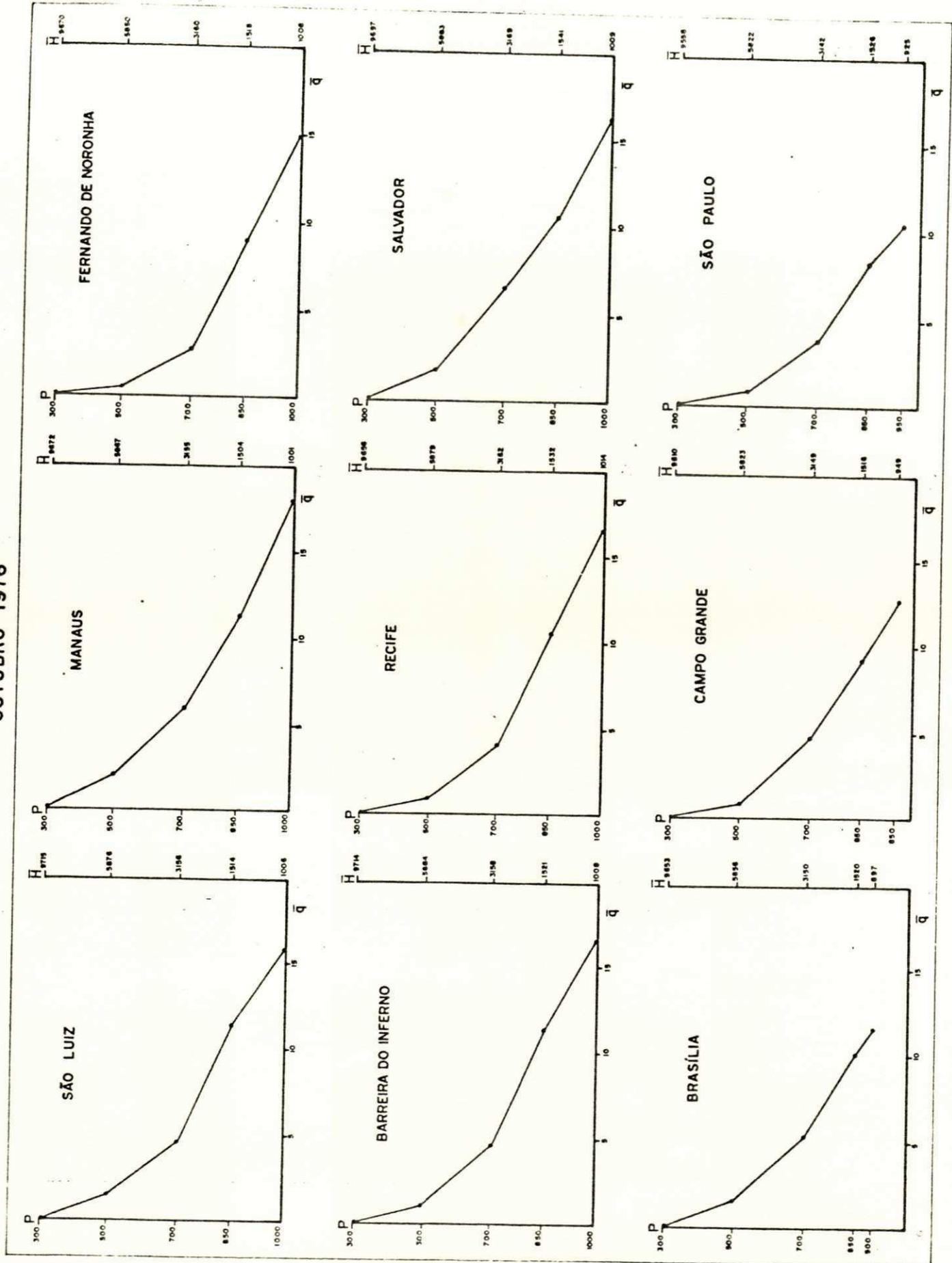
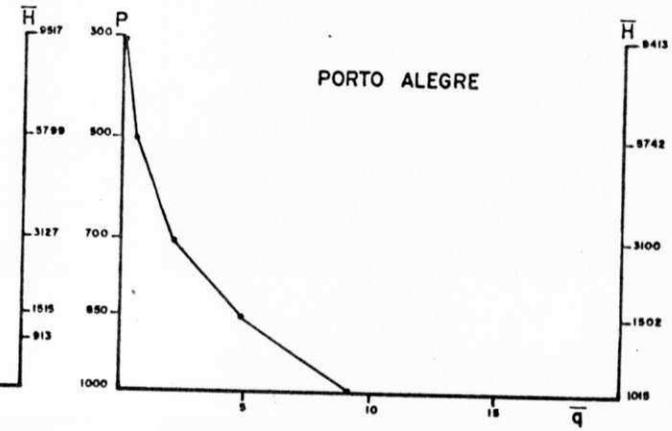
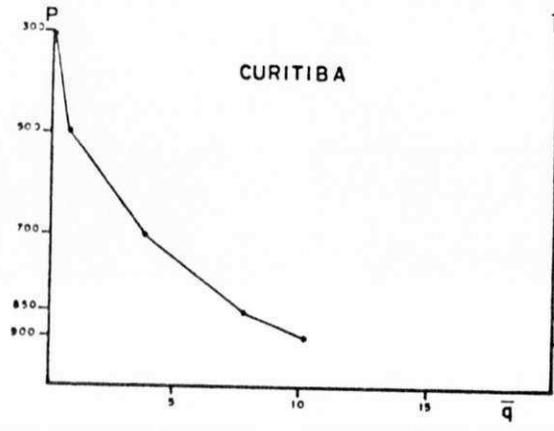


Figura 40. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de OUTUBRO de 1976.

CONT. OUTUBRO 1976



JANEIRO 1977

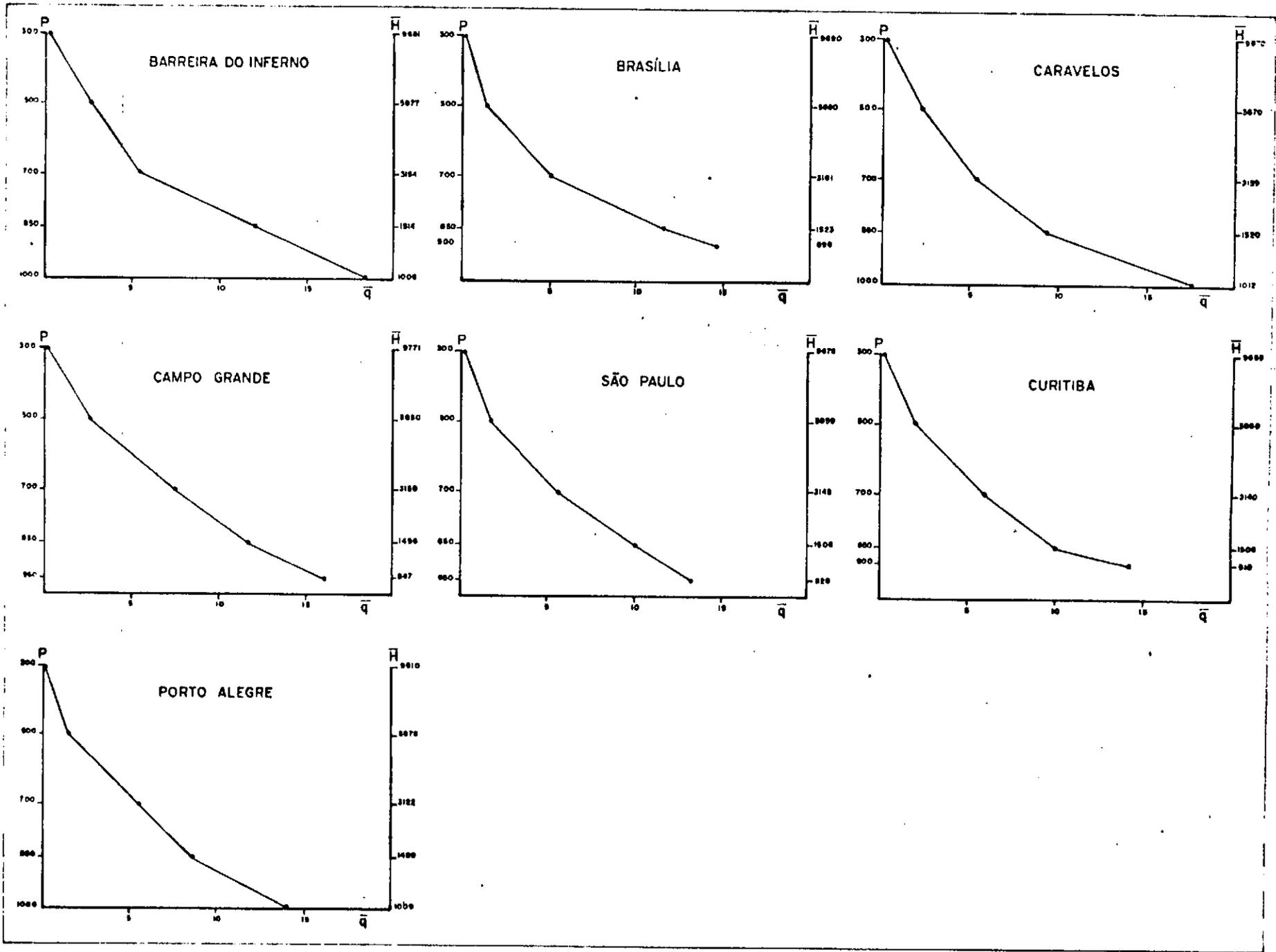


FIGURA A1 Distribuição mensal da Umidade Relativa em São Paulo

ABRIL 1977

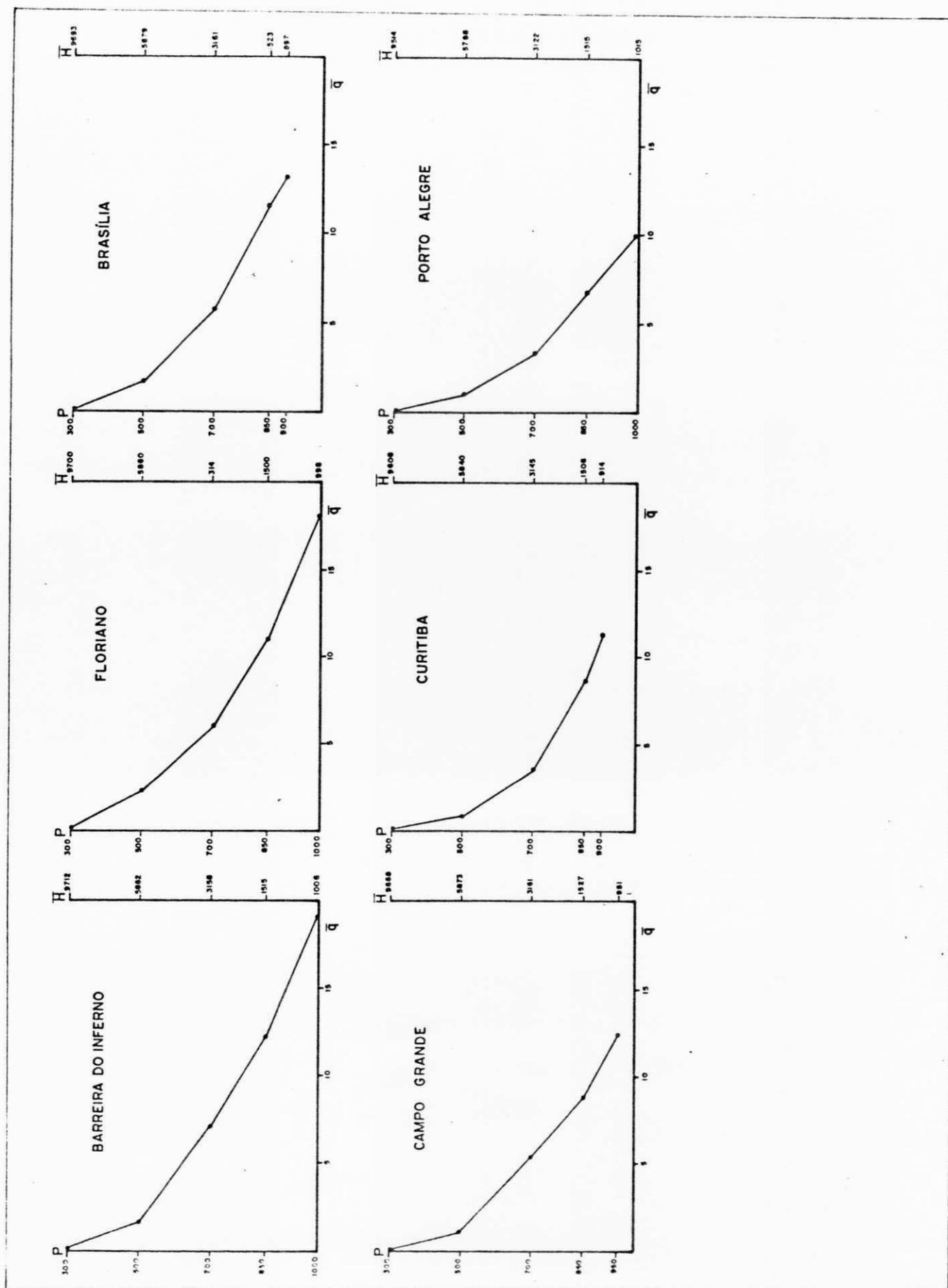


Figura 42. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês

JULHO 1977

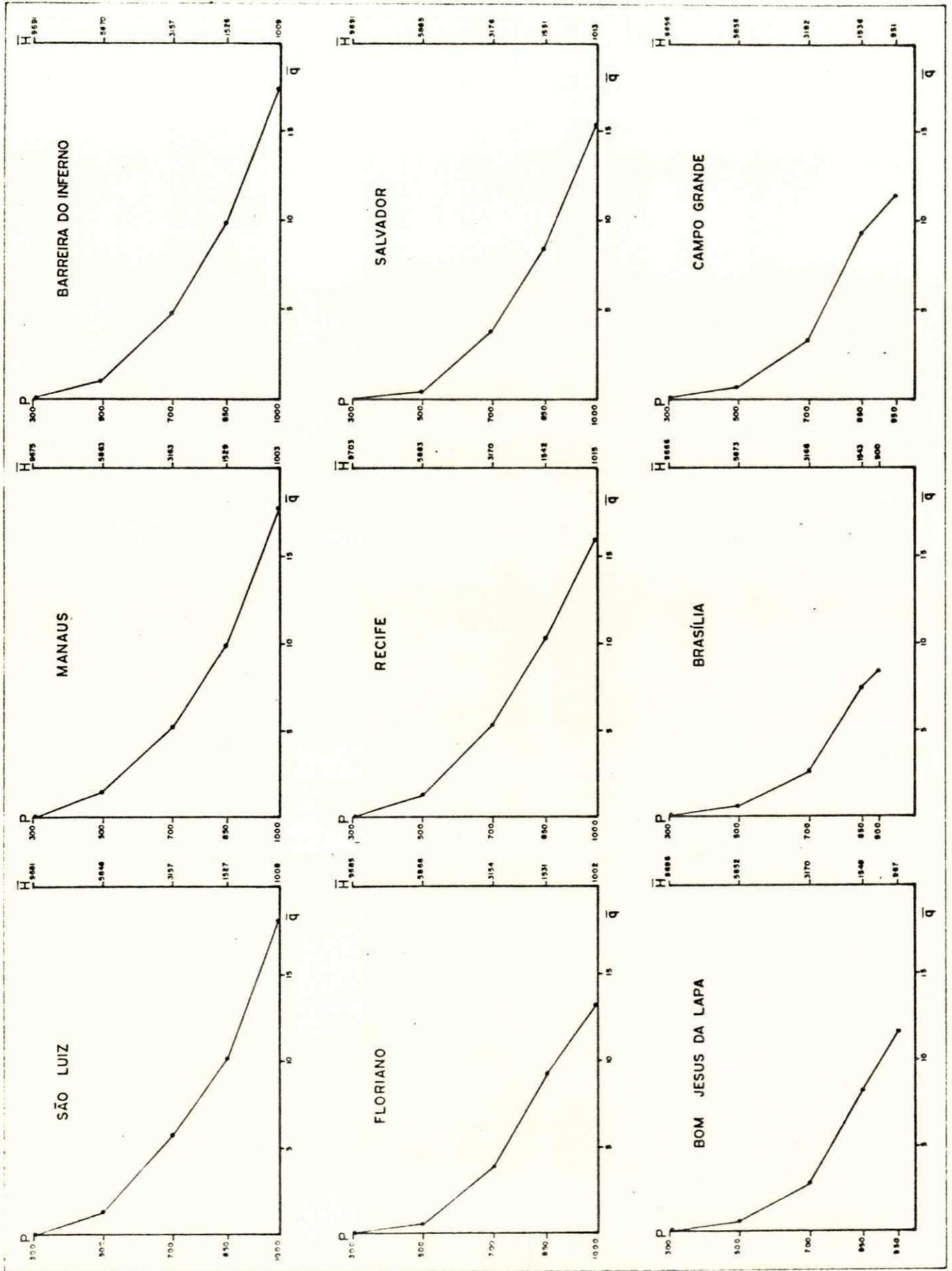
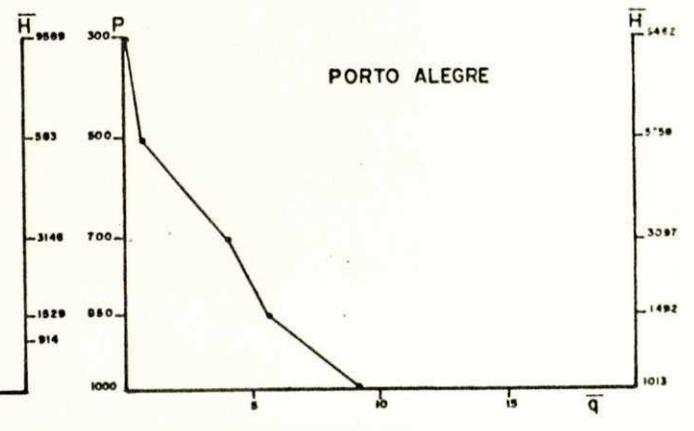
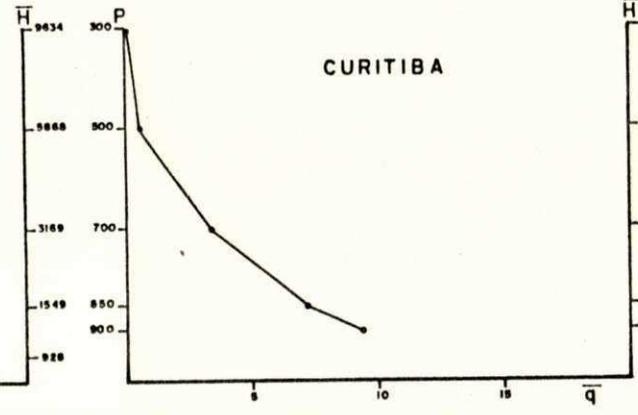
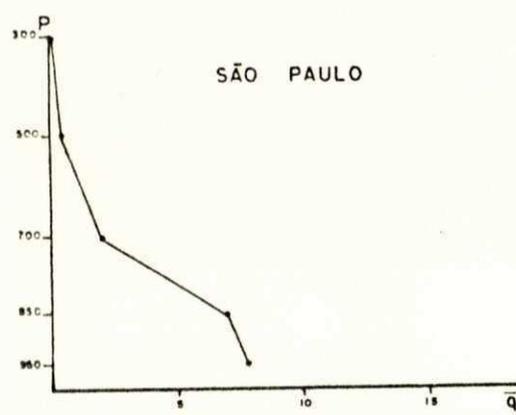


Figura 43. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de JULHO de 1977.



OUTUBRO 1977

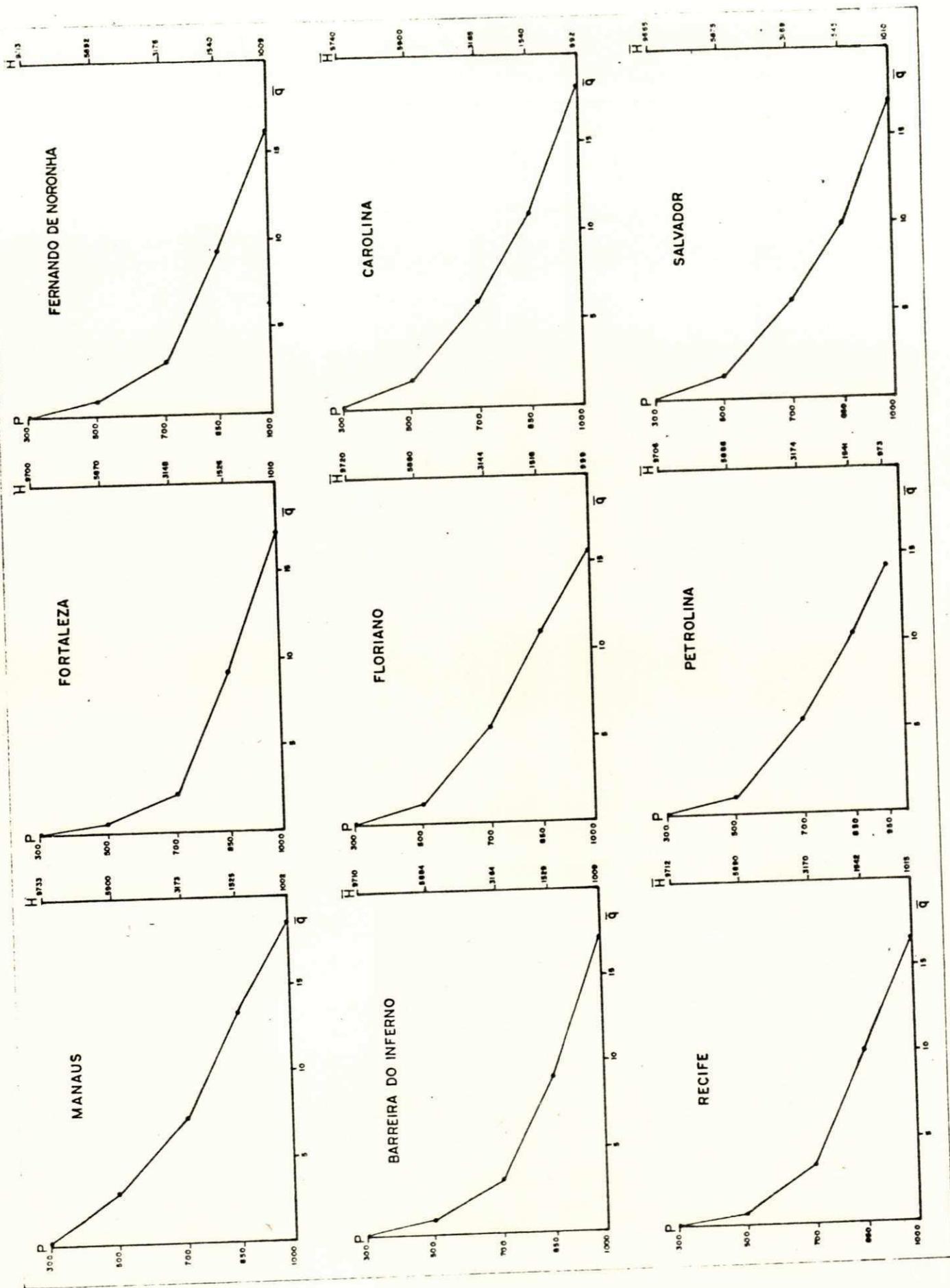
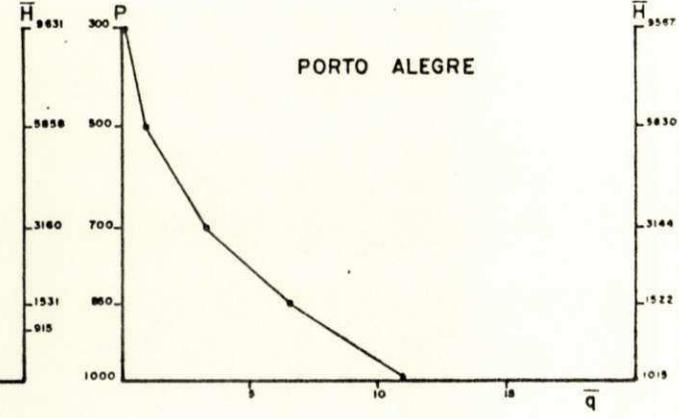
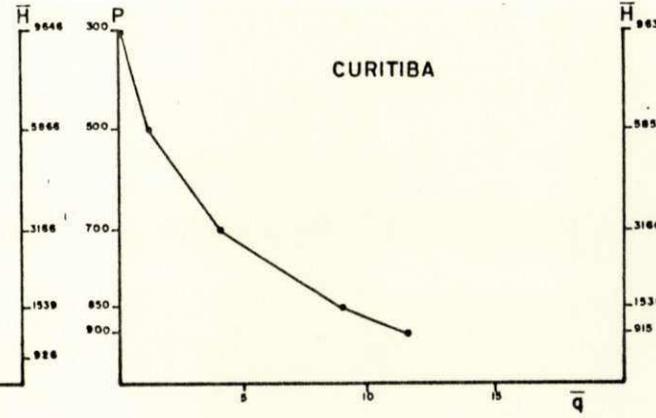
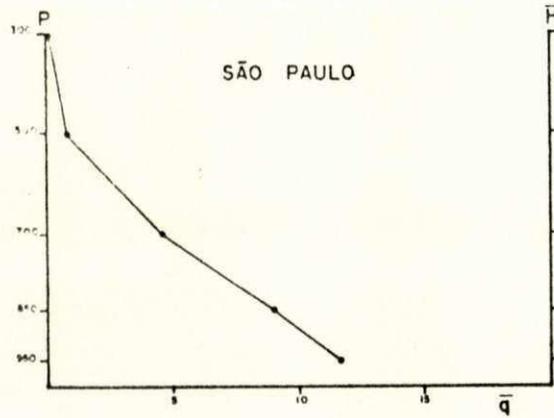
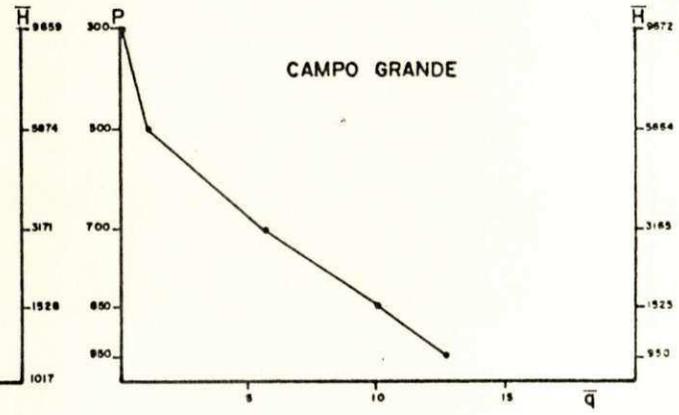
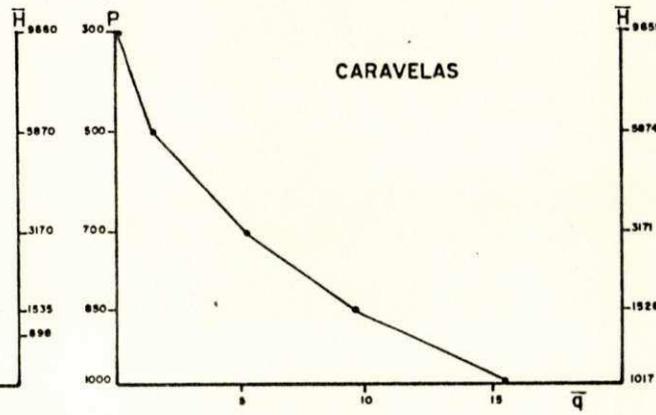
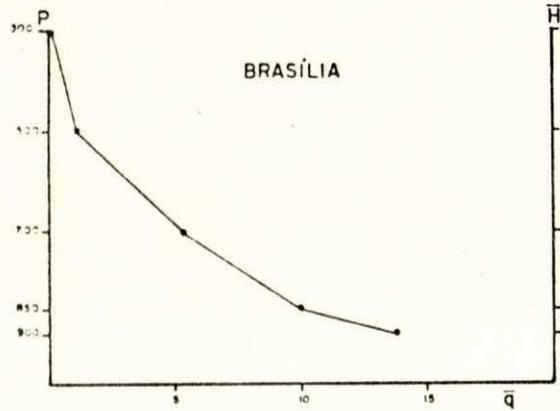


Figura 44. Distribuição vertical da Umidade Específica média no mês de OUTUBRO de 1977. - q (em $g \cdot Kg^{-1}$), P (nível isobárico padrão, em mb) e H (altura média, em m g p).



4.5. O Fluxo de Vapor D'água (\vec{Q})

Os valores mensais das componentes dos fluxos de vapor zonal (Q_λ) e meridional (Q_ϕ) integrados verticalmente, encontram-se nas Tabelas 5 e 6. Com os valores de Q_λ e Q_ϕ foi obtido o vetor fluxo total de vapor d'água \vec{Q} , cujos campos se encontram nas Figuras 45 a 52.

Observou-se nas configurações do fluxo zonal (Q_λ), a predominância de Este, em média, ao Norte de 20°S; durante os meses de janeiro, abril e julho de 1976 e 1977, enquanto que ao Sul dessa latitude verificou-se a predominância do fluxo de oeste. Nos meses de outubro foi observado que o fluxo zonal (Q_λ) é predominantemente de Este ao Norte de 15°S e ao Norte de 25°S, respectivamente nos anos de 1976 e 1977 e abaixo dessas latitudes a predominância do fluxo é de Oeste. Isto deve-se ao fato da predominância dos "ventos de este" na troposfera equatorial e dos "ventos de oeste" na troposfera das latitudes subtropicais.

No mês representativo do inverno, julho de 1976 e 1977, verifica-se ligeiro aumento na intensidade do fluxo de oeste sobre a região Sul do Brasil, isso deve-se ao aumento da intensidade dos ventos de oeste neste período.

Durante os meses estudados, verificou-se que as regiões Norte e Nordeste e parte da região Centro-Oeste, apresentaram um fluxo zonal predominantemente de Este, nas demais regiões a predominância apresentada foi de Oeste.

Nas configurações do fluxo meridional (Q_ϕ), para os meses de janeiro de 1976 e 1977, a predominância foi de Norte sobre todas as regiões, com exceção da região Nordeste do Brasil. Isso deve-se ao fato do anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) encontra-se fraco e afastado do continente.

Já no mês representativo do outono, abril, o fluxo

meridional foi predominante de Sul sobre todas as regiões, com exceção de parte da região Sudeste e seu litoral, observando-se ainda, a predominância do fluxo de norte no Brasil Central, entre os meridianos de 45° a 60° W em abril de 1976. Isso deve-se ao deslocamento para o Sul do ASAS.

Nos meses de julho de 1976 e 1977 o fluxo meridional é predominantemente de Sul sobre as regiões Norte e Nordeste e de Norte nas demais regiões. Isso devido basicamente a influência do deslocamento para Sudoeste do ASAS.

Considerando um mês de transição entre inverno e verão, o mês de outubro (de 1976 e 1977), mostrou predominância de Sul do fluxo meridional sobre a região Nordeste e de Norte nas demais regiões, devido ainda, a proximidade do centro do ASAS em relação ao litoral da região Sudeste do Brasil.

As configurações do fluxo total de vapor d'água, Figuras 45 e 49, mostram que sua direção predomina de Este-Sudeste e Este, sobre as regiões Norte e Nordeste, variando gradualmente para Oeste sobre as demais regiões. A intensidade do fluxo variou entre 1000 e 3000 (g/cm S) no mês de janeiro/76 e entre 600 e 4200 (g/cm S) no mês de janeiro/77.

No mês de abril de 1976, Figura 46, apresenta um escoamento de Este do fluxo de umidade sobre as regiões Norte e Nordeste e, de Oeste sobre a região Sul. A região Sudeste e parte Sul da região Centro-Oeste estão sobre o efeito de uma circulação anticiclônica, com intensidade entre 600 e 3400 (g/cm S); já o mês de abril de 1977, Figura 50, apresenta um escoamento predominante de Sudeste e Leste do fluxo da umidade sobre as regiões Norte e Nordeste, de Nordeste para a região Centro-Oeste e de Noroeste para a região Sul. A região Sudeste está sobre o efeito de uma circulação anticiclônica. A intensidade do fluxo

Os meses de julho de 1976 e 1977 tiveram configurações do fluxo total de vapor d'água, Figuras 47 e 51, semelhantes, com escoamento de Este-Sudeste e Este, sobre as regiões Norte e Nordeste, variando gradualmente para Oeste sobre as demais regiões, apresentando efeito de uma circulação anticiclônica em parte da região Sudeste. A intensidade do fluxo variou entre 600 e 3800 (g/cm S) e entre 600 e 3400 (g/cm S), para julho de 1976 e julho de 1977, respectivamente.

No mês de outubro de 1976, Figura 48, apresenta um escoamento de Este-Sudeste, Este e Este-Nordeste para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Variando de Norte-Noroeste e Sul-Sudoeste sobre a região Sul. Na região Sudeste esta sobre o efeito de uma circulação anticiclônica. A intensidade do fluxo variou entre 600 e 3000 (g/cm S). Já no mês de outubro de 1977, Figura 52, a penetração do vapor d'água no Continente, é praticamente zonal de Este e recurvando, em seguida em direção das latitudes mais altas. A intensidade do fluxo variou entre 200 e 3400 (g/cm S).

Os resultados obtidos das análises do fluxo total de vapor d'água integrado verticalmente estão em concordância, de uma maneira geral, com a distribuição teórica da circulação geral da atmosfera, mostrando a influência dos ventos alísios, dos ventos predominantes de oeste e das faixas subtropicais de pressões altas (grifos da autora).

Observação: As configurações dos fluxos zonal e meridional integrados verticalmente foram analisadas, porém, não se encontram incluídas no trabalho.

TABELA 5

VALORES MENSIS DAS COMPONENTES ZONAL Q_λ E MERIDIONAL Q_ϕ [g. (cm)⁻¹], ANO: 1976

MÊS		JAN	ABR	JUL	OUT
BELÉM	Q_λ	- 3026	-	-	-
	Q_ϕ	541	-	-	-
SÃO LUIZ	Q_λ	- 2781	-3463	-3416	-2170
	Q_ϕ	178	184	497	22
MANAUS	Q_λ	- 1921	-2761	-3294	-2133
	Q_ϕ	471	143	600	- 122
FORTALEZA	Q_λ	-	-	-2942	-
	Q_ϕ	-	-	723	-
FERNANDO DE NORONHA	Q_λ	-2279	-2939	-2038	-1612
	Q_ϕ	419	544	761	286
BARREIRA DO INFERNO	Q_λ	-2325	-3017	-3422	-1668
	Q_ϕ	1220	1645	2194	1739
FLORIANO	Q_λ	-1561	-2471	-1618	-
	Q_ϕ	117	915	498	-
CAROLINA	Q_λ	-	-2026	-	-
	Q_ϕ	-	- 709	-	-
RECIFE	Q_λ	-1488	-1947	-1758	-1196
	Q_ϕ	762	1002	998	139
PETROLINA	Q_λ	-1850	-2276	-1421	-
	Q_ϕ	330	579	563	-
SALVADOR	Q_λ	-	-	-1518	-1046
	Q_ϕ	-	-	866	102
B. JESUS DA LAPA	Q_λ	-	-	-	-
	Q_ϕ	-	-	-	-
BRASÍLIA	Q_λ	-1210	- 731	- 314	- 72
	Q_ϕ	- 291	- 121	- 257	- 349
CARAVELAS	Q_λ	-	-	-	-
	Q_ϕ	-	-	-	-
CAMPO GRANDE	Q_λ	-	663	1511	285
	Q_ϕ	-	285	-1408	-1146
TRINDADE	Q_λ	- 296	-1239	- 539	-
	Q_ϕ	- 212	- 125	- 561	-
SÃO PAULO	Q_λ	380	317	221	425
	Q_ϕ	-1015	- 664	- 374	- 335
CURITIBA	Q_λ	628	457	552	817
	Q_ϕ	- 713	- 442	- 339	- 530
PORTO ALEGRE	Q_λ	1075	1311	1381	398
	Q_ϕ	195	250	- 133	230

TABELA 6

VALORES MENSAIS DAS COMPONENTES ZONAL Q_{λ} E MERIDIONAL Q_{ϕ} [$g. (cm)^{-1}$], ANO : 1977.

ESTAÇÃO	MÊS	JAN	ABR	JUL	OUT
BELÉM	Q_{λ}	-	-	-	-
	Q_{ϕ}	-	-	-	-
SÃO LUIZ	Q_{λ}	-	-	-2853	-
	Q_{ϕ}	-	-	756	-
MANAUS	Q_{λ}	-	-	-2912	-2862
	Q_{ϕ}	-	-	531	- 302
FORTALEZA	Q_{λ}	-	-	-	-2500
	Q_{ϕ}	-	-	-	730
FERNANDO DE NORONHA	Q_{λ}	-	-	-	-2630
	Q_{ϕ}	-	-	-	791
BARREIRA DO INFERNO	Q_{λ}	-3430	-279	-2748	-2464
	Q_{ϕ}	1332	1215	1356	1238
FLORIANO	Q_{λ}	-	-1771	-2041	-1646
	Q_{ϕ}	-	108	535	453
CAROLINA	Q_{λ}	-	-	-	-1474
	Q_{ϕ}	-	-	-	566
RECIFE	Q_{λ}	-	-	-2763	-1547
	Q_{ϕ}	-	-	1372	612
PETROLINA	Q_{λ}	-	-	-	-1380
	Q_{ϕ}	-	-	-	635
SALVADOR	Q_{λ}	-	-	-1488	-1625
	Q_{ϕ}	-	-	198	- 91
B. JESUS DA LAPA	Q_{λ}	-	-	- 712	-
	Q_{ϕ}	-	-	513	-
BRASÍLIA	Q_{λ}	982	- 550	- 687	- 679
	Q_{ϕ}	- 718	- 542	- 194	- 179
CARAVELAS	Q_{λ}	30	-	-	- 581
	Q_{ϕ}	- 987	-	-	- 577
CAMPO GRANDE	Q_{λ}	211	- 196	455	- 387
	Q_{ϕ}	- 903	- 513	-1738	- 654
TRINDADE	Q_{λ}	-	-	-	-
	Q_{ϕ}	-	-	-	-
SÃO PAULO	Q_{λ}	207	-	108	- 20
	Q_{ϕ}	- 963	-	- 585	- 285
CURITIBA	Q_{λ}	268	63	1271	47
	Q_{ϕ}	- 306	- 383	- 986	- 149
PORTO ALEGRE	Q_{λ}	612	771	2624	204
	Q_{ϕ}	- 519	- 155	- 581	- 191

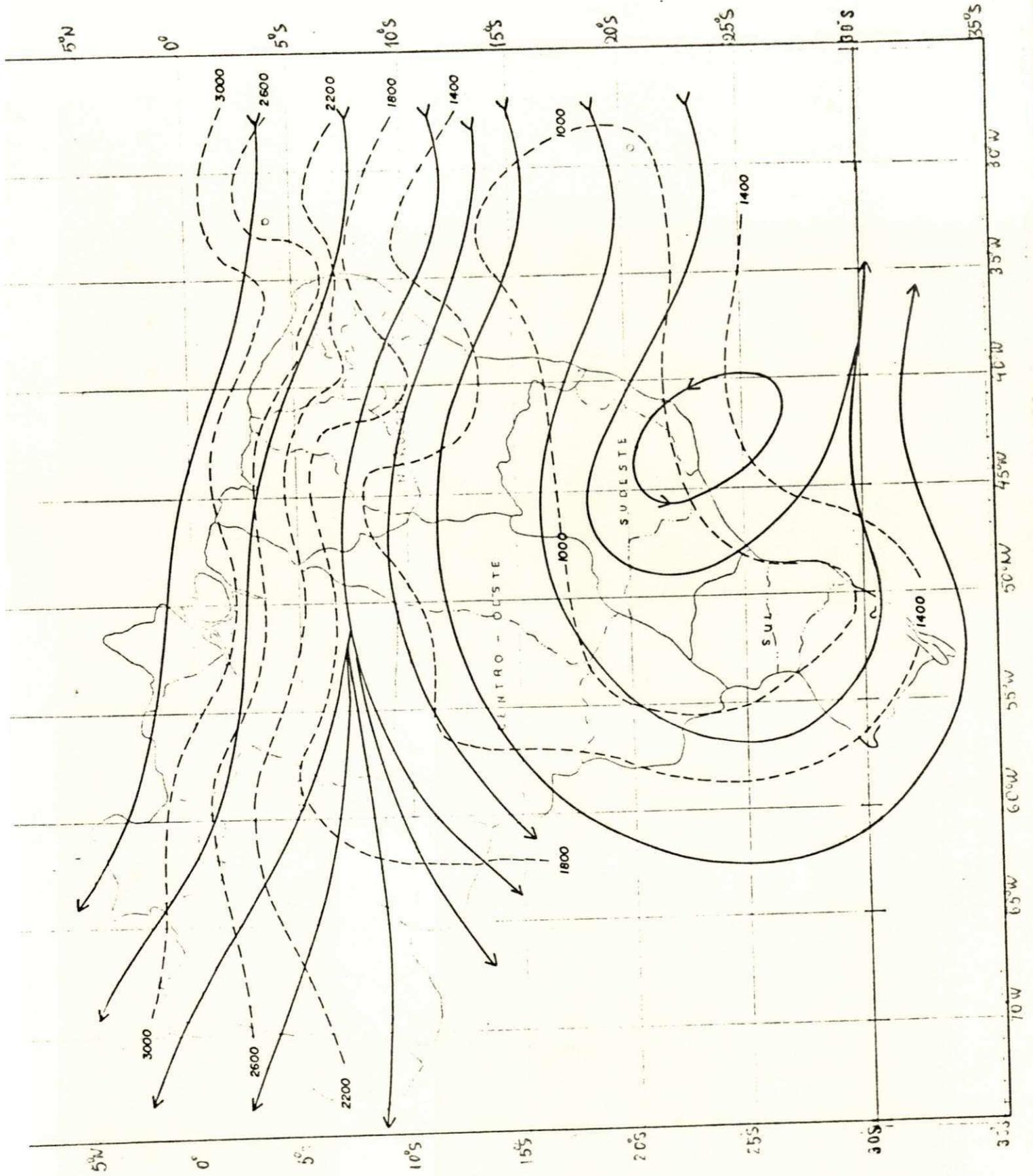


Figura 45. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (Q_v) no mês de JANEIRO de 1976.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$g \cdot (cm \cdot s)^{-1}$] por linhas tracejadas.

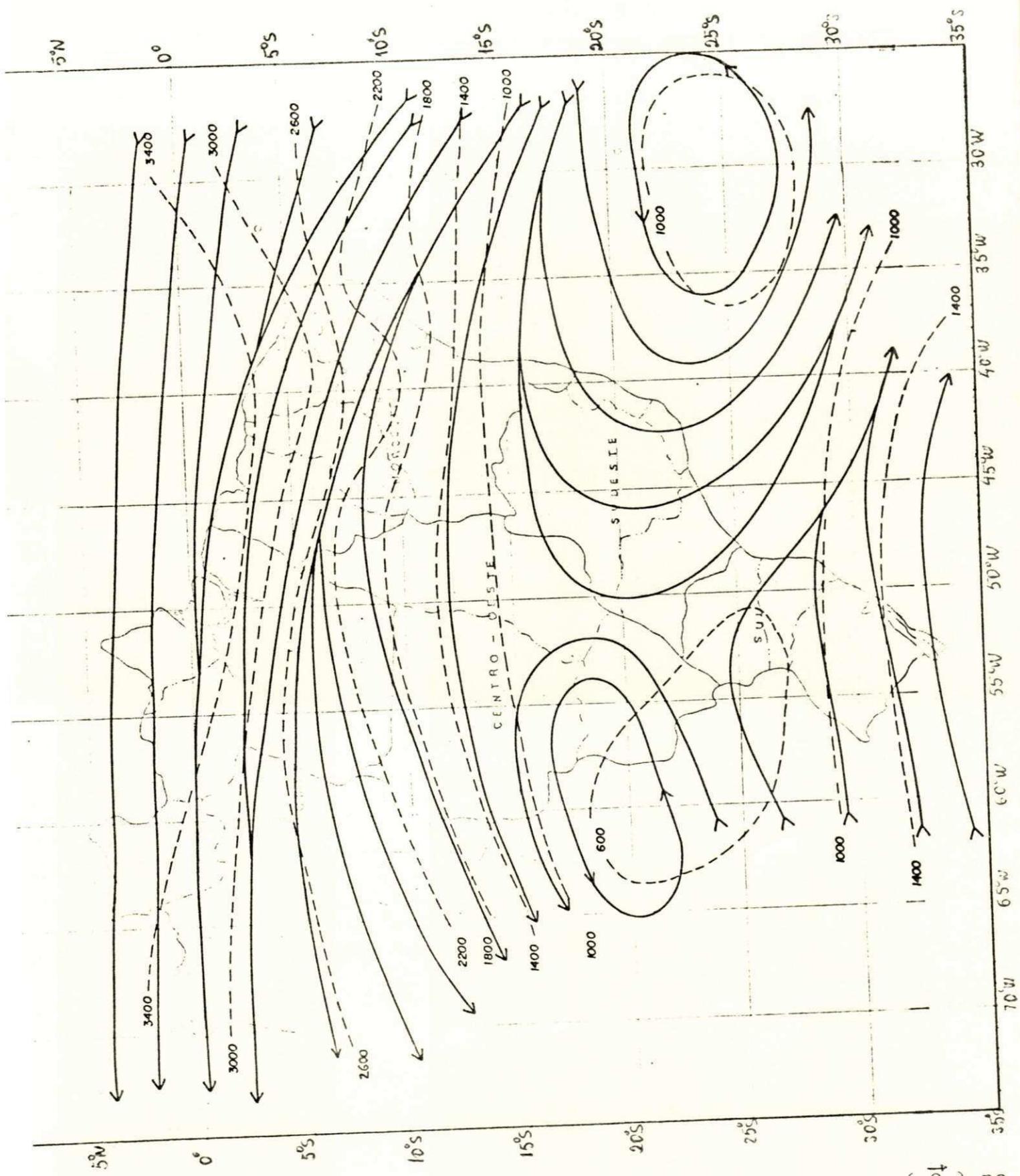


Figura 46. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\bar{Q}) no mês de ABRIL de 1976.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente
... ($g\ s^{-1}$) por linhas tracejadas.

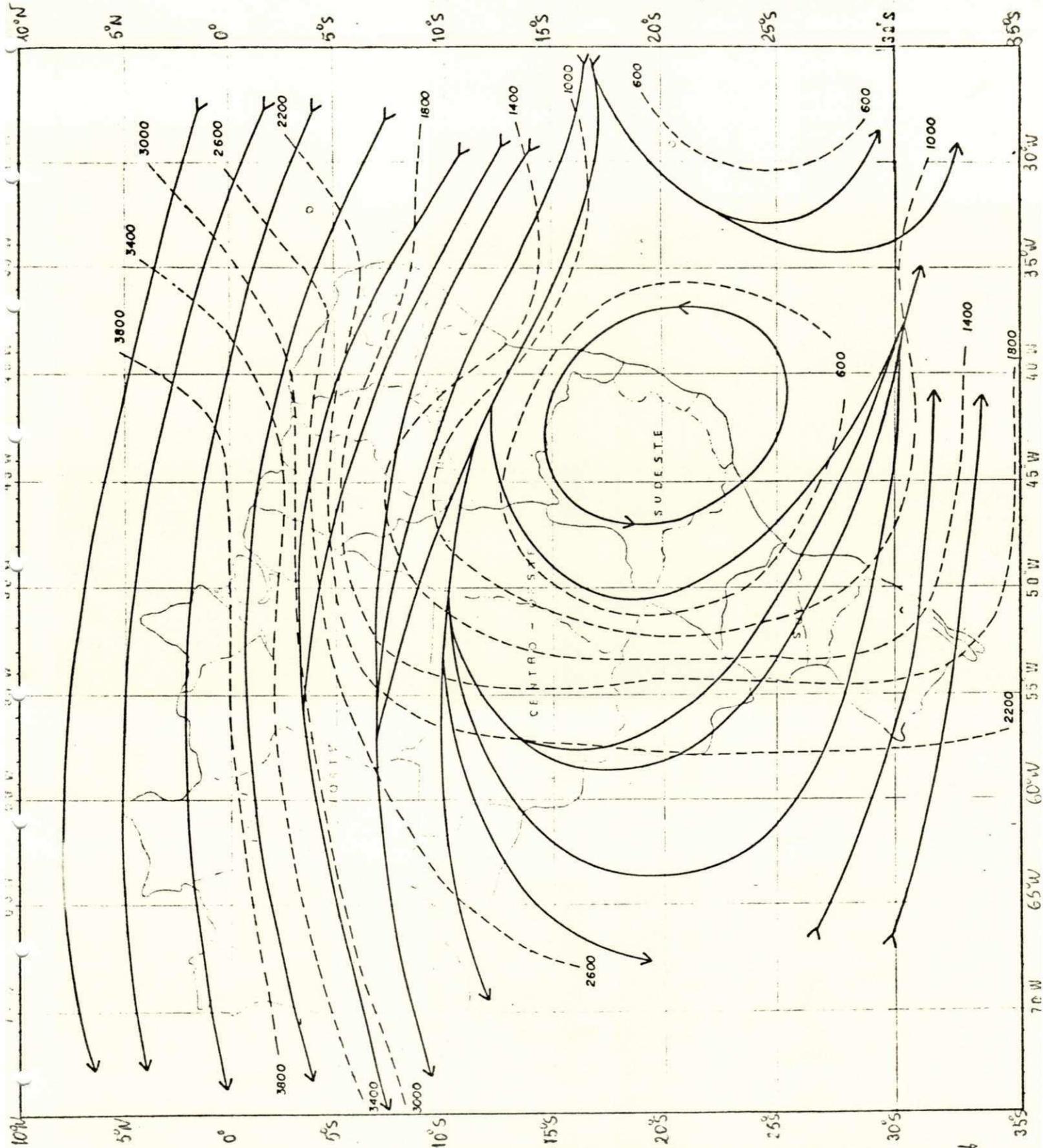


Figura 47. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (Q) no mês de JULHO de 1976.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{s})^{-1}$] por linhas tracejadas.

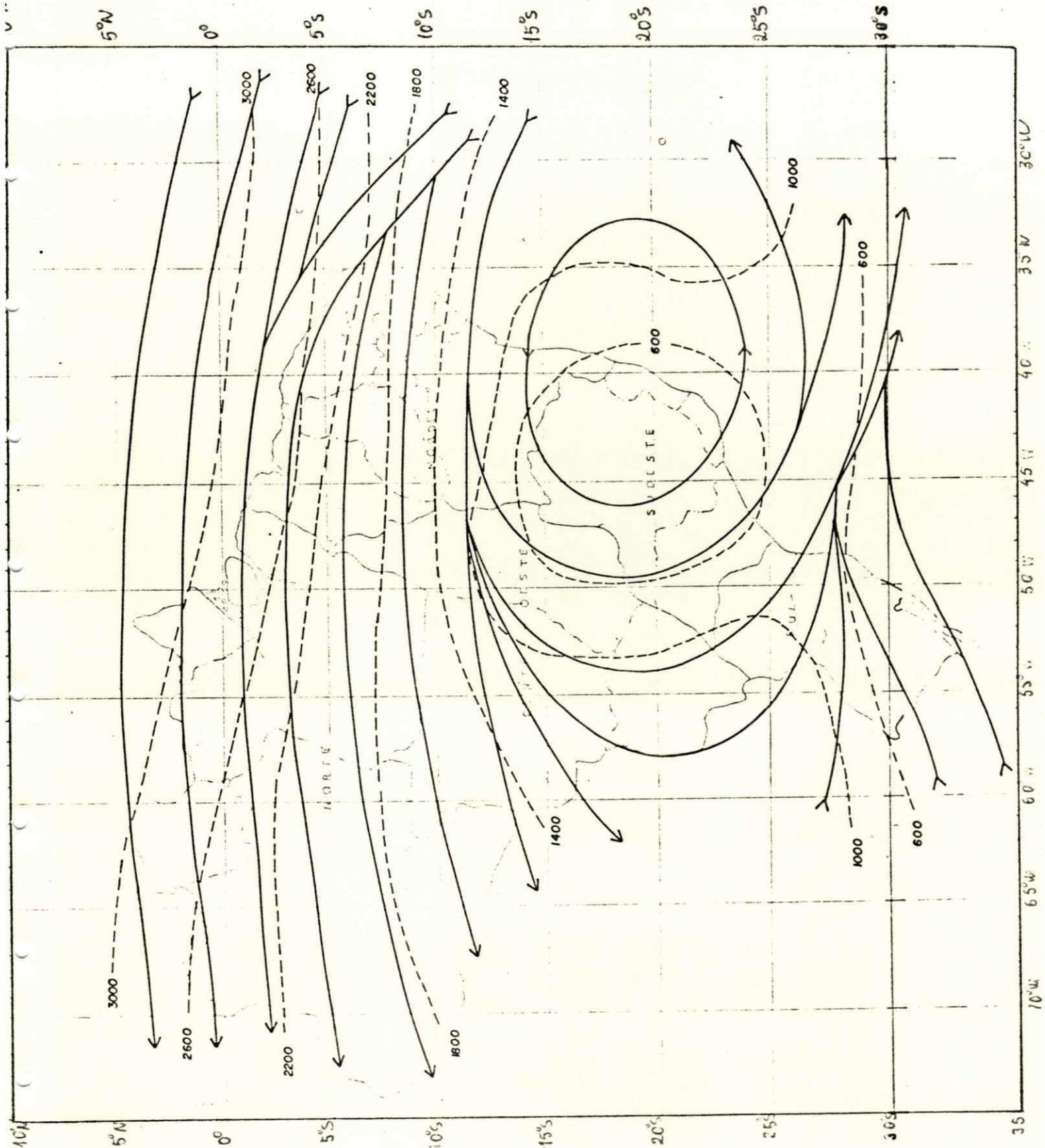


Figura 48. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\bar{Q}) no mês de OUTUBRO DE 1976.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$\text{g} \cdot (\text{cm S})^{-1}$] por linhas tracejadas.

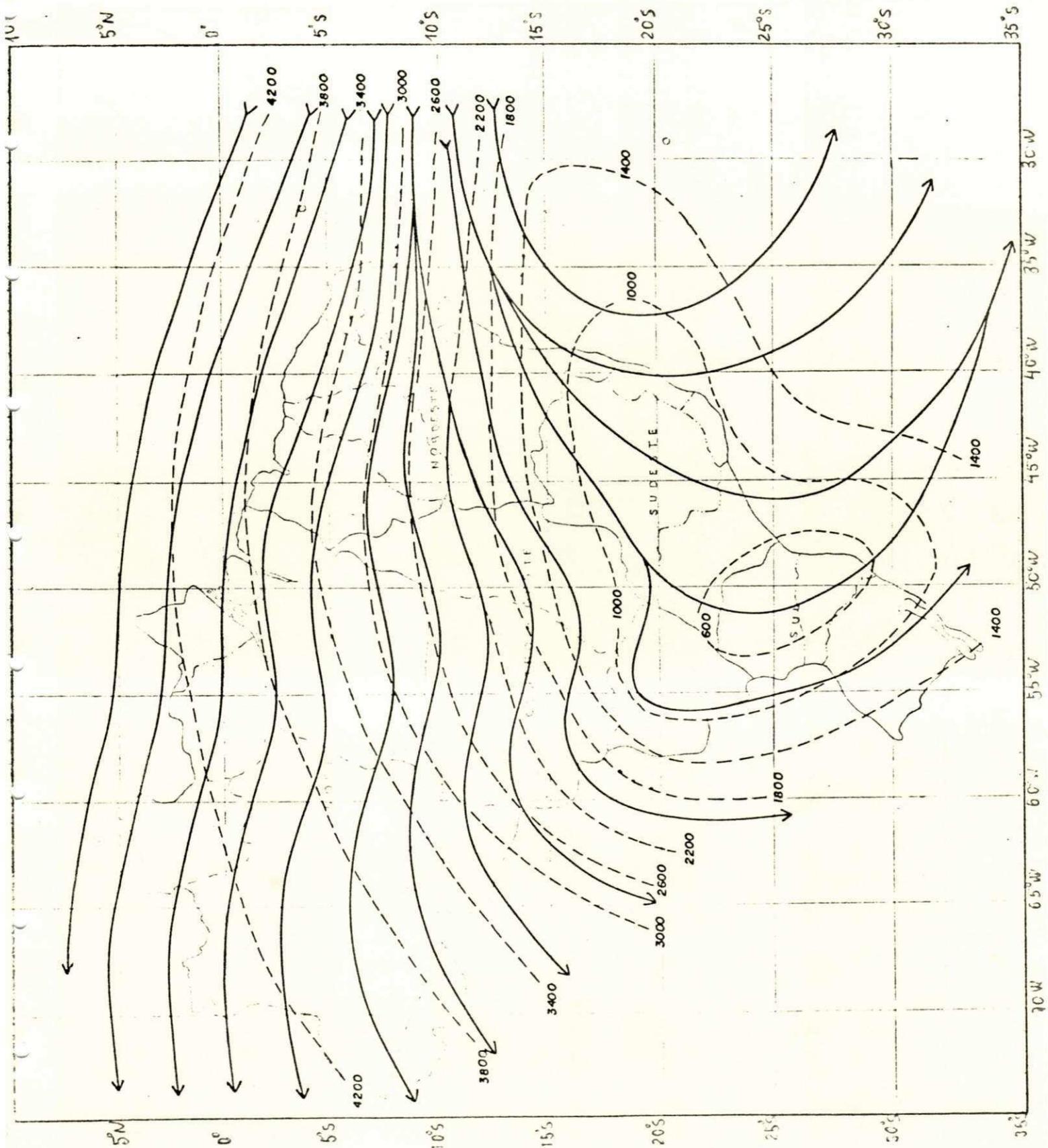


Figura 49. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (Q) no mês de JANEIRO de 1977.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$\text{g.}(\text{cm S})^{-1}$] por linhas tracejadas.

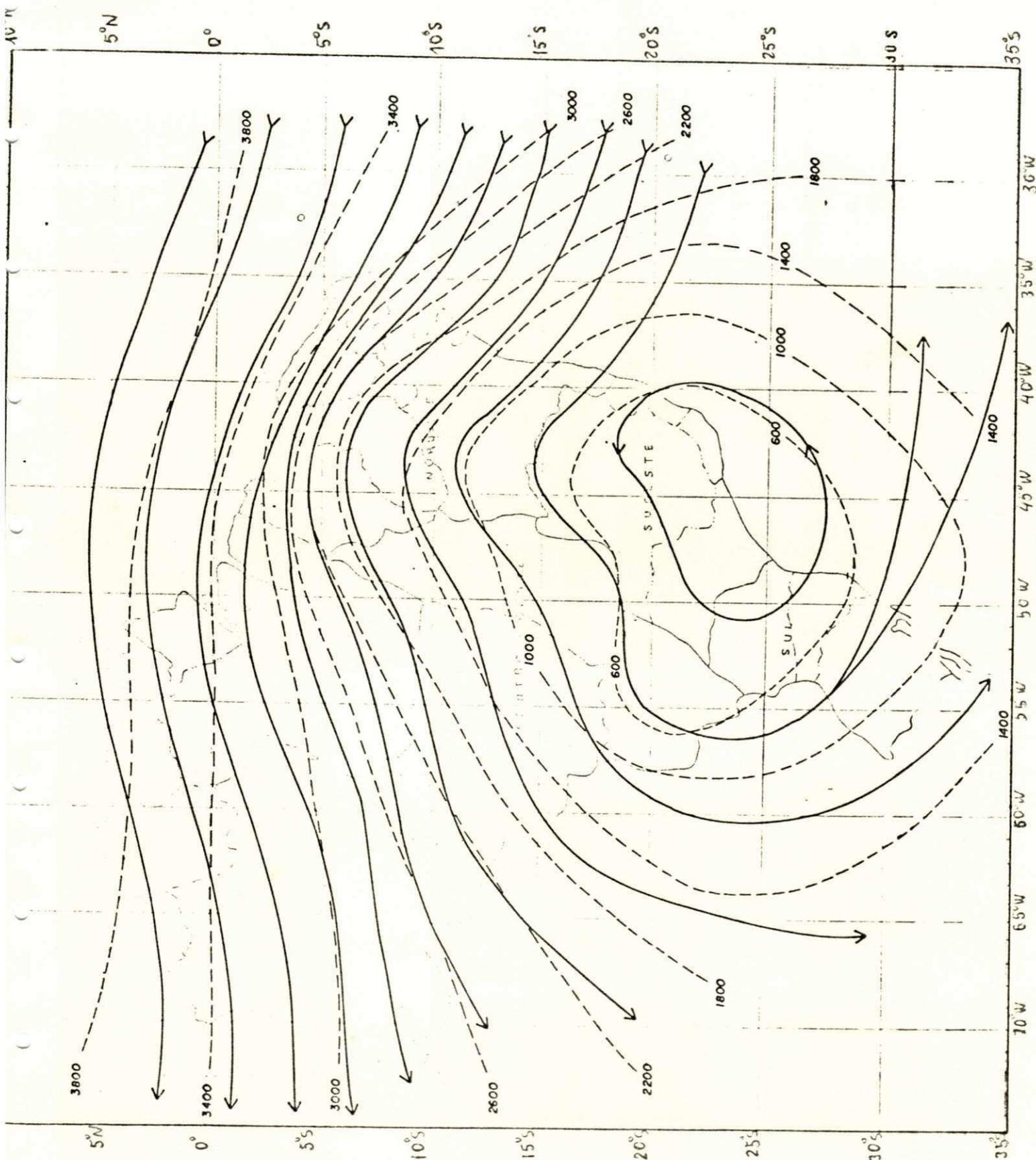


Figura 50. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\bar{Q}) no mês de ABRIL de 1977.

- A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$g \cdot (cm \cdot s)^{-1}$] por linhas de contorno.

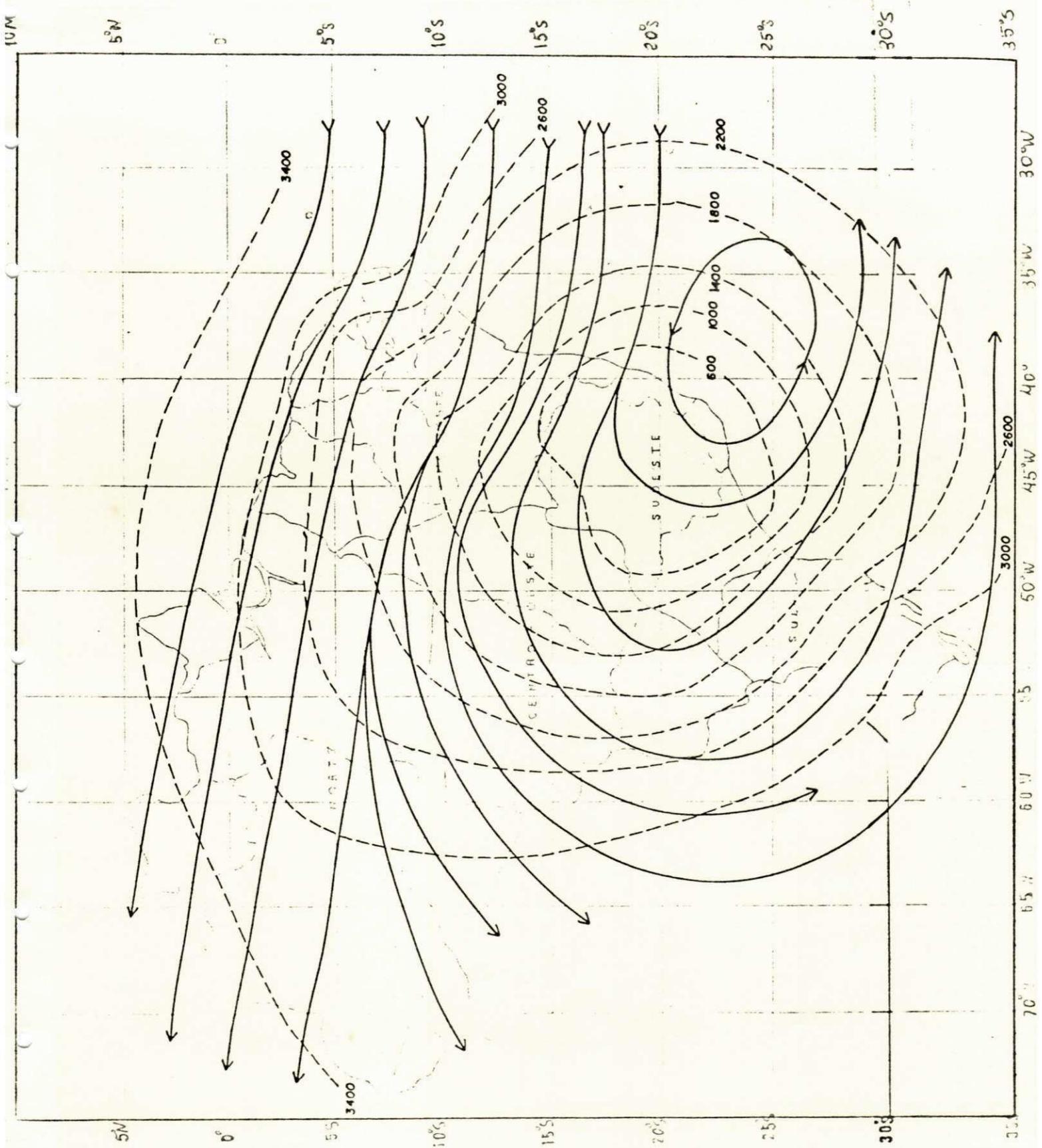


Figura 51. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (\bar{Q}) no mês de JULHO de 1977.
 - A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$\text{g} \cdot (\text{cm S})^{-1}$] por linhas tracejadas.

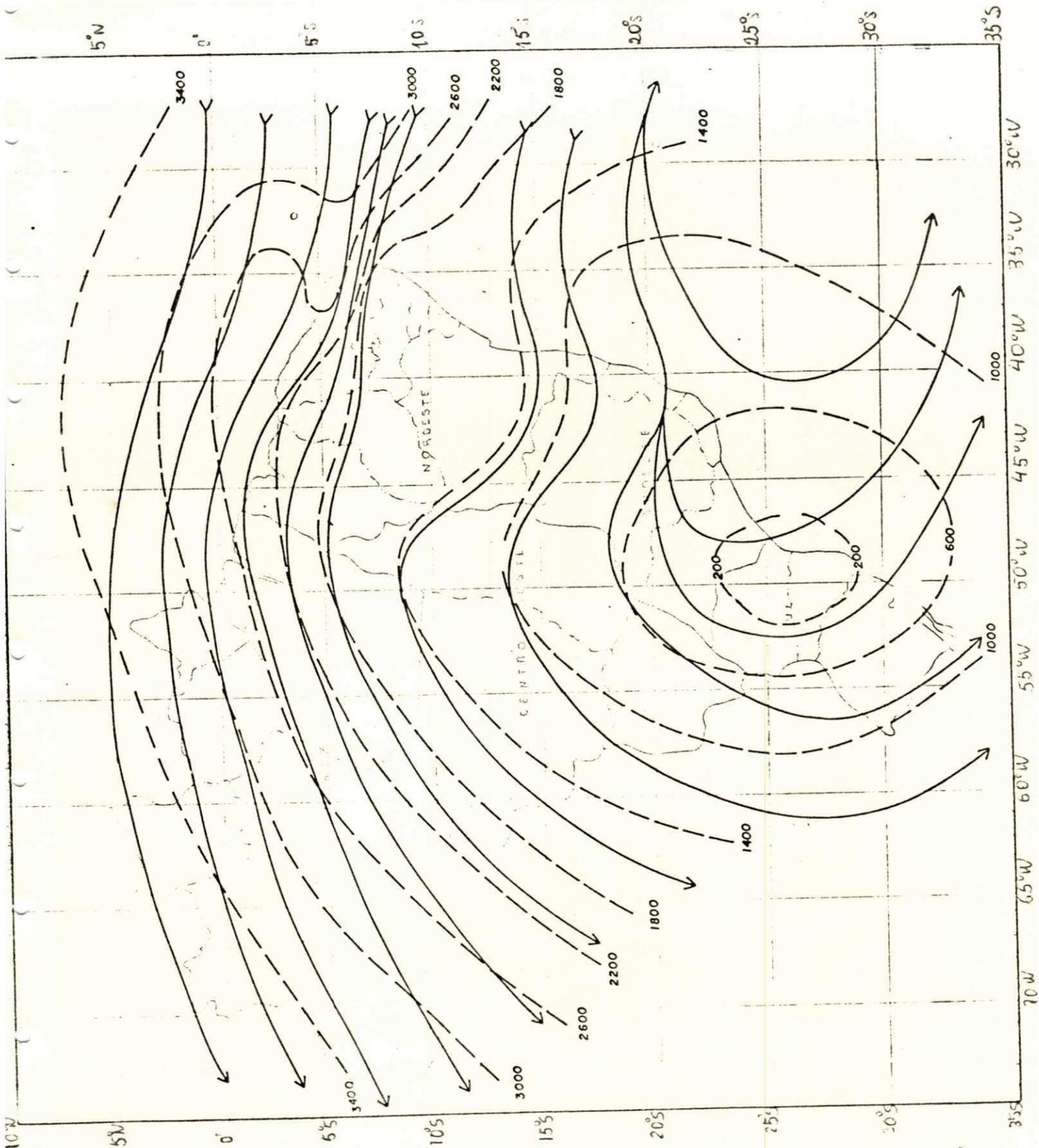


Figura 52. Fluxo Total de Vapor D'água Integrado Verticalmente (Q) no mês de OUTUBRO de 1977.
 - A direção do fluxo é representada por linhas de corrente e a intensidade [$\text{g.}(\text{cm S})^{-1}$] por linhas tracejadas.

4.6. A Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$)

A configuração dos campos de divergência do fluxo de vapor d'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$), Figuras 53 a 60, foram elaboradas, conforme a metodologia descrita, a partir das distribuições espaciais dos fluxos de vapor zonal (Q_x) e meridional (Q_ϕ) para os meses de janeiro, abril, julho e outubro dos anos de 1976 e 1977, onde obteve-se valores pontuais da divergência do fluxo de vapor para uma malha de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude.

No mês de janeiro de 1976, Figura 53, o campo da divergência mostra um centro de convergência (-200 m m) na região Amazônica, outro sobre a região Nordeste (-200 m m) e outro observado na região Sul (-200 m m), estes centros apresentam boa concordância com as áreas de precipitações observadas na região Amazônica, nos Estados do Piauí e Ceará e sobre a região Sul, respectivamente, Figura 5, e com suas correspondentes no campo E - P, Figura 21. Observa-se dois centros de divergência sobre a região Nordeste, um no litoral Leste (+ 300 m m) e outro no interior (+ 200 m m), apresentando concordância com a escassa precipitação e os valores de E - P na mesma área.

No mês de abril de 1976, Figura 54, o campo da divergência mostra um centro de convergência (- 300m m) na região Norte, outro na região Sudeste (- 100m m) e outro na região Sul (- 200m m) mostrando boa concordância com suas respectivas áreas de precipitação, Figura 6, e suas correspondentes no campo E - P, Figura 22. Observa-se um centro de divergência sobre a região Nordeste (+ 300m m) concordando com o campo de E - P sobre a região.

No mês de julho de 1976, Figura 55, o campo de divergência mostra um centro de convergência (- 200m m) na região Nordeste e outro na região Sul (- 300m m) concordando, embora um pouco deslocado, com a precipitação no litoral

Leste da região Nordeste e a precipitação da região Sul, respectivamente, Figura 7, e suas correspondentes, também com um pouco de deslocamento, no campo de E - P, Figura 23. sobre a região. Observa-se dois centros de divergências, um na região Nordeste (+300 m m) e outro na região Centro-Oeste (+ 300 m m) apresentando boa concordância com a escassa precipitação e os valores positivos de E - P sobre a região.

No mês de outubro de 1976, Figura 56, apresenta um centro de divergência da região Nordeste (+ 300 m m) e outro a Oeste da região Centro-Oeste (+ 200 m m), apresentando boa concordância com a escassa precipitação e os campos de E - P para a região Nordeste, não apresentando concordância com a precipitação e os valores de E - P para a região Centro-Oeste, Figuras 8 e 24, respectivamente; isto deve-se aos altos valores de água precipitável observado na região, Figura 32. Apresenta um centro de convergência na região Nordeste (-100m m) e outro na região Sul (- 200 m m) mostrando boa concordância com a precipitação observada e os campos de E - P para o Estado da Bahia e a região Sul, respectivamente.

No mês de janeiro de 1977, Figura 57, apresenta, apenas, um centro de divergência no litoral Leste da região Nordeste (+ 400 m m) e outro no litoral a Sudeste do Brasil, apresentando boa concordância com a escassa precipitação e os campos de E - P, Figuras 9 e 25, respectivamente. No restante do Território Brasileiro observa-se convergências concordando com as elevadas precipitações e o campo de E - P da região.

No mês de abril de 1977, Figura 58, o Território Brasileiro apresenta sempre convergências concordando com as elevadas precipitações e o campo de E - P.

No mês de julho de 1977, Figura 59, o campo de divergência apresenta dois centros de convergências, um na região Nordeste (-200 m m) e outro na região Sul (- 300mm) mostrando boa concordância com a precipitação e com os valores da quantidade E - P, observados no litoral Leste da região Nordeste e ao Sul da região Sul, respectivamente , Figuras 11 e 27. Apresenta divergência com centro na região Centro-Oeste (+400 m m) concordando, também, com a precipitação e os valores de E - P para a região.

No mês de outubro de 1977, Figura 60, o campo de divergência apresenta um centro de convergência na região Sudeste (-100 m m) e no restante das regiões apresenta divergências não mostrando boa concordância com suas correspondentes nos campos de precipitação e de E - P, Figuras 12 e 28, respectivamente. Isso deve-se aos altos valores de água precipitável observado na região, Figura 36.



Figura 53. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot Q$) no mês de JANEIRO DE 1976.

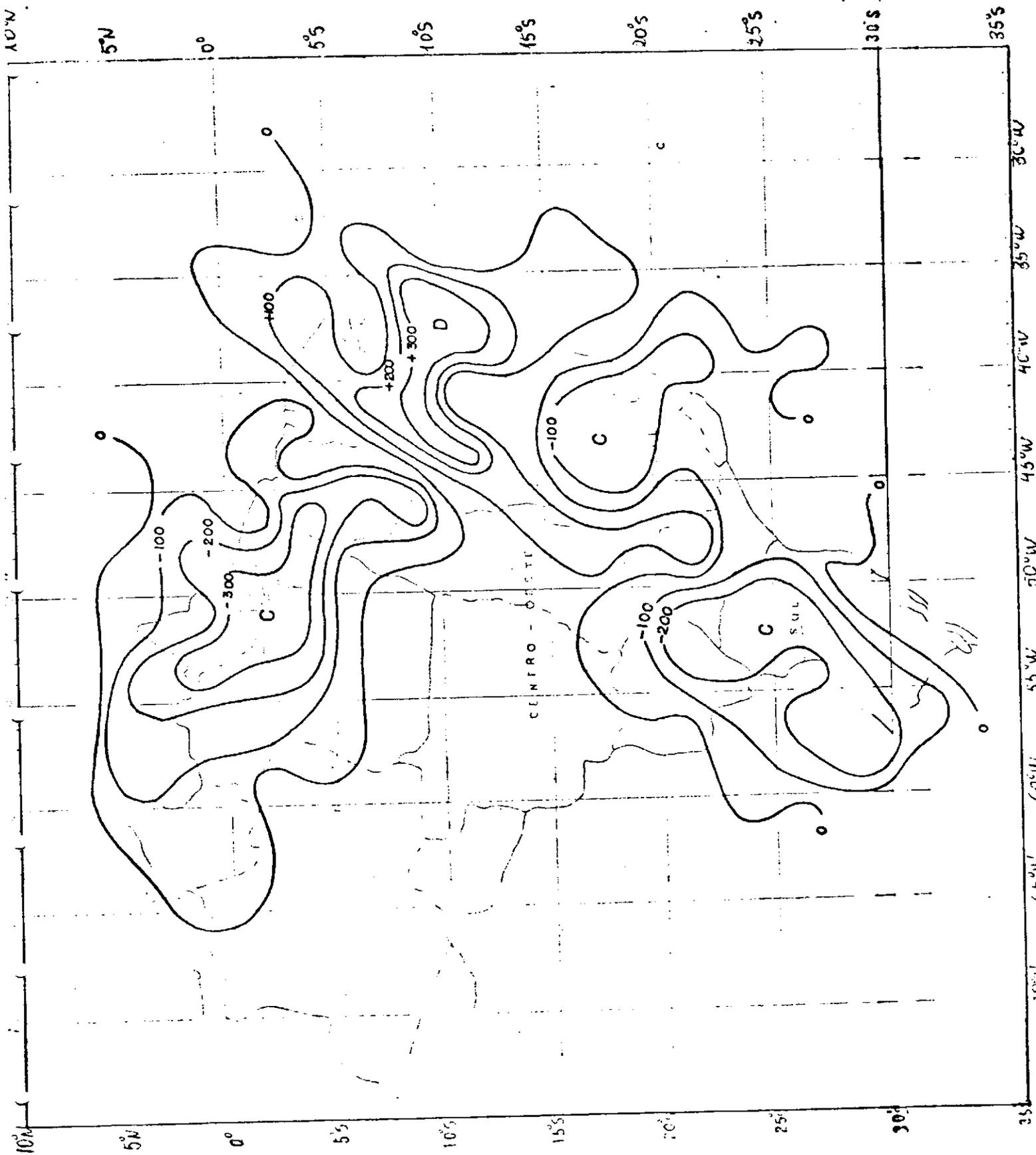


Figura 54. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água (V.Q) no mês de ABRIL de 1976.

- Em (m m)

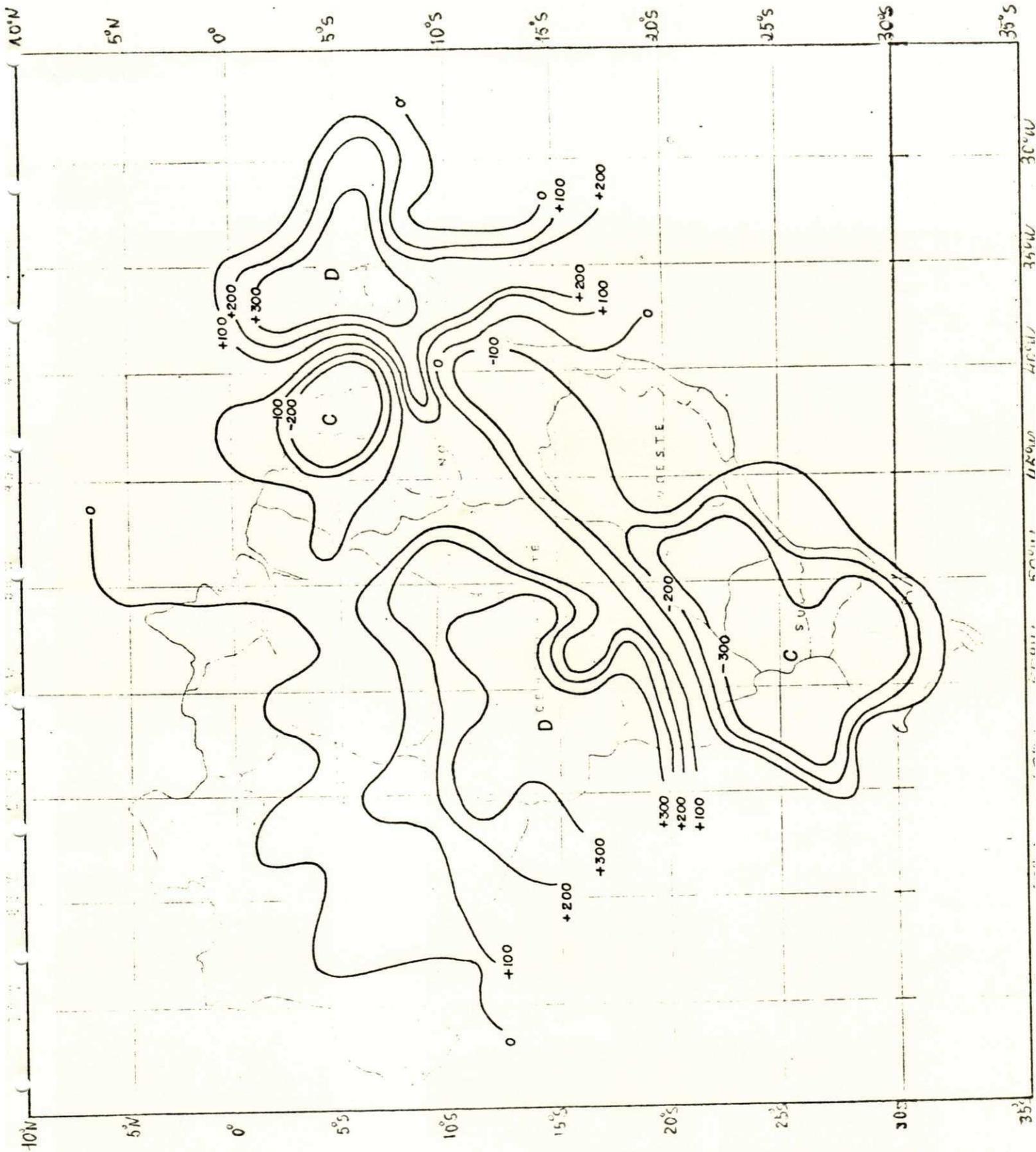


Figura 55. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água. ($\nabla \cdot Q_4$) no mês de JULHO de 1976.

- Em (m m).

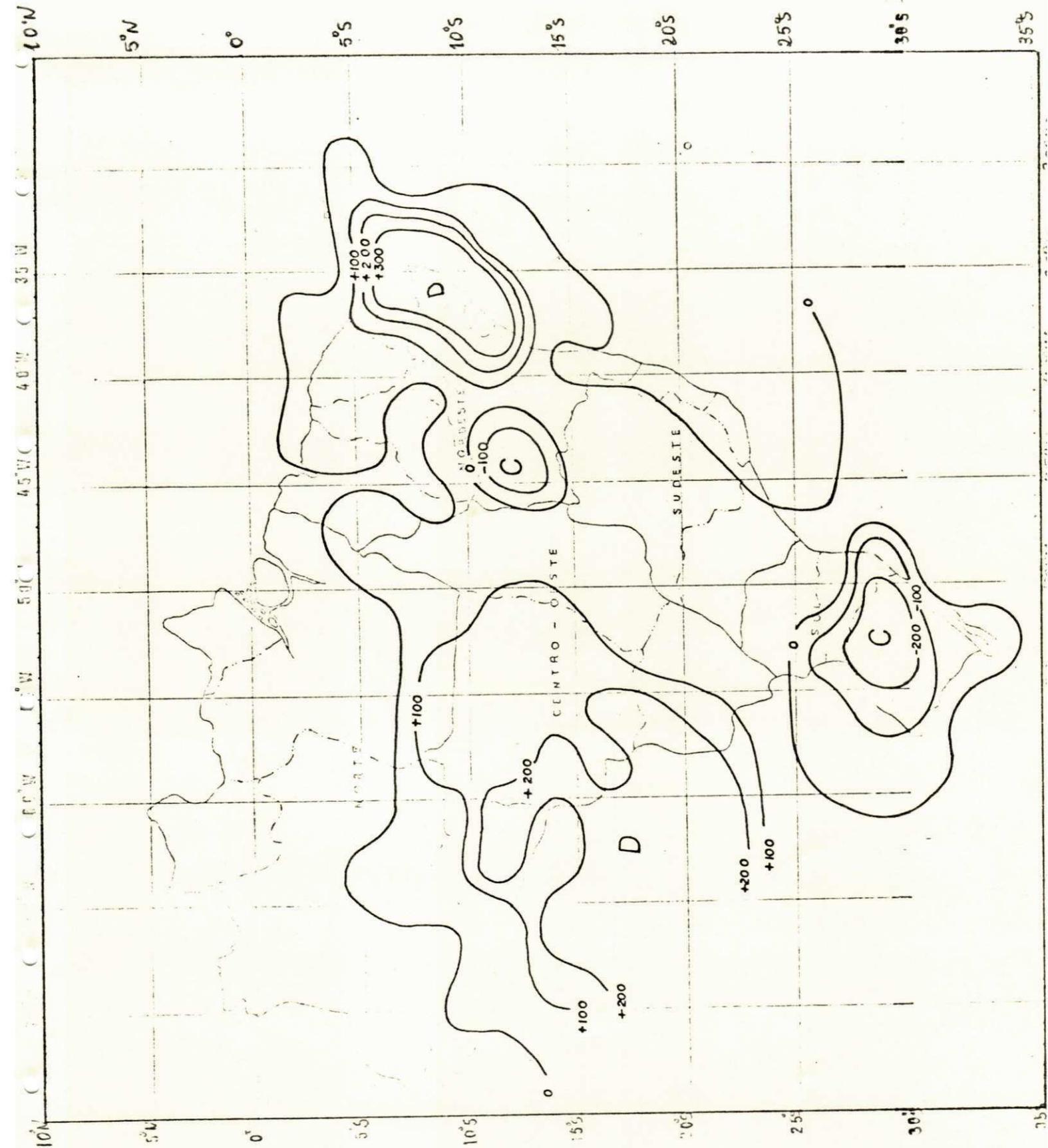


Figura 56. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$) no mês de OUTUBRO de 1976.

- Em (m m).

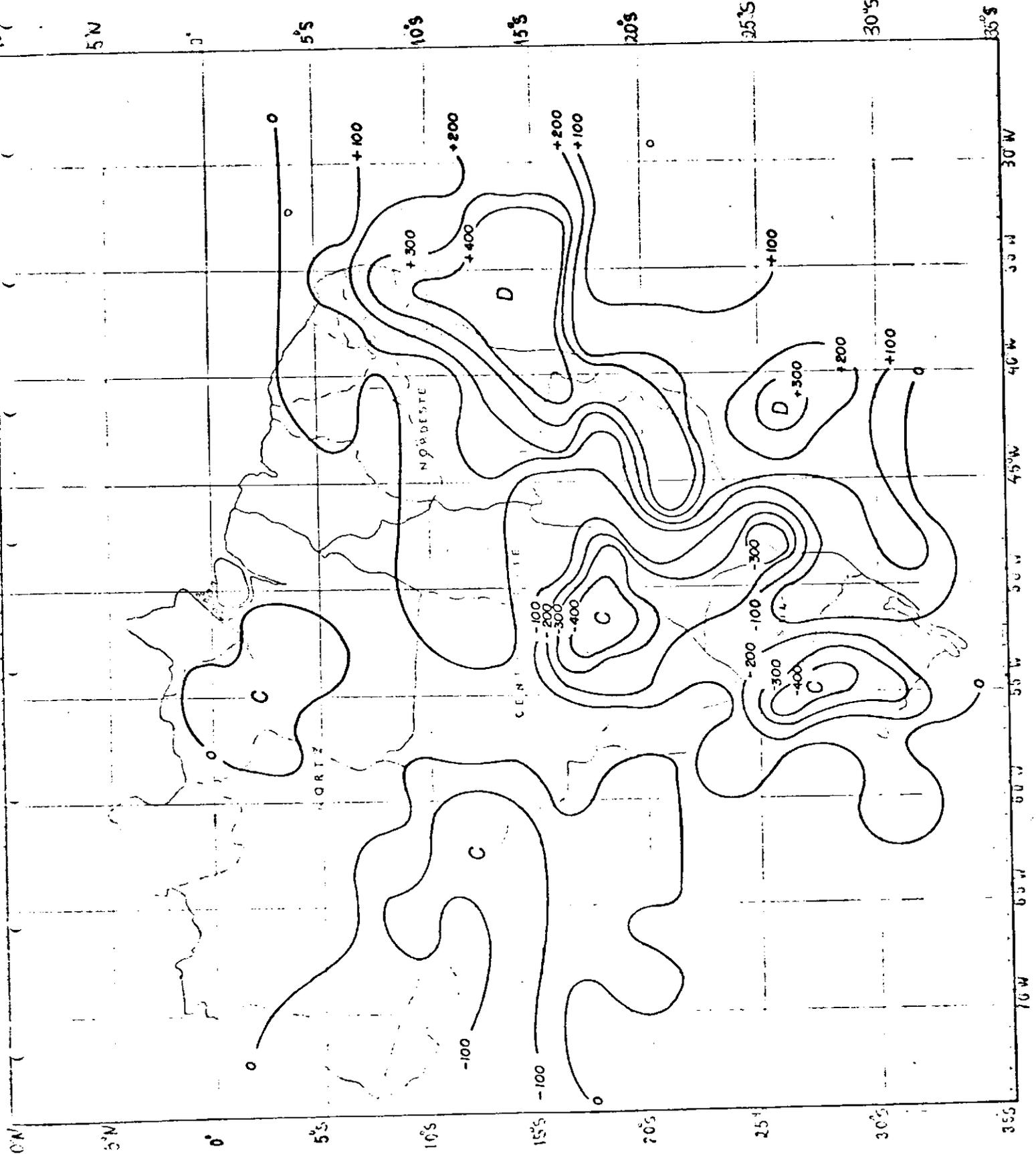


Figura 57. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot Q_f$) no mês de JANEIRO de 1977.

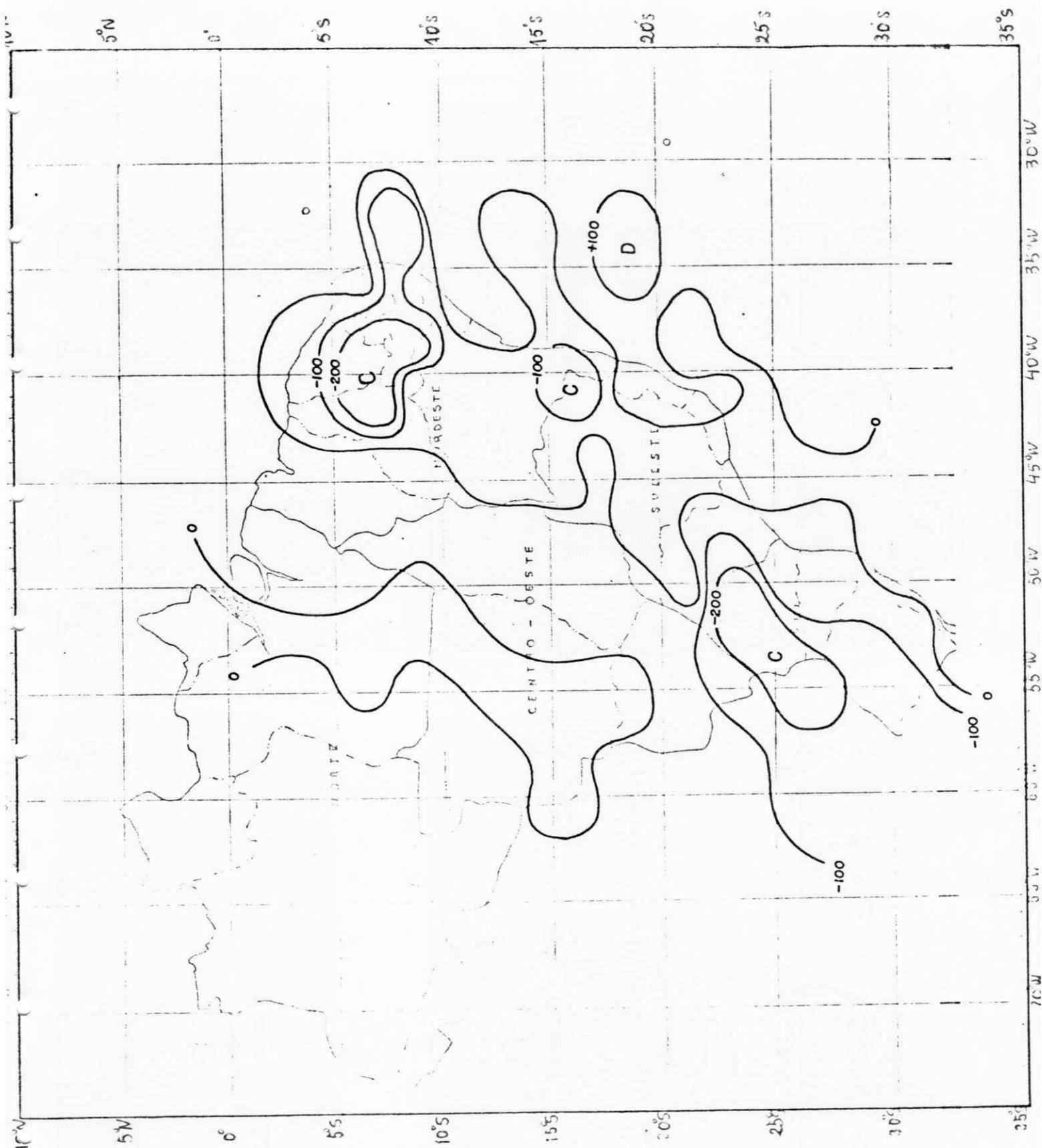


Figura 58. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot Q \uparrow$) no mês de ABRIL de 1977.

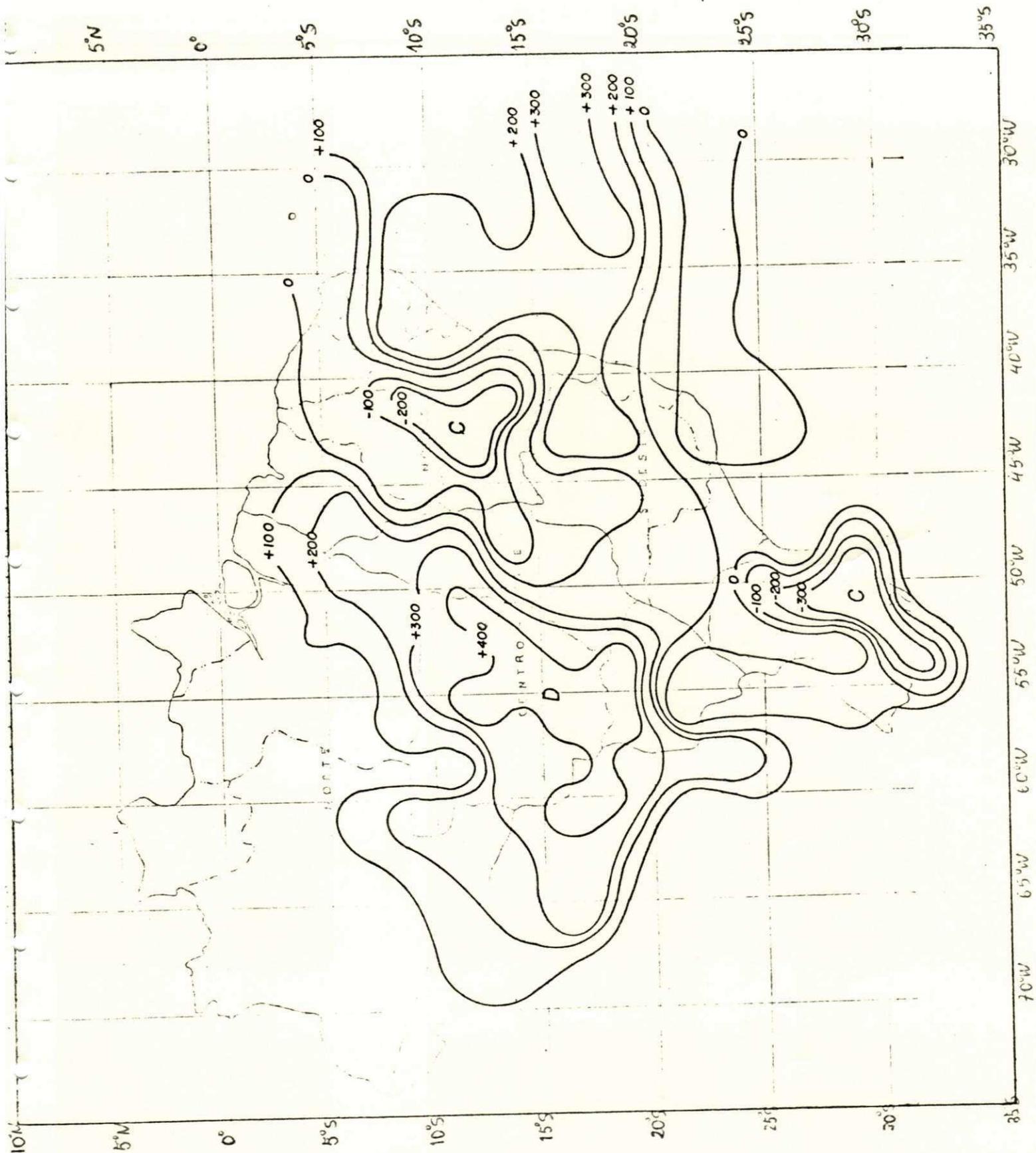


Figura 59. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot \vec{Q}_f$) no mês de JULHO de 1977.

- Em (m m).

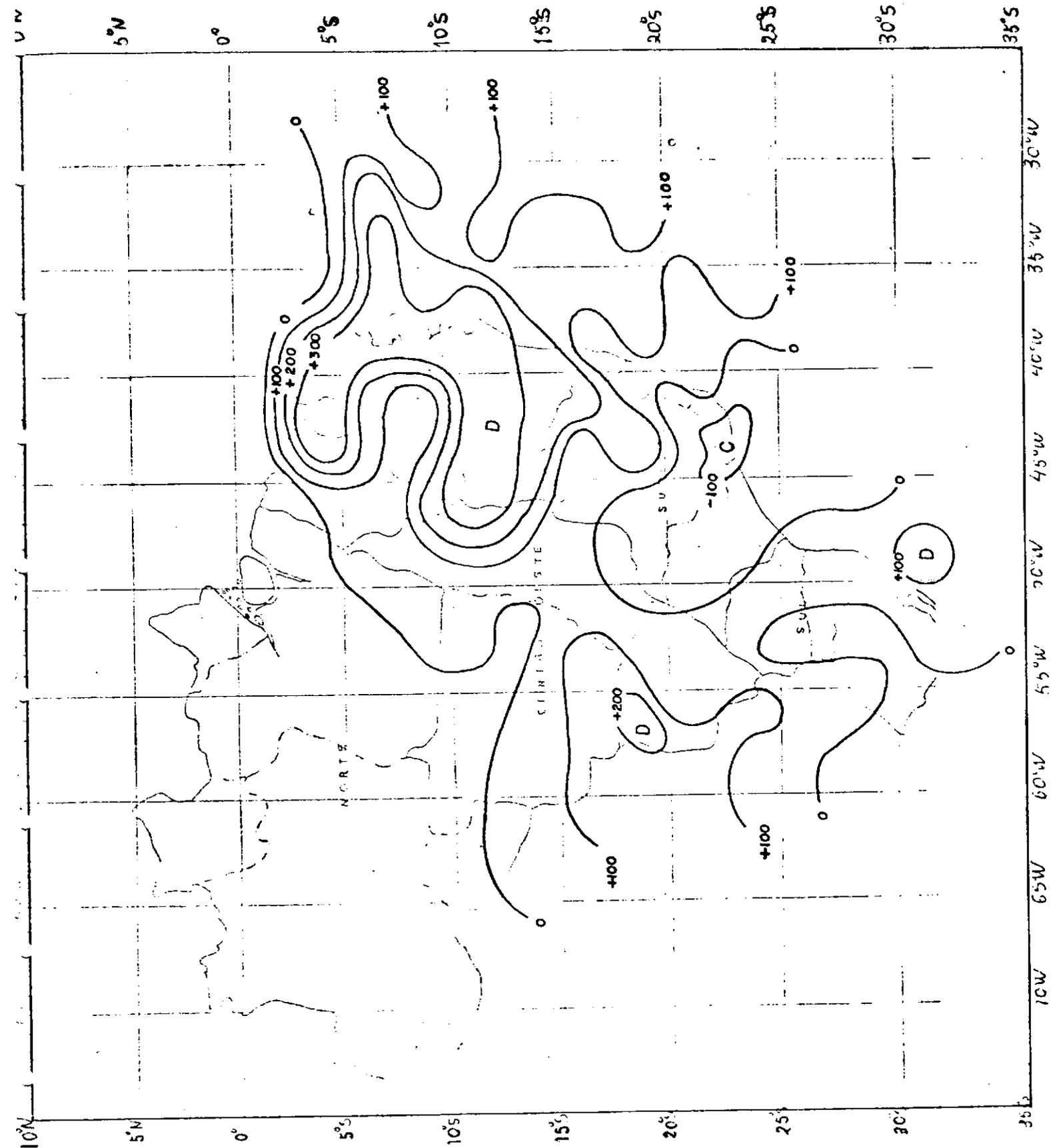


Figura 60. Campo da Divergência do Fluxo de Vapor D'água ($\nabla \cdot Q^4$) no mês de OUTUBRO de 1977.

- Em (m m).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou obter as seguintes conclusões mais significativas.

. Durante os meses de estudos, ficou evidenciado que a atmosfera sobre a região Amazônica possui um elevado teor de umidade do ar, comparativamente as outras regiões, este fato é uma das justificativas que explica os altos índices de precipitações observados.

. Em geral, as isolinhas de água precipitável mostraram um gradiente significativo sobre a região Nordeste e seu litoral Leste apresentando uma configuração do tipo "cavado" com eixo localizado na direção Nordeste e Sudoeste, com valores mais baixos a Sudoeste. O eixo desse cavado localiza-se sobre o Polígono das Secas e explica, parcialmente, a acentuada deficiência de precipitação observada naquela região. Essa observação encontra-se em concordância com os resultados de Araújo (1982) e Rathor et alii (1983).

. Os valores da precipitação mensal e da água precipitável não apresentaram uma relação direta em termos quantitativo, impossibilitando obter uma relação numérica entre estas grandezas.

. Os valores elevados de água precipitável foram condição necessária mas não suficiente para provocar precipitação, aspectos Sinóticos e Orográficos que originam movimentos verticais na atmosfera devem ser considerados.

. O campo do fluxo total de vapor d'água integrado verticalmente é função direta da distribuição vertical da umidade e dos ventos na Troposfera. Sua variação espacial depende da situação geográfica sazonal e sinótica dos sistemas de pressão.

. O fluxo total de umidade, durante os meses de estudo , foram mais intensos sobre as regiões Norte e Nordeste do que as demais.

. Os campos mensais de divergência integrado verticalmente, em geral, apresentaram boa concordância com seus correspondentes de precipitação para o período de estudo. Já os campos da evaporação menos precipitação apresentaram concordância aceitável com os campos de divergência.

. Constatou-se, ainda, com base na equação de balanço de água que a região Norte do Brasil atuou como sumidouro de vapor d'água pela atmosfera. Esta conclusão está de acordo com Marques (1978). Por outro lado a região Nordeste do Brasil atuou como fonte de umidade na atmosfera, em concordância com os resultados obtidos por Peixoto (1970), Araújo (1982) e Rathor et alii (1983).

. Na maior parte dos meses as regiões Centro-Oeste e Sul atuaram como sumidouro de vapor d'água da atmosfera, enquanto que a região Sudeste atuou alternadamente como fonte e sumidouro de umidade.

. Para elaboração de pesquisas futuras sugere-se que esse estudo seja estendido a todo continente Sul Americano, com dados obtidos de programas especiais da Organização Meteorológica Mundial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANANTHAKRISHNAN, R.; SELVAM, M.M. and CHELLAPPA, R. Seasonal Variation of Precipitable Water Vapour In the Atmosphere Over India. *Indian Journal Meteorological Geophysicos*, 1965. 16(3): 371-384.
- ARAGÃO, J.O.R. Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas do Nordeste do Brasil. Tese de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1975, 47 p.
- ARAÚJO, M.A.A. Um Estudo do Fluxo Horizontal do Vapor D'água Atmosférico e o seu Armazenamento sobre o Nordeste do Brasil. Tese de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande, UFPb, 1982, 107 p.
- BENTON, G.S. & ESTOQUE, M.A. Water Vapor Transfer Over the North American Continent. *J. Met.* 11, 1954, 462-477.
- BENWELL, G.R.R. The Estimation and Variability of Precipitable Water. *Meteorological Magazine*. London, 1965. 94(1120): 319 - 327.
- CRISI, A.R. Hemispheric Water Vapor Balance During 1958. In: *Humidity and Moisture*, Ny. Reinhold Publ. Co. Vo.2, 1964, 502-513.
- GODSKE, C.L., BERGERON, T.; BJERWES, J. and BUNDAARD, R.C. *Dynamical Meteorology and Weather Forecasting*. Am. Met. Soc. Boston and Carnegie Inst., Wash DC, 1957, 880 p.
- HOWARTH, D.A. Seasonal Variations in the Vertically Integrated Water Vapor Transport Fields over the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review* Vol. III. Nº 6, 1983, 1259-1272.
- MARQUES, J. Contribuição ao Estudo Hidrológico da Bacia Amazônica. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da USP, 1976, 117 p.
- MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos; VILLA NOVA, N.A e SALATI, E. Precipitable Water and Water Vapor Flux Between Belém and Manaus.

- MARQUES, J. A Transferência Horizontal de Vapor D'água na Troposfera e a Hidrologia da Bacia Amazônica. Tese de doutorado em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz da USP, 1978, 115 p.
- MOLION, L.C.B. A Climatonic Study of the Energy and Moisture Fluxes of the Amazonas Basin Weth Considerations of Deforestation Effects. Ph.D.Thesis, Univ. Wisconsin, Madison, 1975, 134 p.
- NAMIAS, J. Influence of Northern Hemisphere General Circulation on Drought in Northeast Brazil. *Tellus*, 1972.24(4):336-342.
- PALMEN, E. & SÖDERMAN, D. Computation of the Evaporation from the Baltic Sea from the Flux of Water Vapor in the Atmosphere. *Geophysica* 8, 1966, 261-279.
- PEIXOTO, J.P. O Campo da Divergência do Transporte do Vapor de Água na Atmosfera. *Revista da Faculdade de Ciências de Lisboa*, 1959. 2 A, VII, 25-56.
- _____. Pole to pole divergence of Water vapor. *Tellus* XII, 1970, 17-25.
- _____. Atmospheric Vapour Flux Computations for Hydrological Purposis. WMO, Genebra, WMO/IHD Report Nº 20, 1973, 83 p.
- PEIXOTO, J.P. & OORT, A.H. The Atmospheric Branch of the Hydrological cycle and Climate. A Street Perrott, Variations in the Global Water Budget. D. Reidel Publishing, 1983, 5-65.
- RASMUSSEN, E. M. Atmospheric Water Vapor Transport and the Hydrology of North America. Report NO.A-1, Planetary Circulations Project, M.I.T., 1966, 469-477.
- _____. Atmospheric Water Vapor Transport and the Water Balance of North America. *Mon. Weathe Review* 95, 1967, 403-425.
- RATHOR, H.S.; ARAÚJO, M.A. A and MELLO, C.C. The Divergence of Water Vapour Flux During a Typical Rainy Month Over Northeast Brazil. Published by the American Meteorological Society, Boston, Mass. 1983. 138-142.

SILVA MARQUES, V. Estudos da Energética e do Fluxo de Vapor D'água na Atmosfera sobre o Nordeste Brasileiro. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1981, 144 p.

STARR, V. P. & PEIXOTO, J.P. On the Global Balance of Water Vapor and the Hydrology of Deserts. Tellus X, 1958, 189-194.