

ANALISE DE ALGUNS ELEMENTOS COMPONENTES DO AGROCLIMA
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Tese de Grau de Magister Scientiae

Moacir Berlato

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Ensino e Pesquisa
Departamento de Desenvolvimento Rural
Turrialba, Costa Rica
Março, 1970

ANÁLISE DE ALGUNS ELEMENTOS COMPONENTES DO AGROCLIMA
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Tese

Apresentada ao Conselho da Escola para Graduados
como requisito parcial para obter o Grau

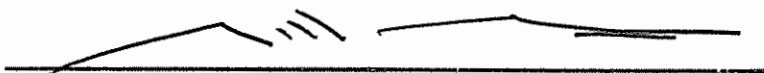
de

Magister Scientiae

no

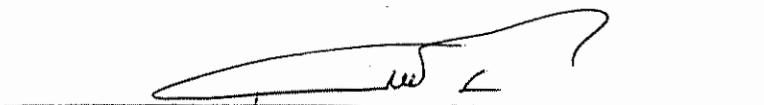
Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA

APROVADA:



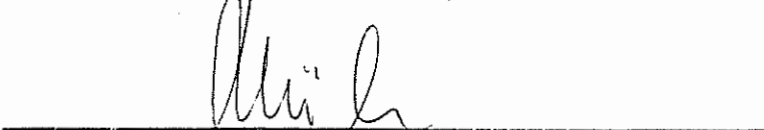
Conselheiro

J. M. Montoya M., Dr.S.B.



Comité

Gilberto Páez, Ph.D.



Comité

Ludwig Müller, Ph.D.



Comité

Fausto Maldonado, M.S.

Março de 1970

À memória de meu pai

À minha esposa

À minha filinha

Ao Professor Breno G. Reis

BIOGRAFIA

O autor nasceu na cidade de Santiago, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em 22 de março de 1939.

Em 1962 obteve o título de Técnico Agrícola pela Escola Técnica de Agricultura de Viamão, no mesmo Estado, ingressando logo após na Secretaria da Agricultura, onde passou a desempenhar as funções de auxiliar técnico no Serviço de Ecologia Agrícola daquela Pasta.

Realizou seus estudos universitários na Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em Pôrto Alegre, onde obteve o grau de Engenheiro Agrônomo no ano de 1966.

Em 1967 foi designado chefe do Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria de Agricultura. De julho de 1967 a agosto de 1968 colaborou como assistente técnico no setor de Agroclimatologia do Projeto de Regionalização Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, acôrdo Instituto Brasileiro de Reforma Agrária e Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas.

Em setembro de 1968 ingressou no Departamento de Desenvolvimento Rural da Escola para Graduados do Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA. Ao mesmo tempo que realizava seus estudos de pósgraduação neste Centro, desempenhou, de julho de 1969 a março de 1970, o cargo de assistente graduado do professor de Ecologia, sendo responsável pelo setor de Agroclimatologia.

Em março de 1970 obteve o grau de Magister Scientiae

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus sinceros agradecimentos ao Dr. J. M. Montoya M., por sua atuação como Conselheiro Principal.

Ao Dr. Gilberto Páez, de uma maneira especial, por sua exemplar dedicação na orientação geral do presente trabalho e na programação e computação dos dados.

Ao Dr. Hans Trojer, sob cuja orientação o autor iniciou este trabalho.

Aos demais membros do comitê conselheiro, Dr. Ludwig Müller e professor Fausto Maldonado pelas sugestões.

Ao Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas e à Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul pela oportunidade da realização deste curso.

CONTEÚDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. O problema	1
1.2. Objetivos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Estudos principais realizados na área	4
2.2. Estudo da radiação e do balanço de radiação	5
2.2.1. Radiação global	6
2.2.2. Radiação global efetiva	10
2.2.3. Radiação terrestre efetiva	10
2.2.4. Radiação líquida ou balanço de radiação	12
2.3. Balanço calórico e evaporação	14
2.4. Estudo do regime pluviométrico	15
2.4.1. Transcurso da precipitação em percentagem	15
2.4.2. Balanço calórico e efetividade das precipitações.	17
2.4.3. Variabilidade das precipitações	21
2.4.4. Divisão da área da curva de distribuição normal como critério prático de classificação das pre- cipitações anuais	24
2.4.5. O cálculo de probabilidades como um meio de predi- ção climatológica	26
2.5. Estudo e temperatura e umidade do ar	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Descrição geral da área de estudo	30
3.2. Base cartográfica	30
3.3. Elementos meteorológicos	30
3.3.1. Precipitação	30
3.3.2. Radiação solar	31
3.3.3. Temperatura e umidade do ar	31
3.4. Estudo da radiação	32
3.4.1. Radiação global efetiva	33
3.4.2. Radiação ou irradiação terrestre efetiva	34
3.4.3. Radiação líquida ou balanço de radiação	34
3.4.4. Relação entre radiação global e balanço de radia- ção	35

	<u>Página</u>
3.5. Estudo do regime pluviométrico	35
3.5.1. Análise estatística preliminar dos dados	35
3.5.2. Mapa de precipitação anual	35
3.5.3. Precipitação em percentagem	35
3.5.4. Balanço calórico e efetividade das precipitações..	36
3.5.5. Oscilação extrema das precipitações anuais	37
3.5.6. Variabilidade relativa	37
3.5.7. Estudo da função de distribuição das precipitações anuais	38
3.5.8. Classificação das precipitações anuais	39
3.5.9. Probabilidade de precipitação anual. Representa- ção gráfica e espacial	40
3.5.10. Modelo de probabilidade das precipitações mensais.	40
3.6. Estudo da temperatura e umidade do ar	42
3.7. Caracterização do clima local. Climadiagramas	42
4. RESULTADOS	43
4.1. Radiação solar	43
4.1.1. Estimativa da radiação global	43
4.1.2. Balanço de radiação	53
4.1.3. Relação entre radiação global e balanço de radia- ção	58
4.2. Regime pluviométrico	59
4.2.1. Análise estatística preliminar das séries de preci- pitações anuais	61
4.2.2. Mapa de precipitação anual	64
4.2.3. Variabilidade das precipitações anuais	64
4.2.3.1. Variabilidade relativa	64
4.2.3.2. Variabilidade máxima	65
4.2.4. Padrão de distribuição da precipitação anual. Pro- babilidades	66
4.2.4.1. Aplicações dos resultados	68
4.2.5. Modelo de probabilidade de precipitação mensal ...	74
4.2.6. Precipitação relativa (P%)	80
4.2.7. Efetividade das precipitações. Coeficiente P/Rn .	81
4.3. Caracterização do clima local através dos climadia- gramas	83

	<u>Página</u>
4.3.1. Climadiagrama de Uruguaiana	86
4.3.2. Climadiagrama de Bagé	89
4.3.3. Climadiagrama de Caxias do Sul	91
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	93
5.1. Radiação e balanço de radiação	93
5.2. Regime pluviométrico e efetividade das precipitações	95
5.3. Caracterização de climas locais. Climadiagramas	99
6a. RESUMO	100
6b. RESUMEN	104
6c. SUMMARY	108
7. LITERATURA CITADA	112
APÊNDICE I	117
APÊNDICE II	118
APÊNDICE III	119

LISTA DE QUADROS

Quadro Nº		<u>Página</u>
1	Resumo e origem dos dados utilizados	32
2	Valôres medidos e estimados de Rs em Cal cm ⁻² para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul	52
3	Balanço de radiação	54
4	Relações entre Rs e Rn para valôres mensais: média, desvios padrão, regressão, coeficiente de correlação e residuo	59
5	Análise estatística das precipitações anuais do Estado do Rio Grande do Sul	62
6	Classificação das precipitações anuais	69
7	Equações de regressão e coeficiente de correlação que expressam a relação entre probabilidade de ocorrência de precipitação e média anual	73
8	Parâmetros da Função Gama	76
9	Valôres anuais de P/Rn para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul e respectivas classificações climáticas	84
10	Valôres mensais de P/Rn para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul	85

LISTA DE FIGURAS

Figura Nº		<u>Página</u>
1, 2 e 3	Transcurso da radiação global e insolação ...	44
4 e 5	Relação entre radiação solar mensal e porcentagem de insolação máxima possível	47
6	Radiação global (Kcal cm ⁻²) de diversas localidades expressada em desvios da media anual do estado	51
7	Relação entre radiação global e radiação líquida para o Estado do Rio Grande do Sul	60
8	Frequências de anos normais, secos e chuvosos	71
9	Gráfico de probabilidades	75
10	Climadiagrama de Uruguaiana	87
11	Climadiagrama de Bagé	90
12	Climadiagrama de Caxias do Sul	92

LISTA DE MAPAS

Mapa Nº		<u>Entre páginas</u>
1	Curvas anuais da radiação global e radiação líquida	58-59
2	Precipitação anual	64-65
3	Variabilidade relativa das precipitações anuais	64-65
4	Variabilidade máxima das precipitações anuais	66-67
5	Probabilidade (%) de ocorrência de uma precipitação anual maior que 1.000 mm ..	74-75
6	Probabilidade de ocorrência de uma precipitação anual maior que 1.300 mm	74-75
7	Probabilidade de ocorrência de uma precipitação anual maior que 1.600 mm	74-75

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos decênios começou a aproximação das ciências físicas e biológicas levadas pela necessidade de resolverem problemas comuns. Uma das consequências, auspiciosa para a climatologia, é o fato de que a ênfase dada anteriormente aos valores médios de temperatura e precipitação começa a ceder lugar a outros elementos mais diretamente ligados a vida vegetal e animal, como é o caso, por exemplo, do balanço de energia e balanço hídrico.

De acôrdo com Slatyer (45), os estudos agroclimáticos pertencem a três grandes grupos: em primeiro lugar vem a classificação climática geral que por sua natureza não aporta muita informação para a agricultura, mas dá uma idéia do conjunto de condições regionais. Logo vêm os estudos que têm por objeto identificar as condições particulares e distribuição de elementos ou conjunto de elementos de maior interêsse ao planejamento agrícola regional. Estes estudos são principalmente a análise quantitativa do balanço de radiação, regime pluviométrico, balanço hídrico dos solos e fotoperiodismo. A terceira categoria de estudos agroclimáticos compreende a análise mais precisa das relações entre elementos do clima com o crescimento e desenvolvimento dos cultivos.

Dentro da segunda categoria de estudos agroclimáticos o primeiro que se deve tentar fazer é identificar os elementos, ou combinação de elementos preponderantes na produção agrícola e logo estudá-los quantitativamente, tal como preconiza Bunting (15).

1.1. O problema

A maior parte dos estudos climáticos do Rio Grande do Sul têm

se restringido aos elementos temperatura e precipitação, considerando estes elementos no que diz respeito aos seus valores médios ou normais. Geralmente não é apresentada uma análise da totalidade da informação que requerem os especialistas agrícolas para poderem relacionar mais diretamente o clima com a agricultura.

A prática de definir analogias e diferenças climáticas com base unicamente nas médias de temperatura e precipitação está provada ser inadequada para projetos de uso da terra, introdução e distribuição de cultivos.

O novo ângulo do estudo da climatologia agrícola deve considerar prioritariamente a determinação de parâmetros que estão mais estreitamente relacionados com a produção agrícola, tais como balanço de radiação ou calórico, efetividade das precipitações ou balanço hídrico.

Como a precipitação é um dos componentes climáticos de maior instabilidade, se apresenta também de interesse prático um exame estatístico da pauta de distribuição das precipitações, com a finalidade de aquilatar sua variabilidade média e extrema. Igualmente é de interesse às atividades agrícolas estabelecer alguns níveis de probabilidade de ocorrência de precipitação, haja visto a influência preponderante que exerce este elemento na agricultura não irrigada, onde o suprimento de água para os cultivos depende exclusivamente das precipitações ocorridas.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do presente estudo é a análise quantitativa

de alguns elementos componentes do agroclima do Estado do Rio Grande do Sul, tendo como objetivos específicos os seguintes:

- 1) Estabelecer a função de relação entre insolação e radiação global para estimar a distribuição da energia solar no Estado.
- 2) Estimar o balanço de radiação e estabelecer sua relação com a radiação global.
- 3) Determinar a distribuição regional e o transcurso anual das precipitações.
- 4) Estudar a efetividade das precipitações a partir do balanço calórico.
- 5) Estudar a variabilidade das precipitações.
- 6) Explorar o padrão de distribuição das precipitações e calcular níveis de probabilidades de interesse prático.
- 7) Confeccionar climadiagramas para caracterização do clima local.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estudos principais realizados na área

O clima do Rio Grande do Sul tem sido objeto de diversos estudos (2, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 47, 48, 53). Muitos dêles têm sido de carácter geral, tais como o são as diversas classificações climáticas do tipo sistemática de que tratam vários dos trabalhos acima enumerados, não apresentando grande interêsse do ponto de vista das exigências específicas da agricultura.

Os estudos de climatologia aplicada à agricultura têm sido esparsos. Entre os principais temos: Mota (38) baseado num método de divisão agroclimática proposto por De Fina evidenciou 108 distritos agroclimáticos na área compreendida pelos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Brasil Meridional), tomando como parâmetros climáticos a temperatura e a precipitação.

Amaral e Mota (2) estudaram a variabilidade relativa e fizeram considerações a respeito da função de distribuição das precipitações em Pelotas. Estes autôres alertaram para o problema da representatividade da média, que deve guardar estreita relação com o tipo de distribuição. Os autôres citados também fazem referências ao aspecto da dependência da variabilidade relativa com relação à média.

Breno Reis*, em estudo ainda não publicado, determina importantes índices agroclimáticos para efeito de regionalização de cultivos

* Comunicação pessoal.

e também características climáticas inéditas, como radiação solar, temperatura do solo, temperaturas diurnas e noturnas do ar (foto e nicto-temperatura) de várias localidades do Estado.

Mota e Rosinha (39) determinaram a frequência de ocorrência de seca no período crítico do milho, baseados no conceito de equivalentes meteorológicos de Azzi.

Mota e Goedert (40) calcularam a evapotranspiração potencial de 12 localidades do Rio Grande do Sul utilizando o método de Penman. Os valores de evapotranspiração cotejados com a precipitação normal, evidenciaram períodos de excesso e deficiência de água durante o ano na maioria das localidades estudadas. Os autores concluem que há ocorrência normal de seca longa e intensa na parte leste da Depressão Central e no Litoral, e seca de curta duração nas Missões e Serra do Sudeste.

Recentemente a União Panamericana (53) realizou um inventário hidrológico e climatológico da bacia do Rio da Prata, onde inclui a parte do Rio Grande do Sul pertencente à bacia do Uruguai. No que se refere ao aspecto climatológico, o estudo apresenta o traçado de isoietas anuais, diagramas com distribuição anual das precipitações, precipitações dos trimestres mais e menos chuvosos, variabilidade relativa, temperatura média anual, evapotranspiração potencial e índice hídrico de Thornthwaite.

2.2. Estudo da radiação e do balanço de radiação

A radiação solar é sem dúvida o mais importante dos elementos meteorológicos. Além de ser a fonte de energia que dirige a circu-

lação atmosférica, causando com isso marcada influência nos demais elementos do clima, ela é também a fonte quase exclusiva de energia para todos os processos biológicos que ocorrem na terra. Particularmente em agroclimatologia necessita-se desta informação em muitos aspectos, por exemplo, quando se quer calcular a quantidade de água evaporada pelo solo e a transpirada pelas plantas, necessárias ao cômputo do balanço hídrico, ou quando desejamos conhecer a eficiência do aproveitamento da radiação pelas plantas no processo da fotossíntese.

A importância agronômica da radiação foi muito bem sintetizada por Monteith, citado por Chang (18), dizendo que a agricultura é a exploração da energia solar tornada possível por um suprimento adequado de água e nutrientes para a manutenção do crescimento das plantas.

Estas são as principais razões porque, atribui-se, na atualidade, uma importância cada vez maior à radiação e ao balanço de energia como fatores ambientais.

Apesar disso pouco se sabe da distribuição e variabilidade destes elementos para se poder estudar mais detalhadamente o papel que desempenham na produção agrícola. Isto se deve a que são poucas as estações meteorológicas que fazem observação sistemática de radiação solar e também porque as observações disponíveis são muito recentes para permitir avaliação de médias e variabilidade.

2.2.1. Radiação global

Sob o conceito de radiação global ou total se entende a soma

dos componentes da radiação direta e difusa que é recebida em uma superfície horizontal negra sobre a terra. A radiação direta é aquela recebida diretamente do sol e a radiação difusa ou celeste é a parte da radiação recebida indiretamente, em consequência das múltiplas reflexões ocasionadas pelas moléculas e partículas existentes na atmosfera.

Qualitativamente a radiação global está constituída por radiações de ondas curtas do espectro solar ($0,3 \mu$ a $3,0 \mu$) e representa a energia que chega à superfície da terra.

Alguns autores também incluem na radiação global a contraradiação ou radiação emitida pelas nuvens, CO_2 e vapor de água da atmosfera, que é uma radiação de ondas longas ou calóricas, da qual trataremos mais adiante.

Como está arraigado o conceito de que a radiação global é aquela medida pelos aparelhos chamados solarímetros ou actinógrafos e como a contraradiação não penetra nos vidros destes aparelhos (ondas longas), é melhor não incluir aqui este tipo de radiação e computá-la, para efeito de balanço de radiação, na parte relativa a irradiação terrestre efetiva.

Estimativa da radiação global

É sabido que existe uma relação entre a radiação recebida na superfície da terra e a duração da insolação dada por heliógrafos. Como as observações heliográficas são mais numerosas, porque são das por instrumentos mais simples e econômicos, vários autores procuraram expressar a relação existente entre estes dois elementos,

com o objetivo de conseguir maior número de pontos sôbre a terra com dados de radiação.

A idéia foi apresentada pela primeira vêz por Angstrom em 1923 que obteve para Estocolmo a seguinte equação:

$$Q = Q_0 (0,25 + 0,75 n/N)$$

Onde:

- Q = radiação recebida na superfície da terra
- Q_0 = radiação incidente em dias sem nuvens
- n = duração da insolação
- N = insolação máxima astronômicamente possível.

O mesmo princípio foi logo aplicado ao ajuste da seguinte fórmula geral, por diversos autôres.

$$Q = Q_A (a + b n/N)$$

Onde:

- Q_A = valor da radiação recebida se a atmosfera fôsse transparente (radiação no tópo da atmosfera)
- a e b = constantes de proporcionalidade

Segundo Burgos et al. (16) a última relação têm maior aplicação prática porque a radiação recebida no tópo da atmosfera é um valor fixo ao passo que a radiação em dias sem nuvens pode estar afetada por elementos como conteúdo de vapor de água, partículas atmosféricas e espessura da massa de ar atravessada.

Black (7) analisando dados de 32 estações desde os trópicos até as regiões polares, onde os valores mensais de Q e n/N são conhecidos, calculou as constantes de proporcionalidades da equação

geral:

$$Q = Q_A (a + b n/N)$$

Onde:

Q = radiação que chega em média à superfície do solo em cal cm^{-2}

Q_A = radiação total recebida no tópo da atmosfera em cal cm^{-2}

n = insolação diária média mensal em horas

N = insolação máxima astronômicamente possível em horas

a e b = constantes de proporcionalidade, que devem ser determinadas para cada região.

Esta equação também pode ser apresentada segundo a notação:

$$R_S = R_A (a + b n/N)$$

Cervellini, Salati e Godoy (17) determinaram para o Estado de São Paulo os valores da equação geral, calculando a radiação teórica (tópo da atmosfera) para a latitude média do Estado. Os valores de a e b foram estimados a partir de dados de actinógrafo e heliógrafo pelo método dos mínimos quadrados, para estabelecimento da equação de regressão válida para todo o planalto paulista.

Albrecht (1) estudou a variação diária e mensal da radiação solar para diversas localidades da Austrália, apresentando também uma equação para o cálculo da radiação global.

Burgos, González e Carrillo (16) calcularam equações para estimação da energia solar na Venezuela utilizando o mesmo método geral de cálculo da equação de regressão entre dados de actinógrafo e heliógrafo. Também determinaram a função de relação entre radiação

global e nebulosidade em décimos de céu coberto, outro método de estimação da radiação total.

2.2.2. Radiação global efetiva

Ao chegar a superfície da terra parte da radiação global é desenvolvida para a atmosfera pelo processo da reflexão. A percentagem da radiação total refletida é chamada comumente de albêdo, que é um termo usado para indicar o coeficiente de reflexão para radiação de onda curta somente. Logo, a radiação global efetiva = $(1 - \alpha) R_s$

Onde:

$$\alpha = \text{albêdo}$$

2.2.3. Radiação terrestre efetiva

A superfície da terra emite radiação de onda longa para a atmosfera. Segundo Chang (18) mais de 99% da energia emitida pertence à faixa de comprimento de onda de 4 a 100 μ , com uma maior concentração ao redor de 10 μ .

A radiação terrestre é expressa pela seguinte fórmula, segundo a notação de Rose (43):

$$R_t = E \sigma T^4$$

Onde:

R_t = radiação ou irradiação terrestre

E = emissividade da superfície

T = temperatura absoluta em $^{\circ}K$ ($^{\circ}C + 273$)

σ = constante de Stefan-Boltzmann = $8,13 \times 10^{-11}$ cal cm^{-2}
min. $^{-1}$ $^{\circ}K^{-4}$

Como a superfície da terra se aproxima grandemente a um "corpo negro", ou seja, uma matéria que para cada comprimento de onda emite o máximo de radiação possível, de acordo com sua temperatura, sua emissividade é igual a 1 . Logo a equação fica:

$$R_t = \sigma T^4$$

Cerca de 90% da radiação emitida pela terra é absorvida pelo vapor d'água, ozônio, CO₂ e nuvens. Apenas 10% escapa para o espaço exterior pela chamada "janela atmosférica" (região de baixa absorção entre 8,5 - 11,0 μ, segundo Chang (18)).

Grande parte da radiação absorvida na atmosfera é devolvida à superfície e é chamada contraradiação. A contraradiação evita o esfriamento excessivo da terra durante à noite, especialmente em noites nubladas, quando ela aumenta grandemente.

A contraradiação não passa pelos vidros dos instrumentos destinados a medir a radiação global por ser uma radiação de onda longa e deve ser medida sem ditos vidros.

A diferença entre a irradiação terrestre e a contraradiação atmosférica é conhecida como irradiação efetiva.

A irradiação efetiva pode ser estimada através de equações empíricas que segundo Rose (43) fornecem valores suficientemente precisos para serem utilizados em trabalhos, onde se necessita desta informação.

A fórmula geralmente utilizada é a de Brunt:

$$R_L = T_a^4 \sigma (0,56 - 0,09 \sqrt{e})(1 - 0,9C)$$

Onde:

R_L = irradiação terrestre efetiva

e = pressão do vapor (mm Hg)

C = fração de nebulosidade

Como, segundo Rose (43), a irradiação efetiva é da mesma ordem tanto para o dia como para a noite, o termo nebulosidade pode ser substituído pela fração de insolação (n/N) resultando $(1-n/N)$ na última parte da equação acima.

$$R_L = T_a^4 \sigma (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (1 - n/N)$$

O que acontece à noite é que em ausência de radiação solar a irradiação domina o microclima noturno mais notoriamente que durante o dia, aumentando portanto sua influência relativa.

2.2.4. Radiação líquida ou balanço de radiação

A porção da radiação que não é refletida e nem irradiada pela terra é conhecida como fluxo líquido de radiação, radiação líquida, radiação total resultante ou balanço de radiação.

Segundo a notação de Rose (43):

$$R_n = R_s (1 - \alpha) - R_L$$

Onde:

R_s = radiação global

α = albedo

R_L = irradiação terrestre efetiva

Representa portanto a diferença entre o fluxo de radiação de ondas curtas e o fluxo de irradiação de ondas longas (calóricas).

Outra notação utilizada para a fórmula acima é:

$$Q_n = (1 - \alpha) Q - Q_L$$

Onde:

Q_n = radiação líquida

Q = radiação global

Q_L = irradiação terrestre efetiva

α = albedo

Linacre (29), a partir de considerações teóricas propôs, entre outras, as duas equações seguintes para o cálculo da radiação líquida: (1) $Q_n = (1 - \alpha) Q_S - 16,10^{-4} f (100 - T)$ cal cm⁻² min⁻¹

$$(2) Q_n = \left(c + d \frac{n}{N} \right) \left[Q_A (1 - \alpha + 0,08 f) - \frac{0,128}{d} \right] + \frac{0,128c}{d} - 0,032$$

Onde:

Q_S = radiação global

T = temperatura do ar °C

$$f = 0,2 + 0,8 \frac{n}{N}$$

c e d = constantes de proporcionalidade (= a e b) da equação de estimação da radiação global.

As equações (1) e (2) apresentam, segundo o autor, altas correlações com a radiação líquida medida ($r = 0,960$ e $0,993$ respectivamente).

A radiação líquida pode ser utilizada como uma boa aproximação do balanço de radiação, representando a energia potencial disponível para a realização dos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície da terra.

2.3. Balanço calórico e evaporação

As modernas pesquisas em climatologia física têm demonstrado a importância das trocas de calor e umidade entre a superfície da terra e a atmosfera. O clima de uma localidade está condicionado pela entrada a saída dos fluxos de calor e de umidade. Portanto o balanço calórico que determina o fluxo de calor resultante e o balanço hídrico que determina o fluxo de umidade estão em estreita relação.

O calor resultante do balanço de radiação ou balanço calórico é, segundo Penman (41), utilizado em três processos: a) evaporação; b) calor sensível transferido para o ar e c) armazenamento de calor no meio ambiente receptor.

O terceiro componente deste balanço por ser muito pequeno não é considerado importante, resultando a equação do balanço calórico:

$$R_n = E + A$$

Onde:

R_n = radiação líquida

E = evaporação e transpiração

A = fluxo de calor para o ar

Portanto, a radiação líquida é utilizada em sua quase totalidade nos processos de evaporação e transpiração e uma pequena parte que alimenta o fluxo calórico para o ar.

Segundo Penman (41) em uma área com cultivo uniforme e adequadamente suprida de umidade a relação A/E é bastante pequena (10 a 20%) e o valor da evaporação (E) é determinado quase exclusivamente pela magnitude de R_n . Também conforme Linacre (29) o fator que

controla as necessidades de água para a irrigação de cultivos é a intensidade da radiação líquida.

De acordo com Chang (18), medições do balanço de energia levados a cabo em diversas partes do globo, demonstraram que em ausência da energia advectiva, 80-90% da radiação líquida é consumida pela evapotranspiração.

Um dos primeiros pesquisadores a estabelecer direta conexão entre balanço de radiação ou calórico e balanço hídrico foi Budyko (13, 14).

2.4. Estudo do regime pluviométrico

2.4.1. Transcurso da precipitação em percentagem

Segundo Trojer (52) a precipitação é um dos elementos que melhor representa as condições de tempo reinante, sendo que estas condições podem ser melhor apreciadas quando se expressa o transcurso anual da precipitação em forma relativa. Para isto consideramos o total anual médio de cada localidade como 100%, resultando para cada mês uma cifra de 8,3%, no caso de uma distribuição uniforme através do ano. Portanto 8,3% da precipitação anual pode ser considerado um valor que separa épocas climáticas relativamente secas de épocas climáticas relativamente chuvosas, demonstrando o transcurso relativo da precipitação para cada localidade.

O transcurso relativo da precipitação apresenta a vantagem da quase eliminação das diferenças locais à curta distância, que dificultam a comparação do regime e transcurso da precipitação de uma localidade com outra.

O transcurso percentual relativo permite também apreciar os períodos relativamente chuvosos (acima de 8,3%) ou relativamente sêcos (abaixo de 8,3%), bem como o início, duração e fim dêstes períodos.

Schröder (44) usando os percentuais mensais da precipitação de terminou para São Paulo a frequência do mês mais sêco e mais chuvoso, através de pluviogramas.

Prohaska (42) enfatiza que para se realizar uma análise do transcurso anual da precipitação sobre uma superfície grande não bastam as somas mensais médias, isto porque os valores absolutos variam demasiadamente, não permitindo visualizar aspectos característicos dos transcurtos. Quando os valores são expressos em % da soma anual, mostram com clareza os distintos tipos de marcha anual tanto para uma alta como para uma baixa precipitação anual.

Com base em um novo mapa de isoietas anuais da América do Sul, Prohaska calculou as somas mensais relativas, caracterizando com este método, os distintos regimes de marcha anual da precipitação, segundo o sistema de circulação atmosférica que os determina.

Para tais estudos o autor se baseou no fato de que as causas dos regimes de precipitação residem especialmente no deslocamento anual da circulação atmosférica, sendo que a variação da intensidade de deslocamento depende da máxima altura do sol. Portanto a marcha anual da precipitação pode servir inclusive de base para diferenciar os distintos tipos de precipitação pluviométrica, podendo-se relacionar os tipos de transcurso com as células de circulação atmosférica.

2.4.2. Balanço calórico e efetividade das precipitações

As características de um clima determinado são o resultado da atuação conjunta de um complexo variável de fatores meteorológicos. É por isso que um só elemento não pode definir satisfatoriamente as condições climáticas de uma localidade. As primeiras combinações de elementos foram tentadas com o objetivo de se conseguir índices que expressassem a efetividade das precipitações pluviométricas, haja visto ser a umidade disponível o principal elemento determinante do ecoclima de uma região.

Como, ao lado da precipitação, a temperatura do ar foi o primeiro elemento disponível, as combinações foram realizadas necessariamente com estes dois elementos. Assim surgiram os fatores numéricos para a diferenciação climática tais como o de Lang $\left(\frac{P}{t_{OC}}\right)$, Köppen $\left(\frac{P}{2(t_{OC} + 7)}\right)$, Martonne $\left(\frac{P}{t_{OC} + 10}\right)$, Thornthwaite $\left[\sum_{n=1}^{12} \left(\frac{P}{t_{OC} - 10}\right)^{10/9} \frac{1}{n}\right]$ e Emberger $\left(\frac{1000 P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}}\right)$

Onde:

P = precipitação

t = temperatura média em °C

M = temperatura média máxima do mês mais quente em °K

m = temperatura média mínima do mês mais frio em °K

Mais tarde com o aparecimento de dados de evaporação e evapotranspiração surgiram outros índices relacionando a precipitação com estes elementos, de que são exemplos os índices de Ivanova e de Thornthwaite.

Budyko (13, 14) com base nas evidências de alta relação entre evaporação (e transpiração) com o balanço calórico propôs uma nova combinação de elementos meteorológicos para expressar as características climáticas de uma localidade, especialmente no que se refere à efetividade das precipitações, empregando a radiação solar sobre a precipitação, em forma de balanço calórico: $\frac{R}{LP}$

Onde:

R = balanço de radiação

L = calor latente de evaporação

P = precipitação total do período

Considerando que a radiação líquida do balanço de radiação é, em sua quase totalidade, consumida no processo da evaporação e transpiração, em condições de suprimento normal de umidade, este quociente guarda necessariamente estreita relação com o quociente $\frac{E}{P}$

Onde:

E = evaporação

P = precipitação

Esta relação foi amplamente discutida e demonstrada por Budyko, verificando-se que $\frac{R}{LP}$ varia no mesmo sentido que $\frac{E}{P}$.

Para a obtenção do valor do índice $\frac{R}{LP}$, transforma-se a precipitação em calorias, com base no calor latente de evaporação. O calor latente de evaporação é a quantidade de calor em calorias requerida para evaporar 1 grama de água e varia algo com a temperatura conforme dados de Geiger (24) apresentados a seguir:

t°C	0	5	10	15	20	25	30
LE cal	597	594	592	589	586	583	580

Sem cometer erro significativo podemos utilizar em média 600 calorias por uma grama de água ou 610^5 calorias para evaporar 1 mm de precipitação por m^2 , obtendo-se desta maneira a transformação dos dois elementos climáticos na dimensão física calorias/calorias.

Considerando que a parte do balanço calórico referente a energia advectiva não contribui com quantidade significativa para efeito de ganho de calor pela superfície do solo, pode-se considerar que o calor gasto para a evaporação depende unicamente do balanço calórico ou de radiação (13) e que o calor latente de evaporação máxima é igual a R.

Portanto podemos concluir que a radiação resultante do balanço de radiação representa a energia potencial para o processo de evaporação na superfície do solo e seu valor pode ser considerado como a evaporação potencial de cada localidade.

Na formulação do coeficiente de Budyko $\frac{R}{LP} = 1$ representa o equilíbrio calórico de energia recebida e gasta em evaporação na superfície do solo, e pode representar um nível de separação entre zonas ou períodos de uma mesma zona climaticamente secos de zonas ou períodos climaticamente úmidos.

Trojer (50, 51, 52) utiliza como coeficiente para caracterização climática geral e efetividade pluvial a precipitação sobre a insolação ou brilho solar dado por heliógrafos em forma de P/B. A transformação de horas sol em calorias se faz considerando que em média uma hora sol fornece $60 \text{ cal } m^{-2}$.

Quando porém se dispõe ou se estima a radiação solar, este coeficiente pode ser melhorado sensivelmente utilizando-se as idéias originais de Budyko e usando a disposição proposta por Trojer, ou seja a precipitação sobre a radiação, em forma de balanço calórico.

Também com esta formulação o coeficiente $P/R_n = 1$ representa o equilíbrio calórico entre energia líquida disponível e a gasta na evaporação.

Trojer (52) considerando que sobre o continente não se pode computar toda a precipitação para efeito de balanço calórico, como seria o caso em superfície livre de água e tendo em vista que, segundo Penman, a evapotranspiração potencial (ETP) é $3/4$ da evaporação de uma superfície livre (E_0), adota como equilíbrio entre energia disponível e gasta na evaporação (e transpiração) o valor 1,33 do coeficiente P/B . Este mesmo autor estabeleceu a seguinte classificação climática, tomando em consideração a relação P/B :

Limites de P/B		Características climáticas
0,00 - 0,33	-	muito sêco
0,33 - 0,66	-	sêco
0,66 - 1,33	-	sêco variável
1,33 - 2,00	-	chuvoso variável
2,00 - 3,00	-	chuvoso
3,00 - 5,00	-	muito chuvoso
> 5,00	-	altamente chuvoso

Uma classificação ecoclimática deste balanço seria:

Límites de P/B		Denominação ecoclimática
0,00 - 0,33	-	perárido
0,33 - 0,66	-	árido
0,66 - 1,33	-	sub-úmido
1,33 - 2,00	-	úmido
> 2,00	-	perúmido

Como vimos atrás, em média, 85% da radiação líquida da equação do balanço de radiação é utilizada normalmente no processo de evaporação e transpiração. Portanto ao utilizarmos toda a radiação líquida no coeficiente P/R_n obteremos uma aproximação da fórmula de 85%, o que é bastante razoável, se levarmos em conta todos os erros e aproximações que se cometem em medições e cálculos de parâmetros em qualquer trabalho desta natureza.

2.4.3. Variabilidade das precipitações

Do ponto de vista de ecologia climática interessa muito também a variabilidade das precipitações. Segundo Bernard (6) a importância ecológica desta noção provém da sensibilidade manifestada pelas funções dos vegetais às variações das condições de meio.

Para mostrar a utilização do conceito da variabilidade em ecoclimatologia pode-se imaginar duas regiões com igual soma pluviométrica, mas uma com um coeficiente de variabilidade baixo e a outra

alta. Os vegetais adaptados ao primeiro regime climático serão incapazes de prosperar ou resistir ao segundo, com épocas secas certamente bem mais prolongadas e pronunciadas que o primeiro.

Conforme Waggoner (54) as médias meteorológicas são de uso restrito mas as variações em torno da média tanto em frequência como amplitudes são essenciais.

Também Gastó (23) afirma que o clima de uma região pode ser caracterizado pelos valores médios de seus elementos simplesmente, mas que para a agricultura não importa tanto as médias como importa a variabilidade e periodicidade de seus elementos. Para se adotar um cultivo em uma região esta deve ter uma percentagem de anos favoráveis ao desenvolvimento normal deste cultivo, de maneira que mesmo com os prejuízos dos anos desfavoráveis se obtenha resultados econômicos gerais, ou seja, que os prejuízos dos anos desfavoráveis sejam compensados com os anos favoráveis, sobrando ainda um lucro razoável. Esta informação não é dada absolutamente pelas médias dos elementos climáticos, mas sim por estudos de variabilidade e probabilidades destes elementos.

Estando o cultivo assim adaptado ecológicamente, os anos desfavoráveis devem ser considerados com naturalidade e se tomar apenas com a devida antecedência as medidas de natureza econômica e técnica para minimizar os prejuízos destas épocas.

Em climatologia a idéia de variabilidade se traduz numericamente de diversas maneiras: variabilidade relativa (C.V.%), desvio padrão, variabilidade intersequencial, limites de confiança, etc.

Como medida de variabilidade extrema da precipitação se utiliza

comumente o quociente da divisão do máximo valor pelo mínimo valor de uma série suficientemente longa. Marchetti (30) que utilizou êste valor na Argentina, opina ser um procedimento melhor que o cálculo de amplitudes, pois estas não são comparáveis. Por exemplo, as diferenças entre máximo e mínimo (amplitude) podem ser diferentes entre diversas estações em valores absolutos mas possuírem o mesmo quociente de flutuação anual.

Teòricamente o quociente de oscilação máxima varia de 1 a ∞ . Schröder (44) determinou também êste quociente para São Paulo, afirmando se obter com êle um bom critério para o conhecimento da estabilidade das precipitações.

Êste quociente depende da duração do período de observação, e, segundo Köppen, citado por Schröder (44) aumenta em 10% com a duplicação do período.

Considera-se ao redor de 50 anos como uma série boa, para esta determinação. Mas, mesmo com séries mais curtas será de utilidade uma vez que obteremos sempre um valor limite mínimo e que não baixará dêste valor com o aumento da série.

Marchetti (31) num estudo de regime pluviométrico da Argentina com uma série de 42 anos de observação, determinou, entre outros parâmetros, o desvio padrão, fazendo sua distribuição de acôrdo com a escala climatológica de Conrad e Pollak (19), o desvio médio e o coeficiente de variação, como medidas de variabilidade.

Godoy, Nogueira e Pimentel Gomes (26) em uma análise estatística das precipitações de Campinas, São Paulo, determinaram coeficiente de variação, desvio padrão e intervalos de confiança da média.

Memória (32, 33) estudando a precipitação de um período de 97 anos em Minas Gerais determinou a média, desvio padrão, coeficiente de variação e distribuição de frequências.

Mota (37) estudando o clima de Pelotas, Rio Grande do Sul, calculou alguns parâmetros estatísticos como desvio padrão e coeficiente de variação.

Conrad e Pollak (19) recomendam como medidas de variabilidade para aplicação em climatologia as seguintes: Variabilidade média, Desvio padrão, Aplicação climatológica do desvio padrão, Coeficiente de variação e Variabilidade intersequencial.

Segundo os mesmos autores a medida de variabilidade relativa, por exemplo o coeficiente de variação, é dependente da média até a quantidade de 28" de precipitação (\cong 700 mm), a partir do que é praticamente independente da média. Portanto, as comparações deste valor entre uma localidade e outra só são válidas a partir deste limite. Esta foi a conclusão a que chegaram os autores após estudo com 360 estações meteorológicas em todo o globo.

Amaral e Mota (2) corroboram a opinião de Conrad e Pollak e propõem uma fórmula para a cálculo da variabilidade relativa das precipitações mensais que normalmente estão abaixo do nível de 700 mm.

2.4.4. Divisão da área da curva de distribuição normal como critério prático de classificação das precipitações anuais

Em descrições e caracterizações climáticas é de interesse saber se uma dada quantidade de precipitação anual é um evento normal, raro ou muito raro para uma determinada região ou localidade. Ou,

mais objetivamente, se um ano com uma precipitação qualquer representa um ano normal, sêco, chuvoso, ou muito chuvoso.

O seguinte critério quantitativo foi proposto por Conrad e Pollak (19) para o caso de uma distribuição normal, baseado no desvio padrão da série considerada:

Límites de S	Classificação
$< 3S$	Extremamente abaixo do normal
$-3S$ a $-2S$	Grandemente abaixo do normal
$-2S$ a $-S$	Abaixo do normal
$-S$ a $+S$	Normal
$+S$ a $+2S$	Acima do normal
$+2S$ a $+3S$	Grandemente acima do normal
$> +3S$	Extremamente acima do normal

Êste critério pode ser aplicado a qualquer elemento meteorológico com a única restrição de que a distribuição da variável considerada seja normal.

Marchetti (31) aplicou êste princípio de classificação às precipitações anuais da Argentina, utilizando as seguintes caracterizações climáticas para os diversos intervalos de S.

Limites de S	Classificação
-4S a -3S	Extraordinariamente sêco
-3S a -2S	Muito sêco
-2S a - S	Sêco
- S a + S	Normal
+ S a +2S	Úmido
+2S a +3S	Muito úmido
+3S a +4S	Extraordinariamente úmido

2.4.5. O cálculo de probabilidades como um meio de predição climatológica

Conforme Hashemi e Decker (28) o clima de uma região determina a aplicabilidade ou eficiência de uma série de resoluções do agricultor e do técnico agrícola. O ideal para essas tomadas de decisão é usar informação quantitativa do clima, ao invés de informações qualitativas como geralmente se adota em atividades agrícolas.

A previsão do tempo ou previsão meteorológica baseada na dinâmica das massas de ar é uma ajuda somente para futuro muito imediato (horas ou alguns dias) devido a nosso limitado conhecimento da atmosfera, e, portanto, de escasso valor prático para o planejamento da agricultura.

Por outro lado, pode-se obter informação útil a longo prazo a respeito das condições meteorológicas utilizando o método de predição climática (3, 25). Este método baseia-se no cálculo de probabi

lidade utilizando a função de distribuição de uma série suficientemente longa de observação da variável considerada.

A predição é, portanto, a projeção para o futuro dos eventos climatológicos passados. Com base na análise das séries de observações passadas a predição climática dá a probabilidade de ocorrência futura de determinados eventos meteorológicos.

Embora não seja um método absolutamente exato para prognóstico, fornece, no entanto, índices de chance de ocorrência de eventos meteorológicos que são de grande interesse prático para o planejamento das atividades agrícolas a longo prazo.

A predição climática é, desde logo, válida se assumimos que as condições climáticas futuras serão mais ou menos as mesmas das do passado, o que geralmente se espera que aconteça, especialmente se analisarmos uma série suficientemente longa.

A probabilidade dá a frequência de ocorrência. Assim se temos uma probabilidade de 80% de ocorrência de uma determinada altura pluviométrica anual, por exemplo, isto indica que em 100 anos devemos esperar 80 com a precipitação referida.

Como exemplo de adaptação de dados climáticos para uso quantitativo em agricultura temos os trabalhos de Barger e Thom (4, 5) sobre a caracterização de intensidade e probabilidade de seca para o cultivo de milho em Iowa; o de Baker e Strub (3) sobre probabilidade de ocorrência de baixas temperaturas; o de Hashemi e Decker (28) sobre predição probabilística de precipitação como um guia para estabelecimento de frequência de irrigação.

Também, segundo Chang (18), a precipitação é o elemento de

maior variabilidade na equação do balanço hídrico, e quando desejamos determinar balanço de água, a primeira coisa que se deve fazer é uma estimativa de variabilidade e probabilidade da precipitação.

Como na mesma equação a Evapotranspiração Potencial é o elemento menos variável pode-se utilizar a média da ETP e calcular a probabilidade de precipitações ligadas a ela, obtendo-se com isso informações quantitativas sobre as condições hídricas de diversas regiões e portanto sua potencialidade agrícola no que se refere ao fator água.

Com relação à função de distribuição das precipitações, tem sido ajustada com êxito a distribuição normal ou de Gauss, por vários autores, para o caso das precipitações anuais. Como exemplo temos os trabalhos de Fisher em Rothamsted, com um período de 90 anos, Foster em Iowa com dados de 70 anos citados por Memória (32).

Griffiths (26), Manning e Clover e outros demonstraram também que a distribuição mais importante que se deve considerar com respeito aos totais anuais de precipitação é a curva normal ou gaussiana. Griffiths (26) obteve ótimo ajuste à curva normal com dados da Venezuela. Também Dedebant e Machado (21) afirmam que o universo das precipitações anuais é gaussiano.

Godoy, Nogueira e Pimentel Gomes (26) analisando os dados pluviométricos de Campinas, São Paulo, de um período de 66 anos encontraram bom ajuste das precipitações anuais à curva normal. Também Marchetti (31) encontrou valores próximos ao teórico de uma distribuição normal, para as precipitações anuais da Argentina.

Por outro lado, as precipitações mensais apresentam, geralmen-

te, distribuição assimétrica positiva. Isto significa que existem mais valores inferiores à média, do que se prognosticaria utilizando a distribuição normal. Nos casos da distribuição se afastar da normal deve-se transformar os dados de alguma maneira para ajustá-los à curva normal ou buscar a função de distribuição que seguem os dados naturalmente.

Em geral as precipitações para períodos mensais e menores seguem a função gama de distribuição (4, 5, 22, 25, 57).

Uma vez ajustada a função de distribuição pode-se determinar probabilidades de obtenção de determinadas quantidades de precipitações para períodos anuais, mensais, etc.

Quando existe suficiente número de estações distribuídas pela área de estudo pode-se traçar mapas de probabilidades de obtenção de precipitação. Estes tipos de mapas já foram confeccionados para África Oriental, conforme cita Griffiths (27). Também Yao (57) fez mapas de probabilidade de precipitação mensal para a China Norte, usando a função gama de distribuição.

2.5. Estudo da temperatura e umidade do ar

Segundo Conrad e Pollak (19) uma das principais dificuldades da comparação dos transcurso da temperatura de um lugar com outro é a diferença existente entre as médias anuais. Para efeito de caracterização de climas locais isto pode ser resolvido calculando-se os desvios mensais da média anual, permitindo deste modo a comparação do transcurso anual da temperatura de duas localidades sem a influência da média anual.

Trojer (50, 51, 52) utiliza este método para estudos de transcurso ou marcha anual da temperatura e a caracterização de climas locais, através de climadiagramas, representando também os desvios mensais da média anual de umidade relativa e déficit de saturação do ar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição geral da área de estudo

Situado na parte mais meridional do Brasil, entre os paralelos 27 e 34°S e meridianos 50 e 57° oeste, o Estado do Rio Grande do Sul possui um território de mais de 280.000 Km², com uma costa marítima de 600 Km de extensão. As altitudes variam do 0 m a 1.200 m.

Segundo a classificação climática de Köppen aplicada ao Estado por Moreno (35) o Rio Grande do Sul pertence à zona fundamental temperada ou "C", ao tipo "Cf" ou úmido, com as variedades "Cfa" (subtropical e "Cfb" (temperado).

De acordo com Figueiredo Monteiro (34) participam da gênese do clima do Estado as massas de ar Tropical Atlântica (Ta), Polar Atlântica (Pa), Equatorial Continental (Ec) e Tropical Continental (Tc). Destas, as duas primeiras são as mais importantes na elaboração do clima regional.

3.2. Base cartográfica

Como base cartográfica do presente trabalho foram utilizados os mapas escala 1:1.500.000 do Instituto Gaúcho de Reforma Agrária, Divisão de Geografia e Cartografia.

3.3. Elementos meteorológicos

3.3.1. Precipitação

Para o estudo do regime pluviométrico foram utilizadas as sé-

ries de precipitação de 39 estações do Instituto Meteorológico Coussirat de Araújo publicadas pela Secção de Hidrologia da Companhia Estadual de Energia Elétrica (9). Destas 39 estações ou postos, se conseguiram 33 com um período relativamente homogêneo e com mais de 30 anos de observação (30-47) a partir de 1913.

As médias destas 33 estações são consideradas como valores normais, de acôrdo com a definição da Comissão de Climatologia da Organização Meteorológica Mundial (8). Estas foram as séries tomadas como base para efeito do presente estudo.

Como dados auxiliares foram também utilizados os valores médios de períodos menores de 30 anos de observação de estações do Coussirat de Araújo e do Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria da Agricultura.

3.3.2. Radiação solar

Os valores de insolação utilizados provêm de 17 estações meteorológicas, período 1955-65, pertencentes umas ao Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria da Agricultura e outras ao Instituto Meteorológico Coussirat de Araújo.

Os dados de radiação solar são originários exclusivamente da rede de estações agrometeorológicas do Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria da Agricultura, período básico 1956-65 (11).

3.3.3. Temperatura e umidade do ar

As temperaturas utilizadas neste estudo são os valores normais da rede de postos do Instituto Coussirat de Araújo publicados por

Moreno (35). Também foram utilizados valores médios (10 anos) da rede de estações agrometeorológicas do Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria da Agricultura (12).

Os dados de umidade relativa pertencem ao Coussirat de Araújo sendo valores médios do período 1916-42 e ao Serviço de Ecologia, valores médio do período 1956-65 (12).

Quadro 1. Resumo e origem dos dados utilizados.

Elementos	Número de Estações	Anos de Observação	Fonte
Precipitação	42	10 - 47	ICA, SEA
Radiação solar			
Radiação global	7	6 - 9	SEA
Insolação	17	10	ICA, SEA
Temperatura	41	10 - 30	ICA, SEA
Umidade do ar			
Umidade relativa	16	10 - 26	ICA, SEA
Déficit de saturação	7	10	SEA

ICA = Instituto Meteorológico Coussirat de Araújo, Pôrto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

SEA = Serviço de Ecologia Agrícola da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

3.4. Estudo da radiação

Para o estabelecimento da função de relação entre radiação global e insolação foram utilizados os dados destes elementos de

sete estações distribuídas pelo Estado com um período de observação de 6 a 9 anos.

As equações de regressão, que permitissem o cálculo da radiação global média mensal em função da insolação, foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados procurando-se estabelecer as constantes de proporcionalidade a e b da equação geral

$$R_S/R_A = a + b n/N$$

Onde:

R_S = Radiação global média em cal cm^{-2} recebida numa superfície horizontal na superfície do solo.

R_A = Radiação total em cal cm^{-2} recebida no topo da atmosfera a 30° latitude Sul

n = Insolação mensal em horas

N = Insolação máxima astronômicamente possível em horas

a e b = constantes de proporcionalidade

A significância estatística das equações de regressão foi testada por um F teste.

A radiação solar total que atingiria a superfície da terra na ausência da atmosfera (radiação no topo da atmosfera) foi obtida de valores tabulados pelo Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

3.4.1. Radiação global efetiva

A radiação global efetiva ($R_{sef.}$) foi estimada a partir da fórmula geral:

$$R_{sef.} = (1 - \alpha) R_S$$

Para albêdo foi utilizado o valor médio de 0,20 que segundo Penman representa o albêdo para vegetação em estado verde.

3.4.2. Radiação ou irradiação terrestre efetiva

Para a radiação terrestre efetiva foi utilizada a equação de Brunt com a modificação sugerida por Rose (43).

$$R_L = T_a^4 \sigma (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (1 - n/N)$$

Onde:

R_L = Radiação ou irradiação terrestre efetiva (radiação de ondas longas)

T_a = Temperatura média do ar em °K

e = Pressão do vapor (mmHg)

n = Insolação realizada em horas

N = Insolação máxima astronômicamente possível em horas.

3.4.3. Radiação líquida ou balanço de radiação

A diferença entre o fluxo de radiação de ondas curtas incidente deduzido do albêdo e o fluxo de radiação de ondas longas emitido pela terra para a atmosfera dá a radiação líquida resultante ou balanço de radiação da superfície.

$$R_n = R_s (1 - \alpha) - R_L$$

Onde:

R_n = balanço de radiação

R_s = radiação global

α = albêdo

R_L = radiação ou irradiação terrestre efetiva

3.4.4. Relação entre radiação global e balanço de radiação

Com dados mensais de radiação global e radiação líquida de 17 estações foi ajustada, pelo método dos mínimos quadrados, a seguinte equação de regressão, válida para todo o estado;

$$Y = a + bX$$

Onde:

Y = radiação líquida (Rn) em cal cm⁻²

X = radiação global (Rs) em cal cm⁻²

a e b = constantes de proporcionalidade

Os critérios de ajuste utilizados foram F teste e R².

3.5. Estudo do regime pluviométrico

3.5.1. Análise estatística preliminar dos dados

Procedeu-se preliminarmente uma análise estatística das séries existentes de observação de precipitação, recalculando as médias e calculando a variância, desvio padrão, intervalo de confiança da média e coeficiente de variação anual e mensal.

3.5.2. Mapa de precipitação anual

Foram traçadas isoietas de 1.100 a 2.000 mm com intervalo de 100 mm e de 2.000 a 2.400 com intervalo de 200 mm.

3.5.3. Precipitação em percentagem (P%)

Para a obtenção da precipitação em percentagem da média anual calcularam-se primeiramente as médias diárias de cada mês e logo a

soma anual das médias diárias. A percentagem para cada mês se obteve através da fórmula:

$$P (\%) = \frac{Md}{\Sigma Md} \times 100$$

Onde:

Md = média diária mensal

ΣMd = somatório anual da média diária mensal

Êstes valôres foram levados aos climadiagramas, conforme modelo proposto por Trojer, modificado, para representação do transcurso anual da precipitação

3.5.4. Balanço calórico e efetividade das precipitações

Calculou-se o coeficiente P/Rn para as 17 estações que tiveram seu balanço de radiação estimado através do presente estudo.

Onde:

P = precipitação do período considerado transformada em calor latente de evaporação.

Rn = balanço de radiação ou calórico (radiação líquida)

Para o calor latente de evaporação foi utilizada a base de 600 calorias por grama de água ou 6×10^5 calorias para evaporar 1 mm de precipitação por m².

Para a caracterização climática com P/Rn, adotou-se o mesmo valor de 1,33 como ponto de equilíbrio e a mesma classificação de Trojer (52):

P/Rn	Tempo reinante
0,00 - 0,33	muito sêco
0,33 - 0,66	sêco
0,66 - 1,33	sêco variável
1,33 - 2,00	chuvoso variável
2,00 - 3,00	chuvoso
3,00 - 5,00	muito chuvoso
> 5,00	altamente chuvoso

O transcurso anual de P/Rn foi representado em climadiagramas para junto com o transcurso dos demais elementos permitir uma melhor avaliação dos climas locais.

3.5.5. Oscilação extrema das precipitações anuais

Para a estimativa da variabilidade máxima anual foi calculado o quociente de oscilação máxima de Hellman:

$$Q = \frac{\text{Max.}}{\text{Min.}}$$

Onde:

Max. = valor máximo da precipitação ocorrido em tôda a série.

Min. = valor mínimo da precipitação ocorrido em tôda a série.

3.5.6. Variabilidade relativa

Como medida de variabilidade relativa das precipitações anuais foi utilizado o coeficiente de variação dado por:

$$C.V. (\%) = S/\bar{X} \times 100$$

Onde:

S = desvio padrão das precipitações anuais

\bar{X} = média das precipitações anuais

Foi confeccionado um mapa com a distribuição espacial da variabilidade relativa traçando-se as isolinhas de 20, 23, 26 e 29%.

3.5.7. Estudo da função de distribuição das precipitações anuais

Para o caso da distribuição anual das precipitações foi realizado um teste de ajuste à função normal, usando o critério estatístico de χ^2 (chi quadrado), com o qual se comparam as frequências observadas em uma amostra da variável considerada com as frequências teóricas de uma distribuição normal.

O χ^2 é dado por:

$$\chi^2 = \frac{(f_{ob} - f_e)^2}{f_e}$$

Onde:

fob = frequência observada

f_e = frequência teórica esperada

Como intervalo de classe foi utilizado 0,5 S (metade do desvio padrão). Para alguns casos que não mostraram bom ajuste à normal com 0,5 S, este intervalo foi elevado para 0.625 S.

O χ^2 calculado foi comparado com seu valor crítico tabular para K=3 graus de liberdade e nível de significância de 5%.

Onde:

K = número de classes

3.5.8. Classificação das precipitações anuais

As precipitações anuais das estações que tem seu padrão de distribuição normal foram classificadas segundo o critério de Conrad e Pollak (19) adotando-se as seguintes características climáticas para cada intervalo de desvio padrão:

Limites de S	Classificação
< -3S	extremamente sêco
-3S a -2S	muito sêco
-2S a - S	sêco
- S a + S	normal
+ S a + 2S	chuvoso
+2S a +3S	muito chuvoso
> +3S	extremamente chuvoso

A substituição dos termos "abaixo do normal" da escala de Conrad e Pollak (19) por sêco, de "acima do normal" por chuvoso etc., foi com o propósito de estabelecer uma linguagem mais diretamente relacionada com a precipitação. Por outro lado as modificações dos termos utilizados por Marchetti (31) como úmido, muito úmido e extraordinariamente úmido para chuvoso, muito chuvoso e extremamente chuvoso respectivamente justifica-se, em nosso entender, por se tratar de uma classificação que toma como base apenas a precipitação. Os termos úmido, muito úmido etc. são mais indicados quando se trabalha com balanço hídrico ou efetividade das precipitações.

3.5.9. Probabilidade de precipitação anual. Representação gráfica e espacial

As probabilidades de precipitação anual para todo o Estado foram representadas segundo o método gráfico de Landsberg, indicado por Chang (18) modificado. Este gráfico indica a probabilidade de obtenção de quantidades maiores que determinadas alturas como uma função da média anual. Também foram confeccionados três mapas com probabilidade de ocorrência de precipitações maiores que 1.000, 1.300 e 1.600 mm.

3.5.10. Modelo de probabilidade das precipitações mensais

Os totais mensais de precipitação geralmente não apresentam distribuição normal, por causa da existência de grande número de casos com valores pequenos e mesmo valores zero. Por este motivo foi utilizada a seguinte expressão de probabilidade acumulada, segundo Friedman e Janes (18)

$$G(X) = \rho + (1 - \rho) F(X)$$

Onde:

$G(X)$ = probabilidade de ocorrência de uma precipitação menor ou igual a x milímetros

ρ = proporção da amostra (série) com precipitação zero.

Como estimador de ρ foi utilizado:

$$\rho = \frac{Y}{N}, \quad 0 \leq Y \leq N$$

Onde:

Y = número de vezes em que a precipitação mensal foi zero

N = número total de anos

Para $F(X)$ utilizou-se o modelo matemático proposto por Barger e Thom (5), que corresponde à função gama.

A expressão que representa a probabilidade acumulada de precipitação é a seguinte, segundo Friedman e Janes (18)

$$G(X) = \rho + (1-\rho) \int_0^X \left[\frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\gamma (\gamma)} \right] dx$$

Onde:

X = precipitação em mm

Os dois parâmetros restantes desta equação, γ e β , foram estimados pelo seguinte método, empregado por Thom, conforme mencionam Friedman e Janes (18).

$$g = \frac{1 + \frac{1 + \frac{4}{3} \left[\log \bar{X} - \frac{1}{n} \sum_i^n \log X_i \right]}{4 \left[\log \bar{X} - \frac{1}{n} \sum_i^n \log X_i \right]}}$$

$$b = \frac{\bar{X}}{g}$$

Onde:

b e g = estimadores de β e γ respectivamente

\bar{X} = média mensal dos anos em que a precipitação foi acima de zero

n = número de anos em que a precipitação mensal foi acima de zero ($n = N - Y$)

A probabilidade acumulada $F(X)$ pode ser obtida das tabelas da função gama incompleta. Estas tabelas dão a probabilidade acumulada em

função de p e u , os quais foram obtidos a partir das seguintes relações:

$$p = g - 1$$

$$u = \frac{X}{b \cdot \sqrt{g}}$$

Onde:

X = precipitação em mm.

3.6. Estudos da temperatura e umidade do ar

Para as temperaturas médias, médias máximas e médias mínimas calcularam-se os desvios mensais da média anual, representando seus transcurros em climadiagramas. O mesmo se procedeu com a umidade relativa e déficit de saturação.

3.7. Caracterização do clima local. Climadiagramas

Foram confeccionados 41 climadiagramas conforme o modelo proposto por Trojer (51, 52), adaptado. Representaram-se nêstes climadiagramas o transcurso das precipitações em percentagem da soma média anual, o transcurso do coeficiente P/R_n , o transcurso dos desvios mensais das temperaturas médias, médias máximas e médias mínimas em relação à temperatura média anual respectiva e os transcurros dos desvios mensais da média anual da umidade relativa e do déficit de saturação do ar.

Como base nos climadiagramas foram determinados os períodos climáticos secos e chuvosos para cada localidade.

4. RESULTADOS

4.1. Radiação solar

Nesta secção apresentam-se os resultados da estimativa da radiação global, balanço de radiação e relação entre balanço de radiação e radiação global.

4.1.1. Estimativa da radiação global

A relação gráfica mostrada nas Figs. 1, 2 e 3 entre insolação em horas e radiação global em Kcal, para as sete estações do Estado que possuem um período mais ou menos longo de observação dêste dois elementos, indicou a existência de uma correlação que poderia ser melhor estudada através de uma análise de regressão.

Utilizando a metodologia indicada foram obtidas sete equações de regressão que permitem o cálculo da radiação média mensal a partir da insolação.

Em todos os casos o F teste foi altamente significativo, demonstrando o ajuste das referidas equações de regressão.

As Figs. 4 e 5 mostram a relação existente entre R_s/R_A e n/N onde são apresentados os diagramas de dispersão de pontos, as equações de regressão ajustadas por mínimos quadrados, as linhas de regressão traçadas, os coeficientes de correlação e as médias dos dois elementos para as sete localidades em estudo.

Como estas sete localidades estão mais ou menos bem distribuídas pelo Estado, representando portanto suas diversas regiões climáticas, procurou-se, para efeito de maior utilidade prática, reunir

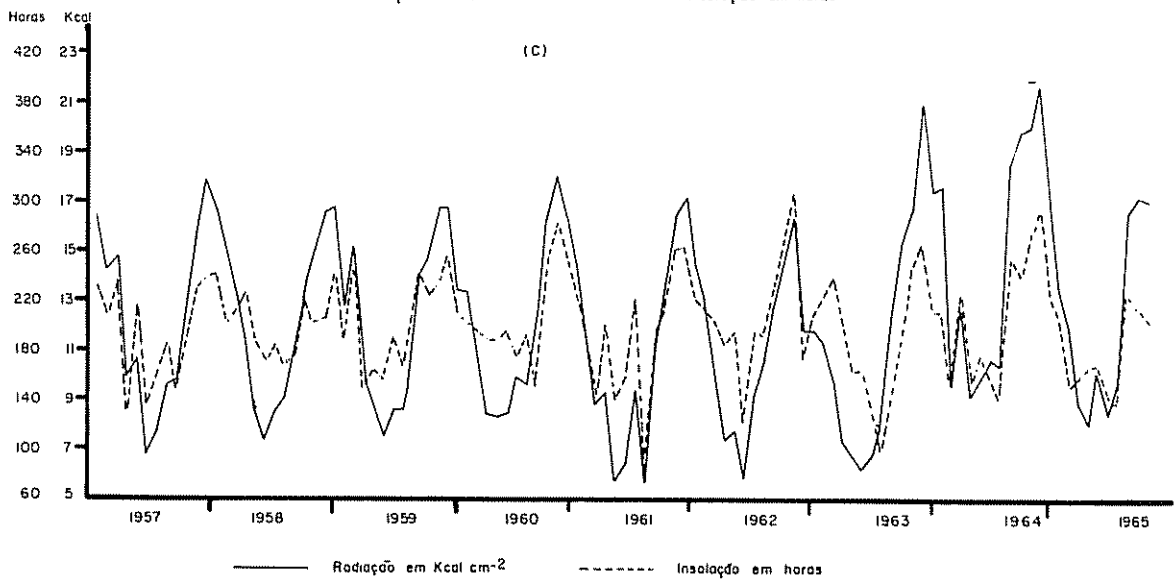
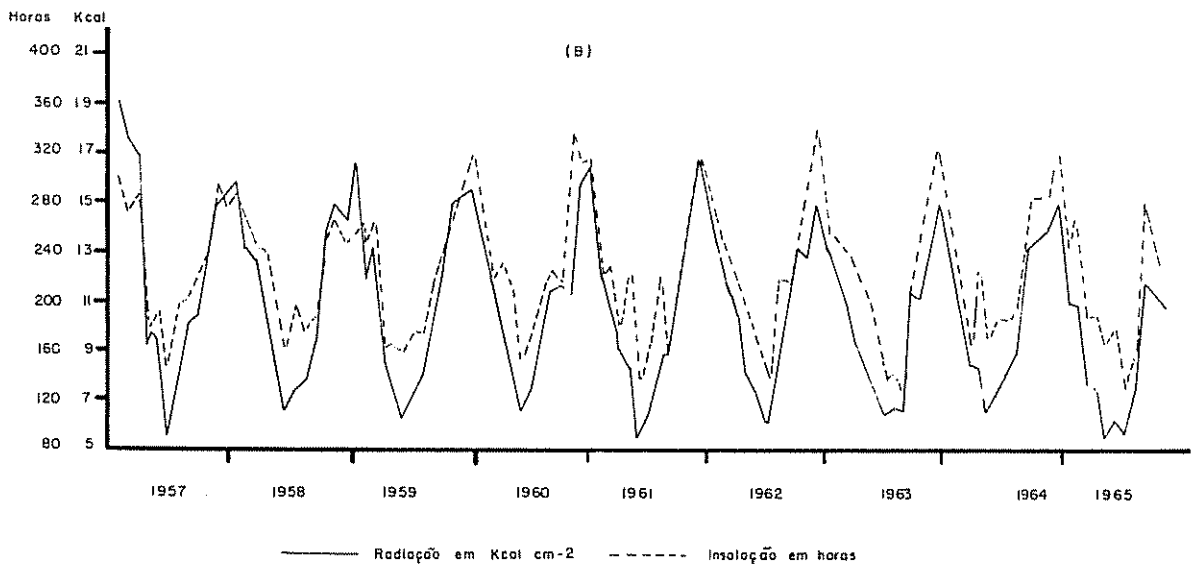
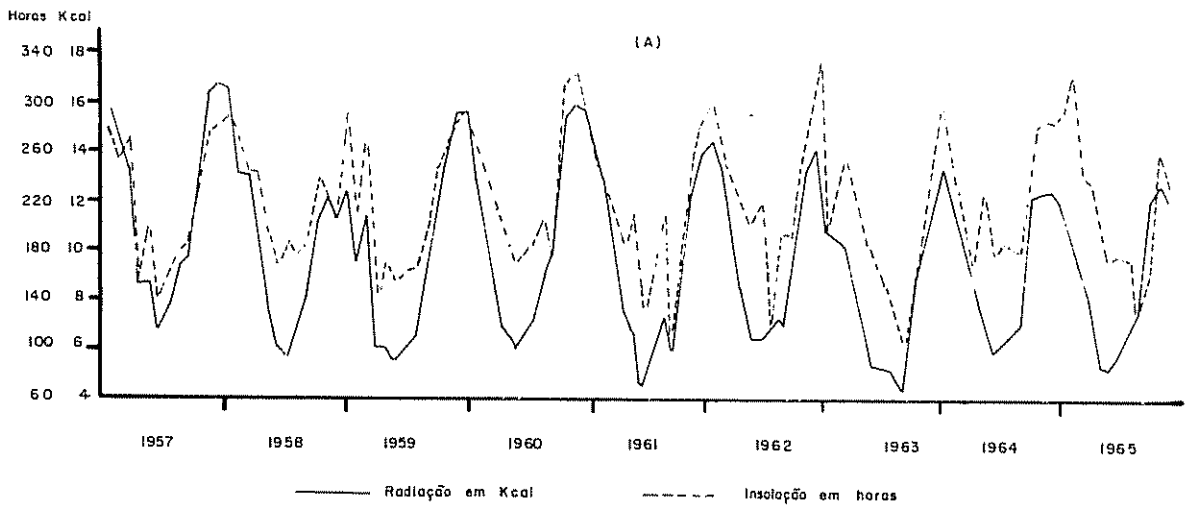


Fig. 1. Transcurso da radiação global e insolação para as localidades de A) Júlia de Castilhos, B) São Borja, C) Veranópolis

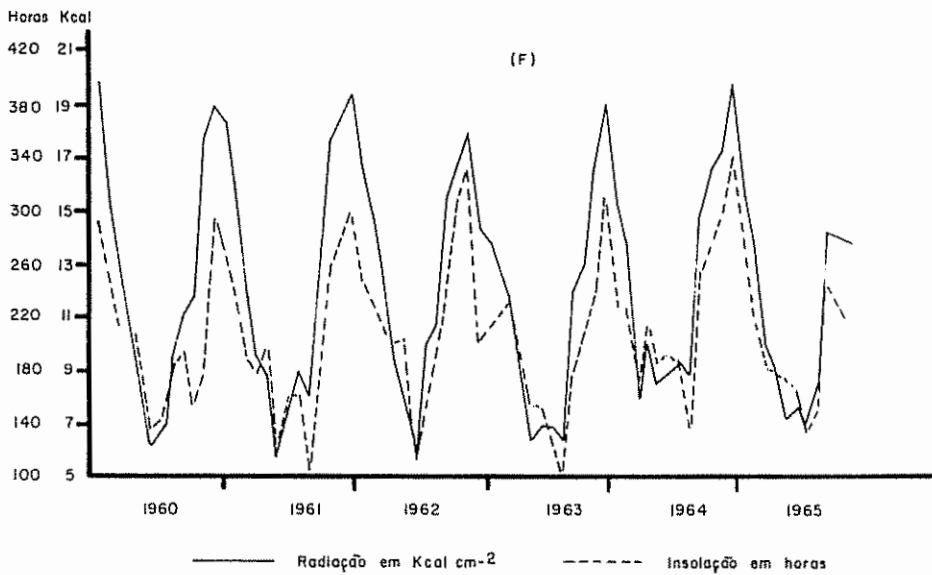
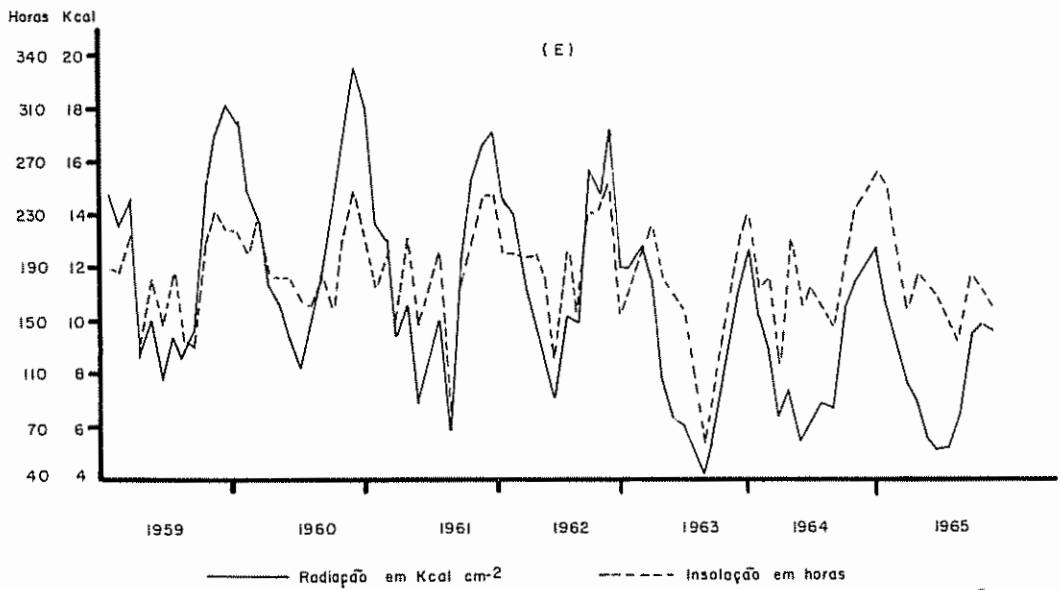
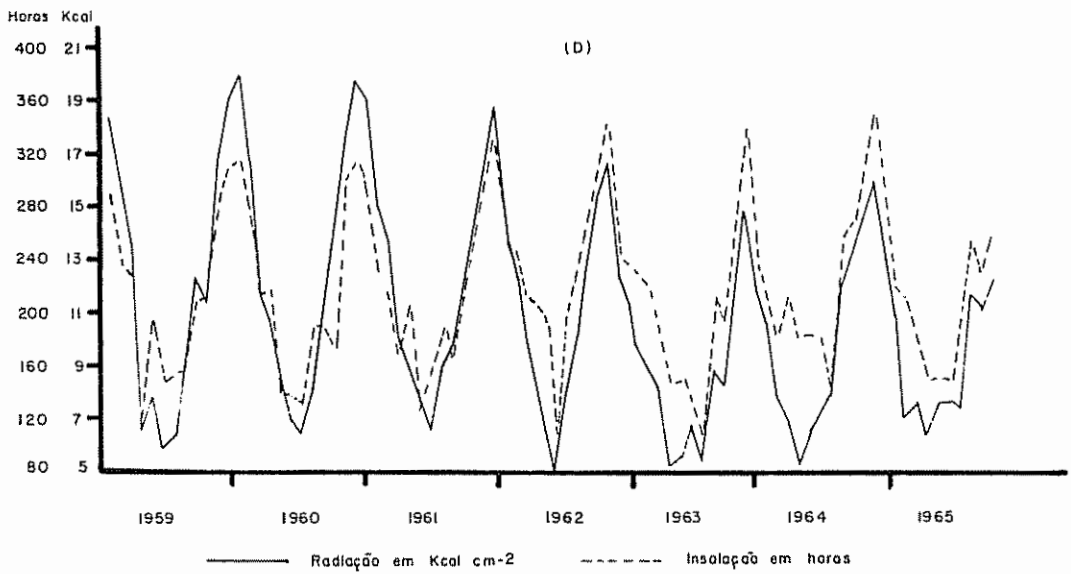


Fig 2 Transcurso da radiação global e insolação para as localidades de D) Bagé, E) Osario, F) Encruzilhada do Sul

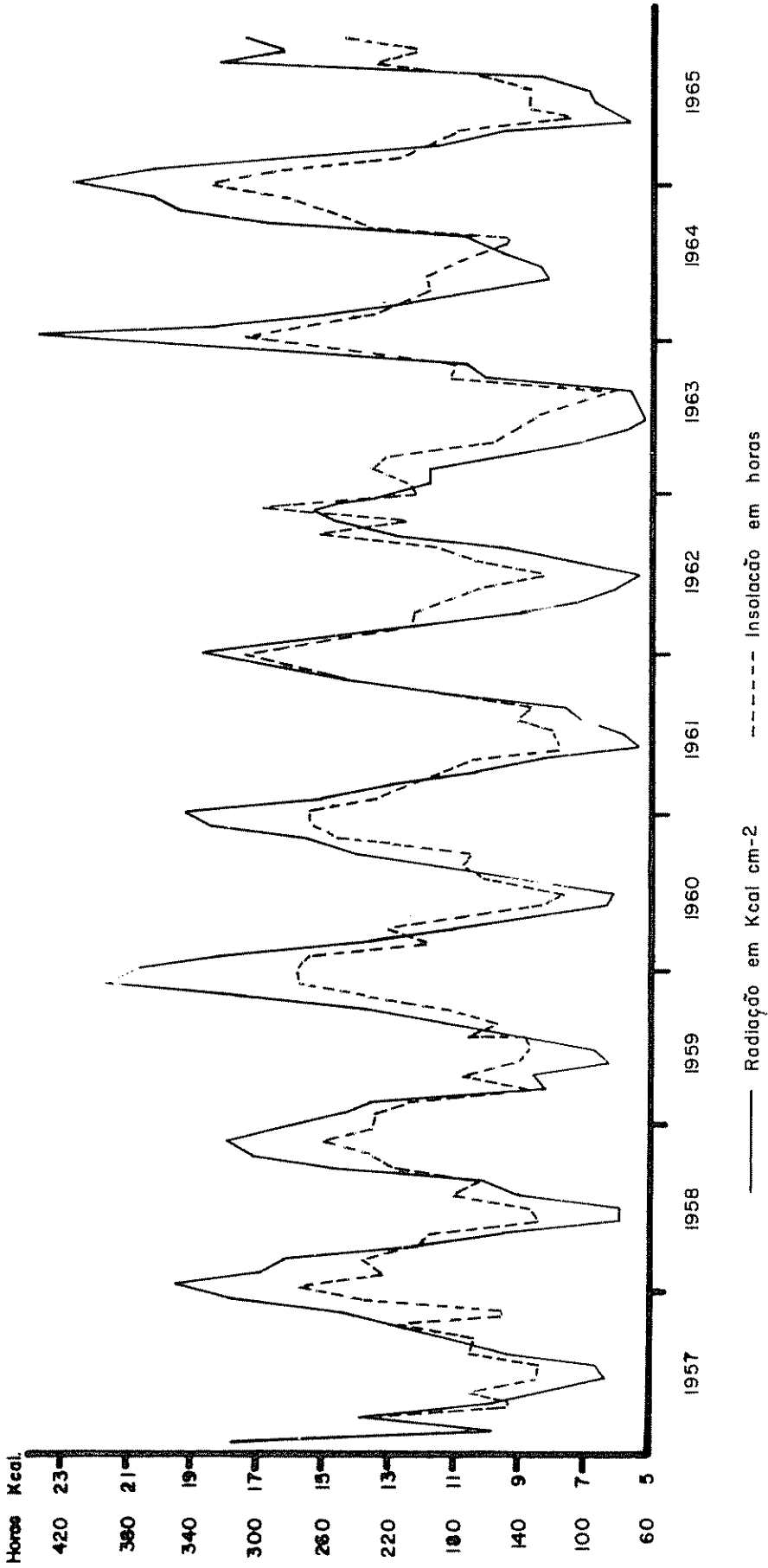


Fig. 3 Transcurso da radiação global e insolação para Rio Grande

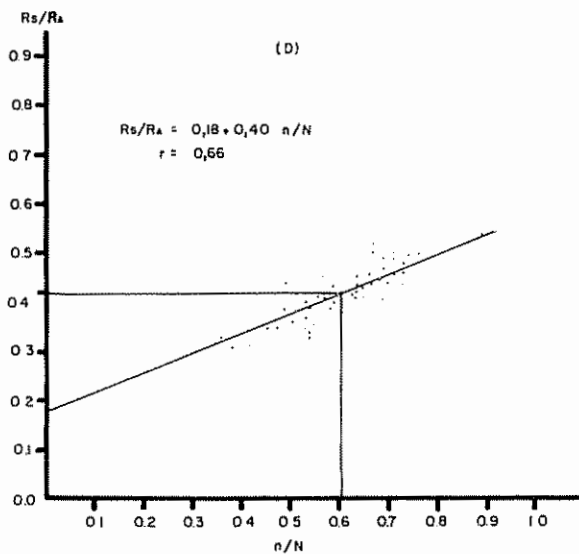
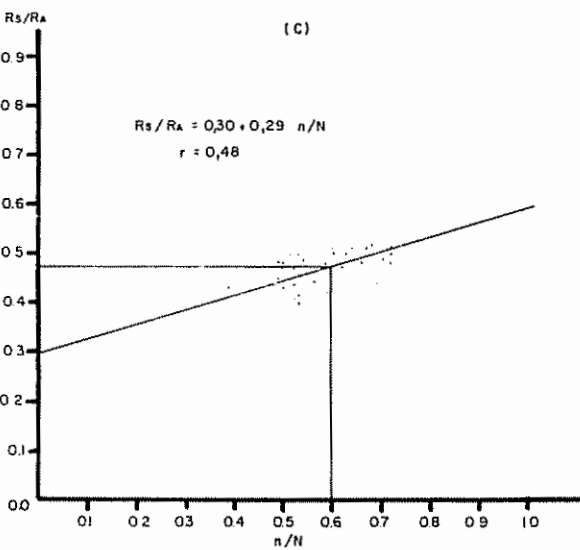
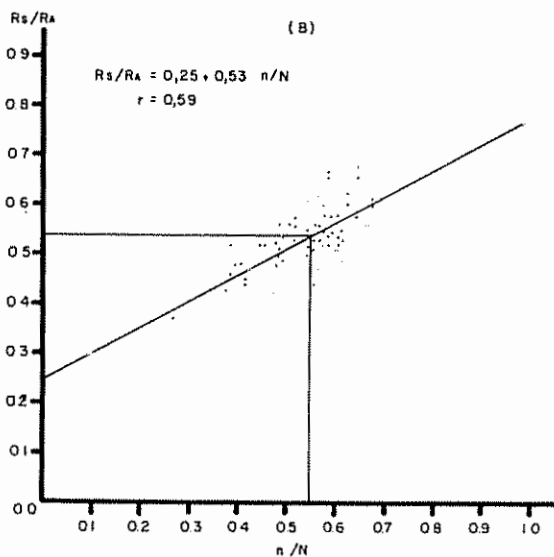
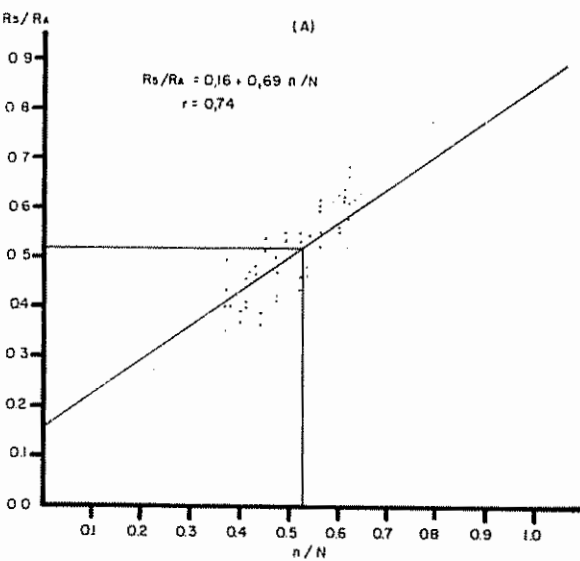


Fig. 4 - Relação entre a radiação solar mensal e a percentagem de insolação máxima possível as localidades de A) Rio Grande, B) Veranópolis, C) São Borja, D) Júlio de Castilhos

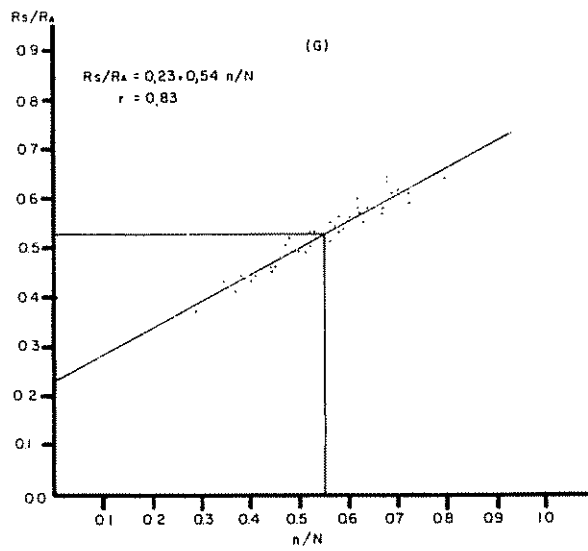
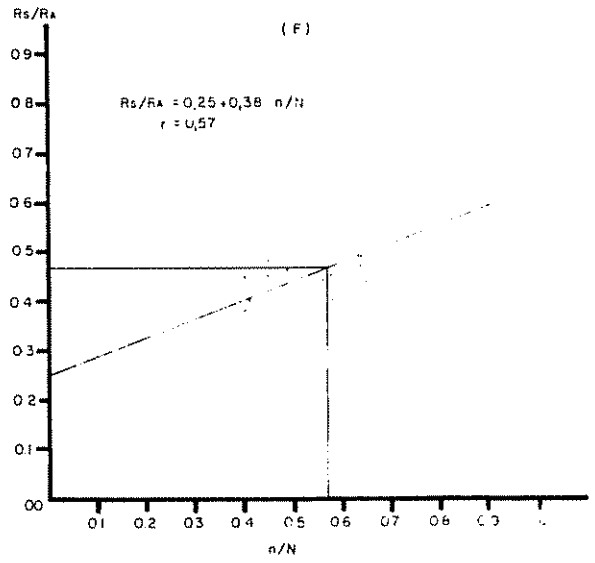
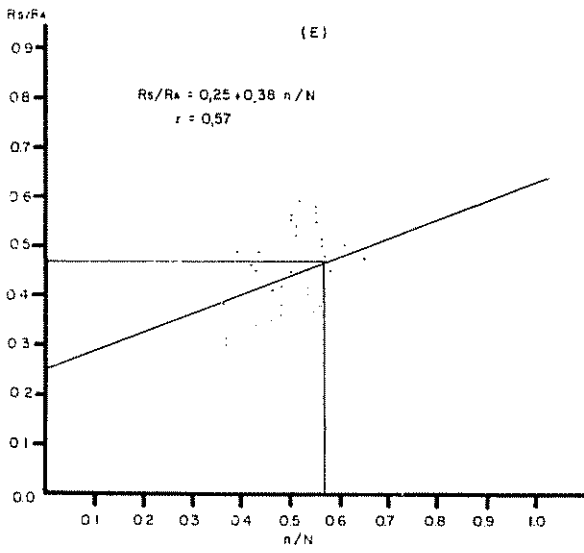


Fig 5 Relação entre a radiação solar mensal e a percentagem de insolação máxima possível para as localidades de E) Oserio, F) Bagé, G) Encruzilhada do Sul

estas sete equações em uma só que representasse uma equação média válida para todo o estado. Para isto procedeu-se a um F teste em que o $F_c = s^2 \text{ maior} / s^2 \text{ menor}$, para cada par de equações comparadas, procedendo-se assim tôdas as comparações possíveis. Este teste demonstrou que, na maioria dos casos, as equações não eram significativamente diferentes, e que poderiam ser reunidas em uma só equação média, com razoável exatidão.

Como o coeficiente de regressão b tem um grande pêso na determinação de y através da equação de regressão, para o estabelecimento da equação média calculamos o seu valor médio ponderado pela soma de quadrados de X :

$$\bar{b}_w = \frac{S.Q. X_1 b_1 + S.Q. X_2 b_2 + \dots + S.Q. X_n b_n}{S.Q. X_1 + S.Q. X_2 + \dots + S.Q. X_n}$$

$$\bar{b}_w = 0,46$$

O valor médio de a foi obtido através da média aritmética de seus valores:

$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{n}$$

$$\bar{a} = 0,23$$

A equação geral média válida para o território do Estado, entre 27° e 34° S de latitude é a seguinte:

$$\hat{Y} = 0,23 + 0,46 X$$

Como, em nosso caso:

$$Y = R_s/R_a \quad \text{e} \quad X = n/N$$

Substituindo, teremos:

$$R_S/R_A = 0,23 + 0,46 n/N$$

ou:

$$R_S = R_A (0,23 + 0,46 n/N)$$

Com base nesta última equação calculou-se a radiação global para diversas localidades do Estado, onde os valores médios de 10 anos de n/N (quadro 1, Apêndice 3) são conhecidos.

Os dados médios mensais assim obtidos são apresentados no quadro 2, juntamente com os valores médios medidos de 7 estações.

Como se observa, com o estabelecimento da função de relação entre insolação e radiação solar se conseguiu aumentar de 7 para 17 os pontos no estado com valores médios mensais de radiação, o que já possibilita dar uma boa idéia da distribuição espacial deste elemento.

A Fig. 6 mostra os desvios dos valores anuais de cada localidade em Kcal em relação à média geral de todo o Estado. Através dele pode-se observar que Santa Maria, Irai e Júlio de Castilhos possuem os valores mais baixo do Estado o que se deve, principalmente nas duas primeiras localidades, à relativamente alta nebulosidade existente nestas zonas que interceptam maior percentagem da energia radiante.

Como valores destacadamente acima da média do Estado aparecem Veranópolis, Encruzilhada do Sul e Rio Grande. As duas primeiras se justificam plenamente por pertencerem à regiões de maior altitude, onde, com a diminuição da turbidez atmosférica, aumenta a radiação. Rio Grande, porém, apresenta um valor um pouco elevado, especialmente se compararmos com valores do mesmo elemento de localida-

Quadro 2. Valores medidos e estimados de Rs em cal cm⁻² para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.

Localidades	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
Veranópolis	17.280	14.590	13.832	10.370	9.085	7.512	8.054	9.088	9.412	13.971	15.741	17.376	146.311
São Borja	15.742	12.998	12.292	9.318	8.241	6.380	6.913	8.122	9.251	12.490	13.220	14.516	129.473
Bagé	17.171	13.951	11.861	8.770	7.944	5.882	6.333	7.882	9.081	11.792	13.874	15.803	130.344
Osório	15.017	12.786	12.366	9.569	9.124	7.149	7.220	8.025	7.886	11.883	13.504	14.905	129.434
Rio Grande	19.174	15.473	13.859	10.493	8.679	6.235	6.364	8.115	9.579	13.892	15.648	18.252	145.763
Encruzilhada do Sul	18.551	15.487	13.461	10.397	9.183	7.058	7.337	8.657	8.857	13.439	15.926	17.315	145.668
Júlio de Castilhos	13.948	12.162	11.060	8.238	6.928	5.780	5.985	6.876	7.519	10.987	13.127	13.782	116.392
São Luiz Gonzaga*	16.394	13.873	12.901	9.611	8.175	6.109	6.968	8.361	9.568	13.546	15.066	17.009	137.601
Santa Vitória do Palmar*	15.763	13.611	11.908	9.418	7.861	5.976	6.242	8.024	9.351	12.191	14.771	16.367	131.483
Santa Maria*	14.502	12.564	11.660	8.457	6.603	5.312	5.662	7.132	8.916	12.191	13.589	15.083	121.671
Passo Fundo*	15.448	13.088	11.908	8.649	7.546	6.109	6.678	8.024	8.698	12.462	14.476	16.367	129.453
Iraí*	14.817	12.041	12.156	8.842	7.074	5.976	6.533	7.667	8.046	11.368	13.294	15.725	123.549
Caxias do Sul*	15.132	13.088	12.405	9.418	8.165	6.507	7.113	8.202	8.916	12.462	13.885	15.725	131.028
Porto Alegre*	15.448	13.873	12.405	9.226	7.703	6.109	6.823	8.202	8.916	12.733	14.771	16.688	132.897
Uruguaiana*	17.339	14.135	12.901	9.611	8.175	6.109	6.823	8.559	10.003	13.004	15.657	17.009	139.325
Cruz Alta*	15.763	13.873	12.901	9.226	7.703	5.976	6.678	8.202	9.103	12.733	14.476	15.725	132.389
Tramandaí*	16.709	13.873	12.405	9.418	8.175	6.507	6.678	8.024	8.046	12.733	14.771	16.367	133.706

* Radiação estimada pela equação: Rs = Ra (0,23 + 0,48 n/N).

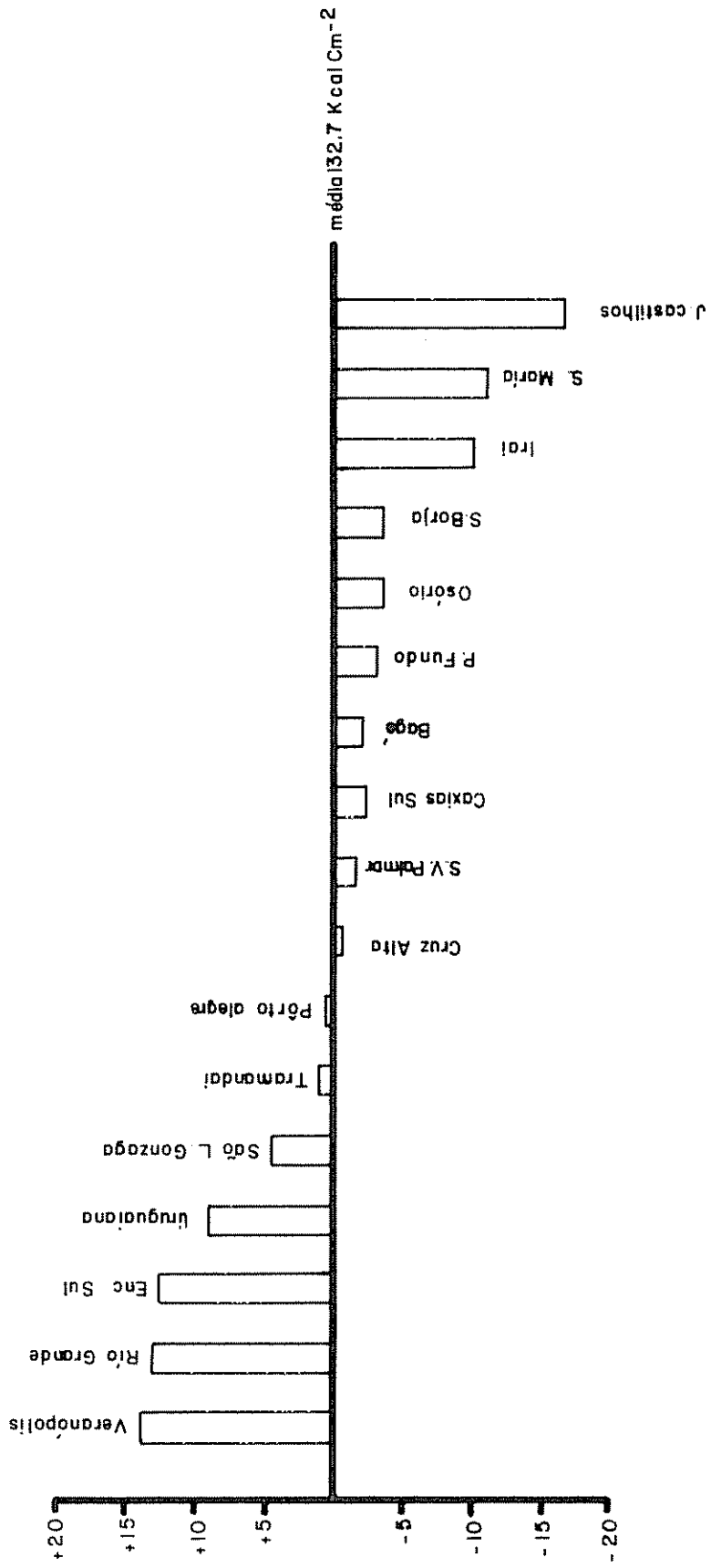


Fig. 4 Radiação global (Kcal Cm⁻²) de diversas localidades expressada em desvios da média anual do estado

des próximas onde as condições climáticas gerais são muito semelhantes.

4.1.2. Balanço de radiação

Da radiação global incidente foram deduzidas todas as perdas de energia para a atmosfera, conforme métodos indicados, restando a radiação líquida R_n ou balanço de radiação, que é a energia posta à disposição da superfície da terra para logo ser mobilizada pelos processos físicos e biológicos que aí ocorrem.

Para se verificar a fração de radiação total que corresponde a radiação líquida calculou-se o quociente R_n/R_s , ou seja a radiação líquida dividida pela radiação global. Os dados relativos ao balanço de radiação são apresentados no quadro 3.

Os valores médios anuais deste quociente para todo o Estado variam de 0,49 a 0,58. Portanto, da radiação total anual incidente, 46%, em média, é devolvida à atmosfera normalmente pelos processos de reflexão e irradiação terrestre.

O transcurso anual deste quociente para cada localidade é, porém, muito mais variável, com valores máximos no verão e mínimos no inverno. Os valores menores no inverno são devidos ao fato de que nesta estação do ano a irradiação terrestre é maior que no verão, e, como a radiação global é ao mesmo tempo menor resulta um valor relativamente pequeno para a radiação líquida ou balanço de radiação. Há, nesta época, maior perda de calor o que explica o fenômeno físico-meteorológico do resfriamento mais intenso da superfície nesta estação do ano. No verão acontece o contrário, pois

Quadro 3. Balanço de Radiação: Valores de Rs e Rn em cal cm⁻² e quociente Rn/Rs para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.

Localidades	Janeiro			Fevereiro			Março		
	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs
Veranópolis	17.280	11.146	0,65	14.590	9.253	0,63	13.832	8.836	0,64
São Borja	15.742	10.808	0,69	12.998	8.785	0,68	12.292	7.602	0,62
Bagé	17.171	11.251	0,70	13.951	9.548	0,68	11.861	7.257	0,61
Osório	15.017	9.336	0,62	12.286	8.213	0,64	12.366	7.215	0,58
Rio Grande	19.174	13.107	0,68	15.473	10.765	0,70	13.859	8.855	0,64
Encruzilhada do Sul	18.551	12.609	0,68	15.487	10.374	0,67	13.461	8.091	0,60
Júlio de Castilhos	13.948	8.926	0,64	12.162	8.117	0,67	11.060	6.616	0,60
São Luiz Gonzaga	16.394	11.329	0,69	13.873	9.485	0,68	12.901	8.089	0,63
Santa Vitória do Palmar	15.763	9.932	0,63	13.611	8.873	0,65	11.908	6.848	0,58
Santa Maria	14.502	8.924	0,62	12.564	8.035	0,64	11.660	6.650	0,57
Passo Fundo	15.448	10.126	0,66	13.088	8.454	0,65	11.908	6.848	0,58
Iraí	14.817	9.622	0,65	12.041	7.214	0,60	12.156	7.493	0,62
Caxias do Sul	15.132	9.428	0,62	13.088	8.051	0,62	12.405	7.246	0,58
Porto Alegre	15.448	10.126	0,66	13.086	9.485	0,68	12.405	7.692	0,62
Uruguaiana	17.339	12.085	0,70	14.135	9.695	0,69	12.901	8.089	0,63
Cruz Alta	15.763	10.378	0,66	13.873	9.485	0,68	12.901	8.089	0,63
Tramandaí	16.709	11.581	0,69	13.873	9.485	0,68	12.405	7.692	0,62

Cont. Quadro 3.

Localidades	Abril			Maio			Junho		
	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs
	Veranópolis	10.370	5.272	0,51	9.085	4.146	0,46	7.512	2.554
São Borja	9.318	4.862	0,52	8.241	3.915	0,48	6.380	1.648	0,26
Bagé	8.770	3.992	0,46	7.944	3.677	0,46	5.882	1.250	0,21
Osório	9.569	4.631	0,48	9.124	4.621	0,51	7.149	2.695	0,38
Rio Grande	10.493	5.802	0,55	8.679	3.818	0,44	6.235	1.532	0,25
Encruzilhada do Sul	10.397	5.294	0,51	9.183	3.775	0,41	7.058	2.190	0,31
Júlio de Castilhos	8.238	3.998	0,49	6.928	2.864	0,41	5.778	1.168	0,20
São Luiz Gonzaga	9.611	5.097	0,53	8.175	3.862	0,47	6.109	1.431	0,23
Santa Vitória do Palmar	9.418	4.942	0,52	7.861	3.611	0,46	5.976	1.325	0,22
Santa Maria	8.457	3.742	0,44	6.603	1.711	0,26	5.312	800	0,15
Passo Fundo	8.649	3.895	0,45	7.546	2.912	0,39	6.109	1.431	0,23
Iraí	8.842	4.482	0,51	7.074	2.534	0,36	5.976	1.757	0,29
Caxias do Sul	9.418	4.942	0,52	8.175	3.862	0,47	6.507	2.182	0,34
Pôrto Alegre	9.226	4.789	0,52	7.703	3.484	0,45	6.109	1.431	0,23
Uruguaiana	9.611	5.097	0,53	8.175	3.862	0,47	6.109	1.431	0,23
Cruz Alta	9.226	4.789	0,52	7.703	3.484	0,45	5.976	1.325	0,22
Tramandaí	9.418	4.942	0,52	8.175	4.308	0,53	6.507	2.182	0,34

Cont. Quadro 3.

Localidades	Meses			Julho			Agosto			Setembro		
	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs
	Veranópolis	8.054	2.872	0,36	9.088	3.702	0,41	9.412	3.642	0,39	9.412	3.642
São Borja	6.913	1.958	0,28	8.122	2.927	0,36	9.251	3.945	0,43	9.251	3.945	0,43
Bagé	6.333	1.495	0,24	7.882	2.735	0,25	9.081	3.377	0,37	9.081	3.377	0,37
Osório	7.220	2.205	0,31	8.025	2.849	0,36	7.886	2.421	0,31	7.886	2.421	0,31
Rio Grande	6.364	1.073	0,17	8.115	2.921	0,36	9.579	3.775	0,39	9.579	3.775	0,39
Encruzilhada do Sul	7.337	2.299	0,31	8.657	3.355	0,32	8.857	3.198	0,36	8.857	3.198	0,36
Júlio de Castilhos	5.985	1.217	0,20	6.876	1.930	0,28	7.519	2.559	0,34	7.519	2.559	0,34
São Luiz Gonzaga	6.968	2.449	0,35	8.381	3.134	0,37	9.568	4.198	0,44	9.568	4.198	0,44
Santa Vitória do Palmar	6.242	776	0,16	8.024	2.848	0,35	9.351	3.593	0,38	9.351	3.593	0,38
Santa Maria	5.662	960	0,17	7.132	1.688	0,24	8.916	3.245	0,36	8.916	3.245	0,36
Passo Fundo	6.678	1.771	0,27	8.024	2.848	0,35	8.698	3.070	0,35	8.698	3.070	0,35
Iraí	6.533	1.655	0,25	7.667	2.563	0,33	8.046	2.549	0,32	8.046	2.549	0,32
Caxias do Sul	7.113	2.565	0,36	8.202	2.991	0,36	8.916	3.245	0,36	8.916	3.245	0,36
Pôrto Alegre	6.823	2.333	0,34	8.202	2.991	0,36	8.916	3.245	0,36	8.916	3.245	0,36
Uruguaiana	6.823	2.333	0,34	8.559	3.722	0,43	10.003	4.546	0,45	10.003	4.546	0,45
Cruz Alta	6.678	1.771	0,27	8.202	3.437	0,42	9.133	3.418	0,37	9.133	3.418	0,37
Tramandaí	6.678	1.771	0,27	8.024	2.848	0,35	8.046	2.549	0,32	8.046	2.549	0,32

Cont. Quadro 3.

Localidades	Meses			Ano								
	Outubro			Novembro			Dezembro					
	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs	Rs	Rn	Rn/Rs			
Veranópolis	13.971	8.052	0,58	15.741	9.569	0,61	17.376	11.225	0,65	146.311	80.269	0,55
São Borja	12.490	7.314	0,59	13.220	7.984	0,60	14.506	9.373	0,65	129.473	71.122	0,55
Bagé	11.792	6.309	0,54	13.874	8.939	0,64	15.803	10.410	0,66	130.344	70.940	0,54
Osório	11.883	5.935	0,50	13.504	7.779	0,58	14.905	8.799	0,59	129.434	69.699	0,52
Rio Grande	13.892	7.989	0,58	15.648	9.926	0,63	18.252	12.370	0,68	145.763	81.933	0,56
Encruzilhada do Sul	13.439	7.180	0,53	15.926	10.149	0,64	17.315	11.620	0,67	145.668	80.134	0,55
Júlio de Castilhos	10.987	6.112	0,56	13.127	8.342	0,64	13.782	9.240	0,67	116.392	61.089	0,52
São Luiz Gonzaga	13.546	8.159	0,60	15.066	9.893	0,66	17.009	11.375	0,67	137.601	78.501	0,57
Santa Vitória do Palmar	12.191	6.182	0,51	14.771	9.225	0,62	16.367	16.416	0,64	131.483	68.771	0,52
Santa Maria	12.191	6.628	0,54	13.589	8.279	0,61	15.083	9.388	0,62	121.671	60.050	0,49
Passo Fundo	12.462	6.845	0,55	14.476	8.989	0,62	16.367	9.076	0,55	129.453	66.265	0,51
Iraí	11.378	5.531	0,49	13.294	7.611	0,57	15.725	10.348	0,66	123.549	63.359	0,51
Caxias do Sul	12.462	3.399	0,51	13.885	8.084	0,58	15.725	9.902	0,63	131.028	68.897	0,53
Porto Alegre	12.733	7.061	0,55	14.771	8.225	0,56	16.688	11.118	0,67	132.897	71.980	0,54
Uruguaiana	13.004	7.725	0,59	15.657	10.366	0,66	17.009	11.821	0,69	139.325	80.772	0,58
Cruz Alta	12.733	7.061	0,55	14.476	8.987	0,62	15.725	9.902	0,63	132.389	72.128	0,54
Tramandaí	12.733	7.061	0,55	14.771	9.225	0,62	16.367	10.862	0,66	133.706	74.506	0,56

há maior ganho de calor.

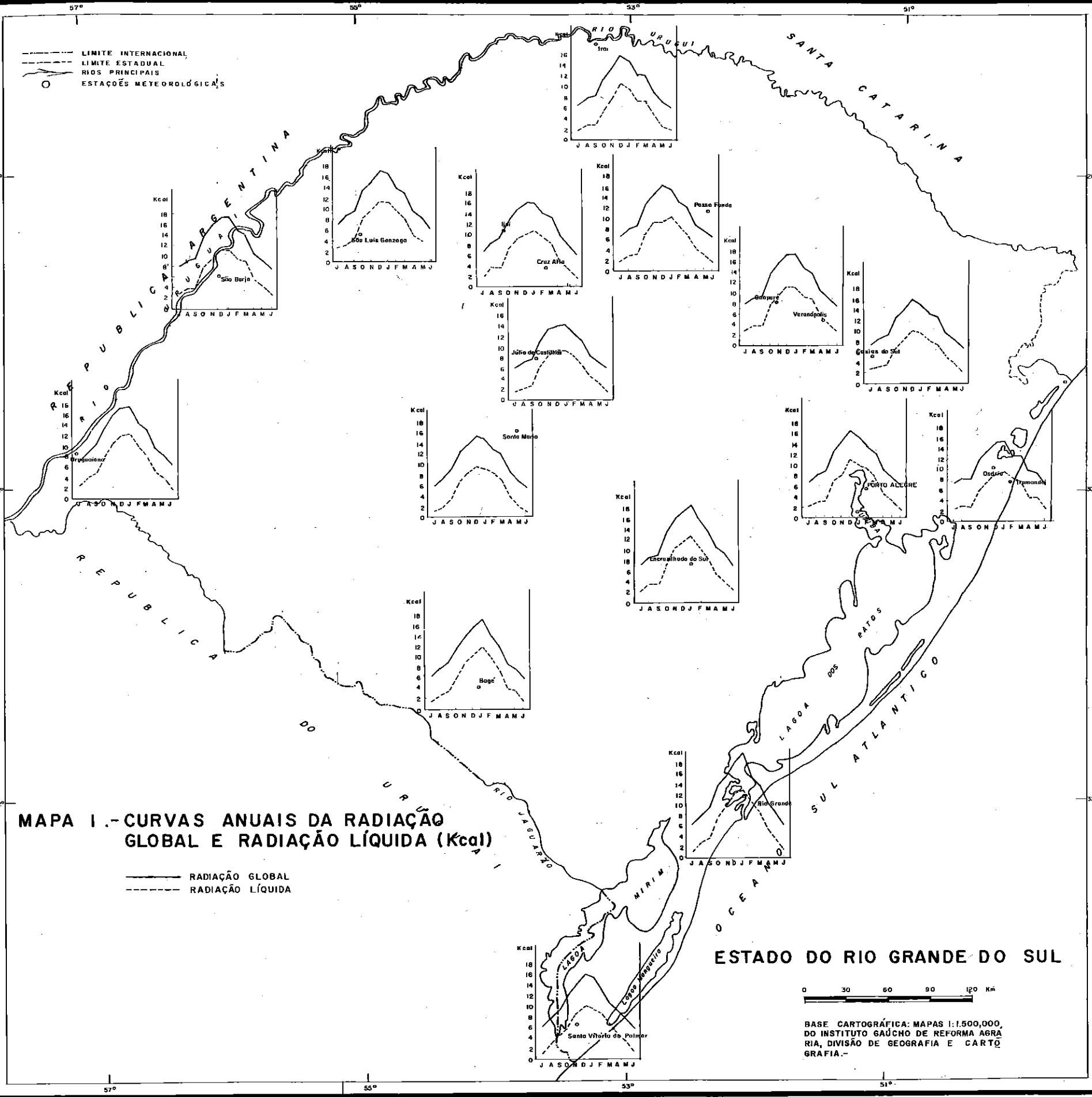
No mapa 1 são apresentados os diagramas do transcurso anual da radiação global e radiação líquida para as 17 localidades estudadas. Não foram traçadas isolinhas destes elementos, como seria climaticamente desejável, porque o número de estações ou pontos com estes dados é ainda pequeno para permitir tal representação.

4.1.3. Relação entre radiação global e balanço de radiação

Dada a raridade de medições diretas da radiação líquida ou balanço de radiação ou a complexidade de cálculo para sua estimativa através dos métodos clássicos, alguns autores têm procurado estimar este importante elemento valendo-se de sua relação simples com a radiação global incidente.

No presente caso foram analisados dados de radiação global medida e radiação líquida estimada através dos métodos clássicos, na tentativa de encontrar uma relação que pudesse simplificar a estimativa do balanço de radiação e que tivesse uma exatidão razoavelmente boa que justificasse seu uso.

Utilizando dados mensais de 17 estações foi ajustada, pelo método dos mínimos quadrados, a equação de predição da radiação líquida a partir da radiação global, cujos resultados são apresentados no quadro 4.



MAPA I.- CURVAS ANUAIS DA RADIAÇÃO GLOBAL E RADIAÇÃO LÍQUIDA (Kcal)

— RADIAÇÃO GLOBAL
 - - - RADIAÇÃO LÍQUIDA

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

0 30 60 90 120 Km

BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000, DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁRIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA.-

Quadro 4. Relações entre Rs e Rn para valores mensais: média, desvios padrão, regressão, coeficiente de correlação, coeficiente de determinação e resíduo.

Média		Desvio padrão		Regressão	r	r ²	Resíduo
X	Y	X	Y				
11.061	5.978	3.537	3.291	$\hat{Y} = -4.201 + 0,92X$	0,978	0,956	0,2371

Na Fig. 7 é apresentado o diagrama de dispersão com a linha de regressão.

O intervalo de confiança desta reta está dado por:

$$I.C.(\hat{Y}) = 5.978 + 0,92 (X_i - 11.061) \pm 1,97 \cdot 0,2361 \left[\frac{1}{204} + \frac{(X_i - 11.061)^2}{12.508 \times 203} \right]$$

Em que pese o fato de termos estabelecido esta equação com dados de radiação líquida estimados, a relação é válida, pois, devido sua alta correlação, quando aplicada gera valores muitíssimos próximos daqueles obtidos pelos métodos originais. E, se estes são válidos, a nova modalidade de estimativa também o será. Além do que a simplicidade do cálculo desta nova relação é incomparavelmente maior.

4.2. Regime pluviométrico

Na presente secção com suas subsecções são apresentados os resultados da análise do regime pluviométrico do Estado do Rio Grande do Sul, compreendendo especificamente: análise estatística preliminar das séries pluviométricas anuais, mapa de precipitação anual,

$$R_n = -4.201 + 0.920 R_s$$
$$r = 0.989$$

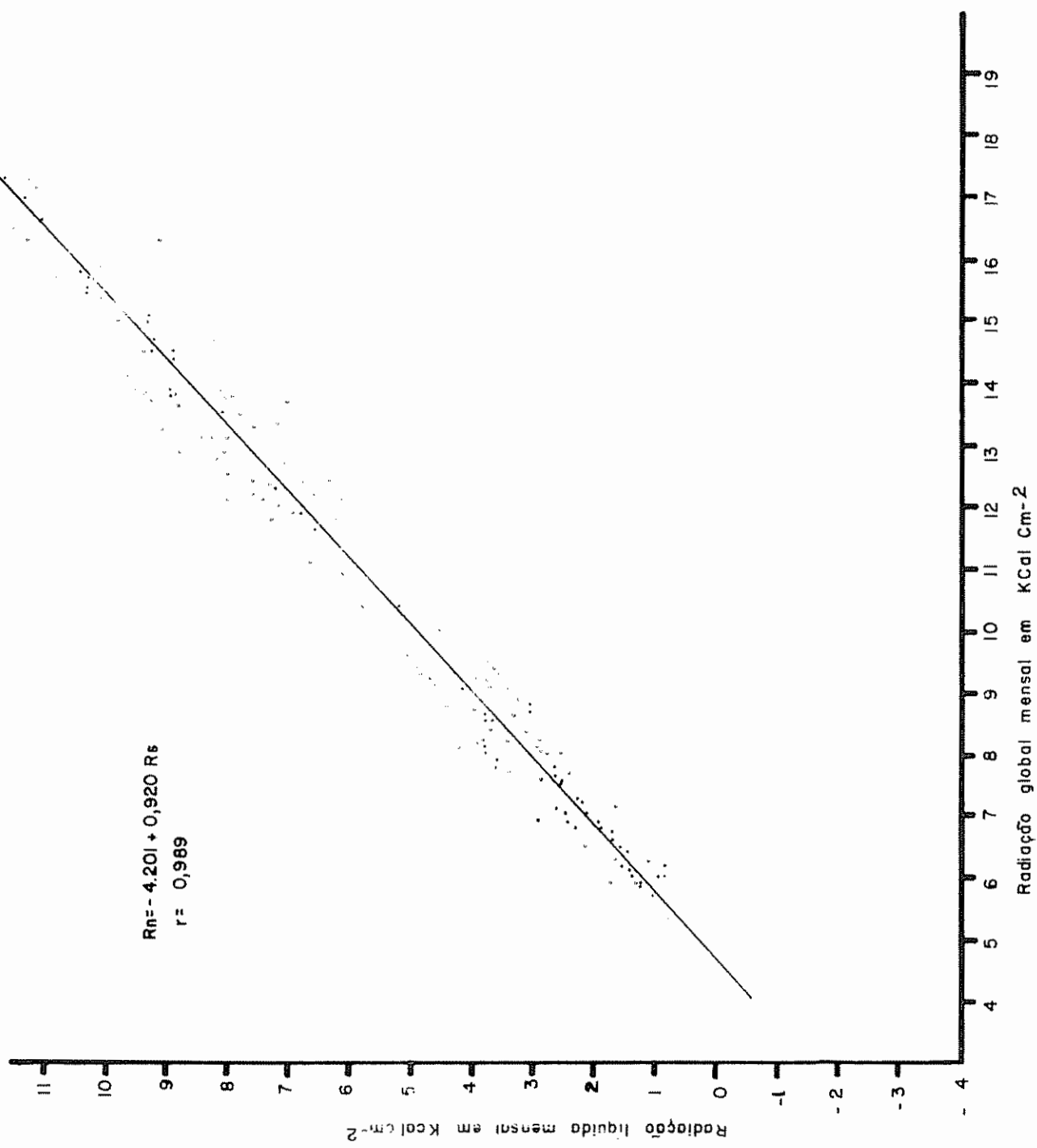


Fig. 7 Relação entre radiação global e radiação líquida para o estado do Rio Grande do Sul

variabilidade relativa e variabilidade máxima dos totais anuais, classificação das precipitações anuais, padrão de distribuição das precipitações anuais e mensais e cálculo de probabilidades de ocorrência de determinadas alturas pluviométricas anuais e mensais, transcurso anual da precipitação relativa e coeficiente P/R_n como índice de efetividade pluvial e caracterização climática.

4.2.1. Análise estatística preliminar das séries de precipitações anuais

No quadro 5 são apresentados os resultados da análise estatística preliminar a que foram submetidos todos os dados. Foram calculadas médias (\bar{X}), desvios padrão (S), coeficientes de variação (C. V.), variabilidade extrema (Q) e intervalos de confiança da média a 95% de probabilidade. O intervalo de confiança indica uma probabilidade de 95% de que a média verdadeira esteja incluída entre os dois extremos indicados. Em outras palavras, o intervalo de confiança é a margem de segurança que se deve dar à média a uma probabilidade de 95%. Pela observação dos resultados, nota-se que com o aumento do número de anos de observação o intervalo de confiança da média diminui, ou seja, com o aumento da série a média vai se aproximando gradativamente de seu valor verdadeiro. Isto sugere um meio de se determinar, o número de anos necessários para obtenção de um valor médio que tenha uma oscilação suficientemente pequena, para ser tomado como normal.

Quadro 5. Análise estatística das precipitações anuais do Estado do Rio Grande do Sul: média (\bar{X} (mm)), desvio padrão (S (mm)), limites de confiança, coeficiente de variação (C.V. (%)) e oscilação máxima (Q).

Localidades	Período de observação	\bar{X}	S	Limites de confiança a 95% de probabilidade	C.V. (%)	Q
Rio Grande	1913-59	1.185	293	1.185 ± 86	24,7	3,4
Tapes	1923-59	1.201	313	1.201 ± 105	26,1	2,9
Santa Vitória do Palmar	1914-59	1.207	353	1.207 ± 105	29,3	3,4
Pelotas	1939-59	1.407	327	1.407 ± 148	23,2	2,8
Pôrto Alegre	1913-59	1.286	270	1.286 ± 80	21,0	3,3
Jaguarão	1913-59	1.327	320	1.327 ± 94	24,1	2,9
Taquara	1924-59	1.372	328	1.372 ± 111	23,9	3,1
Tórres	1919-42	1.445	337	1.445 ± 142	23,3	2,3
Itaqui	1915-59	1.478	357	1.478 ± 107	24,1	3,2
Santa Cruz do Sul	1918-43	1.669	309	1.669 ± 125	18,5	2,1
Cachoeira do Sul	1913-59	1.496	354	1.496 ± 104	23,6	3,5
Uruguaiana	1913-59	1.345	287	1.345 ± 85	21,3	3,2
Taquari	1913-59	1.454	303	1.454 ± 89	20,8	2,5
São Borja	1914-59	1.602	398	1.602 ± 119	24,8	3,2
Alegrete	1932-46	1.685	352	1.685 ± 194	20,9	2,5
São Gabriel	1913-59	1.502	372	1.502 ± 110	24,8	2,9
Santa Maria	1913-59	1.691	414	1.691 ± 122	24,5	4,6
Dom Pedrito	1913-59	1.359	294	1.359 ± 87	21,6	3,9
Livramento	1913-59	1.377	299	1.377 ± 88	21,7	3,0
Bagé	1913-59	1.321	326	1.321 ± 96	24,7	4,8
Iraí	1936-59	1.748	346	1.748 ± 145	19,8	2,2

Cont. Quadro 5.

Localidades	Período de observação	\bar{X}	S	Límites de confiança a 95% de probabilidade	C.V.(%)	Q
São Luiz Gonzaga	1913-59	1.740	421	1.740 ± 124	24,2	3,1
Santo Ângelo	1916-59	1.748	383	1.748 ± 114	21,9	3,4
Piratini	1917-59	1.369	279	1.369 ± 86	20,4	3,3
Marcelino Ramos	1917-59	1.369	332	1.369 ± 102	20,3	2,4
Encruzilhada do Sul	1915-43	1.550	420	1.550 ± 159	27,1	2,8
Santiago	1915-57	1.552	482	1.552 ± 148	31,1	4,3
Caçapava do Sul	1916-59	1.556	320	1.566 ± 97	20,4	3,0
Guaporé	1913-59	1.749	332	1.749 ± 98	19,0	2,7
Cruz Alta	1913-59	1.787	424	1.787 ± 125	23,7	3,3
Júlio de Castilhos	1916-47	1.705	490	1.705 ± 177	28,8	3,6
Bento Gonçalves	1919-59	1.688	338	1.688 ± 107	20,0	2,2
Palmeira das Missões	1915-59	1.910	384	1.910 ± 116	20,1	2,1
Passo Fundo	1915-59	1.677	384	1.677 ± 116	22,9	3,6
Soledade	1916-59	1.959	392	1.959 ± 119	20,0	3,2
Caxias do Sul	1913-59	1.745	376	1.745 ± 111	21,5	3,1
Lagôa Vermelha	1915-59	1.731	323	1.731 ± 97	18,6	2,6
São Francisco de Paula	1913-59	2.329	401	2.329 ± 118	17,2	2,1
Vacaria	1915-59	1.560	361	1.560 ± 106	23,1	3,7

4.2.2. Mapa de precipitação anual

Para o traçado das isoietas anuais além das estações próprias do Estado foram tomadas algumas outras estações da zona limítrofe de países ou estado vizinhos. Assim é que foram tomadas 4 estações da República do Uruguai, 3 da República Argentina e 3 do Estado de Santa Catarina. Estes "pontos de apóio" serviram para melhor orientar a saída das isoietas nas fronteiras do Estado.

O mapa de precipitação anual (mapa 2) mostra que as zonas mais secas no Estado são o Litoral e a faixa da Campanha. Os centros mais chuvosos se localizam um na Serra do Nordeste e outro constituindo uma faixa limitada pelos municípios de Santa Rosa, Soledade e Palmeira das Missões.

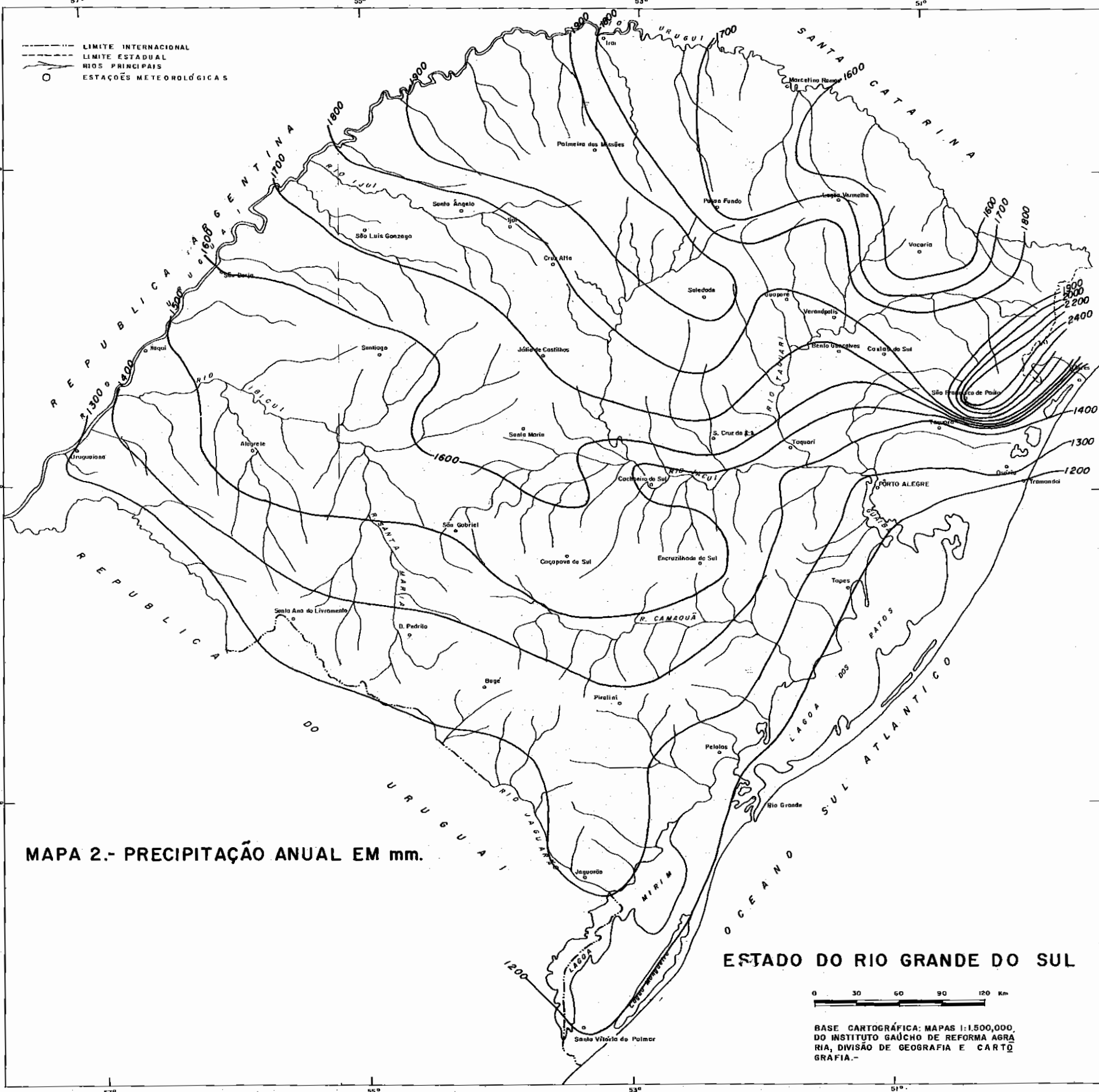
Não existe, a rigor, correlação definida entre precipitação anual e altitude, apesar de que as zonas mais chuvosas estão localizadas nas partes mais altas do Estado e as mais secas nas partes baixas. Entretanto se pode notar, através de um diagrama de dispersão, que a partir do nível altimétrico de 500 m começa haver uma certa associação entre altitude e precipitação anual, subindo em geral a precipitação com a elevação sobre o nível do mar. Isto pode estar indicando que o nível de 500 m seja a altura meteorologicamente efetiva para o Estado.

4.2.3. Variabilidade das precipitações anuais

4.2.3.1. Variabilidade relativa

O coeficiente de variação, que é o desvio padrão das precipi-

- - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - RIOS PRINCIPAIS
 ○ ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS



MAPA 2.- PRECIPITAÇÃO ANUAL EM mm.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000,
 DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁ
 RIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTO
 GRAFIA.-

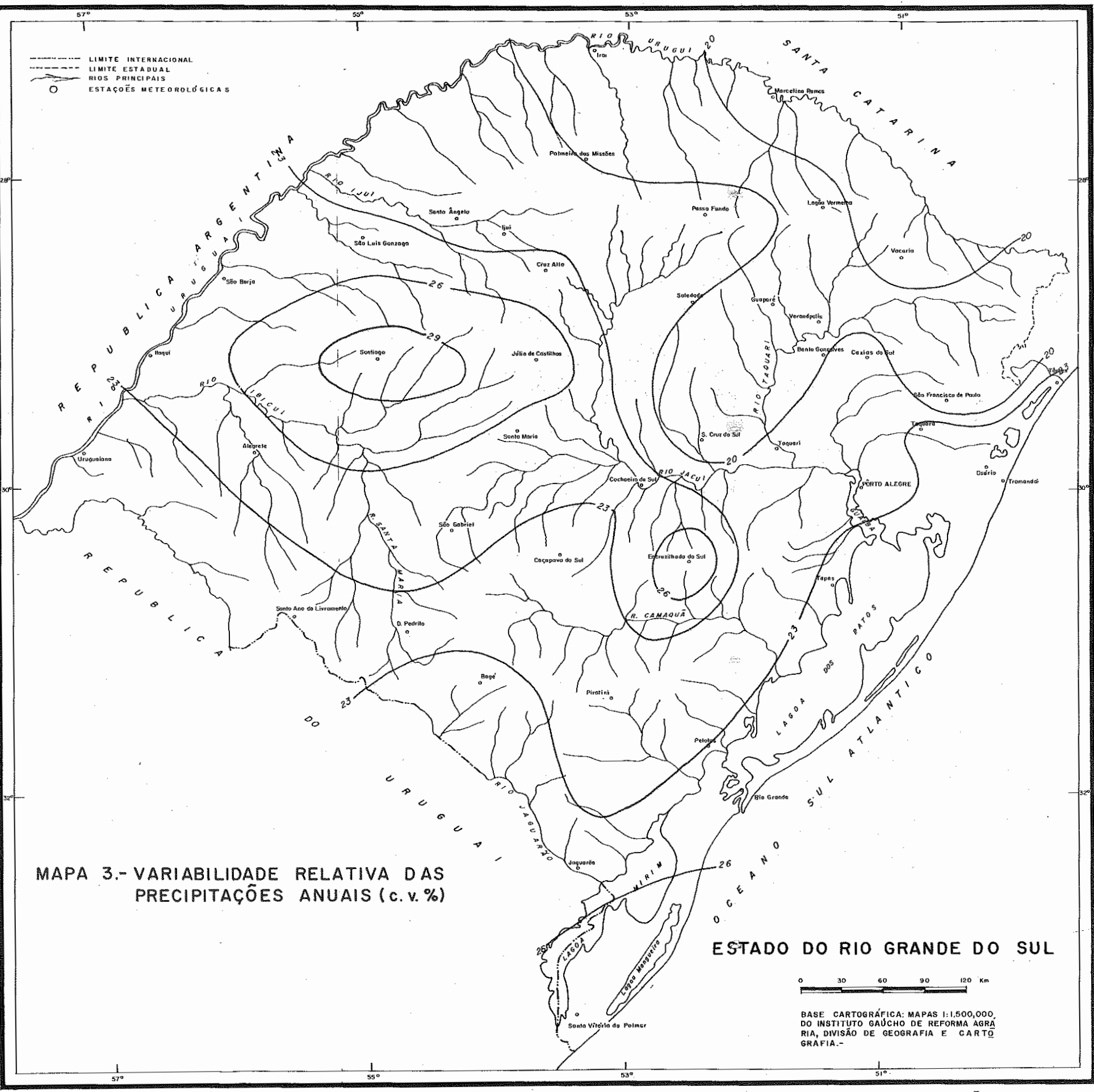
- - - - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - - - RIOS PRINCIPAIS
 O ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

MAPA 3.- VARIABILIDADE RELATIVA DAS PRECIPITAÇÕES ANUAIS (c. v. %)

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

0 30 60 90 120 Km

BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000, DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁRIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA.-



tações anuais expresso em percentagem da média aritmética, é uma boa medida de variabilidade, principalmente porque permite a comparação dos valores de dispersão da precipitação.

Estes valores calculados para o Estado do Rio Grande do Sul estão compreendidos entre os extremos de 17% e 32%, aproximadamente. Há uma certa tendência de variabilidade maior para localidades que têm menor precipitação, o que constitui uma dupla desvantagem do clima sob o ponto de vista agrícola.

O mapa de isolinhas de C. V. (mapa 3) com intervalos de 3% permite a avaliação, com bastante precisão, da distribuição espacial deste elemento.

4.2.3.2. Variabilidade máxima

Os resultados dos quocientes de oscilação máxima das precipitações anuais para o caso do Rio Grande do Sul corroboram a opinião de Marchetti (30) de que é este um método melhor que o cálculo das amplitudes normalmente utilizado, para a caracterização da variação máxima da precipitação.

Assim, por exemplo, se desejamos avaliar e comparar a variação extrema da precipitação anual para as localidades de Caxias do Sul, Taquara e São Luiz Gonzaga, teremos, pelo método das amplitudes, os seguintes resultados:

Caxias do Sul:	1.996 mm
Taquara :	1.288 mm
São Luiz Gonzaga:	2.041 mm

Estas quantidades absolutas não permitem comparações.

Aplicando o método da oscilação máxima, ou seja calculando os índices resultantes da divisão do maior valor pelo menor valor da série considerada para as mesmas localidades obteremos:

Caxias do sul	:	3,1
Taquara	:	3,1
São Luiz Gonzaga	:	3,1

Isto quer dizer que para as três localidades o ano mais chuvoso teve uma quantidade de chuva igual a 3,1 vezes o ano mais seco, independentemente dos valores absolutos ocorridos ou médias das respectivas localidades. Em resumo, a variação extrema da precipitação anual é igual nos três municípios.

O mapa 4 apresenta a distribuição espacial deste quociente, onde foram traçadas as isolinhas de 3 e 4 que delimitam os intervalos 2-3, 3-4 e 4-5 deste elemento.

Neste mapa, como no de variabilidade relativa, se observa que a zona de mais alta variabilidade das precipitações é a região que abrange o triângulo constituído pelos municípios de Santa Maria, Júlio de Castilhos e Santiago. Esta é a zona em que se deve esperar a menor estabilidade das precipitações anuais de todo o Estado.

4.2.4. Padrão de distribuição da precipitação anual. Probabilidades

Foi realizado um teste de normalidade com as precipitações anuais de 39 estações que possuem registro de um número razoavelmente grande de anos. Primeiramente foram agrupados os dados em clas-

- - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - RIOS PRINCIPAIS
 ○ ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

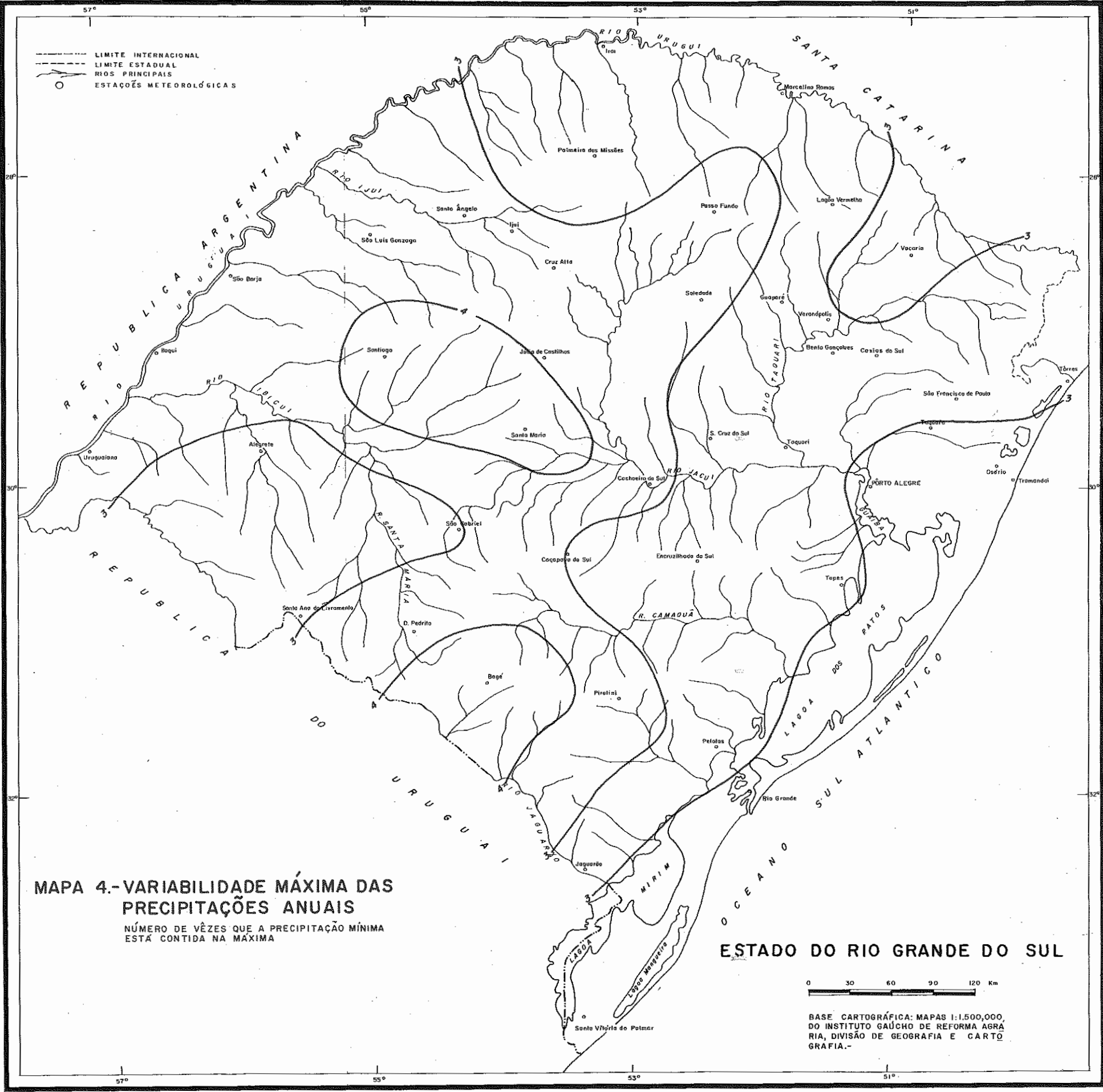
MAPA 4.-VARIABILIDADE MÁXIMA DAS PRECIPITAÇÕES ANUAIS

NÚMERO DE VÊZES QUE A PRECIPITAÇÃO MÍNIMA
ESTÁ CONTIDA NA MÁXIMA

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

0 30 60 90 120 Km

BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000,
DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁ
RIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTO
GRAFIA.-



ses de amplitudes igual à metade do desvio padrão. Aplicado o χ^2 este se mostrou não significativo ao nível de 95% de probabilidade para 25 das 39 estações consideradas, o que levou a concluir que estas estações se amoldam à distribuição normal. Das restantes estações, depois deste primeiro teste, eliminaram-se 4 (Pelotas, Tórreres, Alegrete e Iraí) por possuírem um período de observação bem menor que 30 anos o que julgamos ser a causa principal de não ajustamento à distribuição normal.

Como quase tôdas as séries possuem um ou dois valores extremos isolados, justamente os valores excepcionais das grandes cheias de 1914 e 1941 e como na maioria dos problemas aplicados interessa mais conhecer os valores menores da distribuição, ou seja os valores menores que a média, julgamos perfeitamente justificável eliminar um ou dois destes extremos, procedendo novo teste de normalidade. Com este novo procedimento 5 das 10 estações restantes se amoldaram à distribuição normal.

Para as 5 últimas estações que se mostravam algo significativamente diferente da normal foi feito um agrupamento dos dados em classes de amplitude igual a 0,625 S (0,625 do desvio padrão). O χ^2 demonstrou que as novas distribuições também não se afastam significativamente da distribuição normal.

Portanto, 35 das 39 estações examinadas possuem como padrão de distribuição das precipitações anuais a função normal ou gaussiana. É muito provável também que as estações restantes uma vez possuindo um número maior de anos de observação (> 30) se ajustam à distribuição normal.

4.2.4.1. Aplicações dos resultados

a) Classificações das precipitações anuais

Como o padrão de distribuição das precipitações não se afasta significativamente da distribuição normal, poderemos, para efeito de classificação de uma dada quantidade de chuva anual utilizar a escala climatológica de Conrad e Pollak (19).

No quadro 6 são apresentados os resultados das frequências observados (%) de anos em cada nível da classificação climatológica do desvio padrão das precipitações anuais. De acordo com estes resultados se verifica que os anos normais predominam de maneira manifesta sobre os outros grupos de anos em todo o Estado. Não há ocorrência de anos extremamente secos ao passo que ocorrem alguns anos extremamente chuvosos em diversas localidades. A frequência de anos muito secos é menor, em média, que a frequência de anos muito chuvosos. Entretanto, a frequência de anos secos é maior que a de anos chuvosos. Em média, para todo o Estado, a frequência de anos com condições climáticas extremas (extremamente secos, muito chuvosos e extremamente chuvosos) é bastante baixa, não alcançando 5%.

Do ponto de vista agrícola as frequências de anos normais e secos são as mais importantes. A Fig. 8 apresenta as frequências de anos normais, secos e chuvosos para as diversas localidades, relacionadas à média geral do Estado.

Quadro 6. Classificação das precipitações anuais do Estado do Rio Grande do Sul: Frequências (%) de anos extremamente secos, muito secos, secos, normais, chuvosos, muito chuvosos e extremamente chuvosos.

Localidades	Ext. secos	Muito secos	Secos	Normais	Chuvosos	Muito chuvosos	Ext. chuvosos
Rio Grande	-	-	19,1	63,8	14,9	-	2,1
Tapes	-	-	16,2	67,6	13,5	2,7	-
Santa Vitória do Palmar	-	-	8,7	80,4	6,5	2,2	2,2
Pôrto Alegre	-	2,1	10,6	72,3	12,8	2,1	-
Jaguarão	-	-	10,6	66,6	16,4	6,4	-
Taquara	-	2,8	13,9	66,7	16,7	-	-
Itaqui	-	2,2	11,1	73,3	13,3	-	-
Santa Cruz do Sul	-	-	15,4	69,2	11,5	3,8	-
Cachoeira do Sul	-	2,1	8,5	76,6	6,4	6,4	-
Uruguaiana	-	2,1	19,1	65,9	12,8	-	-
Taquari	-	-	14,9	68,1	14,9	2,1	-
São Borja	-	-	17,4	69,6	6,5	4,3	2,2
São Gabriel	-	-	23,4	61,7	12,8	2,1	-
Santa Maria	-	2,1	17,0	70,2	8,5	2,1	-
Dom Pedrito	-	2,1	12,8	74,5	6,4	2,1	2,1
Livramento	-	2,1	12,8	70,2	10,6	4,3	-
Bagé	-	2,2	10,6	74,4	10,6	2,1	-
São Luiz Gonzaga	-	2,1	17,0	70,2	6,4	4,3	-

Cont. Quadro 6.

Localidades	Ext. sêcos	Muito sêcos	Sêcos	Normais	Chuvosos	Muito chu- vosos	Ext. chu- vosos
Santo Ângelo	-	2,3	13,6	65,9	15,9	2,3	-
Piratini	-	4,7	9,3	76,7	4,7	4,7	-
Marcelino Ramos	-	-	18,6	65,1	11,6	4,7	-
Encruzilhada do Sul	-	-	17,2	69,0	10,3	3,4	-
Santiago	-	-	16,3	69,8	9,3	4,6	-
Caçapava do Sul	-	2,3	9,1	77,3	9,1	2,3	-
Guaporé	-	2,1	14,9	70,2	10,6	2,1	-
Cruz Alta	-	2,1	14,9	72,3	6,4	4,3	-
Júlio de Castilhos	-	-	12,5	69,0	15,6	3,1	-
Bento Gonçalves	-	-	17,1	68,3	9,8	4,9	-
Palmeira das Missões	-	-	13,3	73,3	8,9	2,2	2,2
Passo Fundo	-	2,2	11,1	71,1	13,3	-	2,2
Soledade	-	2,3	9,1	75,0	13,6	-	-
Caxias do Sul	-	2,1	17,0	68,1	8,5	2,1	2,1
Lagôa Vermelha	-	2,2	17,8	71,1	4,4	4,4	-
San Francisco de Paula	-	2,1	6,4	72,3	17,0	2,1	-
Vacaria	-	2,2	11,1	80,0	4,4	-	2,2
Média do Estado	-	1,4	14,0	71,0	10,4	2,7	0,5

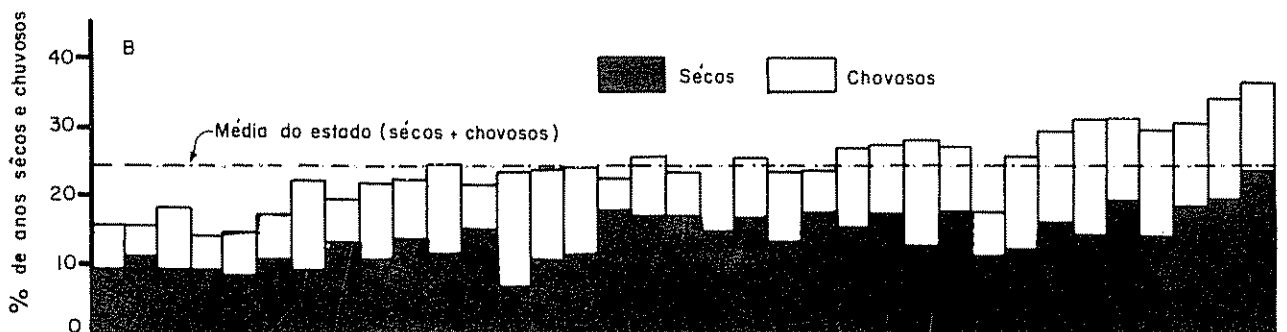
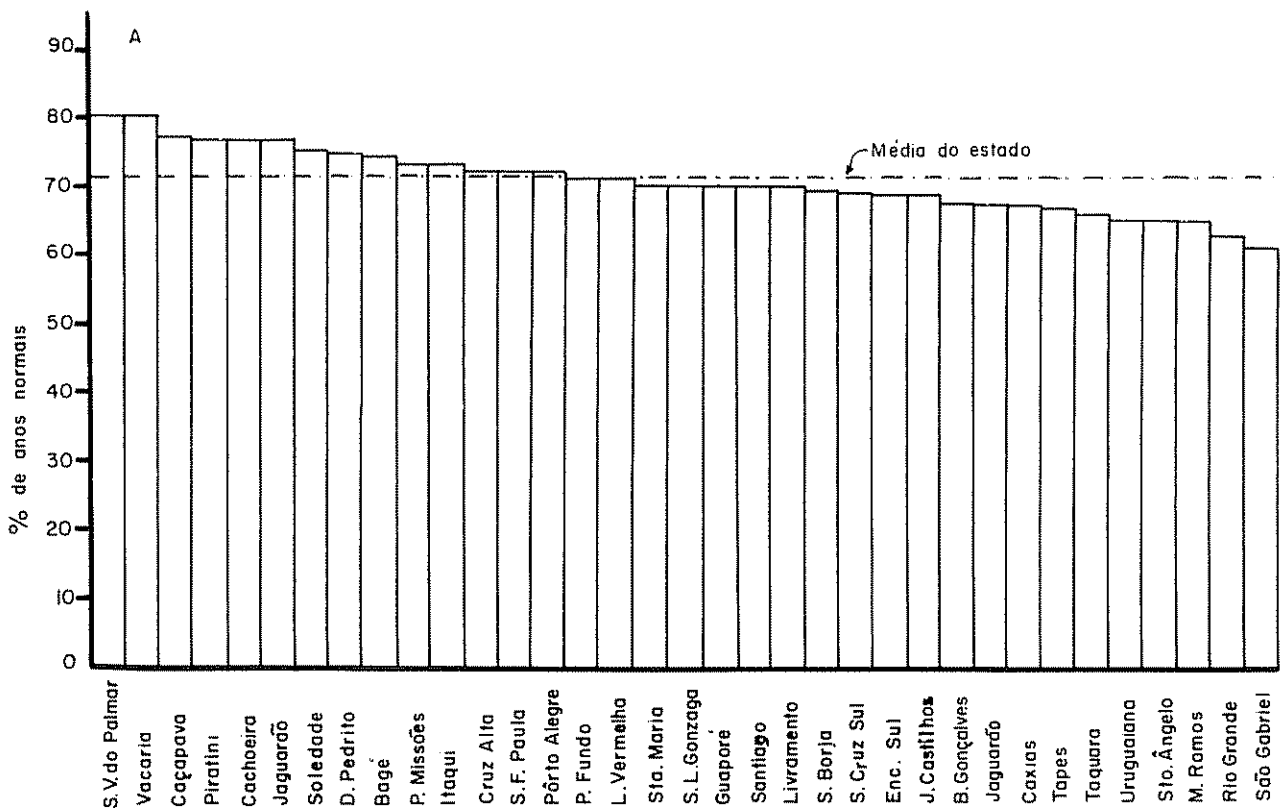


Fig. 1 A) Frequências (%) de anos normais para as diversas localidades e média geral do estado
 B) Frequências (%) de anos sécos e chuvosos para as mesmas localidades e média geral do estado (anos sécos + anos chuvosos)

b) Probabilidades de precipitações anuais

Através das tabelas da função normal foram determinadas as probabilidades de ocorrência das seguintes quantidades de precipitação anual:

P (p > 600 mm)	P (p > 1.500 mm)
P (p > 700 mm)	P (p > 1.600 mm)
P (p > 800 mm)	P (p > 1.700 mm)
P (p > 900 mm)	P (p > 1.800 mm)
P (p > 1.000 mm)	P (p > 2.000 mm)
P (p > 1.100 mm)	P (p > 2.200 mm)
P (p > 1.200 mm)	P (p > 2.400 mm)
P (p > 1.300 mm)	P (p > 2.600 mm)
P (p > 1.400 mm)	P (p > 2.800 mm)

Onde:

P = probabilidade (%)

p = precipitação (mm)

Como se verificou que para cada nível fixado de precipitação as probabilidades estavam associadas às médias, variando diretamente com estas, procedeu-se o ajuste das regressões respectivas, para efeito de construção de um gráfico de estimativa direta de probabilidades de ocorrência de determinadas quantidades de precipitação para toda a área do Estado em função da média anual de cada localidade.

O quadro 7 apresenta o resultado desta análise com as equações de regressão para cada quantidade de precipitação e seus respecti-

vos coeficientes de correlação.

Quadro 7. Equações de regressão e coeficientes de correlação que expressam a relação entre probabilidade de ocorrência de precipitação maior que determinadas alturas e média anual.

Probabilidade de Precipitação	Equações de Regressão	r
P (p > 600 mm)	$\hat{P} = 95,7527 + 0,0023X$	0,60
P (p > 700 mm)	$\hat{P} = 91,2456 + 0,0047X$	0,67
P (p > 800 mm)	$\hat{P} = 82,8401 + 0,0092X$	0,72
P (p > 900 mm)	$\hat{P} = 70,3797 + 0,0157X$	0,78
P (p > 1.000 mm)	$\hat{P} = 51,8971 + 0,0253X$	0,84
P (p > 1.100 mm)	$\hat{P} = 27,1058 + 0,0380X$	0,87
P (p > 1.200 mm)	$\hat{P} = -4,3041 + 0,0539X$	0,90
P (p > 1.300 mm)	$\hat{P} = -32,4304 + 0,0669X$	0,93
P (p > 1.400 mm)	$\hat{P} = -63,0335 + 0,0807X$	0,95
P (p > 1.500 mm)	$\hat{P} = -85,5662 + 0,0891X$	0,97
P (p > 1.600 mm)	$\hat{P} = -100,6521 + 0,0928X$	0,98
P (p > 1.700 mm)	$\hat{P} = -106,8354 + 0,0911X$	0,99
P (p > 1.800 mm)	$\hat{P} = -114,8640 + 0,0911X$	0,99
P (p > 2.000 mm)	$\hat{P} = 84,6388 + 0,0639X$	0,95
P (p > 2.200 mm)	$\hat{P} = -83,5609 + 0,0566X$	0,92
P (p > 2.400 mm)	$\hat{P} = -72,5523 + 0,0455X$	0,91
P (p > 2.600 mm)	$\hat{P} = -43,9046 + 0,0269X$	0,89
P (p > 2.800 mm)	$\hat{P} = -33,8395 + 0,0194X$	0,93

A Fig. 9 apresenta o gráfico que permite a estimativa, de maneira rápida, de probabilidades (%) de ocorrência de quantidades de precipitações maiores que as indicadas sobre as linhas como uma função das médias anuais de todo o estado.

Também foram confeccionados 3 mapas para representar a distribuição espacial das probabilidades de ocorrência de precipitação anual maior que 1.000, 1.300 e 1.600 mm.

4.2.5. Modelo de probabilidade de precipitação mensal

O modelo probabilístico ajustado para as precipitações mensais de todas as estações consideradas neste estudo corresponde à função de Probabilidade Gama.

Os resultados se apresentam nas duas formas da referida função: uma delas refere-se à função de densidade da distribuição gama, conhecida comumente como $f(X)$. Para esta forma da função estimaram-se os parâmetros típicos, γ e β , de função gama. Estes parâmetros são apresentados no Quadro 8. Como os resultados aparecem tal como foram calculados pelo computador o estimado do parâmetro γ_i está dado pelo símbolo de $G(I)$, donde $I = 1, \dots, 12$, cujas valores correspondem aos meses do ano a mesma consideração deve ser feita com respeito ao parâmetro β_i cujo estimado dá-se como $B(I)$ onde $I = 1, \dots, 12$.

Com esta informação tem-se as doze equações básicas correspondentes a cada estação e que totalizam 408 equações que podem ser usadas diretamente para determinar a expectativa teórica de ocorrência de precipitação mensal. Estes valores referem-se à densidade

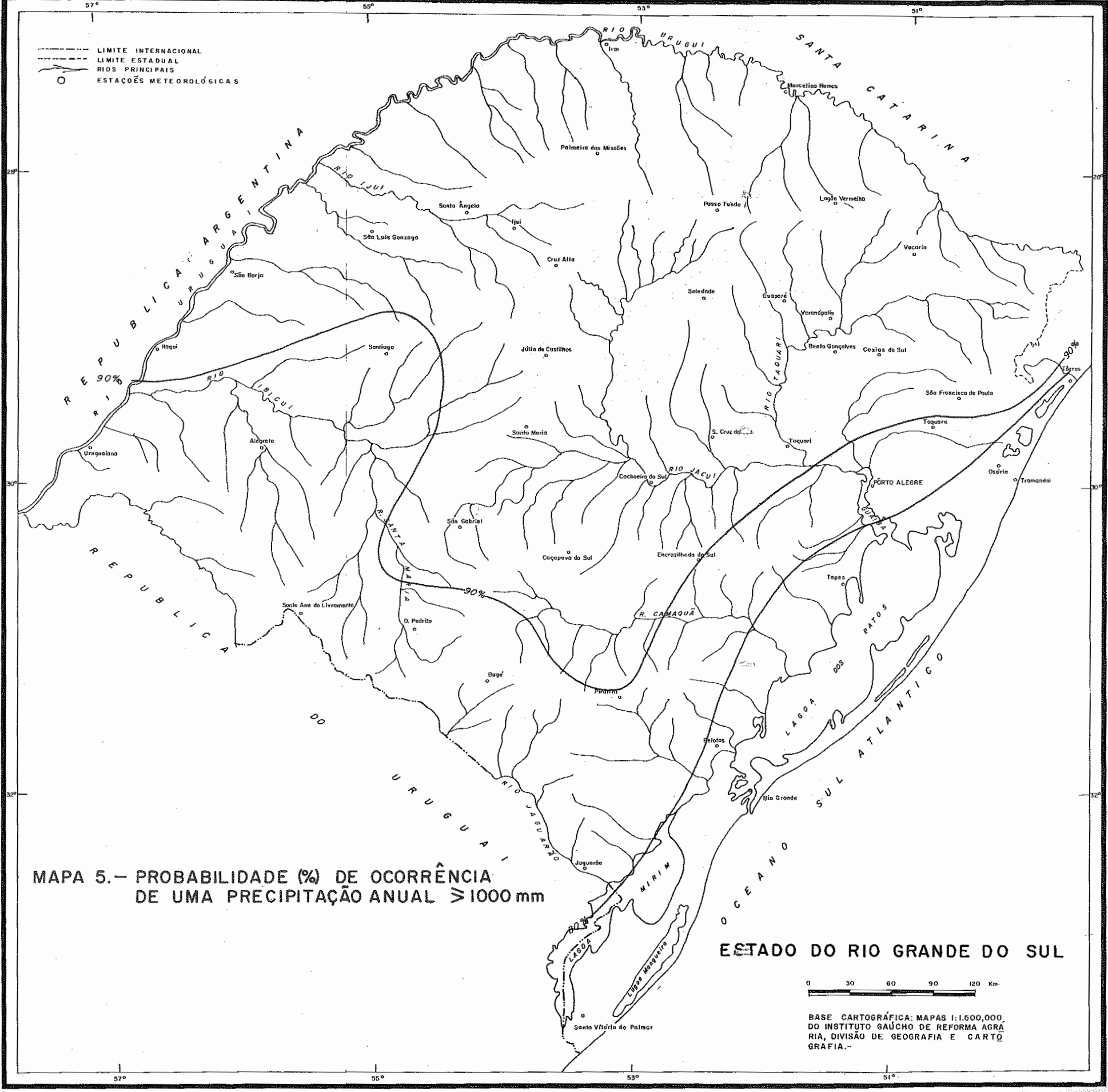
- - - - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - - - RIOS PRINCIPAIS
 ○ ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

MAPA 5.- PROBABILIDADE (%) DE OCORRÊNCIA
 DE UMA PRECIPITAÇÃO ANUAL ≥ 1000 mm

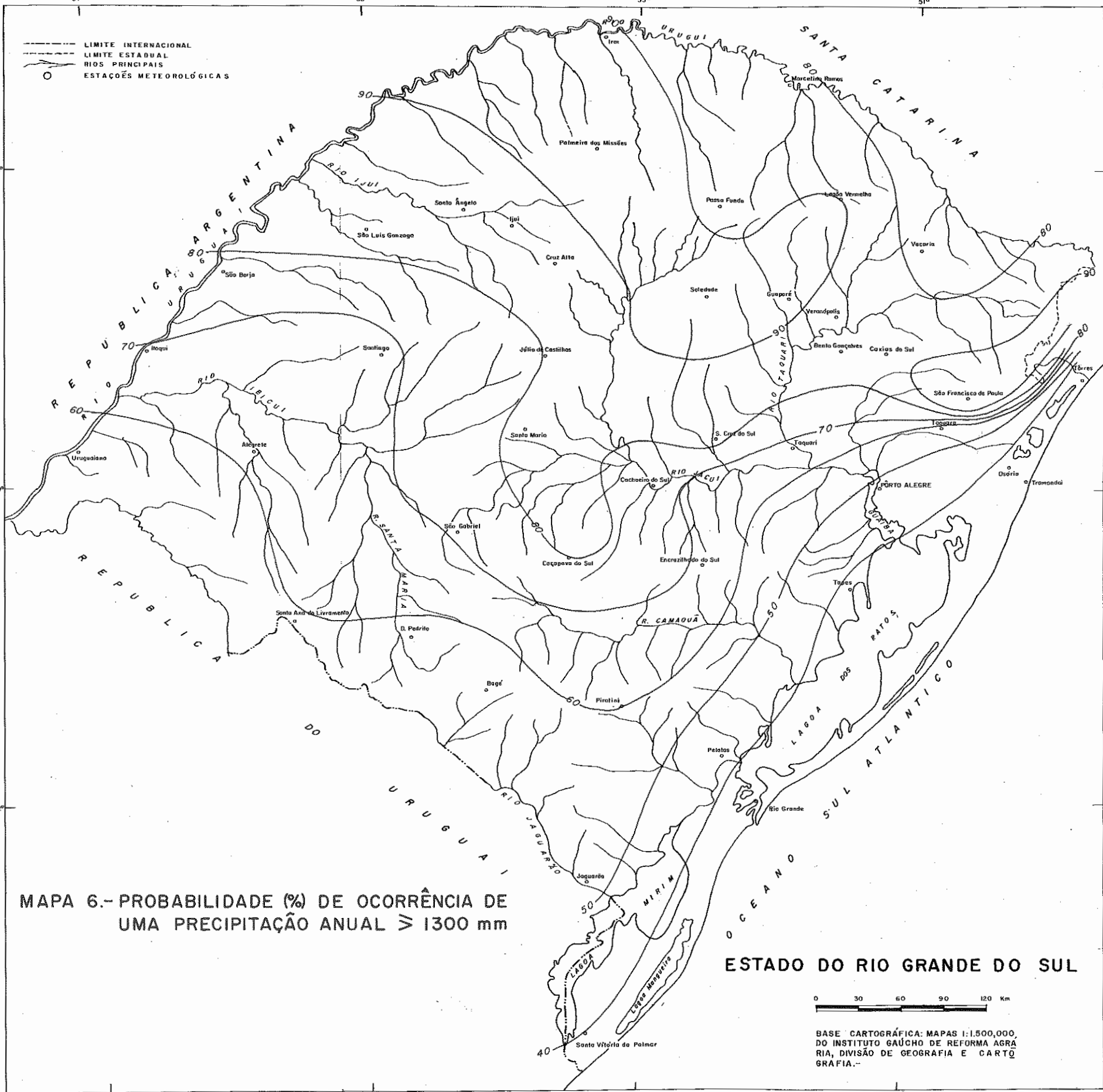
ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

0 30 60 90 120 Km.

BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000,
 DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁ
 RIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTO
 GRAFIA.-



- - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - RIOS PRINCIPAIS
 ○ ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS



MAPA 6.- PROBABILIDADE (%) DE OCORRÊNCIA DE
 UMA PRECIPITAÇÃO ANUAL \geq 1300 mm

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000,
 DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁ
 RIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTO
 GRAFIA.-

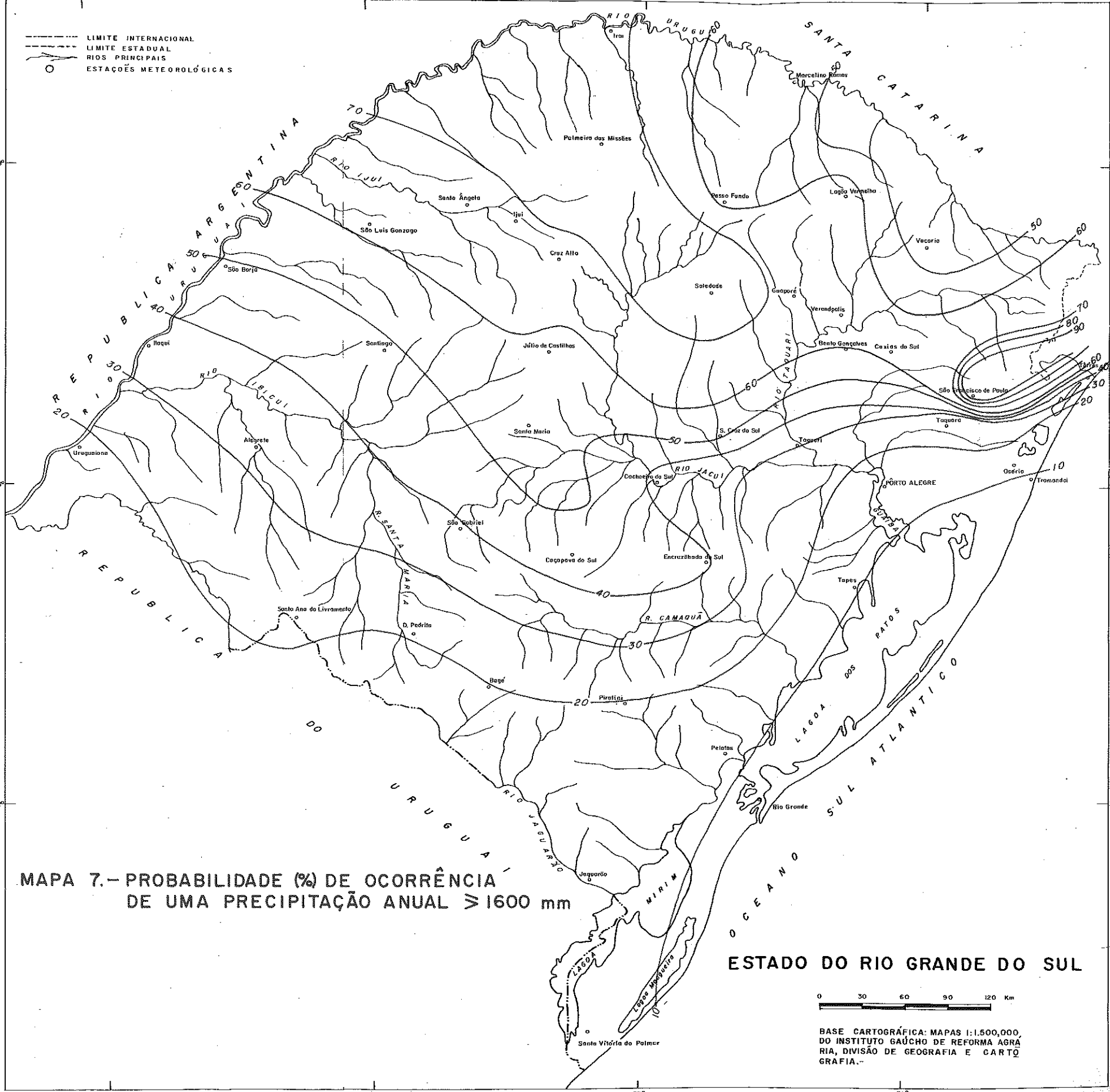
- - - - LIMITE INTERNACIONAL
 - - - - LIMITE ESTADUAL
 - - - - RIOS PRINCIPAIS
 ○ ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

MAPA 7.- PROBABILIDADE (%) DE OCORRÊNCIA
 DE UMA PRECIPITAÇÃO ANUAL ≥ 1600 mm

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

0 30 60 90 120 Km

BASE CARTOGRÁFICA: MAPAS 1:1.500.000,
 DO INSTITUTO GAÚCHO DE REFORMA AGRÁ-
 RIA, DIVISÃO DE GEOGRAFIA E CARTO-
 GRAFIA.-



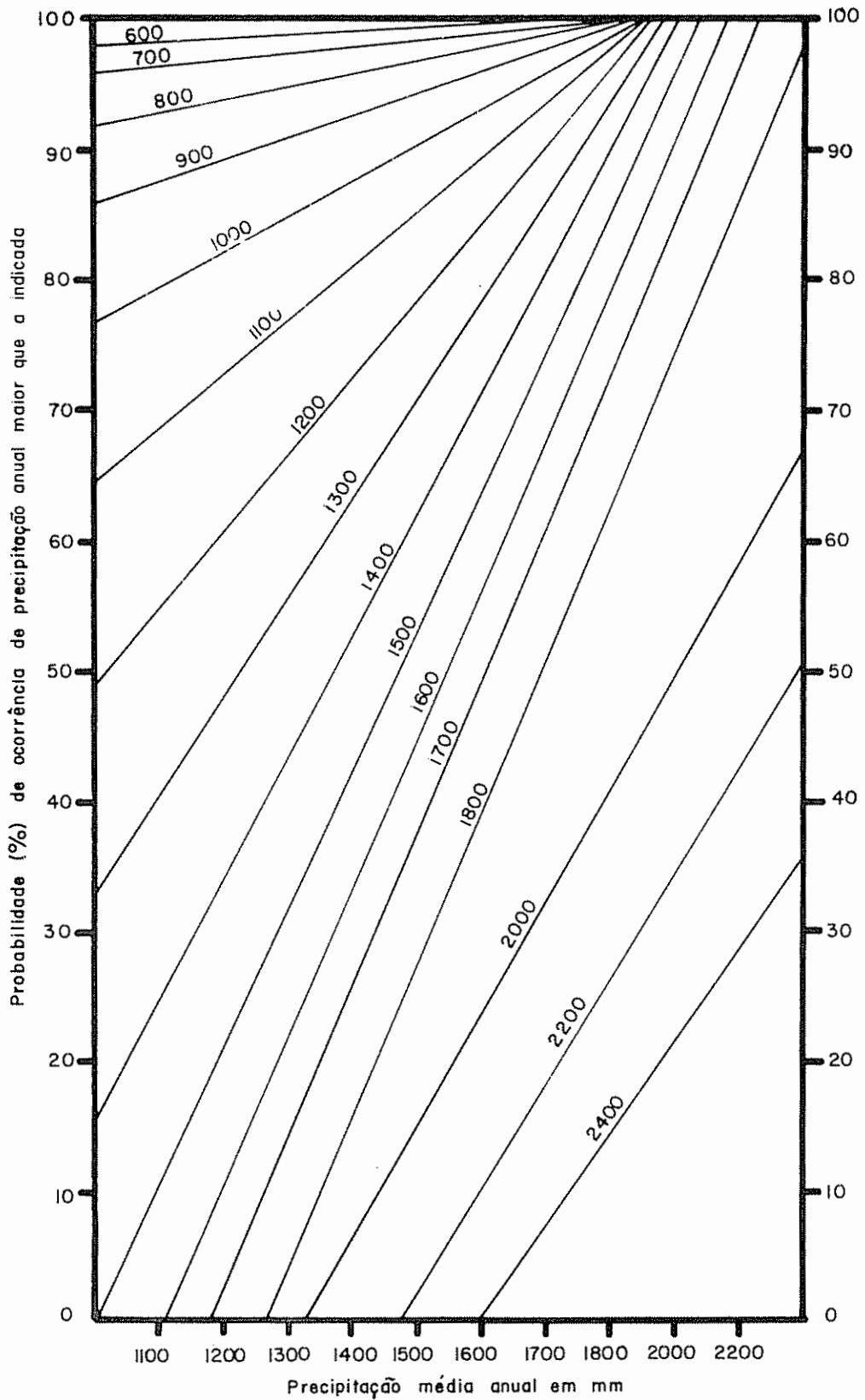


Fig. 9 Probabilidades de ocorrência no Rio Grande do Sul de precipitações maiores que determinados valores como função da média anual

QUADRO 8 PARÂMETROS DA FUNÇÃO DE PROBABILIDADE GAMA G(I) E B(I) PARA PRECIPITAÇÃO MENSAL

ESTAÇÃO RIO GRANDE												
G(I)=	1.3756	1.7404	1.4576	1.1421	1.5623	1.3957	1.3248	1.5310	2.1279	1.4484	1.4266	1.5 98
B(I)=	65.3159	62.6042	67.6674	84.2561	63.4276	69.4917	69.9672	73.3053	56.6326	70.6028	46.9467	41.1 65
ESTAÇÃO SAU GABRIEL												
G(I)=	1.3095	1.5695	1.6507	1.0874	1.1983	1.6053	1.3067	1.3500	2.6622	1.1682	1.2500	1.2 84
B(I)=	95.3645	39.4921	71.1723	117.7866	124.7892	96.6081	94.4883	90.0342	53.3785	114.3252	344.2553	13.0 42
ESTAÇÃO SAU FRANCISCO DE PAULA												
G(I)=	3.1563	2.7980	3.3514	3.0017	1.7572	2.3558	1.9401	2.2500	2.2500	2.8092	2.4103	2.0 60
B(I)=	65.3374	67.9385	54.3628	63.3169	107.3583	89.5111	91.8974	736.4255	676.8064	72.0958	71.3929	703.0 38
ESTAÇÃO JÚLIO DE CASTILHOS												
G(I)=	2.0414	2.2500	1.6802	1.2814	1.4716	1.6669	1.5351	2.1627	1.9253	2.2500	1.6165	1.0 54
B(I)=	65.3790	402.0000	65.8400	100.3464	109.2123	101.4557	85.7116	68.4348	94.6579	635.1250	125.3920	125.2 28
ESTAÇÃO CAÇAPAVA DO SUL												
G(I)=	1.4571	1.2184	2.2500	2.2500	1.4401	2.2500	2.2500	2.2500	1.8666	2.2500	2.2500	1.3 35
B(I)=	90.4349	86.4504	470.1818	506.3636	98.1608	627.0000	536.1818	540.4545	63.2334	580.3434	305.3636	73.2 61
ESTAÇÃO SANTIAGO												
G(I)=	2.2500	2.2500	1.5744	1.3416	1.2982	1.3765	1.2839	1.2676	1.8606	1.6028	1.1909	1.2 72
B(I)=	523.6139	425.3953	75.1618	104.9363	126.4277	100.0297	98.1500	86.0223	61.0166	89.6460	67.4264	96.3 19
ESTAÇÃO ECHUZILHADA DO SUL												
G(I)=	1.3387	1.4831	1.3551	1.2604	1.3641	1.6703	1.6902	2.1607	1.9573	1.1311	1.1701	1.6 35
B(I)=	1.3432	1.2316	1.7339	1.1234	1.3541	1.0664	2.2500	1.1147	1.7123	1.4465	1.6233	1.0 11
ESTAÇÃO ITAUBI												
G(I)=	2.0766	77.0936	77.0936	155.0407	105.6447	123.3457	362.5777	60.5566	66.0143	100.7021	69.5803	127.7 74
ESTAÇÃO SAU LORJA												
G(I)=	1.9127	1.3200	2.2500	1.0191	1.6327	2.2500	1.2456	1.3642	2.6722	1.7650	1.1350	1.1 20
B(I)=	64.1336	60.6970	605.9150	152.3431	57.6547	560.9217	60.5023	67.7656	64.6011	81.2647	109.6411	115.7 65
ESTAÇÃO SANTO ANGELO												
G(I)=	1.6365	1.3397	1.6899	1.1411	1.3695	1.6774	1.6460	1.6232	1.9510	1.3677	1.3736	1.3 10
B(I)=	64.3205	84.0896	75.8220	136.6582	117.5268	94.5301	79.7536	74.9658	65.0870	115.3433	67.6873	103.2 14
ESTAÇÃO SANTA VITÓRIA DO PALMAR												
G(I)=	1.2957	1.3001	1.6599	1.2137	1.1901	1.2976	1.2840	1.4036	2.2500	1.4423	1.5455	1.3 74
B(I)=	70.3031	64.5220	75.3003	96.4185	87.6939	88.5541	69.3192	75.7426	431.6521	66.9053	66.0450	59.7 92
ESTAÇÃO SANTA RIBÉRIA												
G(I)=	1.4212	1.4165	2.4924	1.0135	1.4064	1.5718	1.6065	2.1249	3.1223	1.4777	1.1160	1.7 50
B(I)=	101.2559	70.0377	69.3069	105.1548	119.1345	99.3596	82.0265	59.7557	52.2225	107.6541	99.9203	71.0 26
ESTAÇÃO GUAPORÉ												
G(I)=	2.2740	2.6004	2.1927	1.4807	1.5451	2.0394	1.7859	2.5064	2.1265	1.8681	1.3984	2.2 70
B(I)=	70.3124	52.3972	63.8475	89.3188	86.6307	87.2052	79.4514	58.7675	63.8555	81.3390	60.9226	68.6 71
ESTAÇÃO CRUZ ALTA												
G(I)=	2.2100	2.2500	1.7513	1.0964	1.6111	2.2750	1.0016	1.9088	2.0206	1.6861	1.2867	1.6 8
B(I)=	69.3530	513.5318	79.0636	158.8241	102.4237	73.5761	71.4336	69.5737	90.4506	101.4495	93.6437	61.6 6
ESTAÇÃO SÃO CARLOS												
G(I)=	1.7877	1.3055	1.6491	1.2325	2.2248	2.5671	2.1737	1.6534	2.2500	1.5265	2.2500	1.6
B(I)=	51.5480	77.6869	76.0311	131.4703	75.2447	76.9373	64.6133	74.6297	769.9555	118.3347	432.4000	66.7
ESTAÇÃO JAGUARÃO												
G(I)=	1.5666	1.3936	1.9899	1.1525	1.2460	2.2500	2.2500	1.3891	1.3862	1.3007	2.2500	1.4
B(I)=	75.4194	69.1991	60.1531	93.3534	90.7317	494.2127	436.1276	84.6860	97.2261	85.3334	313.0212	48.9
ESTAÇÃO SÃO VICENTE DO SUL												
G(I)=	2.8094	2.3771	1.9866	1.0634	1.4028	2.2126	1.9591	1.9014	2.6803	1.7245	1.2641	1.5
B(I)=	59.6674	62.2122	59.6432	121.9528	95.9315	79.5419	70.1104	73.5710	64.8930	96.8369	86.6728	84.5

Cont. Quadro 8

G(1)=	2.1985	2.6209	1.6860	1.2204	1.3136	1.3290	1.6931	2.1964	2.0313	2.0460	1.4005	1.5	94
H(1)=	72.2013	46.9291	63.3710	34.7398	52.0624	64.2422	74.0016	63.3340	63.5333	67.0328	62.9120	73.4	60
<u>ESTAÇÃO LIVRAMENTO</u>													
G(1)=	1.3405	1.4815	1.9940	1.0554	1.1896	1.2562	1.1950	1.3546	1.7536	1.2666	1.1126	1.1	29
H(1)=	63.6393	61.2260	63.1332	121.4376	107.7586	100.3705	61.0362	73.3813	66.3430	102.6620	80.9433	63.2	73
<u>ESTAÇÃO TAGUARA</u>													
G(1)=	1.9335	2.2500	1.9895	1.6064	1.5586	1.8200	1.4341	2.7934	2.2611	2.0674	1.1694	1.1	10
H(1)=	63.9373	43.10000	53.7763	58.3660	71.6489	77.3317	79.7220	40.4016	59.1139	53.2365	71.4587	66.5	43
<u>ESTAÇÃO TAPES</u>													
G(1)=	1.0050	1.2263	1.4823	1.1579	1.2667	1.7043	1.6340	2.1711	2.4335	1.4060	1.1715	1.3	40
H(1)=	93.9667	70.1205	53.2120	82.5337	86.7716	68.5590	70.8532	55.1217	51.7466	77.5340	59.4451	60.9	21
<u>ESTAÇÃO DE PEREIRO</u>													
G(1)=	1.2567	1.4639	1.6770	1.1345	1.2565	1.4669	1.3502	1.5834	2.1455	1.2090	1.2500	1.2	0
H(1)=	94.7755	70.0622	59.6130	103.1469	102.3320	86.6360	78.2626	70.3735	62.7771	101.3129	326.0031	342.0	10
<u>ESTAÇÃO PASSO FERRUG</u>													
G(1)=	2.1742	1.7794	2.0584	1.1024	1.6201	2.0529	1.5916	1.7420	1.6461	1.5320	1.4229	2.1	23
H(1)=	73.3740	63.7390	58.3230	107.3998	95.0535	76.4760	84.6964	72.2133	109.8752	100.2042	78.3014	60.3	20
<u>ESTAÇÃO BENTO CONGALVES</u>													
G(1)=	2.2711	2.1430	2.3614	1.5186	1.5713	2.1777	1.3100	2.3274	2.3361	2.3186	1.3700	1.3	71
H(1)=	79.4359	81.7060	81.5072	90.7293	88.4310	98.3208	77.3354	97.4034	73.4352	61.1603	73.0373	60.3	0
<u>ESTAÇÃO BICAVINI</u>													
G(1)=	1.5777	1.4111	1.6675	1.2500	1.3216	1.3254	1.4171	1.5613	1.2500	1.2067	1.2720	1.4	64
H(1)=	61.3104	53.6791	54.0317	431.3548	95.3632	66.3603	79.7722	77.1145	522.7906	99.1409	67.4210	61.2	30
<u>ESTAÇÃO URUGUAIANA</u>													
G(1)=	1.2900	1.2900	1.7732	1.2262	1.2330	1.2500	1.2900	1.4002	1.7239	1.3336	1.2126	1.1	61
H(1)=	47.3783	392.3404	76.3966	132.3822	98.5772	411.3191	283.1409	47.6672	64.2676	30.2740	43.4170	34.0	10
<u>ESTAÇÃO CAMIAS DO SOL</u>													
G(1)=	2.0394	2.7226	2.4478	1.5316	1.5759	2.2672	1.9106	2.4354	2.0197	2.7440	1.0374	1.9	68
H(1)=	73.9592	60.4135	50.3161	89.2616	86.7517	76.5292	76.1974	62.1409	61.9239	51.4333	70.4406	63.9	64
<u>ESTAÇÃO BAGE</u>													
G(1)=	1.1495	1.0319	1.0417	1.0304	1.2176	1.2500	1.2500	1.3943	1.6633	1.3197	1.2122	1.4	30
H(1)=	63.4620	62.3377	53.0330	100.3479	102.2340	330.0423	423.3191	76.7376	70.2743	71.2242	63.6677	60.3	17
<u>ESTAÇÃO TAGUARI</u>													
G(1)=	1.3303	1.2500	1.6330	1.3034	1.4706	2.2392	1.3610	2.0450	2.3042	1.2500	1.1386	1.4	34
H(1)=	61.3376	424.3231	60.3092	64.7376	63.3117	67.7274	58.2402	64.6033	61.5301	472.0000	59.7323	72.4	31
<u>ESTAÇÃO PUNTO ALLEGRO</u>													
G(1)=	1.4333	2.2633	1.7613	1.2339	1.6637	2.3033	1.6330	2.0622	2.6016	1.7337	1.3090	1.5	3
H(1)=	74.4717	42.2333	54.4233	62.0010	63.3422	67.2660	71.3374	37.2802	49.0247	62.0391	59.0021	62.3	04
<u>ESTAÇÃO CACHOEIRA DO SOL</u>													
G(1)=	1.6160	1.6734	1.7333	1.3005	1.5205	1.6721	1.3333	2.0642	2.3036	1.2301	1.0936	1.3	40
H(1)=	72.1146	66.3975	59.3080	93.3629	92.5340	84.7819	86.8212	63.5481	67.4964	97.2933	79.3271	74.7	42
<u>ESTAÇÃO SÃO LUIZ BONAZA</u>													
G(1)=	1.7086	1.9916	1.7674	1.1029	1.5563	1.3166	1.2903	1.3620	1.7442	1.6488	1.2132	1.6	10
H(1)=	79.7212	66.0924	89.9166	155.5018	108.6546	123.6073	91.2843	80.9498	67.9031	108.3330	101.6373	63.4	91
<u>ESTAÇÃO SOLEDADE</u>													
G(1)=	2.9968	1.5392	2.5260	1.0813	1.5917	2.1854	1.9177	2.3075	1.2500	1.6119	1.4066	2.1	26
H(1)=	59.7399	93.9241	53.2444	137.6171	104.4753	92.8458	86.9168	73.9871	792.0000	103.8623	68.0323	70.2	44
<u>ESTAÇÃO MARCELINO RAMOS</u>													
G(1)=	1.6268	1.7873	1.8033	1.9969	1.3881	1.2500	1.4132	1.6839	2.2707	1.9911	1.2224	1.3	83
H(1)=	94.4626	71.2686	64.0716	129.6391	99.3473	618.4186	81.1253	79.0213	75.4697	85.7049	87.5894	88.6	14

ou ordenada $f(X)$ da equação de probabilidade gama.

O estimado do parâmetro γ mostra uma relativa constância dentro de cada estação e também entre estações. Por outro lado O estimado do parâmetro β tem uma maior variabilidade tanto mensal como por estação.

A equação calculada para cada estação tem a seguinte forma:

$$f(X) = \frac{X_{IJ}^{G(I)-1} e^{-X_{IJ}/B(I)}}{(G(I)) B(I)^{G(I)}}$$

Onde:

$f(X_{IJ})$ = Função de densidade estimada para o mês I e a observação do ano J.

X_{IJ} = Precipitação observada para o mês I e a observação do ano J.

$B(I)$ = Estimado do parâmetro β para o mês I.

$G(I)$ = Estimado do parâmetro γ para o mês I.

Como uma ilustração numérica do uso da equação toma-se a equação estimada para Rio Grande e calcula-se a probabilidade de ocorrência da precipitação de 100 mm para o mês de setembro. A equação geral para este mês é a seguinte:

$$f(X) = \frac{X^{2-1} e^{-\frac{X}{57}}}{(2) 57^2}$$

Para efeito de cálculo considerou-se os valores de:

$$G(9) = 2,1279 \approx 2$$

$$\beta(9) = 56,6328 \approx 57$$

$$f(100) = \frac{100 e^{-\frac{100}{57}}}{(2-1)! 57^2}$$

$$\log n f(100) = \log n 100 + \frac{100}{57} \times \log n e - \log n 1 - 2 \log n 57$$

$$= 4,60517 + \frac{100}{57} - 0 - 2 \times 4,0435$$

$$= 4,60517 + 1,75 - 8,0870$$

$$\log g(100) = -1,7320$$

$$f(100) = 0,177$$

Este número indica que a probabilidade de ocorrência de uma precipitação de 100 mm para a estação de Rio Grande em setembro é de aproximadamente 0,18 ou 18%.

Frequentemente o investigador está interessado em conhecer a probabilidade de ocorrência da precipitação menor ou igual que um dado valor, isto é $F(x) = P(X \leq x)$. A função $F(x)$ é conhecida na literatura com o nome de função de distribuição e tem a característica de ser uma curva crescente cujo limite superior é 1. Também chama-se α a esta curva de curva de probabilidade acumulada.

Com a finalidade de oferecer um método direto para calcular $F(x)$ procedem-se a construção das tabelas 1-34 do Apêndice 2 que contém o parâmetro (U_{IJ}) de Pearson, onde $I = 1, \dots, 12$, que correspondem aos meses do ano e J é o ano da observação. O outro parâmetro que se necessita para calcular $F(x)$ é p_I , que é dado por:

$$p_I = G(I) - 1$$

Com os valores de U_{IJ} e p_I entra-se diretamente na tabela da função gama incompleta construída para este fim por Pearson, citado por Friedman e Janes (22).

Os valores de U_{IJ} e de p_I estão calculados em função dos dados da série estudada de precipitação. Para proceder-se à determinação da curva de probabilidade acumulada para cada mês e estação pode-se ordenar os valores mensais de menor a maior ordenando também os correspondentes valores de U e determinar $F(x)$ através das tabelas.

Como a frequência de ocorrência de valores zero é muito baixa, o resultado $\frac{Y}{N}$, ou seja o número de ocorrência de valores zero sobre o total de anos de observação, dá um valor muito próximo de zero, não sendo necessário, para efeitos práticos levar em consideração a parte da equação referente aos casos de não ocorrência de precipitação.

4.2.6. Precipitação relativa (P %)

O transcurso da precipitação relativa, ou seja as percentagens mensais em relação à média anual, demonstra claramente o regime de chuva para cada localidade. Os transcursores de P% foram representados em climadiagramas e através deles pode-se obter uma visualização rápida do início e final de períodos relativamente chuvosos (acima de 8,3%) e relativamente secos (abaixo de 8,3%), bem como a duração destes períodos.

Além do que, conhecida a distribuição relativa e a soma anual pode-se restabelecer facilmente o valor absoluto de cada mês através da fórmula:

tica de Trojer (52) êstes períodos devem ser considerados como sêcos variáveis. A ecologia dá a denominação de sub-úmido para períodos com êstes valôres.

O coeficiente 1,33 representa o equilíbrio entre a energia disponível na superfície e a gasta no processo de evaporação. Êste ponto ocorre quando a precipitação transformada em calor (calor latente de evaporação) sobrepassa em mais ou menos 30% ao balanço de radiação.

Os coeficientes de 1,33 a 2,00 resultam de um excesso de precipitação em relação ao balanço calórico que varia de 30 a 100%. Êstes períodos podem ser considerados chuvosos variáveis ou úmidos.

Os coeficientes de 2,00 a 3,00, 3,00 a 5,00 e maiores que 5,00 são resultantes de um grande excesso de precipitação em relação ao balanço calórico e são climaticamente considerados chuvosos, muito chuvosos e altamente chuvosos respectivamente. Ecoclimaticamente êstes coeficientes correspondem à condições perúmidas.

Considerando os valôres anuais de P/R_n para o Rio Grande do Sul verificamos que as localidades estudadas não se afastam demasiadamente do nível de equilíbrio, ficando tôdas dentro das características de chuvoso variável e sêco variável. As características ecoclimáticas correspondentes seriam de sub-úmido e úmido. Muda a situação, porém, se analisarmos o transcurso de P/R_n durante o ano. Conforme os resultados, 8 das 17 estações estudadas apresentam um período de 1 1/2 a 4 1/2 meses em que o coeficiente P/R_n descende de 0,66.

No inverno, devido ao baixo ângulo solar, menor comprimento

dos dias e relativamente maior nebulosidade, que ocasionam grande redução na radiação, a efetividade das precipitações aumenta consideravelmente. Isto determina condições de excesso de precipitação em relação a demanda de evaporação, mesmo naquelas localidades que têm seu período de menor precipitação no inverno, como é característica geral das localidades situadas na parte mais continental do Estado.

No quadro 9 são apresentados os coeficientes anuais para as localidades estudadas com as respectivas classificações climáticas e ecoclimáticas e no quadro 10 os coeficientes mensais para os mesmas localidades.

O transcurso anual de P/R_n foi representado em climadiagramas, permitindo evidenciar e dimensionar os períodos climáticos secos e chuvosos para cada localidade.

Os valores anuais de P/R_n de Veranópolis, Osório e Tramandaí foram calculados com a média de precipitação de um período demasiado pequeno de observação (10 anos ou menos) e portanto não representam índices climáticos definitivos.

4.3. Caracterização do clima local através dos climadiagramas

Os climadiagramas apresentados nesta seção seguem o modelo proposto por Trojer, modificado. Nêles são representados os transcurso anuais relativos dos diversos elementos do clima, como precipitação, temperaturas, umidade relativa do ar e déficit de saturação. O transcurso de P/R_n não está dado em função da média anual deste coeficiente mas sim em função do valor 1,33 que corresponde

Quadro 9. Valores anuais de P/Rn para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul e suas respectivas classificações climáticas e ecoclimáticas.

Localidades	P/Rn	Caracterização climática	Caracterização ecoclimática
São Borja	1,35	chuvoso variável	úmido
Bagé	1,12	sêco variável	sub-úmido
Rio Grande	0,87	sêco variável	sub-úmido
Osório	1,61	chuvoso variável	úmido
Encruzilhada do Sul	1,16	sêco variável	sub-úmido
Júlio de Castilhos	1,67	chuvoso variável	úmido
São Luiz Gonzaga	1,33	chuvoso variável	úmido
Santa Vitória do Palmar	1,05	sêco variável	sub-úmido
Santa Maria	1,71	chuvoso variável	úmido
Passo Fundo	1,52	chuvoso variável	úmido
Iraí	1,66	chuvoso variável	úmido
Caxias do Sul	1,53	chuvoso variável	úmido
Pôrto Alegre	1,07	sêco variável	sub-úmido
Uruguaiana	1,00	sêco variável	sub-úmido
Cruz Alta	1,49	chuvoso variável	úmido
Veranópolis	1,13	sêco variável	sub-úmido
Tramandaí	0,94	sêco variável	sub-úmido

Quadro 10. Valores mensais de P/Rn para diversas localidades do Estado do Rio Grande do Sul.

Localidades	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
São Borja	0,68	0,80	1,23	1,95	2,47	5,06	3,06	1,93	2,05	1,30	0,95	0,86
Bagé	0,52	0,65	0,84	1,74	2,02	6,38	4,29	2,46	2,38	1,13	0,55	0,49
Rio Grande	0,43	0,61	0,67	0,99	1,57	4,35	5,98	2,30	1,92	0,77	0,42	0,31
Osório	1,34	1,31	1,48	1,58	0,82	2,12	2,42	3,26	5,60	1,68	0,76	0,78
Encruzilhada do Sul	0,53	0,64	0,76	1,50	2,50	4,11	4,05	2,54	2,93	1,02	0,57	0,53
Júlio de Castilhos	0,89	0,78	1,02	2,03	3,37	8,53	6,51	4,63	4,20	1,57	0,94	0,93
São Luiz Gonzaga	0,76	0,76	1,14	2,01	2,63	6,83	2,89	2,11	2,19	1,32	0,75	0,72
Santa Vitória do Palmar	0,60	0,66	1,10	1,44	1,74	5,21	5,47	2,19	1,85	0,96	0,44	0,46
Santa Maria	1,00	1,02	1,11	2,21	5,89	11,80	8,20	4,51	3,01	1,44	0,80	0,81
Passo Fundo	0,95	0,88	1,04	1,96	3,17	6,58	4,43	2,65	3,54	1,37	0,74	0,86
Iraí	0,94	1,32	1,24	1,97	3,72	5,57	4,68	2,50	3,70	1,79	1,03	0,75
Caxias do Sul	0,99	0,98	1,14	1,66	2,18	4,78	3,49	3,03	3,35	1,35	0,85	0,78
Pôrto Alegre	0,64	0,61	0,74	1,30	1,84	5,66	3,03	2,37	2,42	0,92	0,56	0,47
Uruguaiana	0,61	0,62	1,02	1,90	1,93	4,40	1,72	1,10	1,47	1,07	0,58	0,57
Cruz Alta	0,88	0,81	1,02	1,90	2,84	7,56	4,37	2,32	3,21	1,44	0,85	0,84
Veranópolis	0,73	0,62	0,86	1,56	0,84	2,80	2,05	2,77	3,08	1,18	0,65	0,63
Tramandaí	0,37	0,56	1,02	0,69	0,64	2,56	2,88	3,12	3,06	1,16	0,60	0,52

o ponto de equilíbrio do balanço calórico.

A título de ilustração descrevemos abaixo alguns dos climadiagramas apresentados.

4.3.1. Climadiagrama de Uruguaiana

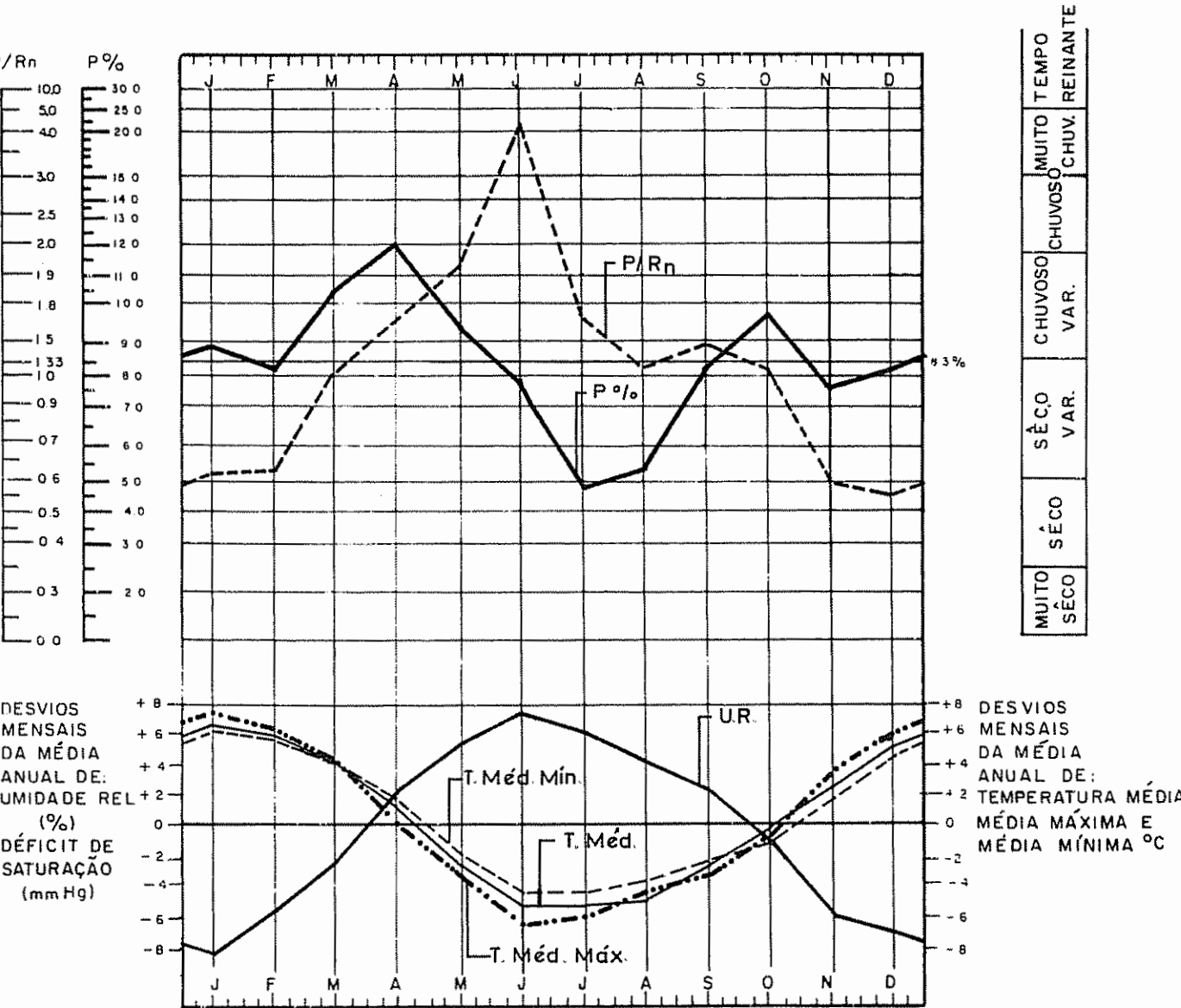
A precipitação anual média de Uruguaiana é de 1.345 mm, com um intervalo de confiança desta média a 95% de probabilidade que compreendido entre vai de 1.260 mm a 1.430 mm. A variabilidade relativa (C.V.) é de 2,3% e os anos mais chuvosos recebem 3,2 vezes mais precipitação que os anos mais secos. A frequência de anos normais é de 65,9% e de anos secos 19,1%.

O transcurso anual da precipitação relativa apresenta uma onda dupla com os períodos relativamente mais chuvosos do ano acima da linha que corresponde o nível de 8,3% e os períodos relativamente menos chuvosos abaixo de 8,3%. Pela análise deste transcurso se pode notar que o período mais chuvoso, começa na segunda quinzena de fevereiro e termina na primeira quinzena de junho. O período de menor precipitação ocorre no inverno, de junho a setembro. O mês de menor precipitação é julho com ao redor de 5% da soma anual e o de maior precipitação abril com 12% do total do ano.

O transcurso de P/Rn caracteriza a efetividade das precipitações. Ele evidencia uma época seca para Uruguaiana ($P/Rn < 1,33$) que vai da segunda quinzena de outubro à primeira quinzena de março, sendo que a maior intensidade deste período ($P/Rn < 0,66$) apresenta-se entre a segunda quinzena de novembro e a primeira quinzena de fevereiro. Este período seco é agravado pela ocorrência, nesta época

CLIMADIAGRAMA

ESTAÇÃO URUGUAIANA LAT 29° 45' S LONG 57° 05' ALTURA 69m.



PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm) <u>1345</u>	TEMPERATURA MÉDIA (°C) <u>19.6</u>
COEFICIENTE P/Rn <u>1.00</u>	TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA (°C) <u>25.7</u>
DURAÇÃO DE PERÍODOS CLIMÁTICOS:	TEMPERATURA MÉDIA MÍNIMA (°C) <u>14.2</u>
SECO PRINCIPAL (meses) <u>5.0 (3.0)</u>	UMIDADE RELATIVA (%) <u>75.0</u>
CHUVOSO PRINCIPAL (meses) <u>4.6 (1.4)</u>	DÉFICIT DE SATURAÇÃO <u>—</u>
VARIABILIDADE REL. DA PRECIP. ANUAL (%) <u>21.3</u>	PERÍODO LIVRE DE GEADA (dias) <u>—</u>

Segundo: TROJER, adaptado

do ano, dos valores mais baixos de umidade relativa e valores mais altos de temperatura, ocasionando grande déficit de umidade do ar.

O valor mais baixo do balanço de radiação, a menor temperatura e a maior umidade do ar fazem com que o mês de junho tenha o índice mais elevado de efetividade da precipitação ($> P/R_n$), apesar de não ser o que tenha o maior valor pluviométrico. Isto demonstra a dinâmica da interação dos elementos do clima e evidencia o valor do coeficiente P/R_n como um integrador destas condições.

O transcurso da temperatura mostra o período relativamente mais frio (desvios negativos) e mais quente (desvios positivos) do ano. Em Uruguaiana os valores positivos dos desvios, ou seja a entrada da época mais quente do ano para aquela localidade, começam a aparecer na segunda quinzena de outubro e vão até a primeira quinzena de abril, quando então se inicia a época relativamente fria, que vai até a primeira quinzena de outubro, fechando o ciclo anual.

Da mesma maneira para o transcurso da umidade relativa, os desvios positivos indicam o período de maior umidade do ar e os desvios negativos o período de ar mais seco.

Ao Pé do climadiagrama encontram-se ainda as durações dos períodos climáticos seco principal e chuvoso principal detectados pelo coeficiente P/R_n . Em relação a esta notação, o primeiro número indica a duração dos períodos principais em que o coeficiente P/R_n se mantém abaixo ou acima de 1,33 (déficit ou excesso de precipitação) e os números entre parêntesis indicam a duração dos períodos realmente secos ($P/R_n < 0,66$) e chuvosos ou úmidos ($P/R_n > 2,00$). Quando não aparecem números entre parêntesis a localidade em questão

não possui períodos climáticos secos ou chuvosos muito severos.

4.3.2. Climadiagrama de Bagé

A precipitação média anual é de 1.321 mm com um intervalo de confiança em torno da média, a 95% de probabilidade, que vai de 1.225 mm a 1.417 mm. O coeficiente de variação da precipitação anual é de 24,7% e os anos mais chuvosos recebem 4,8 vezes mais precipitação que os anos mais secos. A frequência de anos secos é de 10,6% e de anos normais 74,4%.

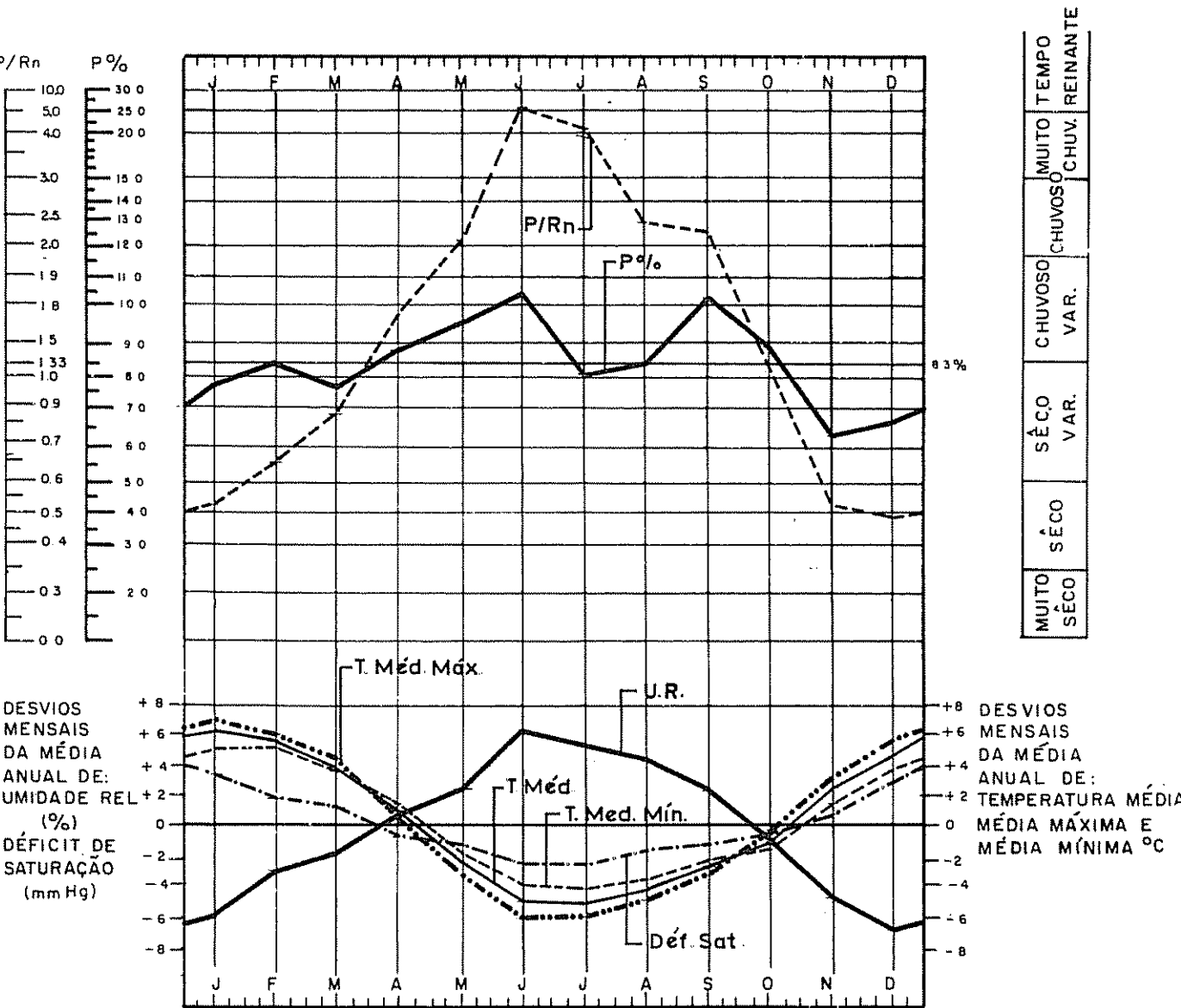
O transcurso da precipitação relativa através do ano apresenta um período de maior precipitação que vai da primeira quinzena de abril até a primeira quinzena de junho, sofrendo uma interrupção até a segunda quinzena de agosto quando começa o segundo período relativamente chuvoso que vai até a segunda quinzena de outubro aproximadamente. Nesta época inicia o período com precipitação abaixo de 8,3%, prolongando-se até a primeira quinzena de abril.

O transcurso da efetividade da precipitação apresenta um período com coeficiente menor que 1,33 (Ponto de equilíbrio) que vai da segunda quinzena de outubro até a primeira quinzena de abril. Três meses, aproximadamente, deste período, da primeira quinzena de novembro à primeira quinzena de fevereiro, apresentam coeficientes menores que 0,66, representando a época seca mais intensa para esta localidade.

Na primeira quinzena de abril inicia a época de mais alta efetividade pluvial com coeficientes P/Rn bastante acima do valor de equilíbrio, condição climática que perdura até a primeira quinzena

CLIMADIAGRAMA

ESTAÇÃO BAGÉ LAT 31° 20' S LONG 54° 06' ALTURA 216m.



MUITO TEMPO CHUVOSO
MUITO CHUVOSO
CHUVOSO
CHUVOSO VAR.
SÊCO VAR.
SÊCO
MUITO SÊCO

PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm) <u>1.321</u>	TEMPERATURA MÉDIA (°C) <u>17.7</u>
COEFICIENTE P/Rn <u>1.12</u>	TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA (°C) <u>23.6</u>
DURAÇÃO DE PERÍODOS CLIMÁTICOS:	TEMPERATURA MÉDIA MÍNIMA (°C) <u>12.5</u>
SÊCO PRINCIPAL (meses) <u>55 (30)</u>	UMIDADE RELATIVA (%) <u>78.0</u>
CHUVOSO PRINCIPAL (meses) <u>65 (40)</u>	DÉFICIT DE SATURAÇÃO <u>4.26</u>
VARIABILIDADE REL. DA PRECIP. ANUAL (%) <u>24.7</u>	PERÍODO LIVRE DE GEADA (dias) <u>—</u>

Segundo: TROJER, adaptado

de outubro.

A época seca, ou seja, o período do ano com valores mais baixos de P/R_n ou de menor efetividade pluvial coincide perfeitamente com o período de maiores temperaturas, menor umidade relativa do ar e conseqüentemente maior déficit de saturação. Novamente aqui o coeficiente P/R_n demonstra ser um índice que integra e representa os demais elementos do clima que exercem influência na determinação da efetividade das precipitações ocorridas.

4.3.3. Climadiagrama de Caxias do Sul

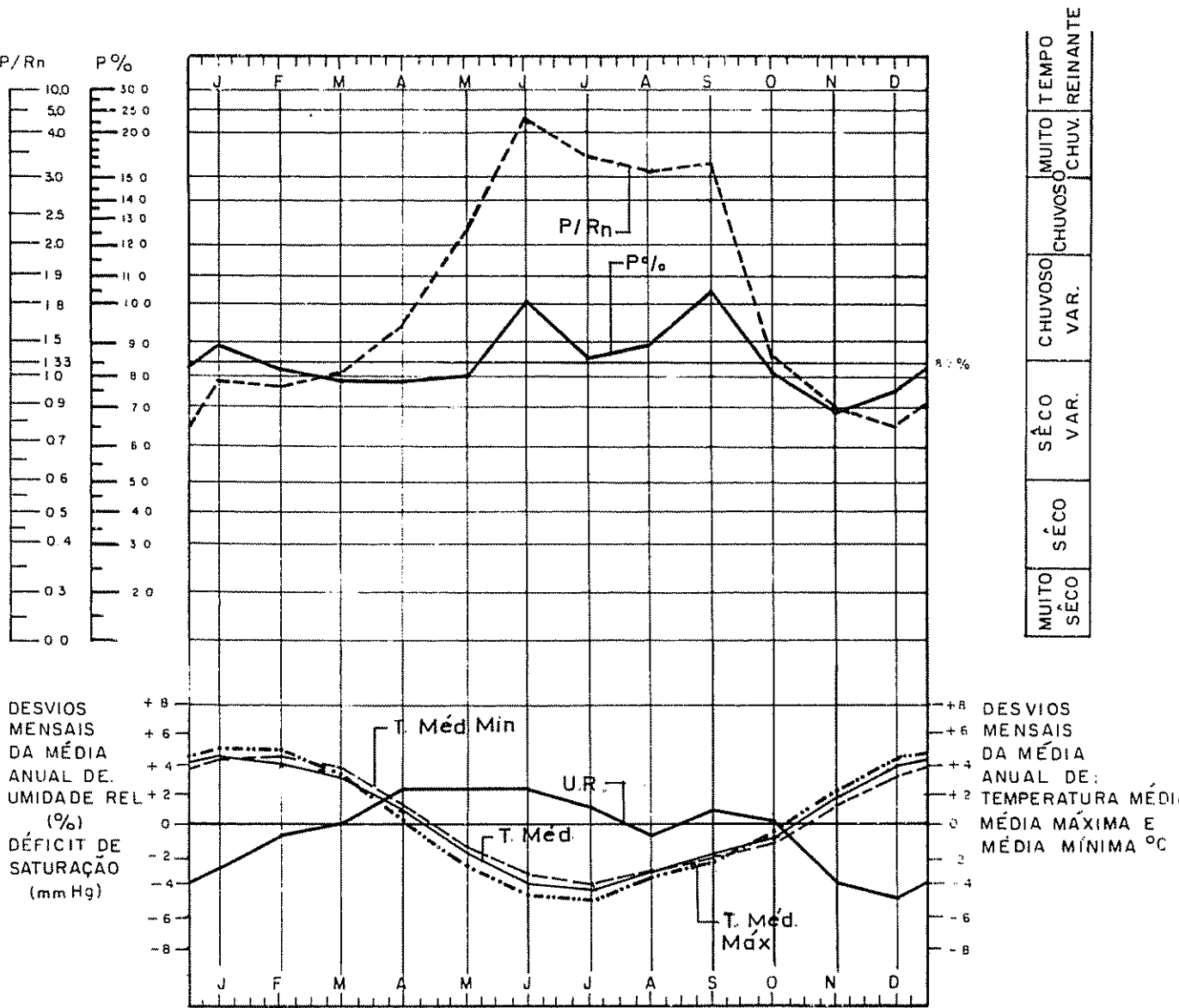
A precipitação anual média é de 1.745 mm com um intervalo de confiança a 95% de probabilidade que tem extremos 1.634 mm e 1.856 mm. A variabilidade relativa média anual é de 21,5%, apresentando uma frequência de anos considerados normais de 68,1% e de anos secos de 17,0%. Os anos mais chuvosos recebem 3,1 vezes mais precipitação que os anos mais secos.

A distribuição da precipitação através do ano é bastante uniforme. O transcurso de $P\%$ apresenta uma onda simples com os períodos relativamente mais chuvosos e menos chuvosos pouco pronunciados. O mês com maior quantidade de precipitação tem 10% do total anual e o de menor precipitação 7%, com uma variação de apenas 3%.

A quantidade de precipitação ocorrida é bastante alta para não permitir a existência de meses secos. O período chuvoso ($P/R_n > 2,00$) vai da primeira quinzena de maio até a segunda quinzena de setembro.

CLIMADIAGRAMA

ESTAÇÃO CAXIAS SUL LAT 29° 10' S LONG 51° 12' ALTURA 740m



PRECIPITAÇÃO ANUAL (mm) <u>1745</u>	TEMPERATURA MÉDIA (°C) <u>15.9</u>
COEFICIENTE P/Rn <u>1.53</u>	TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA (°C) <u>21.7</u>
DURAÇÃO DE PERÍODOS CLIMÁTICOS:	TEMPERATURA MÉDIA MÍNIMA (°C) <u>11.6</u>
SÊCO PRINCIPAL (meses) <u>4.8</u>	UMIDADE RELATIVA (%) <u>79.0</u>
CHUVOSO PRINCIPAL (meses) <u>7.2 (4.5)</u>	DÉFICIT DE SATURAÇÃO <u>—</u>
VARIABILIDADE REL DA PRECIP ANUAL (%) <u>21.5</u>	PERÍODO LIVRE DE GEADA (días) <u>—</u>

Segundo TROJER, adaptado

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1. Radiação e balanço de radiação

A análise da relação existente entre radiação dada por actinógrafo e insolação medida em heliógrafos demonstrou a possibilidade de se estimar a radiação global mensal média a partir da insolação. A pesar de que, evidentemente, outros aspectos relacionados com a turbidez atmosférica intervêm na determinação da radiação global que chega à superfície a uma dada latitude, a nebulosidade é o factor regional de maior peso.

Para efeito de estimativa da radiação global mensal para qualquer ponto do Estado em que se disponha de valores de insolação pode-se utilizar a equação geral média. As equações determinadas para cada localidade em particular que dispõem dos dois instrumentos (actinógrafo e heliógrafo) servem para fazer estimativas em base mensais quando por qualquer circunstância falhe um destes instrumentos.

Os valores de radiação estimados por este método podem ser utilizados enquanto não se disponha de valores médios medidos.

Em ausência de radiação medida, a equação geral média com suas constantes de proporcionalidade (a e b) determinadas para as condições climáticas da região é a que deve ser empregada nas fórmulas empíricas destinadas à estimativa da evaporação e evapotranspiração potencial com base no balanço de energia, como por exemplo, a de Penman e a de Makink.

Como o Estado possui uma rede de estações bastante expressiva

(mais de 25) equipadas com actinógrafos e heliógrafos, razoavelmente bem distribuídas pelas diversas regiões climáticas, que uma vez alcance um número suficiente de anos de observação poderá permitir um estudo mais particularizado da distribuição regional da radiação, a política a seguir na instalação de novas estações ou subestações seria a de equipá-las com heliógrafos somente a estimar a radiação global através da equação ajustada que expressa a relação entre estes dois elementos. Isto apresentaria a vantagem de que o heliógrafo é um instrumento muito mais barato, mais fácil de manejar, não necessitando, para exatidão da observação, nenhuma calibração como requerem imprescindivelmente os actinógrafos, fornecendo, além do que, as duas observações igualmente importantes para a agricultura (insolação e radiação global).

A radiação líquida ou balanço de radiação também pode ser estimada, com razoável exatidão, diretamente da radiação global, utilizando a equação de predição ajustada no presente estudo. A correlação encontrada ($r = 0,978$) entre radiação global e radiação líquida é da mesma ordem ou maior que a encontrada por outros autores em outras localidades. Assim é que Shaw, citado por Wang (56) obteve valores para Iowa de 0,98 e 0,97. Davies e Buttiner (20) encontraram uma correlação de 0,97 tanto para a relação entre radiação global e radiação líquida como para a relação entre radiação global efetiva e radiação líquida. Estes autores concluem que a inclusão do albedo não influe na predição da radiação líquida a partir da radiação global e afirmam que a radiação líquida (R_n) ou balanço de radiação é uma "função conservativa" da radiação global (R_s).

Como vemos, com o estabelecimento da equação de predição de Rs a partir da insolação conseguiu-se aumentar para 17 os pontos no Estado com informação de radiação global, possibilitando uma razoável idéia da distribuição regional deste elemento.

Também, a partir da radiação global foi possível estimar a radiação líquida dada a estreita relação existente entre ambos elementos. Portanto, com o registro de um heliógrafo somente se pode chegar a uma estimativa do balanço de radiação. Este é apenas um exemplo das muitas relações físicas existentes entre os fenômenos meteorológicos e que podem ser estabelecidas por métodos estatísticos simples, possibilitando estimativas de importantes elementos climáticos para a agricultura que de outra forma não se poderia dispôr, dada a ausência de instrumental muitas vezes sofisticado para sua medição direta.

5.2. Regime pluviométrico e efetividade das precipitações

A análise estatística demonstrou que o padrão de distribuição das precipitações anuais no Estado segue a curva normal ou gaussiana. Este conhecimento permite a predição de chuva a longo prazo. A média aritmética neste caso também proporciona uma boa descrição da população.

O gráfico de probabilidades construído serve para determinar a expectativa de ocorrência de determinadas alturas pluviométricas anuais para o espaço geográfico que compreende o Estado do Rio Grande do Sul. Este gráfico demonstra também que, em geral, a probabilidade de ocorrência de uma precipitação igual ou maior que a média

oscila entre 50 e 65%.

A utilização das probabilidades de ocorrência de determinadas alturas pluviométricas anuais é mais interessante que o uso da simples média no planejamento e construção de represas tanto para gerar energia como para a irrigação, porque fornece um índice de segurança das condições de abastecimento de água das bacias hidrográficas.

Os mapas de distribuição espacial de probabilidades de obtenção de determinadas alturas pluviométricas podem ser de interesse também em outros aspectos do planejamento de bacias hidrográficas que se relacione com a potencialidade hídrica, como por exemplo, a avaliação climática regional do regime de precipitação anual.

A escala climatológica baseada no desvio padrão das precipitações serviu para classificar os anos e determinar as frequências (%) de ocorrência de anos em cada nível. Além do que ela pode ser utilizada para qualificar as precipitações, dos anos futuros.

Com a determinação dos parâmetros típicos da função de probabilidade gama, $G(I)$ e $B(I)$ conseguiu-se as equações básicas para o cálculo da expectativa teórica de ocorrência de precipitação mensal. Os valores assim calculados dão a densidade ou ordenada $f(x)$ da equação de probabilidade gama. Dispondo-se das tabelas de Pearson pode-se determinar diretamente $F(x)$ ou seja a probabilidade de ocorrência de um valor igual ou menor que x , utilizando o parâmetro (U_{IJ}) das tabelas do Apêndice 2 e o parâmetro p_I que é dado por $G(I)-1$.

O transcurso da precipitação em % caracteriza o regime pluvio-

métrico de cada localidade evidenciando os períodos relativos de maior e menor precipitação do ano. Este transcurso não serve para avaliar disponibilidades hídricas pois a efetividade da precipitação varia amplamente através do ano devido à variação estacional do balanço de radiação e temperatura fazendo com que uma mesma soma pluviométrica mensal constitua excesso de precipitação no inverno e seja deficiente no verão, quando a demanda climática de água para evaporação é muito maior. Nos trópicos, porém, onde o balanço de radiação e a temperatura variam pouco através do ano, o simples transcurso relativo da precipitação pode dar uma idéia da maior ou menor disponibilidade de água para os cultivos.

A avaliação das condições hídricas médias de uma região ou localidade e seu transcurso anual é de capital interesse ao planejamento agrícola especialmente no referente à introdução, distribuição e determinação de melhores épocas de estabelecimento de cultivos.

Para a avaliação das condições hídricas é necessário cotejar um cotejo entre a precipitação ocorrida e a capacidade potencial de perda de água para atmosfera que possui a região através dos processos de evaporação e transpiração vegetal, os quais dependem de vários elementos do clima, sendo porém, o balanço de radiação o elemento primário preponderante.

Um dos meios que se dispõe para estimar a umidade disponível ou efetividade das precipitações é o chamado balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite (49), que utiliza elementos climáticos diretos e estimados e a capacidade de armazenamento de água do solo. Quando porém não se dispõe de pelo menos estimativas aproximadas da

capacidade de armazenamento dos diversos tipos de solo da região em estudo a utilização de valores arbitrários pode conduzir à conclusões demasiadamente imprecisas.

Outro meio de estimar a efetividade pluvial é a utilização de índices climáticos baseados exclusivamente em elementos meteorológicos. Estes índices quando empregam em cotejo com a precipitação, elementos diretamente relacionados com a evaporação podem fornecer um bom critério para a identificação qualitativa de períodos climáticos secos e úmidos através do ano.

O coeficiente P/R_n utilizado no presente estudo como índice de caracterização climática geral e efetividade das precipitações mostra-se bastante eficiente e lógico, especialmente se examinarmos seu transcurso anual comparado com os demais elementos do clima representados em climadiagramas. Por incluir dois dos elementos climáticos fundamentais, precipitação, e radiação solar, em forma de balanço calórico, ele evidencia importantes características associadas ao estado de tempo e as condições climáticas gerais de uma região. Assim, por exemplo, um baixo coeficiente é o resultado de uma alta radiação solar, pouca nebulosidade conseqüentemente e baixa precipitação. Por outro lado, valores elevados deste coeficiente são próprios de zonas nubladas e chuvosas ou períodos inverniais de zonas moderadamente chuvosas em que o balanço de radiação é muito reduzido.

Dada a estreita relação existente entre balanço de radiação, radiação global e insolação podemos deduzir que valores altos de P/R_n devem ser encontrados também em vales profundos orientados de

maneira que o horizonte diminui grandemente a insolação e radiação global, determinando alta efetividade das precipitações ocorridas.

5.3. Caracterização de climas locais. Climadiagramas

Como salienta Trojer (52) os climadiagramas não são unicamente uma maneira de representação gráfica dos elementos do clima, mas sim uma notável ajuda na avaliação crítica das condições e transcur_{so}s climáticos de cada localidade.

Pela análise dos climadiagramas pode-se identificar não sòmente as características do transcurso anual de cada elemento em particular mas também as relações entre os transcur_{so}s dos diversos elementos. Uma vez estabelecidas estas relações pode-se generalizar o transcurso de determinados elementos de um ponto a outros pontos de uma região que tenha transcurso geral análogo, mas que lhe faltem alguns elementos.

A descrição do clima local através do conjunto de seus elementos é ainda de fundamental importância para estudos de seleção e zoneamento de cultivos. Particularmente com respeito ao fator hídrico o coeficiente P/R_n e seu transcurso estacional representa um guia no estabelecimento das melhores épocas de semeadura para cada localidade ou região.

6a. RESUMO

O presente estudo teve como objetivos específicos os seguintes:

1) Estabelecer a função de relação entre insolação e a radiação global para estimar a distribuição da energia solar no Estado do Rio Grande do Sul, Brazil. 2) Estimar o balanço de radiação e estabelecer sua relação com a radiação global. 3) Determinar a distribuição regional e o transcurso anual das precipitações. 4) Estudar a efetividade das precipitações a partir do balanço calórico. 5) Estudar a variabilidade das precipitações. 6) Explorar o padrão de distribuição das precipitações e determinar níveis de probabilidade de ocorrência de determinadas quantidades de precipitação. 7) Confeccionar climadiagramas para caracterização de climas locais.

Para o caso da radiação foi ajustada a seguinte equação de predição da radiação global (R_g) a partir da radiação no tópo da atmosfera (R_A) e da insolação efetiva (n/N), válida para o espaço geográfico que compreende o Estado do Rio Grande do Sul (Lat. 27 a 34° Sul e Long. 50 a 57° Oeste):

$$R_g = R_A (0,23 + 0,48 n/N)$$

Esta equação permitiu estimar a radiação global mensal em cal cm^{-2} para 10 estações em que o valor de n/N é conhecido, elevando-se de 7 para 17 os pontos no estado que agora dispõem desta informação climática. Esta equação servirá para estimar a radiação global de novas localidades onde se venha a conhecer o valor da insolação dada por heliógrafo e também é a equação que deve ser utilizada nas fórmulas de determinação da ETP que utilizam a radiação solar, como por

exemplo a de Penman e à de Makink, onde não exista medição deste elemento.

Para estimar o balanço de radiação foram determinadas tôdas as perdas de energia para a atmosfera ocasionadas pela reflexão (albêdo) e irradiação terrestre. Para determinação da irradiação terrestre efetiva foi utilizada a fórmula de Brunt modificada por Rosé. Os resultados mostram que a radiação efetiva ou radiação líquida anual varia de 49 a 58% da radiação global incidente. O balanço mensal é bastante mais variável atingindo valôres no verão e mínimos no inverno. Foi também ajustada a seguinte equação de medição do balanço de radiação mensal (R_n) em função da radiação global (R_s), com base nos dados das 17 estações estudadas:

$$R_n = -4.201 + 0,92 R_s$$

Esta equação que apresenta ótimo ajuste ($r = 0,978$) representa uma grande simplificação do método clássico de estimar este elemento e é válida para as condições da área de estudo (Estado do Rio Grande do Sul).

Para determinar a distribuição regional e o transcurso anual das precipitações foi traçado um mapa de precipitação anual que serviu para avaliar a distribuição geográfica deste elemento. Também foi calculada a precipitação relativa (% mensal em relação ao total médio anual) sendo seu transcurso representado em climadiagramas para identificação de períodos relativamente secos e chuvosos.

Como índice de efetividades das precipitações foi calculado o coeficiente P/R_n em forma de balanço calórico. Os valôres anuais

dêste coeficiente permitiram a caracterização climática de cada estação estudada com base na classificação do balanço calórico estabelecida por Trojer. O transcurso anual de P/R_n representado em clima diagramas possibilitam uma estimativa dos períodos climáticos secos e chuvoso para cada localidade.

Como medida de variabilidade das precipitações anuais foram utilizados o coeficiente de variação e a variabilidade máxima. Os mapas confeccionados com isolinhas de variabilidade permitiram uma avaliação da distribuição regional dêste elemento no Estado do Rio Grande do Sul, detectando-se também zonas de maior e menor variação das precipitações anuais.

A análise do padrão de distribuição das precipitações anuais demonstram que estas seguem a curva normal. Êste conhecimento permite a predição de chuva a largo prazo.

Para a determinação de probabilidade de precipitação mensal foram estimados os valores dos parâmetros γ e β do modelo probabilístico que corresponde à função de probabilidade gama, dada pela seguinte equação:

$$f(X_{IJ}) = \frac{X_{IJ}^{G(I)-1} e^{-X_{IJ}/B(I)}}{\int (G(I) B(I))^{G(I)}}$$

onde:

- $f(X_{IJ})$ = Função de densidade para o mês I e do ano J.
- X_{IJ} = Precipitação observada para o mês I e do ano J.
- $B(I)$ = Estimado do parâmetro β para o mês I.
- $G(I)$ = Estimado do parâmetro γ para o mês I.

Como geralmente ao investigador interessa conhecer a probabilidade de ocorrência de uma precipitação menor ou igual que um dado valor, isto é $F(x) = P(X \leq x)$, procedeu-se a construção de 34 tabelas que contem o parâmetro de Pearson (U_{IJ}) que juntamente com o valor de P_I dado por $G(I)-1$ pode-se entrar diretamente nas tabelas da função gama incompleta construída para este fim, obtendo-se $F(x)$.

Foram construídos 41 climadiagramas que contêm o transcurso anual médio dos principais elementos do clima. Estes climadiagramas servem para se fazer uma avaliação crítica das condições e transcurso climáticos de cada localidade, sendo a base climática para zoneamento de cultivos o estabelecimento de melhores épocas de semeadura.

6b. RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos específicos los siguientes: 1) Establecer la relación entre la insolación y la radiación global, para estimar la distribución de la energía solar en el Estado de Río Grande do Sul, Brasil. 2) Estimar el balance de radiación y establecer su relación con la radiación global. 3) Determinar la distribución regional y el transcurso anual de las precipitaciones. 4) Estudiar la efectividad de las precipitaciones a partir del balance calórico. 5) Estudiar la variabilidad de las precipitaciones. 6) Explorar el patrón de la distribución de las precipitaciones y determinar los niveles de probabilidad de ocurrencia de determinadas cantidades de precipitación. 7) Confeccionar climadiagramas para la caracterización de climas locales.

Para el caso de la radiación se ajustó una ecuación de predicción para estimar la radiación global (R_g), a partir de la radiación que incide en la atmósfera (R_A). Esta ecuación es válida para el espacio geográfico que abarca el Estado de Río Grande do Sul (Lat. 27 a 34° Sur y Long. 50 a 57° Oeste), la ecuación de predicción fue la siguiente:

$$R_g = R_A (0,23 + 0,48 n/N)$$

Esta ecuación permitió estimar la radiación global mensual en cal cm^{-2} para 10 estaciones en las cuales el valor de n/N era conocido, permitiendo de esta manera elevar de 7 a 17 el número de puntos en el Estado que ahora disponen de esta información climática. Esta ecuación servirá para estimar la radiación global de nuevas

localidades que tengan registros de insolación provenientes de heliógrafos. De la misma manera, esta ecuación se podrá emplear en fórmulas de cálculo de ETP que utilizan la radiación solar, por ejemplo las de Penman y la de Makink, en lugares donde no se tengan registros de ese elemento climático.

Para estimar el balance de radiación, se determinó todas las pérdidas de energía de la superficie de la tierra ocasionadas por la reflexión (albedo) e irradiación terrestre. Para la determinación de la irradiación terrestre efectiva se utilizó la fórmula de Brunt modificada por Rose. Los resultados demostraron que la radiación efectiva o radiación neta anual constituye el 49 a 58% de la radiación global incidente. El balance mensual es mucho más variable alcanzando valores máximos en verano y mínimos en invierno. También se hizo el ajuste de la siguiente ecuación, para la predicción del balance de radiación mensual (R_n) en función de la radiación global (R_s), con base en los datos de las 17 estaciones estudiadas:

$$R_n = -4.201 + 0,92 R_s$$

Esta ecuación que presentó un ajuste perfecto ($r = 0,978$) representa una gran simplificación para estimar este elemento, comparado con el método clásico, y es válida para las condiciones del área estudiada.

Para la determinación de la distribución regional y del transcurso anual de las precipitaciones, se trazó un mapa de precipitación anual que sirvió para evaluar la distribución geográfica de este elemento. También se calculó la precipitación relativa (% mensual

en relación a la media anual), representándose el transcurso en climadiagramas para la identificación de períodos secos y húmedos relativos.

Como índice de efectividad de las precipitaciones se calculó el coeficiente P/R_n en forma de balance calórico, los valores anuales de este coeficiente permitieron la caracterización climática de cada una de las estaciones estudiadas, con base a una clasificación de balance calórico establecida por Trojer. El transcurso anual de P/R_n representado en climadiagramas facilitó la estimación de los períodos climáticos secos y húmedos para cada localidad.

Como medida de la variabilidad de las precipitaciones anuales se utilizaron: el coeficiente de variación y la variabilidad máxima. Los mapas confeccionados con isolíneas de variabilidad permitieron una evaluación de la distribución regional de este elemento en el Estado de Río Grande do Sul. Se detectaron también las zonas con mayor y menor variación en las precipitaciones anuales.

El análisis del patrón de distribución de las precipitaciones anuales demostró que siguen a la curva normal, esta constatación permite la predicción de la lluvia a largo plazo.

Para la determinación de la probabilidad de precipitación mensual se calcularon los valores de los parámetros γ y β del modelo de probabilidades que corresponde a la función de probabilidad gama, dada por la siguiente ecuación:

$$f(X_{IJ}) = \frac{X_{IJ}^{G(I)-1} e^{-X_{IJ}/B(I)}}{\Gamma(G(I)) B(I)^{G(I)}}$$

en la cual:

$f(X_{IJ})$ = Función de densidad estimada para el mes I y la observación del año J.

X_{IJ} = Precipitación observada para el mes I y la observación del año J.

$B(I)$ = Estimado del parámetro β para el mes I.

$G(I)$ = Estimado del parámetro γ para el mes I.

Como por lo general al investigador le interesa conocer la probabilidad de ocurrencia de una precipitación menor o igual a un valor dado, ésto es $F(x) = P(X \leq x)$, se procedió a construir 34 tablas que contienen el parámetro de Pearson (U_{IJ}) que conjuntamente con el valor de P_I dado por $G(I)-1$, permite entrar directamente en las tablas de la función gama incompleta, construida para ese fin, obteniéndose de esta manera la función buscada $F(x)$.

Asímismo se construyeron 41 climadiagramas que contienen los transcurso^s anuales promedio de los principales elementos del clima; estos climadiagramas sirven para hacer una evaluación crítica de las condiciones y transcurso^s climáticos en cada localidad, siendo ésta la base climática para la zonificación de cultivos y para el establecimiento de las mejores épocas de siembra.

6c. SUMMARY

The aim of this study was: 1) to establish a function relating sunshine and global radiation to estimate the solar energy distribution in the State of Rio Grande do Sul, Brazil; 2) to estimate radiation balance and establish its relation with global radiation; 3) to determine regional distribution of the radiation and the annual course of precipitation; 4) to study the effectiveness of the precipitation for heat balance; 5) to study variation of the precipitation; 6) to explore the distribution pattern and determine the probability of the occurrence of certain amounts of precipitation; and 7) construct a climadiagram to characterize local climate.

For the prediction of global radiation (R_S) was adjusted a function involving the radiation at upper atmosphere (R_A) and effective insolation (n/N) as follows:

$$R_S = R_A (0.23 + 0.48 n/N)$$

This formulation is valid within the state of Rio Grande do Sul (Lat. 27 to 34° South and Long. 50 to 57° West). This equation allowed to estimate the total monthly radiation in cal cm⁻² for the 10 locations where the n/N value is known. With this estimation it is possible to raise from 7 to 17 the number of points in the State which make available this type of climatic information.

This equation can be needed to estimate the global radiation of the new localities where the value of the insolation is known. Besides, this equation must be used for the determination of ETP in which the solar radiation is used, for instance, and as given by

Pennan and that of Makink, where this type of data does not exist.

To estimate radiation balance energy, loss from the atmosphere caused by reflexion (albedo) and earth irradiation, were determined. To determinate the effective earth irradiation, the formula given by Brunt modiflicated by Rose, was used. Results showed that effective radiation of net annual radiation vary from 49 to 58% of total incident irradiation. Monthly radiation balance is much more variable with maximum during the Summer and minumum during the Winter. The equation to predict radiation balance (R_n) as a function of total radiation (R_s) based on datas from 17 locations were adjusted as follows:

$$R_n = -4.201 + 0.92 R_s$$

This equation showing good fitting ($r = 0.979$) represents a good simplification of the classical method to estimate the R_n and is valid for the area studied (State of Rio Grande do Sul).

A map was prepared to determine the regional distribution and annual change in the precipitation that was needed to evaluate the geographical distribution of the rain. Relative precipitation was also calculated (% monthly in relation to the total average of the year). The precipitation change was represented in a climadiagram to identify the periods relatively dry and wet.

As an index of precipitation effectiveness a coefficiente P/R_n was calculated in the form of heat balance. The annual values of this coefficient allowed climatic characterization of each location studied based on a classification of the heat balance established by Trojer. The annual change in P/R_n represented in the clima-

diagram made possible the estimation of dry and raining periods for each locality. As a measure of variability of the annual precipitation the coefficient of variation was calculated and also the maximum variability. The maps of the isolines variability allowed an evaluation of the regional distribution for the State of Rio Grande do Sul. This allowed also to detect zones of high and low variation in the annual precipitation.

The analysis of distribution pattern of the annual precipitation showed that in follow a normal curve. This knowledge allows long term prediction of the rain.

As probabilities model the gamma function was fitted. The values of parameters γ and β were estimated. This model allows to determine the probable monthly precipitation.

Gamma probability function is given by the following formula:

$$f(X_{IJ}) = \frac{X_{IJ}^{G(I)-1} e^{-X_{IJ}/B(I)}}{\Gamma(G(I)) B(I)^{G(I)}}$$

where:

- $f(X_{IJ})$ = density function for the month I and Year J.
- X_{IJ} = precipitation observed for the month I and the year J.
- $B(I)$ = estimated of the parameters β for the month I.
- $G(I)$ = estimated for the parameters γ for the month I.

Since, in general, the research worker is interested to know the probability of occurrence a precipitation less or equal to the given value, i.e., $F(X) = P(X \leq x)$, 34 tables were prepared which

contain the parameter of Pearson (U_{IJ}). Pearson's parameter and the value of P_I given by $G(I)-1$ can enter directly in the tables of the incomplet gamme function prepared for this purpose to obatin the cummulative frequency.

Forty one climadiagrams were constructed, which contained annual average change of the main climatic factors.

Those climadiagramas are useful to make a critical evaluation of the conditions and climatic changes of each location. This is the climatic basis for the crop zoning and basis for the establishment of the best time for seeding.

7. LITERATURA CITADA

1. ALBRECHT, F. H. W. The Australian radiation network. In Symposium of Climatology and Microclimatology, Camberra, 1956. Paris, UNESCO, 1958. pp. 99-105.
2. AMARAL, E. e MOTA, F. S. DA. Normais e variabilidade relativa das precipitações mensais. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Sul (Brasil) 13:3-13. 1956.
3. BAKER, D. G. e STRUB, J. H. Climate of Minnesota. Part I. Probability of occurrence in the spring and fall of selected low temperatures. Minnesota. Agricultural Experiment Station. Boletim Técnico no. 243. 1963. 39 p.
4. BARGER, G. L. e THOM, H. C. S. A method for characterizing drought intensity in Iowa. Agronomy Journal 41(1):13-18. 1949.
5. _____ e THOM, H. C. S. Evaluation of drought hazard. Agronomy Journal 41(11):519-526. 1949.
6. BERNARD, E. Le climat écologique de la Couvette Centrale Congolaise. Bruxelles, Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge, 1945. 240 p.
7. BLAK, J. N. La distribución de la radiación solar en la superficie de la tierra. In Symposium Wind and Solar Energy, New Delhi, 1954. Paris, UNESCO, 1956. pp. 142-143.
8. BLANC, M. L. Estadísticas de las precipitaciones. In Seminario Interregional en Agrometeorología Tropical, Maracay, Venezuela, setiembre 15-28, 1960. Informe final. Maracay, Organización Meteorológica Mundial, 1960. pp. 97-100.
9. BRASIL, SECRETARIA DE ENERGIA E COMUNICAÇÕES. Precipitações no Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, Brasil, Companhia Estadual de Energia Elétrica, Seção de Hidrologia, 1961. 135 p.
10. BRASIL. SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA AGRICULTURA. Os fatores do meio físico atmosférico no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, Serviço de Ecologia Agrícola, 1967. 256 p.
11. _____. Radiação solar no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, Serviço de Ecologia, 1967. 170 p.

12. BRASIL. SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA AGRICULTURA. Síntese de observações meteorológicas. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, Serviço de Ecologia Agrícola, 1967. 53 p.
13. BUDYKO, M. I. The heat balance of the earth's surface. Traduzido do russo por Nina A. Stepanova. Washington, D. C. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, 1958. 259 p.
14. _____. Evaporation under natural conditions. Traduzido do russo. Washington, D. C., Department of Agriculture and The National Science Foundation, 1963. 130 p.
15. BUNTING, A. H. Agroclimatology and agriculture. In UNESCO. Natural resources; agroclimatological methods. New York, International Publishing, 1968. pp. 361-366.
16. BURGOS, J. J., GONZALEZ, E. e CARRILLO, J. S. Estimación de la radiación global en Venezuela. Agronomía Tropical (Venezuela) 15(1-4):75-99. 1965.
17. CERVELLINI, A., SALATI, E. e GODOY, H. Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. Bragantia 25(3):31-41. 1966.
18. CHANG, JEN-HU. Climate and agriculture: an ecological survey. Chicago, Aldine, 1968. 304 p.
19. CONRAD, V. e POLLAK, L. W. Methods in climatology. 2a. ed. rev. and enl. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1950. 459 p.
20. DAVIES, J. A. e BUTTIMOR, P. H. Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. Agricultural Meteorology 6(5):373-386. 1969.
21. DEDEBANT, G. e MACHADO, E. A. M. Inferencia estadística en meteorología. Aplicación a la lluvia y otros problemas. Meteoros 5(4):305-322. 1955.
22. FRIEDMAN, D. G. e JANES, B. E. Estimation of rainfall probabilities. Connecticut Agricultural Experiment Station, Bulletin 332. 1957. 22 p.
23. GASTÓ, J. M. Variación de las precipitaciones anuales en Chile. Maipú, Chile. Estación Experimental Agronómica. Boletín Técnico no. 24. 1966. 20 p.
24. GEIGER, R. The climate near the ground. Traduzido do alemão por Scripta Technica. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1966. 611 p.

25. GIFFORD, R. O., ASHCROFT, G. L. e MAGNUSON, M. D. Probability of selected precipitation amounts in the Wester region of the United States. Nevada Agricultural Experiment Station. T-8, 1967. 37 p.
26. GODOY, H., RANGEL NOGUEIRA, I. e PIMENTEL GOMES, F. Análise estatística de dados pluviométricos de Campinas (São Paulo). Bragantia 20(6):317-371. 1961.
27. GRIFFITHS, J. F. La variabilidad de la lluvia en Venezuela. In Seminario Interregional en Agrometeorología Tropical, Maracay, Venezuela, setiembre 15-28, 1960. Informe final. Maracay, Organización Meteorológica Mundial, 1960. pp. 74-80.
28. HASHEMI, F. e DECKER, W. Using climatic information and weather forecast for decisions in economizing irrigation water. Agricultural Meteorology 6(4):245-257. 1969.
29. LINACRE, E. T. Estimating the net-radiation flux. Agricultural Meteorology 5(1):49-63. 1968.
30. MARCHETTI, A. A. Oscilaciones extremas de la cantidad de precipitación en la República Argentina. Meteoros 1(1): 46-54. 1951.
31. _____. Estudio del regimen pluviométrico de la República Argentina. Meteoros 2(3-4):243-309. 1952.
32. MEMORIA, J. P. M. Estudo estatístico da precipitação pluviométrica anual de Morro Velho (Minas Gerais). Boletim de Agricultura (Brasil) 4(1-2):29-44. 1955.
33. _____. Análise estatística das precipitações pluviométricas mensais de Morro Velho (Minas Gerais). Boletim de Agricultura (Brasil) 4(5-6):23-52. 1955.
34. MONTEIRO, C. A. DE F. Clima. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Geografia do Brasil, Grande Região Sul. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, 1963. v. 4, pp. 117-169.
35. MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Pôrto Alegre, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 1961. 30 p.
36. MORIZE, H. Contribuição ao estudo do clima do Brasil. Rio de Janeiro, Serviço de Informações do Ministério de Agricultura, 1927. 114 p.

37. MOTA, F. S. DA. Contribuição ao estudo do clima de Pelotas. *Agros (Brasil)* 3(3):133-159. 1950.
38. _____. Divisão agroclimática do Brasil Meridional. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Sul (Brasil)* no. 7: 1-18. 1953.
39. _____ e ROSINHA, R. C. Ocorrência de sêca no período crítico do milho no Rio Grande do Sul. *Boletim Técnico do Instituto Agronômico do Sul (Brasil)* no. 12:1-33. 1955.
40. _____ e GOEDERT, C. O. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 1:155-163.
41. PENMAN, H. L. *Vegetation and hydrology*. Farnham Royal, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1963. 124 p.
42. PROHASKA, F. J. Regímenes estacionales de precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15^{OS} hasta Antártida). *Meteoros* 2(1-2):66-100. 1952.
43. ROSE, C. W. *Agricultural physics*. Oxford, Pergamon Press, 1966. 226 p.
44. SCHRODER, R. Distribuição e curso anual das precipitações no Estado de São Paulo. *Bragantia* 15(18):193-249. 1956.
45. SLATYER, R. O. Future trends in agroclimatology. *In UNESCO. Natural resources; agroclimatological methods*. New York, International Publishing, 1968. pp. 367-369.
46. SMITH, L. Estudio de los problemas de la meteorología. *In Seminario Interregional en Agrometeorología Tropical*, Maracay, Venezuela, setiembre 15-28, 1960. Informe final. Maracay, Organización Meteorológica Mundial, 1960. pp. 7-10.
47. TEODORO LUIZ, I. Regiões climáticas do Rio Grande do Sul. Canoas, Rio Grande do Sul, Instituto Geobiológico La Salle, 1951. 39 p.
48. _____. Clima do Rio Grande do Sul. Part I. Tipos de tempo. Canoas, Rio Grande do Sul, Instituto Geobiológico La Salle, 1955. 20 p.
49. THORNTHWAITTE, C. W. e MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 1957. 311 p.

50. TROJER, H. Meteorología y climatología de la vertiente del Pacífico Colombiano. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 10(40):199-219. 1958.
51. _____. Fundamentos para una zonificación meteorológica y climatológica del trópico y especialmente de Colombia. Cenicafé (Colombia) 10(8):289-273. 1959.
52. _____. Sistematización de características meteorológicas para la clasificación climática del Trópico. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1968. (Mimeografiado)
53. UNION PANAMERICANA. Cuenca del Río de La Plata, estudio para su planificación y desarrollo. Washington, D. C. Secretaría General de la OEA, 1969. 272 p.
54. WAGGONER, P. E. Meteorological data and the agricultural problem. In UNESCO. Natural resources; agroclimatological methods. New York, International Publishing, 1968. pp. 25-38.
55. WANG, JEN-YU. The phyto-climate of Wisconsin. 3. Moisture: normals and hazard. Part A. Rainfall. Wisconsin Agricultural Experiment Station. Research Report 7-A. 1961. 63 p.
56. _____. Agricultural meteorology. Milwaukee, Wisconsin, Pacemaker Press, 1963. 693 p.
57. YAO, A. I. M. Climatic hazards to the agricultural potential in the North China Plain. Agricultural Meteorology 6(1):33-48. 1969.