

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA , LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

***ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS ESPACIAIS E HIDROLÓGICOS NO
ESTADO DE SÃO PAULO: UMA METODOLOGIA BASEADA EM SISTEMAS
DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA***

Marcos Cesar Ferreira

Orientadora: Profa. Dra. Magda Adelaide Lombardo

TESE DE DOUTORAMENTO

SÃO PAULO

1995

À Marta, o ar.
À Yara, a terra.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Magda Adelaide Lombardo, pela orientação e amizade.

Ao Laboratório de Geoinformática do Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica, da UNESP de Rio Claro - SP, pelo uso dos microcomputadores e periféricos;

Ao corpo técnico de informática do CEAPLA, em especial à Mônica, Lucimari, Sérgio e Lucila, pela resolução de problemas "ocultos" de hardware e software surgidos no decorrer desta pesquisa;

À Elen Prochnow, pela dedicação nos desenhos;

À Rosemeide Franchin e Juliene Lazzarini, pelo apoio de base na secretaria do Departamento de Cartografia.

Às todas as divindades que me acompanham em situações desafiantes como esta...

RESUMO

Este estudo tem por objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia para análise integrada de dados espaciais e hidrológicos em escala global, implementada em um sistema de informação geográfica. Para atingir esta meta, dividiu-se o trabalho em dois níveis de pesquisa paralelos: a *análise hidrológica*, baseada na regionalização das vazões médias específicas e da frequência de cheias de 66 bacias de drenagem do estado de São Paulo; e a *análise espacial* de variáveis ambientais relativas ao clima, geologia e altitude, através de funções de processamento existentes em SIGs.

Através da análise hidrológica, identificou-se 6 regiões homogêneas, classificadas segundo a taxa de escoamento superficial e a probabilidade de ocorrência de cheias. A análise integrada dos dados espaciais no SIG, possibilitou o mapeamento de 16 unidades ambientais, classificadas segundo a precipitação média anual, a litologia, a temperatura média anual e a altitude média. Em uma etapa seguinte, os mapas das regiões hidrológicas e das unidades ambientais foram superpostos no SIG *Idrisi®*, através de álgebra booleana, no sentido de se conhecer a proporcionalidade de coincidência espacial entre as categorias dos dois mapas. Constatou-se que a vazão média anual específica e a frequência de cheias é menor em unidades situadas no Planalto Ocidental, aumentando para unidades situadas na Depressão Periférica e atingindo os máximos valores nas unidades ambientais do Planalto Cristalino e Serras da Mantiqueira e da Bocaina.

As unidades ambientais mapeadas pelas técnicas digitais do sistema de informação geográfica, foram comparadas às unidades obtidas por estudos clássicos efetuados no estado de São Paulo. Conclui-se que o mapeamento das unidades obtidas naqueles estudos, baseadas em SIG manual, atingiram resultados muito próximos aos digitais. Pelos resultados obtidos, constatou-se que a metodologia proposta pode ser aplicada em estudos em escala global, baseados em integração de dados espaciais.

ABSTRACT

This study has as main objective the development of spatial and hydrologic data integrated analysis methodology to use in global scale, based in a geographic information system. To find this goals, the reseach was separated in two levels: the *hydrologic analysis*, based in regionalization of means flows and flood frequency of 66 drainage basins of state of São Paulo; and *spatial analysis* of environmental variables (climate, geology and elevation), using GIS functions.

By hydrologic analysis, were identified 6 hydrologic regions, that was classified upon the overland flows rate and flood occurrence. By the spatial data analysis in GIS, 16 environmental units were mapped and classified upon annual mean precipitation, litology, annual mean temperature and mean elevation above sea level. In next step, the hydrologic regions and environmental units maps were superiposed in GIS *Idrisi*® by boolean algebra, in sense to know the spatial dependence between the categories of two maps.

The environmental units mapped by GIS techniques, were compared with units mapped by classic studies made in state of São Paulo. We verified that the classic studies made by manual GIS obtained results nearst the digital maps, but with higher spatial precision in limits traces of environmental limits.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	, 8
Lista de Tabelas	, 9
Lista de Quadros	, 10
1. Introdução	, 11
2. Objetivos	, 15
3. Objeto de Estudo	, 16
4. Fundamentação Teórica	, 24
4.1. Paisagem e Geossistema: Unidades Ambientais	, 24
4.2. A Bacia de Drenagem como um Sistema Processo-Resposta	, 32
4.3. Regionalização das Vazões Específicas e da Frequência de Cheias	, 35
5. Sistemas de Informação Geográfica	, 42
5.1. Conceitos Básicos	, 42
5.2. O Sistema IDRISI®	, 45
5.3. Potencial e Limitações dos SIGs para a Análise Espacial Integrada	, 53
6. Metodologia, Técnicas e Material	, 60
6.1. Identificação das Unidades Ambientais	, 60
6.2. Análise e Integração dos Dados Espaciais e Hidrológicos	, 69
7. Regionalização Hidrológica	, 77
7.1. Identificação das Regiões Homogêneas	, 77
7.2. Análise Espacial da Frequência de Cheias	, 94
8. Unidades Ambientais Obtidas pela Aplicação das Funções do SIG	, 101
9. Características Físico-Geográficas das Unidades Ambientais	, 113

10. Conclusões, 122

11. Referências Bibliográficas, 128

Apêndice I, 135

LISTA DE FIGURAS

- Figura 6.1** - Procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, 72
- Figura 7.1** - Distribuição espacial dos postos fluviométricos, 78
- Figura 7.2** - Diagrama de dispersão entre os valores de Q_{med}/A e C.V., 83
- Figura 7.3** - Dendograma dos agrupamentos das bacias de drenagem, 84
- Figura 7.4** - Mapa das regiões hidrológicas, 86
- Figura 7.5** - Curvas das probabilidades acumuladas das regiões hidrológicas, 98
- Figura 7.6** - Relações entre a frequência de cheias e a precipitação média anual, frequência de rochas sedimentares, e altitude média., 100
- Figura 8.1** - Mapa das unidades ambientais obtido por geoprocessamento, 107
- Figura 8.2** - Diagrama de distribuição das unidades ambientais em relação às regiões hidrológicas e à divisão geomorfológica., 110

LISTA DE TABELAS

- Tabela 7.1** - Localização das bacias de drenagem, postos fluviométricos e respectivas séries anuais, 80
- Tabela 7.2** -Valores dos parâmetros estatísticos das séries temporais por bacia de drenagem, 81
- Tabela 7.3** - Sumário estatístico das regiões hidrológicas, 88
- Tabela 7.4** - Sumário estatístico de Q_{max}/A para as regiões hidrológicas, 95
- Tabela 8.1** - Matriz de correlações múltiplas entre as variáveis ambientais, 102
- Tabela 8.2** - Valores mais significantes de correlação entre as variáveis ambientais, 103
- Tabela 8.3** - Valores dos pesos das componentes e da variância explicada, segundo cada variável ambiental, 105
- Tabela 8.4** - Matriz de tabulação cruzada, entre as unidades ambientais e as regiões hidrológicas, 109

LISTA DE QUADROS

- Quadro 3.1** - Províncias, zonas e sub-zonas geomorfológicas do Estado de São Paulo, segundo ALMEIDA(1964)., 21
- Quadro 5.1** - Tipos de operações espaciais e questões básicas correlatas utilizadas em SIGs, 44
- Quadro 6.1** - Fatores, variáveis ambientais e respectivas fontes de dados utilizados na pesquisa, 68
- Quadro 7.1** - Regiões hidrológicas e suas respectivas bacias de drenagem, 92
- Quadro 8.1** - Matriz-síntese das correspondências entre unidades ambientais, geologia, formas de relevo e parâmetros hidrológicos, 108

1. INTRODUÇÃO

Na Geografia atual, os estudos físico-geográficos têm apresentado, na sua maioria, tendências a adotar escalas de abordagem espacial detalhadas, tais como vertentes isoladas, perfis de solo, microbacias, municípios e até pequenas áreas de interesse específico delimitadas apenas por coordenadas geográficas.

Neste nível de compreensão do espaço, maior interesse tem sido dado aos processos ligados à geomorfogênese, à pedogênese, ao clima local e a estudos sobre contaminação de corpos hídricos isolados, tais como canais fluviais, lagos, entre outros.

Entendemos que esta visão espacial é resultado de períodos de postura metodológica cada vez mais específica e detalhada que a ciência tem vivido nas últimas décadas. Esta postura muitas vezes tem considerado mais a precisão da observação local e a minuciosidade da descrição, que a sua interpretação vinculada ao contexto global dos espaços terrestres.

Por outro lado, os estudos físico-geográficos regionais têm sido vistos com menor frequência e interesse na geografia atual, seja devido a complexidade gerada pela análise de grandes superfícies, como também pela dificuldade de se estabelecer relações entre fatores ambientais em escala pequena, sem que se efetue algumas generalizações.

No entanto, observamos também neste final de século, uma tendência das demais ciências em se voltarem para as questões globais ao nível planetário, como é o caso por exemplo, das pesquisas sobre mudanças

climáticas, biodiversidade, paleohidrologia, entre outras. Estas direções têm valorizado e atualizado o conceito de escala regional, abrindo caminho para novas perspectivas do conhecimento dos espaços terrestres.

Por exemplo, a análise regional dos eventos hidrológicos extremos, tem apresentado um certo interesse por pesquisadores de diversos países, como parte de um método de previsão de risco de cheias e estiagens. Contudo, esta linha de pesquisa encontra-se circunscrita, no caso do Brasil, ao âmbito da engenharia civil e da hidrologia pura, onde se verifica uma preocupação acentuada no tratamento quantitativo e estatístico dos fenômenos hidrológicos.

Estes tipos de abordagem apresentam lacunas quanto a análise das relações regionais entre as vazões fluviais de cheia e as unidades de paisagem. A concepção de paisagem nos interessa devido ao fato de trazer consigo não somente o nível morfológico do ambiente, mas também o seu funcionamento e seu comportamento temporal, que influencia a frequência de cheias.

Desta forma, consideramos que o estudo da frequência dos eventos hidrológicos extremos, além de se constituir fator de importância social e econômica, pode se revelar também como reflexo das interações entre fatores ambientais que definem unidades homogêneas.

Entretanto, esta questão ainda permanece circunscrita aos limites teóricos da maioria dos estudos sobre o funcionamento e o comportamento das paisagens em escala regional. Necessitamos portanto de contribuições baseadas em dados hidrológicos reais, que forneçam subsídios para o entendimento do papel das unidades de paisagem no comportamento espacial do escoamento fluvial.

No entanto, estes tipos de estudos sempre encontraram dificuldades de sucesso devido às limitações tecnológicas de época, principalmente no que se refere à análise da grande quantidade de dados espaciais requeridos. Neste sentido, acreditamos que os sistemas de informação geográfica (SIG's) apresentam potencialidades para a integração entre dados ambientais e dados hidrológicos.

Empregados isoladamente desde os anos 70 como instrumento de análise e modelagem de dados espaciais, os sistemas de informação geográfica adquiriram na atualidade um papel fundamental no desenvolvimento metodológico da Geografia. Embora visto apenas como um conjunto de técnicas de interpretação do espaço, os SIGs se constituem também em instrumentos da ciência da informação geográfica.

Neste sentido, acreditamos que tais sistemas têm desempenho bem diferenciado quando utilizados dentro de paradigmas geográficos claros, balizados em fundamentação teórico-metodológica adequada. Ao contrário do caráter puramente técnico e cadastral, como vem sendo utilizado na maioria das instituições públicas e privadas de planejamento, os SIGs devem atingir papel de explicadores de relações geográficas multitemáticas ao nível global.

Reduzidos são os estudos empregando SIGs dentro de uma ótica físico-geográfica integrada. Muitas vezes se desconhece o nível de dependência ou de coincidência espacial entre variáveis ambientais, em escala regional. Embora se aceite determinados pressupostos de dependência entre fatores ambientais ao nível local, muitas vezes não se tem métodos de integração entre tais fatores, que de forma analítica, demonstre de forma espacial e tabular, as características desta interdependência.

Os SIGs, através das suas funções de processamento espacial podem contribuir para a elucidação destas questões de natureza geográfica. Neste trabalho, apresentamos um procedimento metodológico para a análise das relações entre variáveis espaciais e variáveis hidrológicas ao nível regional, tendo como base as funções do SIG IDRISI® (EASTMAN, 1993).

Nesta pesquisa, confrontamos as unidades ambientais obtidas por técnicas de geoprocessamento, com as unidades de paisagem do estado de São Paulo, identificadas por autores clássicos como AB'SABER (1969), MONTEIRO (1973) e ALMEIDA (1964). Este paralelo mostrou resultados muito interessantes, principalmente a constatação do poder de percepção espacial destes autores, que através de técnicas apropriadas para a época, chegaram a resultados muito próximos aos obtidos como uso do sistema de informação geográfica.

Através das funções do SIG *IDRISI*®, identificamos 16 unidades ambientais no estado, com alta similaridade segundo o clima, a litologia e a altitude. Embora delimitadas por técnicas de processamento de mapas e estatística, observou-se que as unidades mapeadas têm limites espaciais que coincidem em sua porção central, com as unidades geomorfológicas e as feições climáticas regionais. Apenas os limites não coincidiram precisamente, devido às limitações das técnicas de sobreposição digital de mapas.

2 - OBJETIVOS

O desenvolvimento deste trabalho está baseado nos seguintes objetivos:

1) Propor um procedimento metodológico para a análise integrada de variáveis ambientais e hidrológicas, utilizando um sistema de informação geográfica (SIG);

2) Efetuar uma análise regional da distribuição espacial das vazões máximas e médias específicas e da probabilidade de ocorrência de cheias, com base em séries fluviométricas anuais, utilizando como laboratório o estado de São Paulo;

3) Efetuar o mapeamento de unidades ambientais do estado, com base na análise integrada de variáveis espaciais através das funções de análise espacial existentes em SIGs, e comparar as unidades obtidas por técnicas digitais, àquelas identificadas por autores clássicos;

4) Verificar as relações globais existentes entre os parâmetros estatísticos das vazões máximas e médias específicas e a distribuição espacial das unidades ambientais.

3. OBJETO DE ESTUDO

A área utilizada como laboratório para a metodologia proposta, corresponde ao espaço político-administrativo do estado de São Paulo, com uma área de 247.898 km², o qual é abordado ao nível global, na escala 1:1.000.000.

A escolha desta área como unidade experimental, fundamentou-se nos seguintes pressupostos:

1) Homogeneidade nos dados fluviométricos, obtidos quase na sua totalidade por apenas um órgão, o DAEE, que utiliza a mesma metodologia de coleta e tratamento dos dados para todos os postos, bem como para a divulgação dos resultados. Para a análise das distribuições de frequência de cheias, foram utilizados dados de 66 postos fluviométricos do CTH-DAEE ;

2) Disponibilidade de material cartográfico em diferentes escalas, todos efetuados segundo uma mesma base cartográfica e cujos limites comuns correspondem às divisas territoriais;

3) A ocorrência no estado, de uma grande diversidade litológica, mapeada por ALMEIDA et al. (1981), que identificaram em torno de 46 unidades, desde sedimentos quaternários, formações sedimentares do terciário até rochas magmáticas e metamórficas de diferentes graus.

4) Em parte devido à litologia, a área de estudo apresenta também um variado quadro geomorfológico, já estudadas em termos regionais por ALMEIDA (1964), que identificou 5 províncias, 23 zonas, e 20 subzonas.

5) Às características climatogênicas desta porção do sudeste brasileiro, estudadas por MONTEIRO (1973), que identificou aqui uma área

transicional, de participação alternada entre as massas de ar Polar, Tropical e Equatorial. Este quadro associado aos fatores do relevo, atribuiu ao estado inúmeras feições climáticas e uma notável variação espacial da pluviosidade média anual.

Esta diversidade ambiental que caracteriza o estado, favoreceu o desenvolvimento de um grande número de unidades de paisagem. Esta riqueza de unidades se constitui em vasto material para a construção de uma base de dados digital, e utilizá-la como fonte de dados para funções de geoprocessamento.

Analisando-se o fator clima, destacamos MONTEIRO (*op.cit*), que estudou a gênese da variação espacial das chuvas no estado de São Paulo. O autor constatou que as características genéticas da pluviosidade no estado, podem ser explicadas pela interação entre os mecanismos de circulação regional (principalmente devido à participação da Frente Polar Atlântica) e os fatores geográficos. Verificou o autor que a distribuição espacial da pluviosidade no estado, apresenta uma relação clara com o relevo e a posição latitudinal.

As maiores precipitações ocorrem na faixa litorânea, devido ao posicionamento orográfico paralelo ao Atlântico, onde se verificam valores superiores a 1400 mm anuais. Lembra o autor, que entre os municípios de São Sebastião e Santos, a pluviosidade pode ser comparada à da Amazônia, devido a ocorrência de totais acima dos 3000 mm anuais.

Outra porção do território estudado que apresenta alta pluviosidade é a composta por trechos elevados voltados para o sul, de onde provém as perturbações frontais, tais como Serra da Paranapiacaba e da Cantareira. Também devemos lembrar que o nordeste do estado, junto à divisa com Minas

Gerais, desde a Mantiqueira até o vale do Rio Grande, é outra área de destaque em termos pluviométricos. Aqui, o autor relata a existência de valores acima de 2000 mm próximo ao Planalto de Franca.

Entre o Vale do Paraíba e a Depressão Periférica, ocorrem índices pluviométricos menores, variando de 1100 a 1400 mm anuais, cuja oscilação deve-se à morfologia do relevo local. Casos isolados com extremos pluviométricos são verificados nas faixas serranas, como Serra do Quebra-Cangalha (no Vale do Paraíba), com índices acima dos 1700 mm e na borda do Planalto Ocidental, nas Cuestas, onde verifica-se isoladamente, dados superiores a 1400 mm.

Também nas linhas de cristas de serras com orientação estrutural NE-SW, ocorre um aumento da pluviosidade, como é o caso da Serra da Cantareira. Observa-se diminuição da precipitação nos grandes vales do centro-oeste, como nos rios Mogi-Guaçu, Tietê e Piracicaba, devido às altitudes inferiores. No Planalto Ocidental, os maiores índices pluviométricos acham-se no extremo-sudoeste do estado, devido às latitudes maiores, o que favorece a penetração das massas polares, facilitada pela calha do Rio Paraná.

O norte do estado, apresenta maior contraste entre as precipitações do inverno e do verão. No setor mais meridional, não se observa claramente este contraste, o mesmo acontecendo com o litoral norte, a Mantiqueira e os trechos mais elevados da borda do Planalto Ocidental, onde a estação seca é pouco perceptível.

Sob o ponto de vista geomorfológico, verifica-se que as propostas de divisão regional do relevo, começaram a ser elaboradas por MORAES REGO (1932), o primeiro pesquisador a definir unidades fisiográficas para o estado de

São Paulo. O autor diferenciou grandes unidades às quais denominou de Planalto Ocidental, Depressão Periférica e relevos cuestiformes. Mais tarde, DEFFONTAINES (1935), efetuou uma delimitação físico-geográfica regional, na qual identificou o litoral, o alto da serra e o vale do Paraíba, a depressão periférica permiana, e a zona dos arenitos e derrames basálticos, localizada no centro-oeste do estado.

Já MONBEIG (1949) propõe uma divisão fisiográfica mais detalhada para o estado, subdividindo o Planalto Ocidental em *alto planalto*, *médio planalto* e *matas do rio Paraná* e a Depressão Periférica em *campos gerais (sul)*, *médio Tietê (centro)* e *campos cerrados (norte)*. Quanto ao Planalto Atlântico, o autor subdividiu-o em *zona serrana (Paranapiacaba, alto Paraíba e Bocaina)*, *Mantiqueira (desde Campos do Jordão até próximo à São José do Rio Pardo)*. No litoral, distinguiu dois setores: *litoral de Santos* e *litoral de São Sebastião*.

AB'SABER (1954) afirmava que o relevo de São Paulo diferenciava-se dos demais estados do sul do país, devido à distribuição geográfica das estruturas e à maior variedade de formas do relevo cristalino.

Os estudos realizados por ALMEIDA já em 1964, mostraram de maneira global, que o relevo do estado de São Paulo é produto da posição geotectônica do estado, que apresenta fortes contrastes entre o escudo cristalino posicionado a leste e a grande bacia sedimentar paleozóica situada a oeste.

No maciço cristalino, segundo o autor, ocorreram constantes movimentos ascencionais que expuseram as profundas estruturas, compostas principalmente por vastas áreas granitóides. A bacia sedimentar, por outro lado, é resultante do acúmulo de produtos de erosão do escudo, o que contribuiu para sua considerável subsidência, principalmente no extremo oeste do estado. A

diferenciação nas feições topográficas, é resultante também das diferenças estruturais entre o escudo e a bacia, associada à suavização ocasionada pelos processos morfoclimáticos.

Na faixa costeira do estado de São Paulo, ocorrem com maior frequência, granitos e gnaisses, responsáveis pela estruturação das Serras do Mar e de Paranapiacaba. Em direção ao interior, no Planalto, surgem rochas menos metamórficas, como filitos, micaxistos associados a quartzitos, ocorrendo também intrusões batolíticas de granito e granodioritos porfiríticos, responsáveis pelas serras inseridas no Planalto.

O centro-oeste do estado, apresenta primeiramente as camadas carboníferas do permiano ao triássico, alternando de formações arenosas e argilosas, com baixa resistência à erosão, a níveis silicificados a sill e diques de diabásio, que suportam as cuestas. Aparecem nesta porção do estado, os derrames basálticos recobertos por arenitos cretácicos com baixa declividade para NW, estendendo-se até o extremo oeste.

O estado também apresenta, segundo o autor, acumulações detríticas cenozóicas restritas, que deram origem a relevos suaves, sendo notadas principalmente na área urbana da capital, no médio vale do Paraíba.

Baseando-se neste quadro geral de associações morfológicas, o autor propôs uma divisão geomorfológica para o estado de São Paulo, fundamentada no conceito de províncias, zonas e subzonas geomorfológicas (Quadro 3.1).

Quadro 3.1- Províncias, zonas e sub-zonas geomorfológicas do estado de São Paulo. Fonte: ALMEIDA (1964).

PROVÍNCIAS	ZONAS	SUB-ZONAS
I . PLANALTO ATLÂNTICO	1. Planalto Paulistano	1.1- Morraria do Embu 1.2 - Colinas de São São Paulo
	2. Planalto de Juqueriquerê 3. Planalto de Paraitinga	3.1 - Morraria do Paraitinga 3.2 - Morraria do Parai-buna 3.3 - Serra da Natividade - Quebra Cangalha
	4. Planalto da Bocaina	4.1 - Serrania da Bocaina 4.2 - Planaltos Isolados
	5. Médio Vale do Paraíba	5.1 - Morros Cristalinos 5.2 - Colinas Sedimentares
	6. Serra da Mantiqueira	6.1 - Mantiq. Oriental 6.2 - Mantiq. Ocidental
	7. Plan. do Alto Rio Grande	7.1 - Planalto de Campos do Jordão 7.3 - Serrania do Alto Sapucaí 7.4 - Planalto de Caldas
	8. Planalto de São Roque 9. Planalto de Jundiá 10. Serrania de Lindóia 11. Planalto de Ibiúna 12. Planalto de Guapiara 13. Planalto do Alto Turvo	
	II . PROVÍNCIA COSTEIRA	1. Serrania Costeira

		1.5- Planaltos Interiores
	2. Baixadas Litorâneas 3. Morraria Costeira	
III DEPRESSÃO PERIFÉRICA	1. Zona do Médio Tietê 2. Zona do Paranapanema 3. Zona do Mogi Guaçu	
IV-CUESTAS BASÁLTICAS		
V PLANALTO OCIDENTAL	1. Planalto de Marília 2. Planalto de Catanduva 3. Planalto de Monte Alto 4. Áreas Indivisas	

PONÇANO et al. (1981), utilizando critérios baseados no conceito de sistemas de relevo, efetuaram uma subdivisão do relevo do estado, a partir da divisão proposta por ALMEIDA (*op.cit.*). Os autores reconheceram 5 tipos de relevo: relevos de agradação, relevos de degradação em planaltos dissecados, relevos residuais suportados por litologias particulares, relevos cársticos e relevos de transição. Seguem abaixo as unidades mapeadas pelos autores, segundo cada tipo de relevo.

a) *relevos de agradação*: planícies aluviais, terraços fluviais, planícies costeiras, terraços marinhos e mangues;

b) *relevos de degradação em planaltos dissecados*: colinas amplas, colinas médias, morros amplos, morrotes baixos e morros paralelos;

c) *relevos residuais suportados por litologias particulares*: mesas basálticas e mesas sedimentares.

d) *relevos de transição*: encostas sulcadas por vales paralelos, encostas com canyons locais, escarpas festonadas e escarpas com espigões digitados.

O quadro das relações ambientais regionais acima exposto, foi útil neste trabalho como elemento de contraposição ao mapeamento das unidades ambientais elaborado pelo sistema de informação geográfica. Este paralelo entre métodos convencionais clássicos, baseados na percepção espacial aliada à sólida base teórica, e métodos baseados em análise geográfica digital, de sólida base técnica, proporcionou à pesquisa maior realidade e flexibilidade no discurso.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 - PAISAGEM E GEOSSISTEMAS: UNIDADES AMBIENTAIS

O termo paisagem é conhecido desde o final da Idade Média, para denominar unidades territoriais ou corológicas indiscriminadas. Sua origem, está associada à palavra *pais agem* (agir ou atuar no país, na nação). No Ocidente, já era conhecida a palavra germânica *Landschaft*, designada para definir uma região de dimensões médias, ou um território onde se desenvolviam pequenas unidades habitacionais ou comunidades (ROUGIERE & BEROUTCHACHVILLI, 1990).

No período clássico, com o advento do Iluminismo, o termo paisagem foi atribuído às questões estéticas e artísticas relacionadas ao quadro natural ou à natureza. É no século XIX, em 1850, que se tem uma primeira definição sistêmica da paisagem, encontrada no trabalho de K. Rosenkranz, intitulado *Landschaft*. Neste trabalho, o autor afirma que as *Landschaft* são sistemas locais de fatores que são integrados em níveis hierárquicos (citado em ROUGIERE & BEROUTCHCHVILLI, op. cit.).

No século XIX se observa uma preocupação das doutrinas geográficas em incluir os conceitos de paisagem em seu universo de pesquisa. Esta abordagem iniciou-se na Alemanha, país que no século XIX estava fortemente influenciado pelas leis do naturalismo, destacando-se os pontos de vista de von Humboldt, Ritter e Ratzel.

Von Humboldt trazia como base o conceito de morfologia da paisagem, que influenciou outros botânicos a estabelecerem tipologias de formas de vegetação ou diferenciações fisionômicas da vegetação. O pensamento de Ratzel atingiu seu apogeu no início do século XX, mais

precisamente seguindo os pressupostos do racionalismo e do positivismo ambiental (ROUGIERE & BEROUTCHACHVILLI, op. cit.).

A *Landschaftkunde* ou a ciência da paisagem, iniciou-se na transição dos séculos XIX e XX e considerava a paisagem segundo o ponto de vista territorial, ou seja, entendia a paisagem como uma expressão espacial de estruturas estabelecidas na natureza e possíveis de serem analisadas cientificamente. Na mesma época, na Alemanha, Passarge escreve os *Fundamentos da Ciência da Paisagem* e na Rússia, Dokoutchaev definia o *Complexo Territorial Natural* como sendo uma forma de exprimir o aspecto estrutural da natureza.

Um dos principais elementos naturais utilizado como indicador espacial para a definição de unidades de paisagem na literatura geográfica alemã, foi a vegetação. SCHUMITHÜSEN (1948), citado em ROUGIERE & BEROUTCHACHVILLI (op.cit.), escreveu a *Geografia Geral da Vegetação*, um importante estudo do papel da vegetação no âmbito da análise da paisagem, mostrando as unidades de vegetação como parte de unidades paisagísticas maiores.

Também na Alemanha, no início do século XX, surge o *Kulturlandschaft*, ou paisagem cultural, que concebia a paisagem como elemento integrador dos fatores sociais e culturais. Esta abordagem consistia na fusão entre a visão holística de Ritter e o senso morfológico de von Humboldt (ROUGIERE & BEROUTCHACHVILLI, op. cit.) Outro geógrafo alemão, Schüter, definiu na mesma época o conceito de *Kulturlandschaft* como uma descrição fisionômica aplicada aos elementos da natureza e aos elementos culturais, combinados em uma totalidade que corresponde à paisagem.

A associação entre elementos naturais e culturais para definição de unidades de paisagem, teve também correspondência na França com o trabalho *L'Essai sur la formation du paysage rural français*, de R. Dion, e nos Estados Unidos com o trabalho de Carl Sauer, *The morphology of landscape*.

Sauer concebia a paisagem como um organismo complexo, composto de uma associação específica de formas, onde não se separam os elementos naturais dos culturais. Para o autor, a paisagem tem uma forma, uma estrutura, um funcionamento e uma posição dentro do sistema, estando sujeita a desenvolvimento, transformação e aperfeiçoamento. (ROUGERIE e BEROUTCHACHVILLI, *op. cit.*)

Se nos primeiros anos do século XX já se podia falar em um conhecimento sistemático sobre a paisagem na Alemanha, Estados Unidos e União Soviética, na França ainda não se observava qualquer tendência neste sentido. Notava-se apenas uma marcante conotação pictórica e artística da paisagem, típica da geografia francesa do século XIX. Vidal de la Blache analisava então a paisagem segundo seu aspecto fotográfico, misturando a ciência e a poesia da imagem. Contudo, esta abordagem já trazia consigo uma conotação estrutural, evidenciando o papel da geologia na morfologia da paisagem.

Para Vidal de la Blache, a paisagem representava a região e o gênero de vida, aglutinando de certa forma o pensamento de Ritter e Ratzel, pois considerava as regiões homogêneas como territórios onde se desenvolvem gêneros de vida. A conotação social do termo gênero de vida, caracterizava a geografia francesa de então como uma ciência social, sem apresentar interesses relevantes pela paisagem como objeto de estudo.

Em 1938, no Congresso da União Geográfica Internacional - UGI, em Amsterdam, foi discutido o conceito de paisagem, com o objetivo de dar uma conotação concreta e pragmática ao termo. Isto porque, o conceito possuía diferentes interpretações desde o início do século, desde a geoecologia na Alemanha, aos geossistemas na Europa Central e União Soviética.

Neste congresso, o conceito de paisagem foi melhor definido, a partir do questionamento dos conceitos de paisagem humana e paisagem natural. Até então predominava a idéia da paisagem do ponto de vista ideográfico, plástico e algumas vezes fotográfico-descritivo. No entanto, apenas partir dos anos 50, é que se percebe a depreciação do conceito de paisagem geográfica com o significado iconoclástico, principalmente os tipos morfológicos freqüentemente vistos nos trabalhos de Vidal de La Blache e De Martonne.

Opondo-se ao conceito estético-descritivo da paisagem, aparece a idéia de paisagem sob a ótica dos problemas da relação homem-natureza, isto é, a paisagem como ambiente. Nesta nova abordagem, segundo ROUGIERIE & BEROUTCHACHVILLI (*op. cit.*), há a descoberta da paisagem como objeto, na qual podem ser realizadas ações de intervenção e de pesquisa científica. Neste momento, no pós-II Guerra Mundial, tem início os primeiros trabalhos em forma de geografia aplicada, cuja base de pesquisa era a paisagem-objeto. Exemplos desta linha de trabalho são os estudos desenvolvidos pelo governo australiano após 1945, com o objetivo de efetuar grandes levantamentos sobre os recursos naturais do norte do país. Para esta finalidade, o CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) desenvolveu métodos de análise e classificação da paisagem em unidades homogêneas.

A ciência da paisagem desenvolvida na União Soviética teve como seu principal mérito os avanços conseguidos no seu conteúdo epistemológico. Como na Austrália, na então URSS a ciência da paisagem origina-se a partir de pesquisas aplicadas ao desenvolvimento econômico de vastas áreas desconhecidas, como era o caso a Sibéria. Estas pesquisas estavam voltadas à busca de melhores alternativas de ocupação territorial.

O início destes estudos baseou-se na idéia do Complexo Territorial Natural (CNT). Foram nestas unidades que se deram as primeiras ações de geografia aplicada, pois a exploração de novas regiões representavam novas fontes de informação e novos laboratórios para experimentação, favorecendo o desenvolvimento de novas tendências metodológicas (ROUGERIE & BEROUTCHACHVILLI, *op.cit.*). A visão sistêmica dos fenômenos favorecia o exercício de reflexões teóricas sobre dois elementos fundamentais dos sistemas naturais: a estrutura e o funcionamento.

No campo da morfologia da paisagem, os estudos desenvolvidos pelos soviéticos resultaram na classificação de diferentes unidades sistêmicas correspondentes a níveis de organização, sobre os quais está fundamentada a estrutura da paisagem. O menor componente desta estrutura é a fácies, também denominada geômero elementar, ou seja, uma unidade que apresenta atributos corológicos, morfológicos e funcionais, onde se verificam trocas de energia e matéria.

SOCHAVA (1978) entende que "deve-se estudar não só os componentes da natureza, mas as conexões entre eles, e não se deve restringir à morfologia da paisagem e às suas subdivisões, mas de preferência projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional e às suas conexões". Nesta

pesquisa, entenderemos a dinâmica com o conjunto de processos hidrológicos que condicionam a formação das cheias.

Cada fácies pode ser considerada como um elemento único, compondo um nível de integração geral, que pode ser compreendido através de uma classificação tipológica de SOCHAVA (*op.cit*). Esta classificação se baseia na taxonomia e na corologia dos complexos territoriais naturais.

Nesta classificação, os geômeros (taxonomia) e os geócoros (corologia) relacionam-se segundo ordens de dimensões, partindo hierarquicamente do planetário ao topológico. As ordens de dimensão, estabelecem as bases para a cartografia das unidades, facilitando os estudos baseados na sua espacialização e integração com outros tipos de dados geográficos.

Em termos metodológicos, a análise físico-geográfica da escola soviética está estruturada sobre o conceito de paisagem-objeto e espacialmente fundamenta-se na concepção do Complexo Territorial Natural, que combinado à ação antrópica vem a formar o geossistema.

O CNT é um sistema geográfico homogêneo caracterizado por uma estrutura horizontal e outra vertical, pelo seu funcionamento e seu comportamento. A unidade básica para o estudo dos processos da paisagem é a geomassa, composta taxonomicamente por tipos, classes, gêneros e espécies, sendo cada um destes níveis designados por iniciais maiúsculas: aeromassa (A), litomassa (L), hidromassa (H), pedomassa (S), fitomassa (F), zoomassa (Z) e necromassa (N). Em cada um destes níveis, os tipos correspondem à especificidades internas, como por exemplo: Hs, água do solo; Fc, floresta caducifolia, e assim por diante.

Remetendo às idéias apresentadas por BEROUTCHACHVILLI & BERTRAND (1978), nota-se que o geossistema é um sistema geográfico natural homogêneo ligado a um território. Estes autores caracterizam-no segundo três elementos: morfologia, funcionamento e comportamento, o que de certa maneira corresponde ao pensamento de SOCHAVA (1963).

A morfologia é definida por estruturas espaciais verticais (geohorizontes) e horizontais (geofácies). O termo geohorizonte designa uma estrutura vertical caracterizada pela sua fisionomia (forma, textura, volume), pela sua massa e energia. Em outras palavras, o geohorizonte é uma repartição espacial de massas. A palavra geofácia representa uma estrutura horizontal interna de um geossistema, que se constitui em um determinado período de tempo em um mosaico de geofácies. Cada geofácia representa uma estrutura específica de geohorizontes, bem como, as relações entre os diferentes horizontes que compõe a geofácia. Esta estrutura, segundo os autores, varia com o tempo.

O funcionamento, engloba o conjunto de transformações relacionadas à energia solar e gravitacional, aos ciclos hidrológico e biogeoquímico, aos movimentos de massa aérea e à geomorfogênese. Quanto ao comportamento, este é entendido através das mudanças de estado que intervém no geossistema em uma determinada seqüência temporal.

Ressaltamos que para o presente trabalho, as transformações que ocorrem ao nível do ciclo hidrológicos são as fundamentais, uma vez que o comportamento espacial e a frequência de cheias é um indicador relevante de sua dinâmica.

De maneira geral, podemos citar seis tipos de processos importantes que ocorrem no âmbito dos geossistemas:

1) transformações de energia solar, onde uma pequena parte é utilizada pela fotossíntese, se considerarmos o balanço térmico e radioativo do geossistema;

2) transformações da energia gravitacional, compreendendo a circulação da água, a queda das folhas e os diferentes processos erosivos ligados a gravidade;

3) o ciclo da água no geossistema (precipitação, evapotranspiração e escoamento) o qual é meta de estudo mais detalhado nesta pesquisa;

4) os ciclos biogeodinâmicos que comandam a transformação quantitativa e qualitativa da matéria;

5) os processos geomorfogenéticos que modificam o relevo e o volume das rochas;

6) os movimentos de massa aérea (ventos, pressão atmosférica, entre outros).

Entendemos que uma unidade de paisagem comporta-se como um geossistema, pois apresenta as mesmas características funcionais e morfológicas inerentes ao conceito de geossistema. A idéia de paisagem, como unidade ambiental, para nós é menos abstrata e mais coerente no que se refere à delimitação espacial de unidades homogêneas. Utilizando este conceito, evitaremos aqui, possíveis dúvidas de caráter epistemológico decorrente do

termo geossistema, sem no entanto ignorar sua importância no estudo dos processos atuantes na paisagem global.

Como deveremos estudar o ciclo da água na unidade ambiental e suas relações com a frequência de valores extremos de vazão fluvial? Ou seja, que forma de abordagem complementar deveremos adotar para atribuir os valores de vazão fluvial a cada unidade mapeada? Acreditamos que as respostas à estas questões estejam no uso do conceito de bacia de drenagem como um sistema processo-resposta.

4.2 - A BACIA DE DRENAGEM COMO UM SISTEMA PROCESSO-RESPOSTA

A bacia de drenagem pode ser considerada como um sistema aberto que recebe continuamente suprimento energético através do clima e das forças endogenéticas, e perde energia através da água e dos sedimentos fluviais. O transporte da água e dos sedimentos ocorre na superfície e sub-superfície das vertentes e canais fluviais, sendo que as perdas ocorrem devido a evapotranspiração, vazão fluvial (escoamento superficial direto) e à carga de sedimentos.

Para CHORLEY & KENNEDY (1971), o sistema fluvial pode ser caracterizado quanto ao seu funcionamento, pelo controle exercido pela magnitude e pela frequência das entradas ("inputs"). Entendem também os autores que mudanças progressivas podem ocorrer na morfologia e no funcionamento do sistema, se ocorrerem também mudanças na entrada ou na estrutura interna do sistema. Em seguida, surge a autoregulação, retorno ou a retroalimentação ("feedback"), no sentido de se atingir um estado de equilíbrio entre as variáveis do sistema.

Um sistema fluvial pode ser abordado de diferentes maneiras, dependendo do intervalo de tempo considerado (SCHUMM 1977). Se adotarmos o intervalo de tempo gradativo ou gradual, estaremos trabalhando com um tempo cíclico de curto período. Nesta perspectiva, o sistema fluvial apresentará um incessante ajuste entre seus componentes, segundo mudanças que ocorrem durante pequenos intervalos de tempo semelhantes a uma série de flutuações em torno de um equilíbrio estável. Um exemplo claro deste tipo de comportamento são as flutuações sazonais em regimes fluviais e as variações no escoamento fluvial durante as cheias, representadas por uma seqüência de curvas hidrógrafas.

Por outro lado, a idéia de bacia de drenagem como um sistema processo-resposta, favorece a visão da estrutura espacial das unidades ambientais, inscrita nos limites da bacia. É o caso do modelo espacial apresentado por SCHUMM (*op. cit.*), para o estudo funcional dos sistemas fluviais. Neste modelo, a bacia de drenagem é decomposta em três partes: *zona I, zona II e zona III.*

A zona I, porção da bacia na qual a água e os sedimentos são liberados, é onde ocorre a produção do escoamento superficial e onde, em termos regionais, a deposição de material é reduzida. Esta zona é de grande interesse para a pesquisa hidrológica de superfície.

A zona II, setor da bacia de drenagem onde predominam os processos ligados à transferência ou o transporte de água e de sedimentos, É objeto de estudo da pesquisa hidráulica e de engenharia de controle de canais fluviais, como também para a pesquisa geomorfológica voltada ao estudo da morfologia dos canais fluviais.

A zona III, área de sedimentação ou de deposição de material, é uma unidade de análise dos estudiosos de geomorfologia costeira, estratigrafia e morfologia de deltas, cones de dejeção e planícies aluviais.

Cada zona acima definida pode ser considerada como um sistema aberto, apresentando um seus próprios atributos morfológicos que estão relacionados às características da vazão fluvial ou ao transporte de sedimentos.

Para o caso da zona I, aquela de interesse direto para o nosso estudo, SCHUMM (*op.cit.*) estabeleceu uma hierarquia de variáveis independentes que são significativas para a compreensão de sua dinâmica. A ordem das variáveis a seguir, reflete um aumento no grau de dependência: tempo, litologia, clima e relevo. Estas variáveis independentes influenciam a evolução da denudação da paisagem e caracterizam o seu comportamento hidrológico.

Quanto às variáveis com maior grau de dependência, podemos relacionar a vegetação, a amplitude do relevo, o escoamento superficial, e a produção de sedimentos, e a morfologia das vertentes.

Estas relações de dependência, no âmbito dos sistemas processo-resposta, nos mostra que ao mesmo tempo em que a litologia, o clima e o relevo determinam as características do escoamento superficial, estas três variáveis são as mais importantes na estruturação espacial das unidades ambientais, principalmente a litologia (litomassa) e clima (aeromassa).

A vegetação e a amplitude do relevo dependem da litologia e do clima, influenciando o escoamento superficial e a produção de sedimentos por unidade de área da bacia. O escoamento em combinação com os solos e a

litologia, gera uma estrutura particular da rede de drenagem (densidade, gradiente e padrão de drenagem), que interfere na morfologia das vertentes (ângulo de inclinação, comprimento e forma do perfil), considerando limites climáticos, litológicos e temporais.

A atuação integrada das variáveis acima relacionadas influenciará fortemente a quantidade de sedimentos e o volume de escoamento superficial produzidos na zona I. As características quantitativas destas variáveis determinam em maior extensão, a morfologia do canal e a natureza dos depósitos que se formam nas zonas II e III.

4.3 - REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES ESPECÍFICAS E ANÁLISE DE FRE- QUÊNCIA DE CHEIAS

O estudo regional da distribuição da frequência de cheias deve se basear na análise de distribuições de probabilidades de ocorrência de valores extremos, a qual consiste de três fases (WILTSHIRE & BERAN, 1986)

- 1) Identificação de uma ou mais regiões homogêneas;
- 2) Seleção de um índice de cheia e a obtenção de equações de regressão, relacionando o índice às variáveis físico-geográficas da bacia;
- 3) Seleção de uma distribuição de frequência regional de cheias para os dados padronizados para cada região homogênea.

O primeiro passo do processo, segundo os autores, é o mais importante, e consiste, segundo WALLIS & WOOD (1985), na identificação de

regiões contendo características similares de freqüência de cheias, apresentando valor pequeno de variância dos indicadores hidrológicos.

O sucesso da identificação de regiões homogêneas, depende de duas condições: do método utilizado para a quantificação da homogeneidade regional e do método utilizado para o agrupamento de bacias hidrológicamente similares em regiões homogêneas.

Estudos realizados por ACREMAM & SINCLAIR (1986) demonstraram que a heterogeneidade das regiões resulta em perda qualitativa das informações, ocasionando erros na estimativa dos parâmetros hidrológicos para as cheias.

Neste sentido, MOSLEY (1981) propôs um método para a identificação de regiões homogêneas utilizando análise de agrupamentos de bacias similares, segundo a vazão média anual específica $Q_{med}/A(m^3/s/km^2)$ e o seu coeficiente de variação (CV). A vazão média anual específica descreve a intensidade espacial da vazão de cheia, enquanto o CV caracteriza a variabilidade interanual deste parâmetro hidrológico.

As bacias cujos postos situam-se próximos entre si, podem ser combinadas para formar grupos, com o objetivo de se analisar freqüências de cheias. O processo de agrupamento pode ser efetuado utilizando-se a distância euclidiana ou outro critério de proximidade. Em seguida, são estabelecidas as curvas de crescimento baseadas na distribuição GEV (Gumbel- Reduced Variate) para cada grupo de bacias (WILTSHIRE, 1986).

Definidos os grupos homogêneos de bacias, o passo seguinte é a estimativa dos parâmetros hidrológicos ponderados para os grupos formados.

Suponhamos que $X(T)$ seja uma cheia pertencente a uma série de T anos a ser estimada para a bacia X . Se o i -ésimo grupo apresenta uma variável estimada de enchente $T(i)$, de T anos, então $X(T)$ pode ser estimado a partir da média ponderada dos M valores de $T(i)$ da seguinte maneira:

$$X(T) = \sum_{i=1}^M P(i) \cdot T(i)$$

Os grupos para os quais a probabilidade a posteriori $P(i)$ de conter X é zero, não contribuem para estimar $X(T)$, enquanto o restante dos grupos, contribuem proporcionalmente em função de seus valores de $P(i)$.

WILTSHIRE e BERAN (*op. cit.*) relatam que uma técnica de estimativa de frequência de cheias deve considerar também os casos de bacias sem dados hidrométricos disponíveis, para que se possa indicar a qual grupo elas pertencem. Neste caso, dados sobre as características físicas da bacia podem ser utilizados para inferir a qual grupo ela venha a pertencer, dado que cada grupo pode ser descrito por um conjunto de valores médios das características físicas.

Consideremos que seja conhecido um conjunto de K dados sobre características físicas de uma bacia de drenagem da qual não se conhece os dados hidrológicos. Neste espaço de dados K -dimensional, esta bacia pode ser representada por um vetor X tendo K elementos. Para se fazer a atribuição de um conjunto de variáveis ambientais de uma bacia X a um dos M grupos

conhecidos, é necessário se conhecer a probabilidade a posteriori ($P(i/X)$) da bacia pertencer a um grupo. Dado que a bacia tem valores de características físicas conhecidas, esta probabilidade $P(i/X)$ é dada pela regra de Bayes:

$$P(i/X) = P(X/i) \cdot P(i) / p(X)$$

M

$$P(X) = \sum_{i=1}^M p(X/i) \cdot p(i)$$

A probabilidade a posteriori permite que a Regra de Decisão de Bayes seja estabelecida com base na função discriminante $D(i/X)$. Por exemplo, se existem 2 grupos, isto é $M=2$, então as regras de decisão são as seguintes:

Regra 1 : a bacia pertence ao grupo 1 se $D_1(X) > D_2(X)$

Regra 2 : a bacia pertence ao grupo 2 se $D_2(X) > D_1(X)$

onde $D_i(X)$ é a função discriminante, dada pela relação:

$$D_i(X) = P(X/i) \cdot P(i)$$

Um dos principais problemas enfrentados pelos pesquisadores que trabalham com dados fluviométricos, são as séries de dados incompletas, isto é, com períodos de falha. Isto impossibilita uma análise sincrônica dos postos referentes às bacias de drenagem, dificultando a interpretação comparativa entre os mesmos para períodos mais longos. Uma das formas de se superar estas

dificuldades é o preenchimento de falhas utilizando uma matriz de correlações lineares entre todos os postos, para períodos simultâneos escolhidos.

LANNA et al. (1983) utilizaram este procedimento para a regionalização de vazões mínimas na bacia do Rio Jacuí, R.S. A base da técnica foi a obtenção do coeficiente de correlação entre todos os postos (inclusive aqueles com séries incompletas), para um período-base com dados disponíveis e comum a todos. Em seguida estes valores foram empregados para a construção de uma matriz de coeficientes de correlação, com os postos posicionados nas linhas e nas colunas, sendo cada elemento desta matriz um valor de coeficiente de correlação linear. Os autores estabeleceram os seguintes critérios para o preenchimento de falhas :

- a) escolha do posto que apresente o maior coeficiente de correlação com o posto onde devem ser preenchidas as falhas;
- b) escolha do posto cuja a regressão com o posto com falhas, tenha o menor erro padrão;
- c) escolha do posto com maior proximidade geográfica a aquele a ter falhas a serem preenchidas.

Efetuada este procedimento, é definida a equação de preenchimento de falhas, que tem a seguinte estrutura:

$$Q(j,t) = A.Q(i,t) + B + E\varepsilon$$

onde : $Q(j,t)$ - estimativa da vazão máxima anual mensal no posto j , no ano t ;

$Q(i,t)$ - vazão máxima no posto i , correlacionado com o posto j , no ano t ;

A, B - parâmetros da equação de regressão;

E - erro padrão da regressão;

ε - variável aleatória independente com $\mu = 0$ e $\gamma^2 = 1$

Muitas vezes, é necessário a ampliação do número de bacias ou de postos fluviométricos para se efetuar a regionalização. Neste caso, pode-se obter dados de vazão fluvial a partir da análise de regressão entre as características físico-geográficas das bacias e os valores de vazão fluvial, utilizando-se o seguinte procedimento (TUCCI et al. , 1983):

- 1) Análise dos dados fluviométricos básicos com séries de no mínimo 10 anos;
- 2) Determinação das equações de regressão entre estas séries;
- 3) Análise de freqüência;
- 4) Mapeamento das vazões normalizadas (índice de cheias).

Estes mesmos autores obtiveram valores de parâmetros hidrológicos para bacias de drenagem sem dados disponíveis, a partir da análise da correlação entre as características físicas das bacias e a vazão média anual. Para tanto, consideraram as seguintes características físicas das bacias: área,

comprimento do rio principal, gradiente do rio principal, densidade de rios, precipitação média anual, precipitação média do semestre mais chuvoso.

5 - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

5.1 - CONCEITOS BÁSICOS

Devido a disponibilidade de um conjunto de ferramentas universais para a manipulação de dados espaciais, os sistemas de informação geográfica têm sido utilizados por uma grande variedade de disciplinas técnicas e acadêmicas (BURROUGH & FRANK, 1995)

Nos últimos 20 anos, tem se verificado um rápido crescimento nos campos teóricos e tecnológicos dos sistemas de informação geográfica. Neste período, os SIGs passaram por três fases sequenciais: a primeira, quando o uso destes sistemas era de domínio acadêmico, restrito aos grupos de pesquisa universitários e em uma segunda fase, os SIGs tiveram maior crescimento ao nível institucional privado, utilizados principalmente por empresas. Atualmente, estamos ingressando na fase do domínio do usuário, sendo os SIGs manipulados em grande parte individualmente, pelos consumidores e pesquisadores ligados às ciências ambientais.

Os SIGs apresentam como um conjunto de funções de amplas aplicações espaciais, voltadas para a integração de dados, que agrupam idéias desenvolvidas em diferentes áreas, tais como na agricultura, botânica, computação, economia, matemática, fotogrametria, cartografia e principalmente na geografia.

A literatura tem mostrado a existência de inúmeras definições sobre sistemas de informação geográfica. SMITH et al. (1987) entende SIG como um sistema de base de dados, no qual a maioria dos dados são espacialmente indexados, e sobre os quais atuam um conjunto de procedimentos voltados a obtenção de respostas à questões geográficas previamente formuladas.

Já para OZEMOY et al. (1981), um SIG é um conjunto de funções automatizadas que auxiliam os pesquisadores com a sua capacidade avançada para armazenar, acessar, manipular e apresentar dados espaciais. Segundo COWEN (1988), os SIG é um sistema de suporte para decisões, aplicado à integração de dados espacialmente referenciados com a finalidade de solucionar problemas ambientais.

Em um sistema de informação geográfica, a realidade é representada como uma série de características geográficas definidas segundo a associação entre *dados geográficos* (referência espacial), e *atributos* (dados estatísticos ou não locacionais).

Em termos conceituais e metodológicos, um SIG pode ser visto de três maneiras: como *processamento de mapas*, *base de dados* e *análise espacial*. A visão de mapa, enfoca os aspectos cartográficos e entende o SIG como sistema de apresentação e processamento de mapas temáticos. Cada conjunto de dados é representado como um mapa, (chamado também de "*layer*" ou *tema*). Estes mapas são usualmente manipulados no formato raster e processados por funções de adição, subtração ou de procura de padrões. A saída resultante destas operações é um outro mapa (MAGUIRE, 1991).

A abordagem de base de dados, que predomina entre os pesquisadores com sólida formação em ciência da computação, baseia-se principalmente na manipulação de dados digitais na forma de registros. O terceiro ponto de vista, que enfatiza a análise espacial, preocupa-se com a análise e modelagem de dados geográficos. Nesta visão, o SIG é visto muito mais como uma ciência da informação espacial do que como uma tecnologia.

A utilização prática dos sistemas de informação geográfica, baseia-se no emprego de *questões básicas* que são utilizadas para a obtenção de respostas (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 - Operações espaciais e questões básicas correlatas utilizadas em SIG (Fonte: MAGUIRE, 1991).

	OPERAÇÃO	QUESTÃO BÁSICA
1	LOCALIZAÇÃO	O que há em...?
2	CONDIÇÃO	Onde está ...?
3	TENDÊNCIA	O que tem mudado...?
4	ROTAS	Qual o melhor caminho..?
5	PADRÃO	Qual é o padrão...?
6	MODELAGEM	O que acontece se...?

Segundo MAGUIRE (1991), as questões sobre *localização*, envolvem perguntas efetuadas à base de dados para se determinar os tipos de características que ocorrem em um local. As questões de *condição*, ao contrário, envolvem a identificação de locais que têm determinadas características pré-definidas. Já as questões que envolvem *tendência*, englobam o monitoramento das mudanças espaciais e temporais dos objetos.

Ainda segundo o mesmo autor, as questões sobre *rotas* ou distâncias, realizam cálculos de melhores escolhas de proximidade entre dois ou

mais locais. Sobre *padrões*, obtêm-se respostas que permitem a descrição e a comparação de fenômenos ou processos que influenciam a distribuição destes padrões espaciais. O último tipo de questão é a relacionada à modelagem preditiva, que utiliza funções para a simulação de situações futuras.

A maioria dos softwares têm centenas de comandos e uma ampla variedade de funções. ARANOFF (1989) afirma que existem dois tipos de desenhos de software para SIGs mais utilizados: aqueles baseados em processamento de arquivos e os híbridos. Nos SIGs cujo desenho de software está estruturado para processamento de arquivos, os "layers" e as funções são armazenados como arquivos separados e são interligados através da utilização de operações analíticas. É o caso do IDRISI (EASTMAN, 1992).

Nos SIGs do tipo híbrido, os atributos são armazenados em banco de dados e um software à parte é utilizado para o tratamento dos dados geográficos. Neste caso, o SIG é do tipo georelacional, podendo-se citar como exemplo o ARC-INFO (MOREHOUSE, 1989).

5.2 - O SISTEMA *IDRISI*®

O IDRISI é um conjunto de mais de 100 programas desenvolvidos para IBM-PCs, pela Clark University (EUA), que atuam sobre uma base de dados geográficos. Este conjunto de programas está organizado em 5 módulos para aplicações específicas: PRINCIPAL, ANÁLISE GEOGRÁFICA, PROCESSAMENTO DE IMAGENS, ANÁLISE ESTATÍSTICA e PERIFÉRICOS. Seguem abaixo as principais características destes módulos.

O Módulo Principal se constitui em uma associação de funções voltadas para a operação do sistema, a entrada de dados e o gerenciamento da

base de dados espaciais e a apresentação de mapas ou imagens na tela do monitor de trabalho.

O Módulo de Análise Geográfica agrupa as funções para análise da base de dados. Dentre as principais situam-se a Álgebra de Mapas (combinações entre mapas segundo equações algébricas e operações booleanas)*, Consulta à Informações da Base de Dados através de questões previamente formuladas, Operadores de Distância** e Operadores de Contexto***.

No Módulo de Processamento de Imagens estão disponíveis técnicas para análise e interpretação de imagens de sensores remotos e sua conversão em mapas interpretados ou "layers". Aqui é possível transformar os dados de imagens brutas em dados temáticos, através de operações de classificação supervisionada e não supervisionada, filtragens, manipulação de contraste, análise de clusters, entre outros.

No Módulo de Análise Estatística encontram-se uma série de aplicativos voltados para a caracterização estatística de informações espaciais e não espaciais relacionadas à base de dados rasterizados. Encontram-se aqui desde programas para análise estatística simples até algumas funções de estatística espacial entre mapas.

Quanto ao Módulo Periféricos, pode-se dizer que o mesmo dispõe de uma série de utilitários e rotinas para importação e exportação de dados, dos mais diferentes tipos de SIGs (ERDAS, MAP, ARC-INFO, etc), rotinas para leituras e criação de arquivos de dados associados com formatos de arquivos de

* Operações entre mapas realizadas segundo regras condicionais tais como AND (união), OR (intersecção), NOT (exclusão), entre outras.

** Funções de análise de proximidade em relação ao pixel ou quadrícula..

*** Funções de transformação de valores de pixels em função de valores de pixels vizinhos.

dados geográficos e formatos específicos associados com outras ferramentas de análise geográfica.

Apresentaremos a seguir as funções do sistema que são utilizadas para o desenvolvimento da presente pesquisa.

ENVIRON. Esta função é utilizada para indicar o drive e o diretório nos quais os arquivos de dados de uma área podem ser encontrados. Por outro lado, é também utilizado para especificar uma variedade de outros aspectos do ambiente de trabalho, incluindo convenções para extensões de arquivos de dados, unidades de medida, cores da tela, entre outros.

LIST. Lista todos os arquivos rasterizados, vetoriais e arquivos de valores de atributos. Por outro lado, a função **MAINT** pode ser utilizada para apagar, copiar ou renomear qualquer dos tipos de arquivos do IDRISI. A função **CONVERT** possibilita a conversão entre formato de arquivos de dados (ASCII, Binário e Binário Compactado) do tipo mapa. O **CONVERT V**, por sua vez, executa as mesmas tarefas para o caso de arquivos vetoriais.

COLOR. É a mais importante função de apresentação de arquivos mapa e vetor na tela do monitor. Esta função propicia a apresentação de imagens rasterizadas, vetores e ambos os arquivos superpostos. A função **ORTHO** produz uma perspectiva ortogonal tridimensional de uma superfície (modelo digital de elevação), com opções de sobreposição de um mapa a um modelo digital.

PLOT. Produz uma saída de arquivos rasterizados em plotters e **PAINT** produz uma saída de arquivos mapa, em cores, para plotters e impressoras "inkjets".

Uma das maneiras mais adequadas para a entrada de dados é a digitalização dos atributos geográficos através de uma mesa digitalizadora e, em seguida, se necessário, a sua conversão para o formato raster.

A mesa digitalizadora armazena as posições dos pontos em um sistema de coordenadas planas do tipo X,Y. Os atributos geográficos são identificados por pontos, linhas e polígonos. Estes atributos são posteriormente convertidos para o formato raster utilizando-se respectivamente as funções POINTRAS, LINERAS e POLYRAS*.

Outra forma de entrada de dados no IDRISI é a interpolação de mapa a partir de pontos isolados. Para isto utiliza-se a função INTERPOL que gera um arquivo mapa utilizando como fonte um arquivo vetorial em forma de pontos. A superfície é interpolada com base no modelo potencial ou pela distância média ponderada.*

Pode-se também interpolar um mapa utilizando-se a função INTERCON que gera um modelo digital de elevação (DEM) a partir de linhas digitalizadas. Para a perfeita utilização desta função, o arquivo vetorial do tipo linha deve ser rasterizado anteriormente.

Um dos operadores analíticos mais importantes de um SIG é a consulta a base de dados. Dada uma base de dados espaciais, o "*database query*" tem duas orientações: consulta espacial (*spatial query*), ou seja, o que encontramos neste local ?; e a consulta aos atributos (*attribute query*), ou seja: que locais apresentam estes atributos ?

* POINTRAS - Converte pontos no formato vetorial, para o formato raster.

LINERAS - Converte linhas no formato vetorial, para o formato raster.

** POLYRAS - Converte polígonos no formato vetorial, para o formato raster.

É o caso de quando se quer construir mapas isopléticos a partir de valores aleatórios e isolados, ou visualizá-los em três dimensões.

A consulta espacial permite obter informações sobre uma classe de um mapa através do posicionamento do cursor sobre a tela do monitor. Pode-se então mover o cursor sobre a tela via mouse e saber sobre os valores dos dados em cada célula. Uma outra maneira é a rotina PROFILE que informa sobre os valores relativos de um mapa, através de uma traçada com o mouse sobre o mapa raster, obtendo-se assim um perfil bidimensional dos dados.

A função QUERY permite a extração de atributos para um conjunto definido unidades, como uma simples tabela de dados ou até um arquivo de valores de atributos. Para se ter acesso aos valores dos dados de uma região específica da mapa, utiliza-se o VIEW, que imprime tais valores referentes a uma sub-mapa.

RECLASS produz um novo mapa através da reclassificação de um dado mapa. Neste caso, pode-se isolar uma classe, agrupar classes, alterar legendas, entre outros. O OVERLAY é útil quando se deseja obter informações sobre mais de um atributo.

Uma aplicação importante do módulo OVERLAY é a realização de análises baseadas em lógica booleana. Os operadores booleanos utilizados são o AND (união), OR (intersecção) e NOT (negação), entre outros. Por exemplo, a função MULTIPLY aplicada em imagens binárias, produz um operador booleano AND. É uma função muito especial, pois pode ser aplicada em casos onde se tenha um mapa do tipo DEM (Digital Elevation Model) e um mapa relativa a área de drenagem de uma bacia hidrográfica e se pretende criar um mapa com os limites da bacia e o conteúdo da mapa DEM. Neste caso, usando o MULTIPLY produz-se um mapa onde as áreas externas à bacia assumem valores iguais a zero, ou seja, são apagadas, restando apenas as informações internas à bacia.

Os operadores de contexto são conhecidos como operadores locais ou de vizinhança. Com o uso de operadores de contexto, a cada pixel é atribuído um valor baseado em seu valor original mais os oito valores de pixel vizinhos. Um dos operadores de contexto mais utilizados é o módulo SURFACE. Com este módulo tanto o gradiente (declive) como a orientação de uma superfície de pixels pode ser determinada a partir de um mapa de altitude do terreno.

O SURFACE produz o gradiente de um pixel com base na análise seletiva das altitudes de oito pixels vizinhos mais próximos, bem como a direção do maior declive (orientação ou exposição da superfície) expressa em azimute. Por outro lado, SURFACE possibilita a criação de imagens de iluminação do relevo (sombreados) com base no gradiente e na exposição da superfície.

A função WATRSBED calcula todos os pixels que pertencem a uma bacia hidrográfica, a partir de um ou mais pixels-alvo. Este processo é feito através da extensão dos pixels-alvo (os que definem as linhas de drenagem, por exemplo) para os pixels vizinhos que tem declive capaz de permitir que a água escoe para eles. O processamento é estendido até ser atingido os divisores da bacia.

Quanto às funções estatísticas, o IDRISI, apresenta aquelas de maior utilidade na análise entre mapas temáticos. A função HISTO produz um histograma de frequência de valores de pixels e calcula a média, o desvio padrão e a amplitude dos dados para um mapa. O módulo possibilita a saída em forma gráfica ou numérica.

EXTRACT extrai um sumário de dados estatísticos descritivos para polígonos ou classes temáticas específicas. As classes estão descritas em um mapa conhecido como arquivo de definição geográfica, o qual contém

identificadores das classes. Este módulo proporciona a saída dos resultados em tabelas ou em forma de um arquivo de valores de atributos. O sumário estatístico inclui mínimo, máximo, total, média, amplitude, desvio padrão total e amostra.

Já o módulo REGRES possibilita a análise estatística entre dois mapas ou imagens ou entre dois arquivos de valores. A saída consiste de um gráfico de correlação e uma tabela-resumo da equação de regressão, do coeficiente de correlação e vários testes de significância. Este módulo também pode ser aplicado à interpolação. Muitas vezes temos dados somente para alguns pontos isolados e queremos interpolar uma superfície completa. É a situação quando sabemos que uma variável que queremos interpolar apresente uma alta correlação com outra variável para qual temos um mapa completo com valores em todos os pixels. Uma das formas de se utilizar o REGRESS é explorar as relações entre pares de valores de duas variáveis estabelecidas por arquivos de valores (tabela). Encontrada a equação de regressão entre as duas variáveis, pode-se utilizá-la com a função SCALAR para produzir uma superfície completa de dados.

O CROSSTAB é uma outra técnica comparativa, mas aplicada a dados qualitativos (enquanto o REGRESS é para os dados quantitativos). O tipo de dado mais importante produzido por CROSSTAB é tabulação cruzada, a qual lista com que frequência cada combinação de categorias ocorreu entre dois mapas.

O módulo RANDOM é útil em estudos de simulação. Ele cria um novo mapa com valores aleatórios que resgatam informações tanto sobre a distribuição retilinear como de uma distribuição normal, com média e desvio padrão especificados pelo usuário. Este aplicativo pode ser utilizado para

produzir uma superfície de probabilidades para se determinar a ocorrência de certos eventos.

A função de estatística espacial de maior uso é o TREND. Esta rotina é o equivalente espacial do REGRESS, e calcula as relações entre um mapa e os eixos X/Y da própria mapa, utilizando equações polinomiais de regressão. O TREND é na maioria das vezes utilizado para determinar uma tendência espacial significativa que pode ser encontrada em valores de atributos de um mapa. Também pode ser empregado para interpolar uma superfície, a partir de uma relação de tendência espacial determinada.

A função CENTER calcula o centro médio (ponderado ou não ponderado) para um conjunto de pontos e seus raios padrão. O centro médio pode ser considerado como o centro de gravidade de um conjunto de pontos, enquanto o raio padrão é diretamente análogo ao desvio padrão para dados não espaciais. Pode ser utilizado como medida de dispersão de pontos para uma localização mais provável.

O IDRISI® possui inúmeras outras funções de processamento espacial e de tratamento de imagens orbitais não mencionadas aqui. Discutimos aqui apenas aquelas mais úteis na análise geográfica de variáveis ambientais.

5.3 - POTENCIAL E LIMITAÇÕES DO SIG *IDRISI*® NA ANÁLISE ESPACIAL INTEGRADA

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram frutos de diferentes experimentos realizados no âmbito das funções de processamento espacial disponíveis no Sistema de Informação Geográfica *IDRISI*.

O SIG utilizado para se atingir os objetivos desejados, apresenta quase uma centena de funções de análise espacial, que contemplam basicamente todas as necessidades exigidas pelas pesquisas geográficas contemporâneas. Inclui até técnicas de *Fuzzy* e de tomadas de decisão envolvendo diferentes níveis de informação (*Decision Making Analysis*).

Não é preocupação nossa efetuar análises de desempenho ou comparações entre sistemas de informação geográfica (uma vez que acreditamos não seja este um pressuposto da ciência geográfica, embora estejamos nos acostumando a ver geógrafos contentando-se em fazer o SIG pelo SIG).

Teceremos aqui, sim, as potencialidades e as restrições que devem ser feitas quando se utiliza de funções de geoprocessamento para a solução de problemas de natureza geográfica em escala global. As conclusões e recomendações a seguir, foram fundamentadas em um estudo realizado em base de dados ambientais espacialmente representativa e em um satisfatório conjunto de mapas temáticos geocodificados.

Todo o estudo cuja análise espacial é realizada com base em funções de geoprocessamento (não são todos os estudos espaciais que dependem destas funções), se deparam inicialmente com o já reconhecido

problema da entrada de dados mapeados nos SIGs: mesa digitalizadora ou scanners? Muitas vezes, nesta fase é que muitos trabalhos terminam, dada a problemática encontrada na conversão dos dados analógicos para o formato digital.

Obviamente não há o que se decidir: a "scanerização" é sem sombra de dúvidas a técnica mais precisa e menos tediosa de se introduzir dados mapeados em bases digitais. Porém, a opção não é tão simples assim, pois o geógrafo se verá diante de duas questões importantes: o custo de um Scanner de resolução cartográfica e da necessidade a posteriori da vetorização do mapa scanerizado. A vetorização é de certa forma complexa e necessita de softwares específicos cuja manipulação exige treinamento adequado.

Por outro lado, muitas vezes a vetorização pode gerar erros de difícil restituição, principalmente quando se trabalha com mapas contendo polígonos muito pequenos e irregulares, como no caso de manchas de florestas situadas em pequenas encostas, ou unidades pedológicas situadas em áreas fortemente escarpadas, representadas em escalas globais.

Embora trabalhosa, a digitalização via mesa mostrou-se eficaz, mesmo no caso de polígonos pequenos, relativos às unidades do mapa geológico. Na entrada dos mapas temáticos referentes às variáveis climáticas, sugere-se que se utilize o formato isoplético, ao contrário do coroplético. A utilização de mapas digitais estruturados em isolinhas, possibilita a geração de superfícies interpoladas estatisticamente (modelos digitais), que podem ser classificadas em categorias com intervalos definidos a partir de distribuição de freqüência.

Outra questão fundamental na construção da base de dados digitais, é o processo de conversão do formato vetorial para o raster. Nesta etapa, o elemento mais importante é a definição da resolução espacial da grade. Nos estudos globais, a resolução de 1 km² é satisfatória, o que corresponderia a 1mm² em uma carta 1:1.000.000. Esta precisão é adequada para a interação de mapas com dados orbitais de sensores de média resolução, adequados à análise da dinâmica da paisagem em escala regional.

Em virtude da grande quantidade de variáveis empregadas em estudos globais visando a identificação de unidades homogêneas, a redução deste número para um grupo menor é inevitável. Quanto a isso, a análise de principais componentes (APC) mostrou-se consistente. Deve-se ressaltar que no caso do *Idrisi*, a APC é uma função do módulo de tratamento de imagens, e por isto, os mapas devem estar no formato *byte/binário*, para serem processados como imagens orbitais.

No entanto, esta exigência obriga que os mapas resultantes de superfícies interpoladas estejam categorizados, no formato coroplético. Atenção deve ser dada ao fato de que todos os mapas envolvidos na APC necessitam estar com igual número de categorias. No nosso caso, as variáveis climáticas foram classificadas em um número de intervalos idêntico ao do mapa geológico.

Se o procedimento a seguir no mapeamento das unidades homogêneas, for a análise de agrupamentos, algumas questões deverão ser vistas com cuidado. O *Idrisi* trabalha com o algoritmo da distância euclidiana, e apresenta três opções para o corte ou a formação dos grupos: retém todos os grupos, retém somente os grupos representativos (> 1 % da área total) ou

permite que o usuário defina aleatoriamente o número de grupos a serem mapeados.

A escolha dos mais representativos sempre dá melhores resultados, desde que acompanhados com informações espaciais paralelas, como um mapa geomorfológico, geológico ou hipsométrico. Este acompanhamento facilitará a identificação de unidades geograficamente desprezíveis, ou seja polígonos que têm pouco significado espacial no âmbito da realidade geográfica do território estudado.

Estes polígonos ou "ruídos" da classificação surgem, entre outros fatores, devido às condições estipuladas pelo sistema para se realizar a APC, isto é, a pré-classificação dos mapas em igual número de categorias. Obtido o mapa das unidades homogêneas, optando-se pelos grupos mais significantes, é de bom senso realizar uma filtragem eliminando estes ruídos. Isto conduz à uma melhor definição espacial das unidades, ao mesmo tempo em que provoca perda de informação nas suas bordas.

Nesta pesquisa, utilizamos a álgebra booleana para a superposição da hipsometria às unidades homogêneas. Este procedimento resultou na subdivisão daquelas unidades, em unidades menores definidas pela altitude. Sabe-se que a álgebra booleana é uma técnica que apresenta como restrição o fato de excluir os valores de atributos que estão imediatamente próximos, mas fora dos limites da classe.

Por exemplo, pode-se categorizar um mapa de precipitação, por exemplo, em duas classes: baixa e alta. Se decidirmos que a precipitação acima de 1400 mm é alta, isto não significa que 1399 mm não seja também alta. Para a

minimização desta rigidez da álgebra booleana, deve-se então utilizar a classificação contínua, através da técnica *Fuzzy*

A utilização desta técnica, faz com que os limites fixos das classes booleanas sejam transformados em zonas de transição gradual, flexibilizando os valores-limites destas classes discretas. A classificação contínua baseia-se em uma função de probabilidade com valores entre 0 e 1, definida para cada intervalo de classe. Esta função avalia a possibilidade de um valor particular pertencer a uma dada classe.

Por exemplo, o valor 1250 mm pode ter uma probabilidade de 0.25, enquanto 1400 mm uma probabilidade de 0.89. Empregamos a classificação contínua para todos os mapas derivados de interpolação, tais como a hipsometria, a precipitação, a evapotranspiração, radiação solar e probabilidade de ocorrência de geadas.

Uma vez que a combinação das variáveis espaciais foi elaborada envolvendo mapas com categorias previamente transformadas pela função *Fuzzy*, deve-se entender portanto que as unidades ambientais não têm limites espaciais rígidos como sugere o mapa, mas gradualmente contínuos.

Esta característica do processamento espacial utilizado, se por um lado elimina o problema das classes discretas da lógica booleana, por outro, não torna evidente as relações de vizinhança entre as unidades ambientais, devido à imprecisão dos limites.

No entanto, não nos parece tão fundamental, ao nível global, a precisão linear dos limites, mas sim das áreas de ocorrência mais provável de cada unidade. Os limites mais rígidos devem ser estabelecidos em uma escala

de abordagem hierarquicamente inferior, possivelmente em escalas da ordem de 1:250.000 ou 1:100.000, onde a vegetação será o nível de informação classificatório de maior peso.

Devemos relatar que as operação de consulta espacial de dados, (função *Query*), utilizada para a amostragem dos valores de $Q_{med/A}$ e de $P(X>3,0)$ para cada unidade ambiental, como também dos parâmetros ambientais das regiões hidrológicas, tem amplas aplicações em geoprocessamento ao nível global.

A aplicação desta função produz como saída a distribuição de frequência e o sumário estatístico dos dados consultados dentro de um determinado polígono ou classe. Deste sumário pode-se utilizar tanto a média como o desvio padrão, seja para análise absoluta de uma unidade (ambiental, bacia hidrográfica ou administrativa) ou para efeitos comparativos e classificatórios. Neste segundo caso, sugerimos que se utilize tanto a média como o desvio padrão, pois este último parâmetro informará sobre a variabilidade interna de uma unidade, que muitas vezes pode lhe conferir um atributo especial quando comparada às demais (como por exemplo, amplitude altimétrica, amplitude de vazões extremas ou de precipitação, entre outros).

Ressalvas devem ser feitas para o caso de análise comparativa entre unidades com grande diferença em relação à área. Nesta situação, teremos populações amostrais de pixels por polígono bem diferentes entre si, o que interferirá principalmente nos valores da média. Quando ocorrer estes casos, é interessante se utilizar uma consulta booleana, através do "overlay" entre o polígono que se que fazer a amostragem e o mapa de onde serão obtidos os valores.

Aqui, sugere-se o uso da função *Crosstab*, que produzirá como saída, além do mapa de sobreposição, a tabulação cruzada entre o aquele polígono e as classes do mapa onde está sendo feita a leitura. Esta tabela apresentará o percentual de sobreposição entre a unidade amostrada e os intervalos de classe do mapa-fonte dos dados. Em seguida, é importante se contruir histogramas de barras para a visualização da interação entre mapas, ou análise de regressão, a depender do tipo de dado mapeado.

O IDRISI® apresenta como principal limitação, o módulo de saída gráfica, não dispondo de um sub-sistema completo para impressão direta de mapas ou gráficos. No entanto, proporciona soluções de exportação de dados para outros softwares de tratamento gráfico e fotográfico (*Corel Draw!®*, *Adobe Photoshop®*, entre outros), onde os mapas poderão ser manipulados e editados em sua versão gráfica final.

6 - METODOLOGIA, TÉCNICAS E MATERIAL

6.1 - IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES AMBIENTAIS

O presente estudo apoia-se no pressuposto básico de que os espaços regionais estão organizados em unidades homogêneas denominadas de paisagens.

A paisagem, segundo este ponto de vista global, apresenta conforme DEMECK (1978), as seguintes características: diversos tipos de energia livre; uma grande variedade de geomassas estruturadas em níveis ou horizontes e a presença de atividades sociais.

Para este autor, a esfera da paisagem consiste, em termos estruturais, em um conjunto de componentes que exibem entre si relações claras e operam ou funcionam como um todo complexo e holístico, representando um sistema aberto de dimensões planetárias.

Com base nestas características, entendemos uma unidade ambiental como um geossistema, utilizando portanto a definição de SOCHAVA (*op.cit.*), que concebe a esfera da paisagem como um sistema composto de seus subsistemas integrados. Acreditamos também que morfologicamente, a unidade ambiental apresenta níveis de organização vertical e horizontal, sobre os quais estrutura-se um geossistema.

Tais níveis relacionam-se hierarquicamente segundo ordens de dimensões espaciais, cujo nível superior é o planetário ou continental e o inferior é o topológico ou local. Esta estrutura torna a unidade ambiental subdivisível em escalas menores, compatíveis com representações cartográficas temáticas, de acordo com o nível hierárquico considerado.

A escolha da unidade ambiental como unidade físico-geográfica de abordagem global, também se fundamenta no fato de que a sua definição traz consigo não apenas o elemento morfológico e estrutural, mas também contempla o funcionamento e o comportamento das unidades homogêneas da superfície terrestre. Compreendemos que as definições de BEROUTCHACHVILLI & BETRAND (*op.cit.*) tornam claros os conteúdos destes elementos, as quais utilizamos para delinear uma parte da metodologia deste trabalho de pesquisa.

Para os autores, a paisagem apresenta uma morfologia baseada em estruturas espaciais verticais, denominadas geohorizontes, e horizontais, denominadas geofácies. Apresenta também um funcionamento caracterizado por transformações relacionadas a energia solar, à gravitacional e ao ciclo hidrológico. Quanto ao seu funcionamento, os autores entendem que a paisagem é dinâmica, apresentando estados que alteram-se em função do tempo ou da escala temporal considerada.

Neste estudo, entendemos um geohorizonte como uma *variável ambiental espacializada* e uma geofácia, como *unidade ambiental* significando respectivamente:

variável ambiental espacializada: Um elemento de uma estrutura vertical, representando um nível ou "layer", correspondente à uma característica física do território, tal como: litologia, vegetação (natural e cultural), relevo e clima.

unidade ambiental: Um elemento de uma estrutura horizontal, que representa uma associação espacial de variáveis ambientais integradas, passíveis de representação cartográfica em escala global.

No que se refere à dinâmica, neste estudo é dada atenção exclusiva aos processos ligados ao ciclo da água, em escala regional, dentro das unidades ambientais, tais como precipitação, evapotranspiração e escoamento fluvial. Desta maneira, analisamos com maior destaque o escoamento fluvial, baseado na distribuição dos valores máximos e médios de vazão fluvial por quilômetro quadrado, e suas relações de coincidência espacial com os limites das unidades.

Adotando este procedimento, buscamos comparar as unidades entre si, segundo as variáveis ambientais que as definem, e segundo a regionalização da freqüência de valores extremos de escoamento fluvial.

Nesta perspectiva, a metodologia vai de encontro à idéia de sistema fluvial como um sistema processo-resposta, que pode ser considerado um sistema aberto recebendo continuamente suprimento energético através do clima e transformando-o em escoamento fluvial e transporte de sedimentos (GREGORY & WALLING, *op.cit.*).

Para tanto, assume-se que cada unidade físico-geográfica que define uma unidade ambiental, pode ser estudada no âmbito da dinâmica hidrológica, através de bacias de drenagem amostrais, para as quais se tem dados fluviométricos disponíveis ou estimados através de regressão.

A estrutura do sistema fluvial aqui considerada é a proposta por SCHUMM (*op.cit.*), que o subdivide em três zonas distintas, mas interdependentes. A zona de interesse deste trabalho é a I, ou seja, a área do sistema fluvial onde a água e os sedimentos são liberados, isto é, onde há a produção do escoamento superficial que determinará a intensidade e a freqüência das vazões fluviais. Ressalta-se no entanto que os processos

relacionados ao escoamento são estudados com base em valores de parâmetros hidrológicos estimados a partir de medidas efetuadas na zona II das bacias de drenagem, ou seja, nos canais fluviais.

Considera-se também que na zona I dos sistemas de drenagem, a dinâmica hidrológica é controlada por um conjunto de variáveis independentes ou causais, tais como relevo, litologia, clima e tempo, que influenciam outras variáveis, as dependentes, entre elas a vegetação, os solos, a morfologia das vertentes e a hidrologia.

As variáveis ambientais apresentam associações recíprocas específicas que resultam em unidades homogêneas circunscritas inteira ou parcialmente à bacias de drenagem. Estas unidades integradas ao sistema processo-resposta são aqui consideradas como fundamentais na geração do escoamento fluvial e na caracterização do ciclo hidrológico nas unidades.

No tocante ao seu comportamento, consideramos a idéia de que uma unidade ambiental é controlada pela magnitude e freqüência de entradas de matéria e energia e apresenta uma autoregulação baseada na retroalimentação, resultando em um estado de equilíbrio entre as variáveis, que dependerá da escala temporal adotada.

A escala temporal utilizada para a análise do escoamento fluvial é o tempo gradual, aceitando-se que o sistema apresenta mudanças em um tempo cíclico de curto período, semelhante à uma série de flutuações em torno de um equilíbrio estável (SCHUMM, *op.cit.*). É o caso das séries de vazões fluviais mensais e anuais.

Consideramos também para a análise das unidades, no que se refere à vazão média específica das bacias, séries temporais mínimas de 10 anos. Este período, é composto de séries de vazões fluviais máximas e médias, relativas a postos fluviométricos escolhidos com base em amostragem aleatória e não estratificada.

Devemos ressaltar que a amostragem obedeceu também procedimentos não aleatórios, uma vez que se buscou não escolher postos situados em bacias hidrográficas de grande porte, tais como bacia do Rio Tietê, Rio Grande ou Paranapanema. Isto porque, a escolha destes postos, nos levaria a uma análise hidrológica de grandes extensões do território, provocando erros de generalização e uso de valores hidrológicos de postos fluviométricos com áreas de drenagem superpostas. Além, por outro lado, de acarretar uma diminuição no número de bacias amostrais e maior irregularidade na distribuição dos postos amostrais.

O estudo do comportamento hidrológico das bacias de drenagem é realizado tomando-se como base duas variáveis: vazão máxima anual específica (Q_{max}/A), vazão média anual específica (Q_{med}/A). As vazões específicas são definidas como vazões observadas em um dado intervalo de tempo, divididas pela área da bacia de drenagem, apresentando como unidade de medida o $m^3/s/km^2$.

A vazão máxima anual é escolhida como a vazão máxima mensal de maior valor verificada em cada ano da série temporal de um determinado posto fluviométrico. As séries de dados de Q_{max}/A foram utilizadas para se obter a probabilidade de ocorrência de valores extremos de cheias, designada de $P(X>3,0)$.

Devido aos problemas geralmente encontrados quando se trabalha com séries de dados fluviométricos, ou seja, a presença de períodos de falhas (com séries de 8 ou 9 anos), utilizamos a técnica de preenchimento de séries incompletas baseada na construção de uma matriz de correlações lineares entre alguns postos, considerando-se períodos simultâneos de observação (LANNA et al. (1983). Este procedimento possibilita um estudo sincrônico entre as bacias de drenagem, favorecendo uma interpretação comparativa para períodos mais longos.

O estudo estatístico das séries de dados fluviométricos foi desenvolvido apoiando-se na análise de freqüência de valores máximos e médios anuais de vazão fluvial específica. As curvas foram construídas segundo amostras aleatórias de n elementos (valores de variáveis hidrológicas) obtidos em um período amostral de N anos. As n amostras de cada posto são caracterizadas por k parâmetros estatísticos. Os parâmetros considerados são a média (X), o desvio padrão (S), o coeficiente de assimetria (C_s) e o coeficiente de variação (C_v), (RIGGS, 1968).

A regionalização dos valores de Q_{max}/A , ou seja, a formação dos grupos de bacias hidrográficas similares do ponto de vista do escoamento superficial máximo e médio, foi obtida através do tratamento estatístico no software SYSTAT (WILKINSON, 1986). Primeiramente efetuou-se a análise da distância euclidiana entre os valores de Q_{med}/A construindo-se o dendograma. Em seguida, através do algoritmo da *média K*, foram definidos os grupos de bacias cuja distância ao valor médio do grupo fosse o mínimo possível. O mapa das regiões hidrológicas foi digitalizado via mesa e introduzido no Idrisi, para a posterior combinação espacial com as variáveis ambientais.

Após definidas espacialmente as regiões hidrológicas, o passo seguinte foi a análise da probabilidade de ocorrência valores elevados de Q_{med}/A para cada grupo de bacias formado. Nesta etapa, os dados fluviométricos relativos à variável foram tratados no SYSTAT, sendo obtidos os valores dos parâmetros estatísticos sugeridos por RIGGS (*op.cit.*), para se comparar distribuições de freqüência de cheias entre regiões.

Definidos estes valores, construiu-se para cada região a curva de probabilidades acumuladas. Posteriormente, todas as curvas obtidas foram combinadas em um só gráfico para efeito comparativo, sendo utilizado como valor padrão de cheia (escolhido ao acaso), o de $3,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Com base neste valor, foram confrontadas as probabilidades $P (X > 3,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2)$ entre as regiões hidrológicas, simbolizadas como $P (X > 3.0)$.

Para a regionalização hidrológica e o estudo da sua relação espacial com as unidades ambientais, adotou-se a escala 1:1.000.000 que na classificação de SOCHAVA (*op.cit.*), citado em ROUGIERIE & BEROUTCHACHVILLI (*op.cit.*), corresponde taxonomicamente aos grupos e sub-grupos de geomos e, especialmente às províncias e sub-zonas.

No mapeamento das unidades ambientais, utiliza-se a metodologia proposta por PABLO et al. (1987). O método classifica unidades homogêneas em ambiente computacional, com base na análise das principais componentes e análise de agrupamentos.

A metodologia baseia-se no pressuposto de que as características ecológicas de um território podem ser mapeadas com base em um grande número de variáveis ambientais que apresentam coincidência espacial. Os autores sugerem a utilização de indicadores como forma de integrar os

diferentes tipos de variáveis, o que permite a uma análise de maneira simplificada da grande quantidade de informações necessárias para se elaborar uma síntese integrada do território.

O procedimento metodológico adaptado para o mapeamento de unidades ambientais em escala global, estrutura-se em três etapas:

1) Amostragem regular em pixels, (rasterização digital) de três tipos de fatores constituídos de grupos de variáveis ambientais: clima, litologia e altimetria (Quadro 6.1).

2) Seleção das principais componentes, no formato de mapas rasterizados, visando a diminuição da redundância entre as variáveis ambientais.

3) Classificação multivariada dos pixels através de análise de agrupamentos, utilizando superposição espacial de mapas temáticos (variáveis ambientais).

FATOR	VARIÁVEL	SIMB	FONTE DOS DADOS
CLIMA	precipitação média anual	PMA	Atlas Pluviométrico do Estado de São Paulo Esc. 1:720.000, SOM/DAEE, 1972
	precipitação do semestre mais úmido	PSU	
	precipitação do semestre mais seco	PSC	
	probabilidade de ocorrência de geadas	POG	CAMARGO et al. (1990)
	temperatura média anual	TMA	Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo 1:2.500.000 vol. 1, SA/IAC, 1974
	temperatura média do mês mais quente	TMQ	
	temperatura média mês mais frio	TMF	
radiação solar global média	RSM	PEDRO JR. et al. (1991)	
radiação solar global máxima	RSX		
evapotranspiração efetiva média anual	EMA	Atlas de Evapotranspiração Efetiva do Estado de São Paulo - 1:2.000.000 DAEE, 1976 Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo 1:2.500.000, vol 2, SA/IAC, 1974	
evapotranspiração efetiva mínima anual	ENA		
evapotranspiração efetiva máxima anual	EXA		
RELEVO	altitude	ALT	Processamento digital no SIG IDRISI, do mapa Hipsometria do Estado de São Paulo, Esc. 1:1.000.000, IGC, 1982.
GEOLOGIA	% sedimentos cenozóicos	CEN	Mapa Geológico do Estado de São Paulo Esc. 1:500.000, IPT, 1981.
	% arenitos do Grupo Bauru	BAU	
	% Formação Serra Geral	FSG	
	% Formação Botucatu	FBT	
	% Formação Pirambóia	FPR	
	% Grupo Tubarão	TUB	
	% suítes graníticas	SUG	
	% Grupo São Roque	GSR	
	% Grupo Açungui	GAC	
	% Grupo Canastra	GCA	

Quadro 6.1 - Variáveis utilizadas para a identificação das unidades ambientais.

6.2 - ANÁLISE E INTEGRAÇÃO DOS DADOS ESPACIAIS E HIDROLÓGICOS

Um estudo envolvendo dados espaciais em ambiente de SIG, deve primeiramente apoiar-se em paradigmas e conceitos adequados ao tratamento da informação geográfica. Neste aspecto, utilizamos a estrutura de paradigmas de dados espaciais apresentada por BURROUGH & FRANK (1995). Os autores classificam os fenômenos espaciais com relação aos métodos de abordagem de dados em sistemas de informação geográfica.

Segundo os autores, existem dois tipos de representações estáticas do espaço, que podem ser manipuladas através de matemática convencional e álgebra booleana: a representação que ajusta objetos individuais a atributos e limites bem determinados, denominada *entidade de visualização*, e aquela associada às variações contínuas apoiadas em modelagem, denominada *campo contínuo*.

A *entidade de visualização* consiste em objetos individuais delimitáveis com exatidão, sendo que cada objeto ocupa um espaço e tem propriedades particulares. Este tipo de representação tem como objetos geográficos básicos o *ponto*, a *linha* e o *polígono*, que podem ser descritos por atributos medidos em escalas *nominal*, *ordinal*, *intervalar*, ou *proporcional*. Para os autores, a geometria só se altera através da sobreposição de dois ou mais polígonos utilizando-se álgebra booleana. A este tipo de representação de dados espaciais, atribuímos os níveis de informação *geologia* e *regiões hidrológicas*, estruturados em objetos geográficos do tipo *polígono*.

Na representação de *campo contínuo*, segundo BURROUGH & FRANK (*op.cit.*), todo ponto no espaço pode ser caracterizado a partir de atributos medidos segundo um conjunto de coordenadas geográficas definidas

em espaço Euclidiano. Também neste caso, cada atributo pode ser medido em escala *nominal, ordinal, intervalar, ou proporcional*. É assumido neste tipo de representação, que a maioria das propriedades variam suavemente ou gradualmente, de tal forma que as localidades com atributos desconhecidos em um ponto do espaço, podem se determinadas por interpolação. O campo contínuo, pode portanto ser representado por isolinhas ou por funções matemáticas.

Utilizamos a estrutura de campo contínuo, para representar os dados espaciais de precipitação média anual, radiação solar no verão, radiação solar no inverno, precipitação média anual no período chuvoso, temperatura média anual, probabilidade de ocorrência de geadas, evapotranspiração média anual, evapotranspiração máxima anual, escoamento fluvial médio anual e altitude.

Quanto aos métodos utilizados para a combinação espacial dos dados, ainda de acordo com BURROUGH & FRANK (*op.cit.*), adotamos uma associação entre *critérios lógicos booleanos*, cujas condições se restringem ao *verdadeiro/falso*, e *critérios contínuos*, inseridos em métodos baseados na *lógica fuzzy*, com critérios mais flexíveis e probabilísticos.

O critério lógico booleano foi empregado nas operações de consulta espacial de dados, utilizando polígonos como unidades amostrais. Por exemplo, a solução para a questão "*qual a média e o desvio padrão dos valores de altitude no polígono correspondente à região hidrológica I ?*", exige o uso de operações de consulta espacial.

Já o critério lógico contínuo, o fuzzy, foi utilizado na definição dos intervalos de classe dos dados representados no formato de campo

contínuo, como por exemplo para a classificação dos intervalos de precipitação média anual ou de altitude.

Para o tratamento das informações espaciais no sistema de informação geográfica *Idrisi®*, primeiramente dividiu-se o conjunto das variáveis utilizadas na pesquisa em dois grupos distintos, segundo a natureza dos dados representados: as *variáveis ambientais espacializadas*, ou os planos de informação, e as *variáveis hidrológicas tabuladas*, correspondendo aos dados provenientes dos registros fluviométricos brutos (Figura 6.1).

Os mapas que formam o conjunto das variáveis ambientais espacializadas, foram digitalizados via mesa do tipo Digicon, no formato vetorial. Utilizou-se o software Autocad R1® (AUTODESK, 1989) para a entrada dos dados, empregando-se a estrutura de Polylines. Para o caso dos mapas de isolinhas, informou-se ao sistema, através do comando *Elev*, o valor de cada isolinha antes da mesma ser digitalizada. Cada um dos mapas foi armazenado em um layer distinto, com atributos próprios, sendo estruturado apenas no formato vetorial não preenchido, ou seja, os arcos, linhas e pontos.

Após a entrada dos dados vetoriais de cada mapa via Autocad R10®, os dados armazenados em arquivos .dwg, foram convertidos para o formato .dxf ("drawing exchange file"), um tipo de arquivo universalmente utilizado para a importação e exportação de dados entre sistemas gráficos.

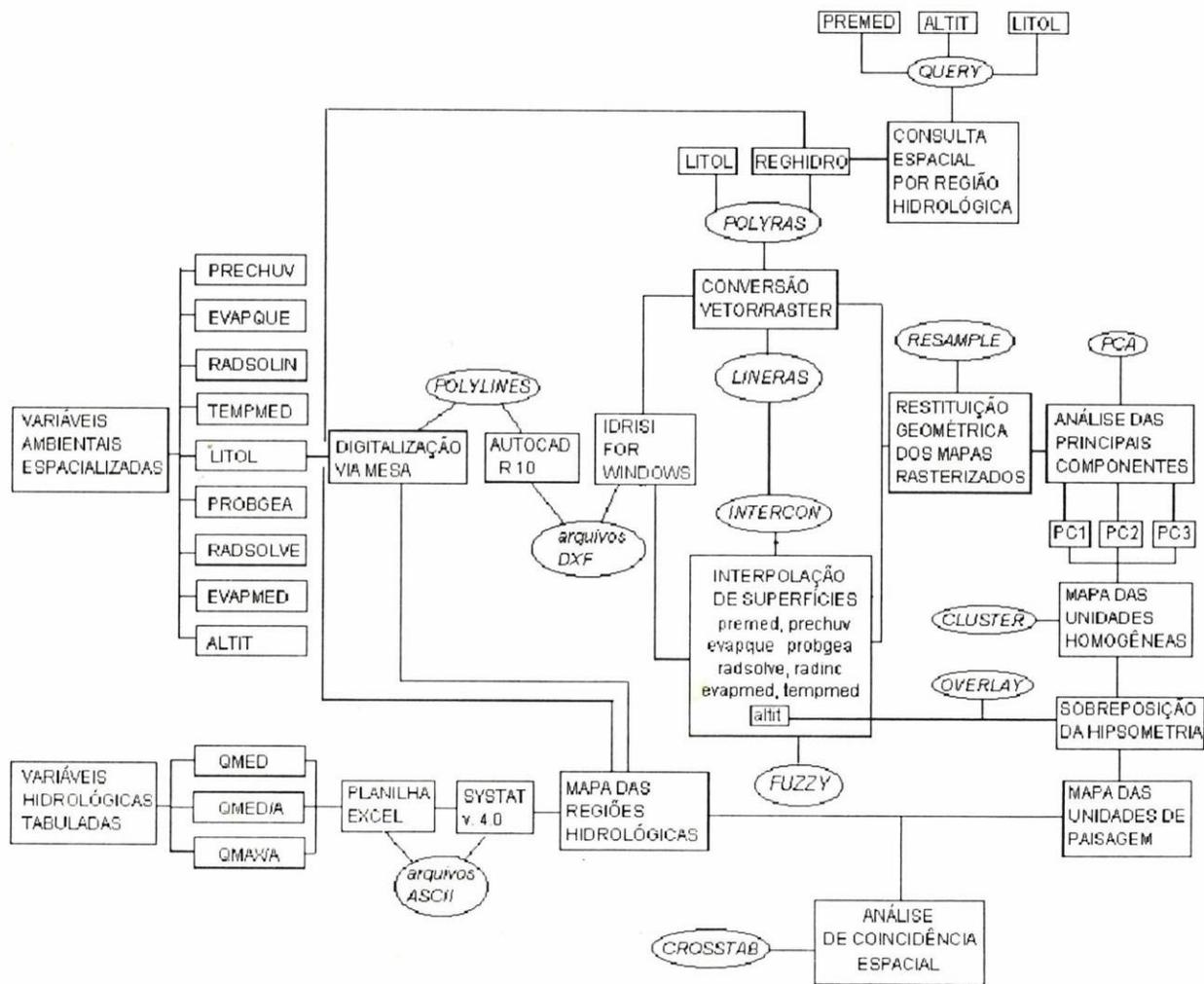


Figura 6.1 - Procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento da pesquisa

Finalizada a digitalização dos mapas, os arquivos .dxf foram transformados para o formato vetorial utilizado pelo IDRISI, com extensão .vec, com o auxílio do software Roots® (CARSON-RIKERT, 1992). O passo seguinte foi a conversão do formato vetorial para o raster, já dentro do ambiente de trabalho do SIG, utilizando-se as funções *Polyras*, *Lineras* e *Pointras*, de acordo com a estrutura vetorial do mapa digitalizado. A rasterização foi aplicada segundo uma estrutura matricial com dimensões de 560 linhas por 840 colunas, com cada pixel tendo uma resolução média de 0,465 mm, ou seja, aproximadamente 500 m no terreno, na escala 1:1.000.000.

Para o caso dos mapas poligonais *Litol* e *Reghidro*, litologia e regiões hidrológicas, respectivamente, utilizou-se a função *Polyras* e para os demais mapas, no formato de isolinhas, o *Lineras*. Gerados os mapas rasterizados, procedeu-se à interpolação das superfícies para os mapas estruturados em isolinhas, utilizando-se a função *Intercon*. Neste caso, escolheu-se como interpolador o modelo "inverso do quadrado da distância", sendo obtido como resultado, modelos digitais de precipitação média anual, radiação solar no verão, radiação solar no inverno, precipitação média anual no período chuvoso, temperatura média anual, probabilidade de ocorrência de geadas, evapotranspiração média anual, evapotranspiração máxima anual e altitude.

Convertida a base de dados para o formato raster, foi realizada a correção geométrica dos mapas, através de restituição, uma vez que os mesmos tinham escalas e coordenadas diferentes, o que impossibilitaria a análise geográfica na estrutura de overlays digitais, através de lógica booleana. Esta etapa de trabalho foi efetuada pela função *Resample*, que utilizou como verdade geométrica o mapa hipsométrico do estado de São Paulo na escala 1:1.000.000, restituindo os demais para esta estrutura. Na restituição foram

utilizados 8 pontos de controle, correspondentes aos vértices das divisas territoriais do estado, cujos valores nos eixos X e Y, foram obtidos na tela do monitor, via mouse, através de leitura de coordenadas de pixel (comando *Color*).

Completada a fase de pré-processamento espacial, iniciou-se o geoprocessamento das informações mapeadas. A função *Query*, possibilitou a consulta espacial dos parâmetros estatísticos relativos à precipitação média anual, altitude e litologia, para cada polígono delimitando uma região hidrológica. Os resultados desta consulta, foram acessados através da função *Histo*, nos formatos gráfico (histograma) e tabular.

Em seguida, utilizou-se a função *PCA* para a eliminação da redundância entre algumas das variáveis ambientais, produzindo-se três mapas, as principais componentes (PC1, PC2, e PC3). Estes mapas, foram em seguida empregados na análise de agrupamentos, no sentido de se gerar o mapa de unidades ambientais homogêneas.

A produção do mapa das unidades homogêneas, foi resultado do uso da função *Cluster* sobre as componentes PC1, PC2 e PC3, tendo como base o algoritmo da distância euclidiana. Optou-se neste caso, pela geração de grupos ou classes mais significantes, isto é, com valores superiores a 1 % em área relativa.

No sentido de se eliminar aqueles grupos que não representavam informação espacial genuína (classes isoladas consistindo de polígonos aleatórios sem valor geográfico, ao nível da abordagem global), submeteu-se o mapa das unidades homogêneas à uma série de 3 filtragens espaciais. Neste sentido, utilizou-se a função *Filter*, escolhendo-se a opção filtro da mediana.

Para o mapeamento final das unidades ambientais considerou-se o papel da altimetria como elemento de segmentação espacial das unidades homogêneas em sub-unidades específicas, definidas pelo seus atributos hipsométricos.

Assim, o mapa das unidades homogêneas foi combinado espacialmente através de álgebra booleana, com o mapa das altitudes interpoladas (DTM). Efetuou-se a sobreposição dos dois mapas, através da função *Crosstab*, produzindo-se assim o mapa das unidades ambientais.

Novamente aqui, nos deparamos com um relativo número de polígonos aleatórios sem valor geográfico, os quais foram eliminados pelas filtragens mencionadas anteriormente. O procedimento final da fase de geoprocessamento da pesquisa, consistiu na análise de coincidência espacial entre o mapa das unidades ambientais e o mapa das regiões hidrológicas. Também escolheu-se nesta etapa de processamento, a função *Crosstab*, a qual produziu como resultados o mapa das coincidências e também a matriz geográfica de dupla entrada, informando o percentual de combinação entre as classes dos referidos mapas.

Com o objetivo de se determinar a distribuição de frequência da vazão média específica dentro de cada unidade ambiental, e assim compara-las quanto ao potencial de escoamento superficial, recorreu-se também à função *Query*, cujos resultados foram acessados via comando *Histo*.

Após definidas as unidades ambientais, elaborou-se uma análise do predomínio das formas de utilização da terra em cada unidade, do ponto de vista regional. Para isto, utilizou-se os dados mapeados pelo IBGE (1990), na escala

1:2.500.000, que forneceu subsídios para a caracterização do uso predominante da terra no território estudado.

7 - REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

7.1 - IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

O estudo da regionalização hidrológica do Estado de São Paulo, apoiou-se nos dados fluviométricos provenientes de 66 bacias hidrográficas (Apêndice I), distribuídas espacialmente no sentido de cobrir de maneira mais regular possível todo o território estudado (Figura 7.1). Os dados fluviométricos, organizados e tabelados segundo os parâmetros vazão máxima anual (Q_{max}/A), vazão média anual específica (Q_{med}/A) e o seu coeficiente de variação (CV), são apresentados nas Tabelas 7.1 e 7.2. No sentido de possibilitar uma visualização gráfica sobre o espaço dos dados manipulados, optou-se por distribuí-los em um diagrama bidimensional sugerido por MOSLEY (1981) e amplamente utilizado em regionalização hidrológica (Figura 7.2).

Analisando-se a Tabela 7.2 nota-se que a amostragem realizada contempla uma ampla variabilidade do escoamento superficial do território paulista, uma vez que o parâmetro Q_{med}/A apresenta valores mínimos de $0,559 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para a bacia do Rio Mandaguari, situada no extremo oeste do estado, no município de Presidente Prudente, até valores de $3,99 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para a bacia do Rio Bocaina, no extremo leste-nordeste do estado, no município de Cachoeira Paulista.

Por outro lado, quanto à área de drenagem das bacias estudadas, observa-se que os dados mostram valores mínimos de 22 km^2 para a bacia do Rio Parangaba, município de São José dos Campos, e valores máximos de 5089 km^2 para a bacia do Rio Sorocaba no município de Tatuí.

Esta ampla variabilidade dos dados de área de drenagem nos assegura que a análise foi realizada visando estimar o comportamento hidrológico da superfície, independente do tamanho da unidade amostral de escoamento superficial. O uso de parâmetros hidrológicos normalizados em relação à área de drenagem, possibilita a minimização dos erros decorrentes da comparação entre dados de bacias de tamanhos muito diferentes.

A regionalização hidrológica, ou seja, o mapeamento dos grupos de bacias hidrográficas com maior similaridade em relação aos parâmetros Q_{med}/A e CV , foi realizada a partir do tratamento estatístico dos valores da Tabela 7.2, utilizando-se o algoritmo de Cluster Analysis disponível no sistema SYSTAT®. O primeiro produto deste tratamento, o dendograma ou árvore de ligação entre as bacias estudadas, é apresentado na Figura 7.3.

O procedimento seguinte, o mais importante para a formação dos grupos de bacias, foi a definição dos valores de corte para o agrupamento. Neste sentido, optou-se pelo algoritmo Média K, geralmente utilizado nestes casos. Os resultados mostraram que é possível agrupar as 66 bacias hidrográficas em 6 regiões homogêneas (Figura 7.4). O sumário estatístico das regiões mencionadas é apresentado na Tabela 7.3. O Quadro 7.1 identifica as bacias hidrográficas que pertencem às respectivas regiões hidrológicas do estado.

Tabela 7.1 - Localização das bacias de drenagem , postos fluviométricos e respectivas séries anuais.

CÓDIGO	BACIA	LOCAL	POSTO	SÉRIE	AREA(KM2)
1	Carmo	Ituverava	B4-034	1960-1971	1201
2	Preto	Cosmorama	B6-007	1963-1978	2327
3	Sapucaí	São Joaquim da Barra	B4-01	1945-1970	4726
4	SJ.Dourados	General Salgado	B7-007	1952-1962	737
5	Palmeiras	Bebedouro	B5-014	1981-1990	567
6	Turvo	Olimpia	B6-007	1963-1989	2068
7	Pinheirinho	Sto. Antonio da Alegria	4C-02	1960-1970	463
8	Moinho	Andradina	C8-009	1981-1992	387
9	Rico	Jaboticabal	C5-024	1981-1990	441
10	Cubatão	Cajuru	C4-009	1981-1990	314
11	Porcos	Itápolis	C5-004	1961-1971	2754
12	JacaréGuaçu	Boa Esperança do Sul	C5-014	1939-1961	2430
13	Aguapel	Lusiânia	C7-002	1947-1989	2502
14	Batalha	Reginópolis	C6-001	1944-1960	1960
15	Mandaguari	Presidente Prudente	C8-007	1981-1991	756
16	Peixe	Tupã	22-50-1	1946-1968	2670
17	JacaréPepira	Brotas	D5-08	1940-1956	537
18	MogiGuaçu	Mogi-Mirim	3D-004	1941-1970	420
19	Lençóis	Macatuba	D5-012	1962-1980	980
20	Camanducaia	Jaguariuna	D3-001	1943-1988	995
21	Capivara	Maracá	D7-013	1980-1992	1564
22	Novo	SaltoGrande	D6-009	1954-1975	1006
23	Pardo	Santa Cruzdo Rio Pardo	D6-001	1956-1979	4380
24	Bonito	Porangaba	E5-012	1972-1991	709
25	Atibaia	Campinas	D3-003	1944-1989	2410
26	Bocaina	Cachoeira Paulista	22-44-3	1936-1968	179
27	Pinhão	Pindamonhangaba	D2-005	1957-1986	63
28	Buquira	São José dos Campos	23-45-10	1934-1968	390
29	Jacuí	Cunha	E1-001	1959-1972	128
30	Jundiá	Indaiatuba	E5-017	1973-1988	1820
31	Parangaba	São José dos Campos	E2-023	1960-1987	22
32	Sorocaba	Tatuf	E4-001	1945-1978	5089
33	Sarapuí	Tatuf	E4-006	1955-1987	1436
34	Paraibuna	Natividade da Serra	23-45-5	1933-1968	440
35	Paraitinga	Salesópolis	E2-031	1965-1977	160
36	Itapetininga	Itapetininga	E5-006	1963-1989	1566
37	Taiáçupeba	Suzano	E3-014	1961-1970	90
38	Taquari	Itapeva	E5-002	1947-1970	459
39	Apiaí	Apiaí	E5-001	1971-1989	996
40	Juquiá	Juquiá	F4-003	1958-1982	2470
41	Guanhanhá	Itariri	F4-014	1960-1985	131
42	Açungui	Juquiá	F4-005	1959-1987	412
43	Guaraú	Jacupiranga	F5-009	1966-1992	202
44	Capivari	Rafard	E4-023	1980-1991	1302
45	Corumbataí	Rio Claro	D4-018	1970-1991	489
46	Baguaçu	Araçatuba	C7-014	1981-1991	453

47	Barreiro	Guzolândia	7B-009	1981-1991	78
48	Itaquerê	Nova Europa	C5-029	1981-1991	334
49	São João	Ibitinga	C5-028	1980-1991	338
50	São Lourenço	Itápolis	C5-015	1984-1991	877
51	Copalba	Bastos	D2-054	1984-1991	65
52	Piracuama	Tremembé	D2-054	1969-1991	161
53	Sapucaí	Campos do Jordão	D2-062	1980-1991	120
54	Agudo	Morro Agudo	B5-012	1980-1991	263
55	Batatais	Batatais	B4-014	1980-1991	178
56	Buriti	São João da Boa Vista	B4-016	1980-1991	84
57	Estiva	Guará	B4-017	1980-1991	264
58	Onça 1	Sertãozinho	C5-017	1969-1991	918
59	Sapucaizinho	Patrocínio Paulista	B4-015	1980-1991	276
60	Sucuri	Viradouro	B5-013	1980-1991	143
61	Turvo 2	Jaborandi	B5-016	1980-1991	182
62	Verde	Palmares Paulista	C5-019	1970-1991	346
63	Onça 2	Palmares Paulista	C5-019	1970-1991	620
64	Guareí	Angatuba	E5-013	1979-1981	530
65	Pari	Platina	D7-011	1979-1991	431
66	São Domingos	Catiguá	C6-008	1971-1991	427

Tabela 7.2 - Valores dos parâmetros estatísticos das séries temporais por bacia.

CÓDIGO	BACIA	Qmed (m3/s)	Qmed/A (m3/s/km2) x 10(-2)	C.V
1	CARMO	31,60	2,60	0,30
2	PRETO	18,44	0,79	0,36
3	SAPUCAI MIRIM	76,09	1,61	0,30
4	SJ DOS DOURADOS	17,31	2,32	0,57
5	PALMEIRAS	8,04	1,41	0,29
6	TURVO	20,99	1,08	0,26
7	PINHEIRINHO	7,27	1,50	0,40
8	MOINHO	2,20	0,57	0,28
9	RICO	5,02	0,11	0,54
10	CUBATÃO	5,85	1,86	0,55
11	PORCOS	28,59	1,03	0,36
12	JACARÉ GUAÇU	24,50	1,01	0,20
13	AGUAPEÍ	28,10	1,04	0,35
14	BATALHA	14,30	0,73	0,15
15	MANDAGUARI	4,24	0,55	0,40
16	PEIXE	21,10	0,79	0,18
17	JACARE PEPIRA	6,76	1,26	0,22
18	MOGI GUAÇU	60,71	1,90	0,24
19	LENÇÓIS	10,02	1,02	0,27
20	CAMANDUCAIA	13,44	1,35	0,26
21	CAPIVARA	17,08	1,09	0,18
22	NOVO	28,54	2,83	0,55
23	PARDO	46,62	1,08	0,27
24	BONITO	6,69	2,57	0,42

25	ATIBAIA	29,45	1,22	0,32
26	BOCAINA	3,47	3,99	0,36
27	PINHÃO	0,67	1,05	0,35
28	BUQUIRA	9,51	2,44	0,24
29	JACUI	2,32	1,82	0,24
30	JUNDIAI	8,35	0,45	0,29
31	PARANGABA	0,42	1,90	0,36
32	SOROCABA	44,87	0,88	0,45
33	SARAPUI	15,82	0,99	0,36
34	PARAIBUNA	8,82	2,00	0,21
35	PARAITINGA	1,66	1,04	0,32
36	ITAPETININGA	20,00	1,28	0,39
37	TAIAÇUPEBA	1,60	1,77	0,24
38	APIAÍ GUAÇU	14,34	1,33	0,18
39	JUQUIA	67,70	2,74	0,19
40	GUANHANHÁ	3,57	2,72	0,24
41	AÇUNGUI	13,95	3,39	0,17
42	GUARAU	6,26	3,04	0,26
43	BIRITIBA MIRIM	2,03	2,98	0,25
44	CAPIVARI	13,03	1,00	0,25
45	CORUMBATAI	6,94	1,32	0,32
46	BAGUAÇU	3,62	0,80	0,33
47	BARREIRO	0,64	0,82	0,25
48	ITAQUERÉ	3,75	1,12	0,23
49	SÃO JOÃO	4,34	1,28	0,22
50	SÃO LOURENÇO	12,08	1,38	0,14
51	COPAIBA	0,67	1,03	0,08
52	PIRACUAMA	3,7	2,30	0,24
53	SAPUCAÍ	3,83	3,19	0,22
54	AGUDO	4,37	1,66	0,36
55	BATATAIS	3,26	1,83	0,25
56	BURITI	1,56	1,86	0,37
57	ESTIVA	4,36	1,80	0,29
58	ONÇA 1	10,55	1,15	0,26
59	SAPUCAIZINHO	4,46	1,78	0,24
60	SUCURI	1,63	1,14	0,28
61	TURVO 2	2,43	1,33	0,29
62	VERDE	5	1,45	0,11
63	ONÇA 2	6,81	1,10	0,23
64	GUARÉI	7,58	1,43	0,37
65	PARI	5,24	1,22	0,18
66	SÃO DOMINGOS	4,31	1,01	0,4

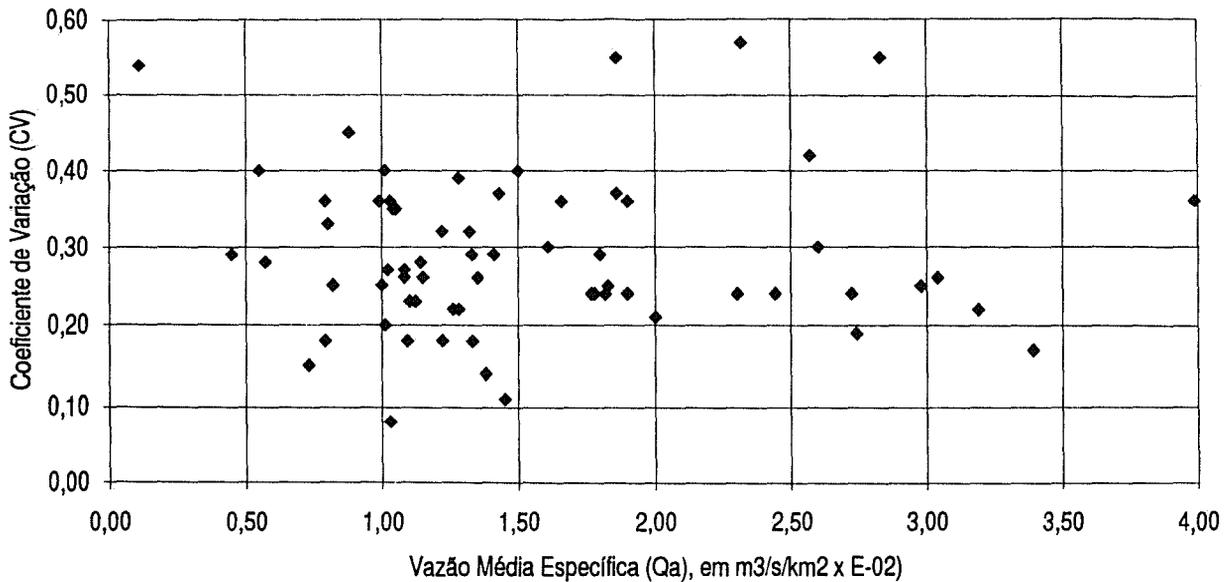


Figura 7.2 - Diagrama de dispersão entre os valores de Q_{med}/A e CV.

7.1.1 - REGIÃO I

Composta pelas bacias hidrográficas dos rios Moinho, Batalha e Mandaguari, esta região é a que apresenta o menor valor médio de Q_{med}/A , ou seja, $0,58 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, denotando uma baixa capacidade de gerar escoamento superficial. Especialmente, esta região ocupa o extremo oeste do estado de São Paulo, abrangendo entre outros, os municípios de Presidente Prudente, Andradina, Adamantina e Dracena.

Do ponto de vista das variáveis ambientais que reconhecidamente mais influenciam o escoamento superficial ao nível regional, podemos destacar a precipitação média anual, a litologia e a hipsometria (altitude média e amplitude altimétrica). Considerando estas variáveis, notamos que a Região I apresenta uma precipitação média de 1241,17 mm anuais, ou seja os menores valores médios apresentados entre as regiões mapeadas.

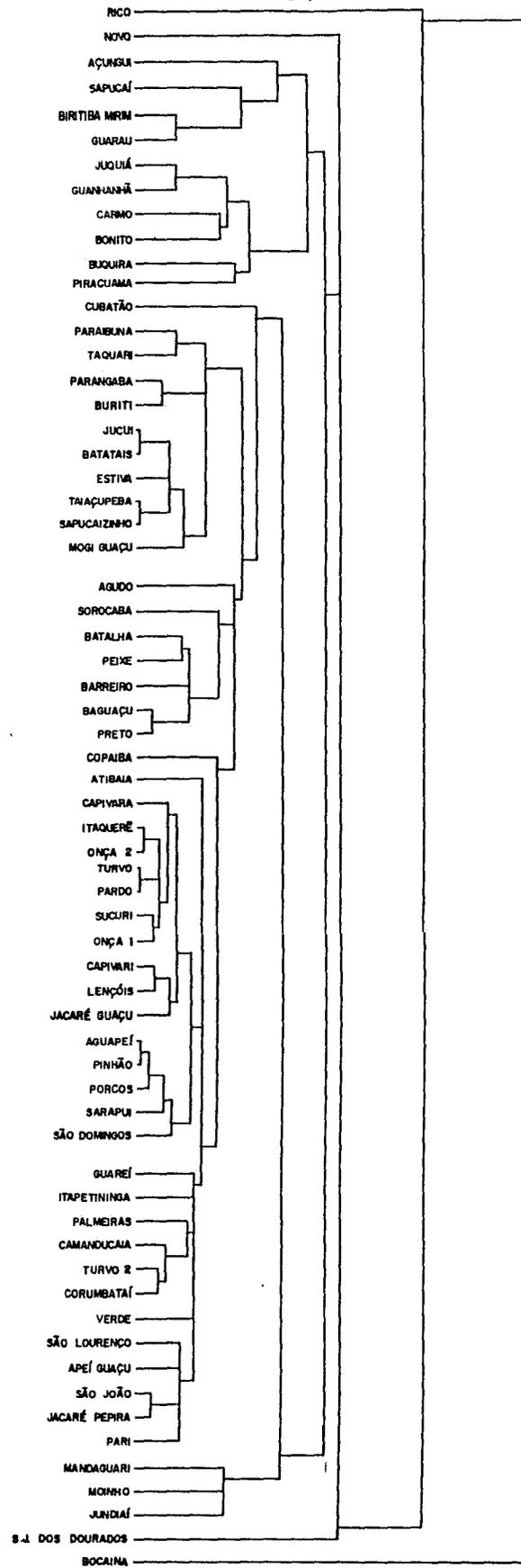


Figura 7.3 - Dendrograma dos agrupamentos das bacias de drenagem.

Analisando-se os parâmetros hipsométricos da mesma região, verificamos que a altitude média estabeleceu-se em 383,39 m e a amplitude altimétrica em torno de 180 m, valores estes que comparados às demais regiões, assumem uma posição inferior.

Quanto à litologia, os resultados mostraram o predomínio dos arenitos do Grupo Bauru (79,19 %), seguidos pela Formação Serra Geral com valores inferiores em percentual de área (10,81 %).

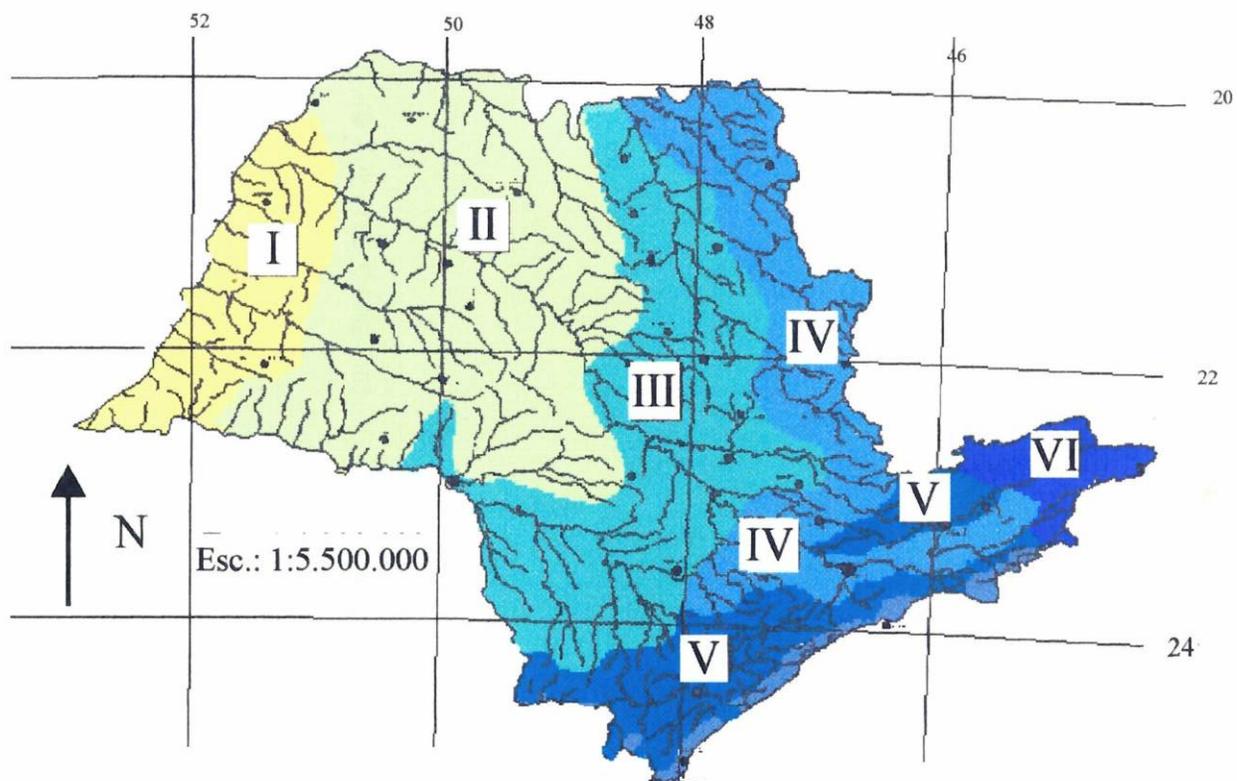
7.1.2- REGIÃO II

Ocupando a maior extensão em área no estado de São Paulo, a Região II se distribui por todo o centro-oeste do território, incluindo municípios como Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba, Marília, estendendo-se ao extremo noroeste do estado, atingindo os municípios como Santa Fé do Sul e Votuporanga.

Esta região é composta por 21 bacias hidrográficas, apresentadas à seguir: rios Preto, Turvo 1, dos Porcos, Jacaré-Guaçu, Aguapeí, Peixe, Lençóis, Capivara, Pardo, Pinhão, Sorocaba, Sarapuí, Capivari, Baguaçu, Barreiro, Itaquerê, Copaíba, Onça 1 e Onça 2, Sucuri e São Domingos.

Com valor imediatamente acima da Região I, a vazão média específica da Região II. situa-se em $1,00 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$, o que demonstra um aumento no potencial de geração do escoamento superficial da ordem de 72,4 % em relação à primeira região.

Fig. 7.4 - MAPA DAS REGIÕES HIDROLÓGICAS



Mas comparativamente às demais regiões hidrológicas, a Região II ainda posiciona-se em patamares inferiores àquelas situadas à leste e à nordeste do estado.

Efetuada uma leitura espacial na distribuição dos valores de precipitação para a Região II, verificamos uma média de 1272,29 mm, valores estes muito próximos aos da Região I. No que se refere aos parâmetros hipsométricos, constatamos uma altitude média de 493,92 m e uma amplitude altimétrica de 480 m. Tais valores já demonstram um acréscimo considerável em relação à Região I, ou seja, da ordem de 110 m para altitude média e de 300 m para a amplitude.

Uma análise da coincidência espacial entre a área ocupada pela Região II e a ocupada pelas unidades litológicas, nos mostra que 75,69 % desta região coincide com os arenitos do Grupo Bauru e 17,05 % com os basaltos e arenitos da Formação Serra Geral.

7.1.3 - REGIÃO III

Distribuindo-se em uma faixa norte-sul, esta região ocupa a posição mais central do estado, englobando desde municípios situados ao norte como Ribeirão Preto e Bebedouro, até aqueles localizados a sul, como Itapetininga e Avaré. Nesta região hidrológica, agrupam-se 14 bacias hidrográficas, sendo elas: rios Pinheirinho, das Palmeiras, Jacaré-Pepira, Camanducaia, Atibaia, Itapetininga, Apiaí-Guaçu, Corumbataí, São João, São Lourenço, Turvo 2, Verde, Guareí e Pari.

REGIAO	Qa(m3/s/km2)				CV			
	<i>minimo</i>	<i>média</i>	<i>máximo</i>	<i>desv.padrão</i>	<i>minimo</i>	<i>média</i>	<i>máxima</i>	<i>desv.padrão</i>
I	0,45	0,58	0,73	0,10	0,15	0,28	0,40	0,09
II	0,79	1,00	1,15	0,11	0,08	0,28	0,45	0,08
III	1,22	1,34	1,50	0,08	0,11	0,26	0,40	0,09
IV	1,61	1,83	2,03	0,11	0,21	0,30	0,55	0,09
VI	2,98	3,15	3,39	0,16	0,17	0,22	0,26	0,03
VI	3,99	3,99	3,99	0,00	0,36	0,36	0,36	0,00

Tabela 7.3 - Sumário estatístico das regiões hidrológicas.

A vazão média específica da Região III situa-se em $1,34 \times 10^2$ m³/s/km², valor ligeiramente superior à Região II, ou seja da ordem de 34 %. Isto mostra um aumento do potencial de escoamento superficial e da concentração das cheias em relação às regiões anteriores.

A distribuição da precipitação média anual em toda a superfície ocupada pela região, mostra uma média de 1315,65 mm, correspondendo a um acréscimo de 3,35 % em relação à Região II. A análise altimétrica da Região III, demonstra valores médios de altitude em torno de 654,04 e amplitude de 796 m. Quanto aos valores de amplitude, nota-se um aumento da ordem de 65,83 % comparativamente à Região II.

Avaliando-se a superposição da Região III às unidades litológicas, observa-se uma distribuição praticamente equitativa entre três unidades. Esta região é ocupada em 30,33 % de sua área pela Formação Serra Geral, em 26,56 % pela Formação Botucatu e 23,01 % pelo Grupo Tubarão 9. Destacamos aqui apenas as principais unidades litológicas que se distribuem pela referida região hidrológica.

7.1.4 - REGIÃO IV

A Região IV posiciona-se espacialmente a nordeste do estado de São Paulo, principalmente ao longo da divisa com o estado de Minas Gerais, na Serra da Mantiqueira Ocidental, e de forma reduzida, áreas restritas do leste do estado junto ao Planalto Atlântico. Em sua extensão inserem-se, entre outros, os municípios de Franca, Batatais, São José do Rio Pardo, São Paulo, Mogi das Cruzes e Paraibuna.

Esta região foi definida a partir de 13 bacias hidrográficas: rios Sapucaí-Mirim, Cubatão, Mogi-Guaçu, Parangaba, Paraibuna, Taiaçupeba, Taquari, Agudo, Batatais, Buriti, Estiva e Sapucaizinho. A análise estatística dos dados fluviométricos provenientes destas bacias, utilizadas para a formação dos grupos, mostra que o parâmetro Q_{med}/A apresenta um valor médio de $1,83 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Este dado, comparado ao proveniente da Região III, aponta que a Região IV tem um potencial de escoamento 36,56 % superior, ou 142,96 % acima da Região I.

Consultando-se os valores médios de precipitação média anual para a região analisada, encontramos 1446,11 mm anuais, correspondendo a 9,91 % acima da Região III. A consulta à altimetria da Região IV, levou-nos a 841,05 m para a altitude média e a uma amplitude de 820 m. Para este último valor, verifica-se um pequeno acréscimo da ordem de 3,01 % em relação à região anterior.

No entanto, se compararmos o coeficiente de variação (CV) das altitudes para as regiões III e IV, constataremos que a última tem valores superiores, ou seja 0,127 para 0,213. Isto demonstra que embora as amplitudes estejam próximas, a rugosidade da superfície da Região IV é 67,71 % mais elevada.

No espaço correspondente à Região IV, consultando-se a distribuição percentual das unidades litológicas, verifica-se que as três unidades mais importantes são: granitos do Grupo São Roque com 53,19 %, e a Formação Serra Geral com 32,73 %.

7.1.5 - REGIÃO V

Esta região hidrológica posiciona-se principalmente a sudeste e leste do estado de São Paulo, e em menor área, junto aos rebordos da Mantiqueira Oriental, ao sul do Planalto de Campos do Jordão. Na sua porção sudeste, a região engloba parte do Vale do Ribeira, as serras da Paranapiacaba e do Mar, e Planície Costeiras sul e norte.

A Região V foi definida espacialmente a partir das bacias dos rios Biritiba-Mirim, Açungui, Guarau, Buquira, Piracuama, Juquiá e Guanhanã. Apresenta um valor de Q_{med}/A da ordem de $3,15 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, ou seja, 72,13 % acima da Região IV e 443,10 % superior à Região I. Observa-se portanto que se trata de uma das regiões hidrológicas com maior probabilidade de ocorrência de valores extremos de cheia, dado a sua alta capacidade de gerar escoamento superficial.

Acessando-se os dados pluviométricos médios anuais para a Região V, verificou-se valores de 1679,29 mm anuais, ou em termos relativos, 16,12 % acima da Região IV e 35,29 % superior à Região I. Por outro lado, consultando-se os dados altimétricos da referida região, constatou-se uma altitude média de 671,80 m e uma amplitude altimétrica de 1256 m. Este valor elevado para a amplitude se deve ao fato desta região apresentar superfícies tanto no planalto como na planície costeira, no entanto descontínuas. Se compararmos o coeficiente de variação das regiões IV e V, notaremos que há uma diferença de 80,75 % favorável à Região V (0,213 contra 0,385), mostrando uma rugosidade do relevo superior.

Quadro 7.1 - Regiões hidrológicas e suas respectivas bacias de drenagem.

REGIÃO	BACIAS DE RENAGEM
I	Moinho, Batalha, Mandaguari, Jundiá
II	Preto, Turvo 1, Porcos, Jacaré-Guaçu, Aguapeí Peixe, Lençóis, Capivara, Pardo, Pinhão Sorocaba, Sarapuí, Capivarí, Baguaçu, Barreiro Itaquerê, Copaíba, Onça1, Onça 2, Sucuri São Domingos.
III	Palmeiras, Pinheirinh, Jacaré-Pepira, Camanducaia, Atibaia, Itapetininga, Apiaí-Guaçu Corumbataí, São João, São Lourenço, Turvo 2 Verde, Guareí, Pari.
IV	Sapucaí-Mirim, Cubatão, Mogi Guaçu, Jacuí Parangaba, Paraibuna, Taiaçupeba, Taquari Agudo, Batatais, Buriti, Estiva, Onça, Sapucaizinho
V	Biritiba Mirim, Açungui, Guarau, Sapucaí, Carmo, Bonito, Buquira, Juquiá, Guanhanhã, Piracuama.
VI	Bocaina

Uma leitura na distribuição da frequência das unidades litológicas predominantes na Região V, mostra que 32,53 % coincide com áreas da unidade 18, 16,83 % com a unidade 17 e 3,6 % com a unidade 2.

7.1.6 - REGIÃO VI

Composta apenas pela Bacia do Rio Bocaina, esta região localiza-se no extremo leste-nordeste do estado, próximo à divisa com os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, englobando parte do Parque Nacional da Serra da Bocaina, do médio Vale do Paraíba e da Serra da Mantiqueira, nas proximidades do Maciço do Itatiaia.

Apresenta o maior valor de vazão média específica das regiões mapeadas, ou seja $Q_{med}/A = 3,99 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, sendo portanto a região de maior capacidade de geração do escoamento superficial do estado. Comparando este valor com as demais regiões, constatou-se que a região tem $Q_{med}/A = 26,66 \%$ superior à Região V, 118,03 % maior que a Região IV, 197,76 % acima da Região III, 299,00 % superior à Região II e 587,93 % maior que a Região I.

O valor médio de precipitação média anual para a Região VI é de 1837 mm anuais, o maior verificado entre as regiões, correspondendo a um aumento de 9,39 % em relação à Região V e 48,01 % acima da Região I. Quanto à altimetria, esta região tem altitude média de 902,55 m e amplitude altimétrica de 870 m. O coeficiente de variação das altitudes é de 0,320, ligeiramente inferior ao da Região V, mas se comparado aos valores da Região I (0,076), notaremos que é 321,05 % superior, mostrando um relevo de textura rugosa.

7.2 - ANÁLISE ESPACIAL DA FREQUÊNCIA DE CHEIAS

Os resultados apresentados no item anterior, contemplaram tanto a distribuição espacial das regiões hidrológicas e seus respectivos valores de Q_{med}/A , como também uma análise de suas relações com algumas variáveis ambientais, com as quais o escoamento superficial mantém maior dependência. Dentre as variáveis estudadas, identificamos a precipitação média anual, a altitude média e a sua amplitude, e a litologia predominante nas regiões.

O sumário estatístico da análise da distribuição de frequência dos valores de vazão máxima anual específica, para todas as regiões hidrológicas é apresentado na Tabela 7.4. Uma análise da coluna relativa ao parâmetro Q_{max}/A mostra que a média dos valores extremos de vazão específica acompanham os valores de Q_{med}/A , ou seja, nas regiões onde a vazão média anual específica é elevada, também ocorreram as maiores cheias.

Desta maneira, a Região VI apresenta o maior valor médio de cheia, $7.48 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, sendo utilizados para o cálculo 33 postos-ano. Este número, situado bem abaixo do número dos postos-ano das demais regiões, se deve ao fato desta região ser composta apenas por uma bacia de drenagem. Isto faz com que a série de dados apresente um maior desvio padrão em relação às demais (2,60) e conseqüentemente maior erro relativo (0,45).

REGIÃO	Postos-Ano	Q_{max} (m ³ /s/km ²) E-02	S ²	S	êrro	Cs	CV
I	51	1,39	0,34	0,58	0,08	1,33	0,42
II	215	2,12	0,58	0,76	0,05	0,61	0,36
III	132	3,06	2,07	1,44	0,12	1,85	0,48
IV	171	3,81	2,02	1,42	0,10	0,70	0,37
V	152	4,33	4,04	2,01	0,16	0,44	0,46

Tabela 7.4 - Sumário estatístico de Q_{max}/A para as regiões hidrológicas .

Entretanto, os resultados possibilitam uma inferência preliminar sobre o comportamento das cheias desta região, colocando-a como a de maior probabilidade de ocorrência de valores extremos. Estudos futuros visando a ampliação das unidades amostrais, poderão definir com maior precisão a posição da média de Q_{\max}/A .

A região V, posicionando-se imediatamente abaixo da VI em termos de vazão de cheia, apresenta níveis médios de $4,33 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, segundo uma amostragem baseada em 152 postos-ano, com desvio padrão de 2,01 e erro da ordem de 0,16.

Quanto às regiões III e IV, constatamos que as mesmas têm valores de Q_{\max}/A respectivamente de 3,81 e $3,06 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Os desvios padrão destas regiões também situam-se próximos, ou seja, 1,42 e 1,44, respectivamente, o mesmo acontecendo com os erros relativos, 0,10 e 0,12.

As regiões com menor valor de Q_{\max}/A , I e II, apresentam dados da ordem de 1,39 e $2,12 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente. Possuem também menores erro relativo e desvio padrão (0,05 e 0,76 para a região II e 0,08 e 0,58 para a região I)

Devemos ressaltar também que o desvio padrão pode informar sobre as relações entre as características hidrológicas das cheias e as características ambientais da região hidrológica. Observamos que as regiões de maiores valores de Q_{\max}/A , são aquelas que mostram maiores desvios, independente do número de postos-anos. Por exemplo, a região V, com 152 postos-ano, tem $S = 2,01$ e $Q_{\max}/A = 4,33 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, enquanto a região III, com 132 postos-ano, possui $S = 1,44$ e $Q_{\max}/A = 3,06 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

As diferenças nos valores de S retratam, segundo MOSLEY (*op.cit*), a amplitude das vazões fluviais, refletindo portanto o papel dos fatores morfométricos da região, associados aos eventos de precipitação e a permeabilidade do substrato rochoso. Conclui-se desta maneira, que o uso dos parâmetros vazão média específica e o seu CV, na regionalização apresentada na seção anterior, é satisfatória e demonstra uma relativa homogeneidade nos grupos.

A Figura 7.5 mostra as curvas de probabilidade cumulativa das vazões máximas específicas, para as seis regiões analisadas . O gráfico apresenta uma família de curvas de concavidade variada, cuja morfologia reflete a maior ou menor probabilidade de ocorrência de cheias.

Para efeito de análise comparativa, tomemos como exemplo a cheia de $3,0 \times 10^2 \text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Se quisermos obter a probabilidade de ocorrerem cheias de intensidade menor ou igual a este valor, ou seja, $P(X \leq 3,0)$, deveremos fazer uma leitura vertical, interceptando as curvas no valor estimado e efetuarmos a leitura no eixo das probabilidades. Para o caso acima, foram obtidos os seguintes valores:

REGIÃO	$P(X \leq 3,0) \%$	$P(X > 3,0) \%$
I	99,1	0,09
II	80,0	20,0
III	59,0	41,0
IV	36,0	64,0
V	30,0	70,0
VI	21,0	79,0

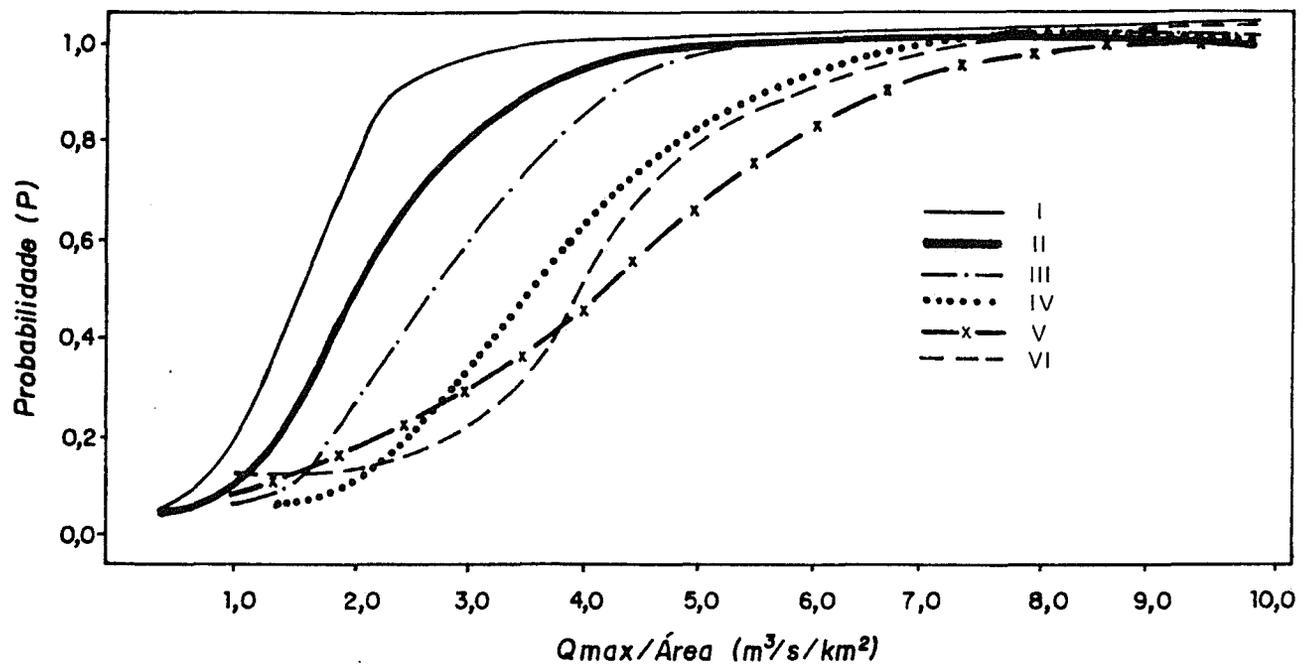


Figura 7.5 - Curvas das probabilidades acumuladas ($P(X>3,0)$) das regiões hidrológicas.

Resgatando os resultados apresentados no capítulo anterior, construiu-se os gráficos da Figura 7.6 (a, b e c), onde se procurou mostrar a dependência entre a probabilidade de ocorrência de cheias e as três variáveis ambientais: precipitação média anual, amplitude altimétrica e frequência de rochas sedimentares.

Verificou-se claramente que a ocorrência de maiores vazões de cheias é menor em regiões com alta frequência de rochas sedimentares. Observa-se que abaixo de 30 % da presença destas rochas, a probabilidade de cheias aumenta rapidamente, passando de 41 % para 71%.

Analisando-se a precipitação média anual, constatou-se que $P(X>3,0)$ cresce em proporção direta com a precipitação, apresentando um aumento substancial a partir de 1300 mm anuais, quando então atinge probabilidades superiores a 60 %. Quanto à altitude média, notou-se também uma relação diretamente proporcional, uma vez que $P(X>3,0)$ aumenta com a altitude média das regiões hidrológicas.

Neste caso, é possível se determinar um aumento mais substancial nas cheias, quando a altitude cresce de 400 m para 800 m, podendo-se avaliar neste intervalo que a probabilidade se eleva de 0,09 % para 64,0 %.

A partir da faixa dos 800 m, observa-se uma tendência à uma oscilação em torno de um valor médio de altitude indeterminado, onde $P(X>3,0)$ varia de 64,0 % para próximo dos 80,0 %, ocorrendo portanto um pequeno acréscimo se compararmos com a faixa inferior a 800 m.

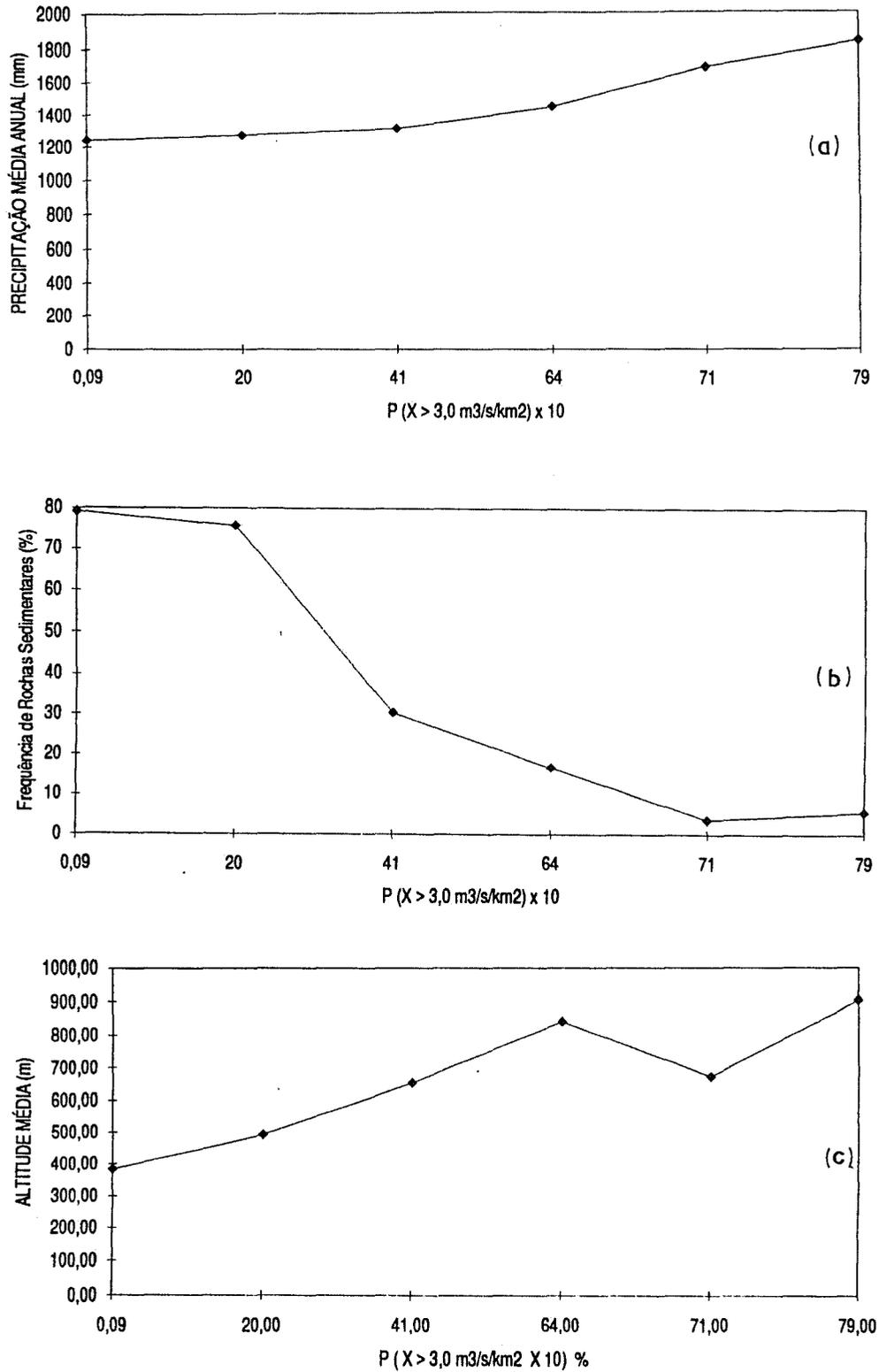


Figura 7.6 - Relações entre a frequência de cheias e a precipitação média anual (a), a frequência de rochas sedimentares (b) e a altitude média (c).

8 - UNIDADES AMBIENTAIS OBTIDAS PELA APLICAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SIG.

O mapeamento das unidades ambientais do território estudado, elaborado em ambiente de geoprocessamento, iniciou-se com a análise das principais componentes. Nesta etapa de trabalho procedeu-se à redução do número das variáveis ambientais espacializadas, para um conjunto de três principais componentes.

Esta técnica possibilitou a análise das relações entre as variáveis ambientais mensuradas segundo uma população amostral de 56.260 pontos de observação, correspondente ao número total de pixels da malha rasterizada para cada mapa. Identificou-se assim, as variáveis que apresentam os maiores valores percentuais de variância para todo o espaço estudado e, por conseguinte, podem explicar de maneira mais completa, a variabilidade espacial dos dados ambientais.

O primeiro passo foi a construção da matriz das correlações entre as variáveis ambientais (Tabela 8.1). Analisando-se globalmente a tabela, observamos que os valores de R^2 apresentam grande diversidade entre si, variando de 0.346 (EVAPQUE x LITOL) a 0.991 (EVAPQUE x EVAPMED). Reorganizando a Tabela 7.5 segundo os valores máximos de R^2 , podemos constatar que as maiores correlações são assim distribuídas segundo cada par de variáveis uma das variáveis (Tabela 8.2).

	ALTIT	PRECHUV	EVAPQUE	LITOL	PREMED	PROBGEA	RADSOLIN	RADSOLVE	EVAPMED	TEMPMED
ALTIT	1									
PRECHUV	0,764	1								
EVAPQUE	0,671	0,554	1							
LITOL	0,735	0,676	0,334	1						
PREMED	0,557	0,654	0,346	0,663	1					
PROBGEA	0,821	0,612	0,673	0,591	0,433	1				
RADSOLIN	0,781	0,636	0,969	0,409	0,372	0,736	1			
RADSOLVE	0,751	0,593	0,973	0,413	0,386	0,761	0,98	1		
EVAPMED	0,699	0,572	0,991	0,379	0,394	0,686	0,971	0,977	1	
TEMPMED	0,787	0,683	0,95	0,551	0,53	0,783	0,948	0,966	0,962	1

Tabela 8.1 - Matriz de correlações múltiplas entre as variáveis ambientais

Tabela 8.2 - Valores mais significantes de r^2 entre as variáveis ambientais.

EVAPQUE	0.991	EVAPMED
RADSOLVE	0.980	RADSOLIN
TEMPMED	0.950	EVAPQUE
ALTITUDE	0.820	PROBGEA
PRECHUV	0.764	ALTITUDE
LITOL	0.735	ALTITUDE
PREMED	0.663	LITOL

As variáveis PROBGEA, LITOL e PRECHUV apresentam valores máximos de R^2 com a variável ALTITUDE, respectivamente 0.820, 0.764 e 0.764. Já PREMEDI tem maior correlação com LITOL (0.663), enquanto EVAPQUE tem seu maior valor de R^2 com EVAPMED (0.991). A variável RADSOLVE, por sua vez, tem máximo valor com RADSOLIN, ou seja, 0.980, e TEMPMEDI tem R^2 máximo com EVAPQUE (0.950).

Pela análise da matriz de correlação, pode-se constatar que algumas variáveis apresentam alta correlação entre si, nos fazendo concluir que o uso indiscriminado das mesmas tornar-se-ia redundante. Desta maneira, optamos pela redução deste universo de variáveis, utilizando as principais componentes.

A obtenção das principais componentes fez-se pela soma das correlações obtidas por cada variável, no sentido de verificar quanto bem correlacionada é uma variável com as demais, expressando-se este resultado como a razão entre esta soma e a sua raiz quadrada (JOHNSTON, 1980). O

maior valor das somas indicará a variável média ou a principal componente (PC1).

A etapa seguinte é o conhecimento das relações entre a PC1 e as variáveis originais, determinado pelas correlações entre as variáveis originais e a PC1, também denominado de pesos da componente (α). A Tabela 8.3 apresenta os valores destes pesos para as 3 principais componentes (PC1, PC2 e PC3). Pela análise desta tabela, constatou-se que a PC1 é representada principalmente pela variável TEMPMED (temperatura média anual), $\alpha = 0.975$, explicando 95,06 % da variância da PC1. Quanto à PC2, constatou-se que a variável LITOL tem o maior peso, com $\alpha = 0.650$, isto é, explicando 42,25 % da variância da PC2. Quanto à PC3, nota-se que a variável PREMEDI (precipitação média anual) apresenta um valor máximo de $\alpha = 0.457$, ou seja explica 20,88 % da variância da componente 3.

Desta maneira, reduzimos o espaço original das 10 variáveis ambientais, para um conjunto de 3 variáveis principais (*temperatura média anual, litologia e precipitação média anual*) para em seguida utilizá-las como base para mapeamento das unidades ambientais em uma escala global.

Obtidas as três variáveis principais, procedeu-se ao mapeamento dos grupos homogêneos em uma população de 56.260 pixels, correspondente a todo território paulista. Através da função Cluster, (algoritmo da distância euclidiana), obtivemos um mapa de unidades homogêneas segundo PREMEDI, TEMPMED e LITOL.

VARIÁVEL	C1	% VAR	C2	% VAR	C3	% VAR
ALTITUDE	0,886	78,50	0,242	5,86	-0,256	6,55
EVAPQUE	0,907	82,26	-0,308	9,49	0,118	1,39
PRECHUV	0,777	60,37	0,402	16,16	0,089	0,79
LITOL	0,643	41,34	0,651	42,38	-0,166	2,76
PREMED	0,591	34,93	0,605	36,60	0,457	20,88
PROBGEA	0,839	70,39	0,078	0,61	-0,402	16,16
RADSOLIN	0,943	88,92	-0,296	8,76	0,015	0,02
RADSOLVE	0,943	88,92	-0,308	9,49	0,019	0,04
EVAPMED	0,924	85,38	-0,341	11,63	0,127	1,61
TEMPMED	0,975	95,06	-0,136	1,85	0,076	0,58

Tabela 8.3 - Valores dos pesos das componentes e da variância explicada, segundo cada variável ambiental.

A espacialização das unidades, foi efetuada utilizando os grupos mais significantes (acima de 1% em área) e que apresentassem uma continuidade espacial também significativa, evitando-se assim ao máximo a ocorrência de unidades constituídas de um número reduzido de pixels isolados.

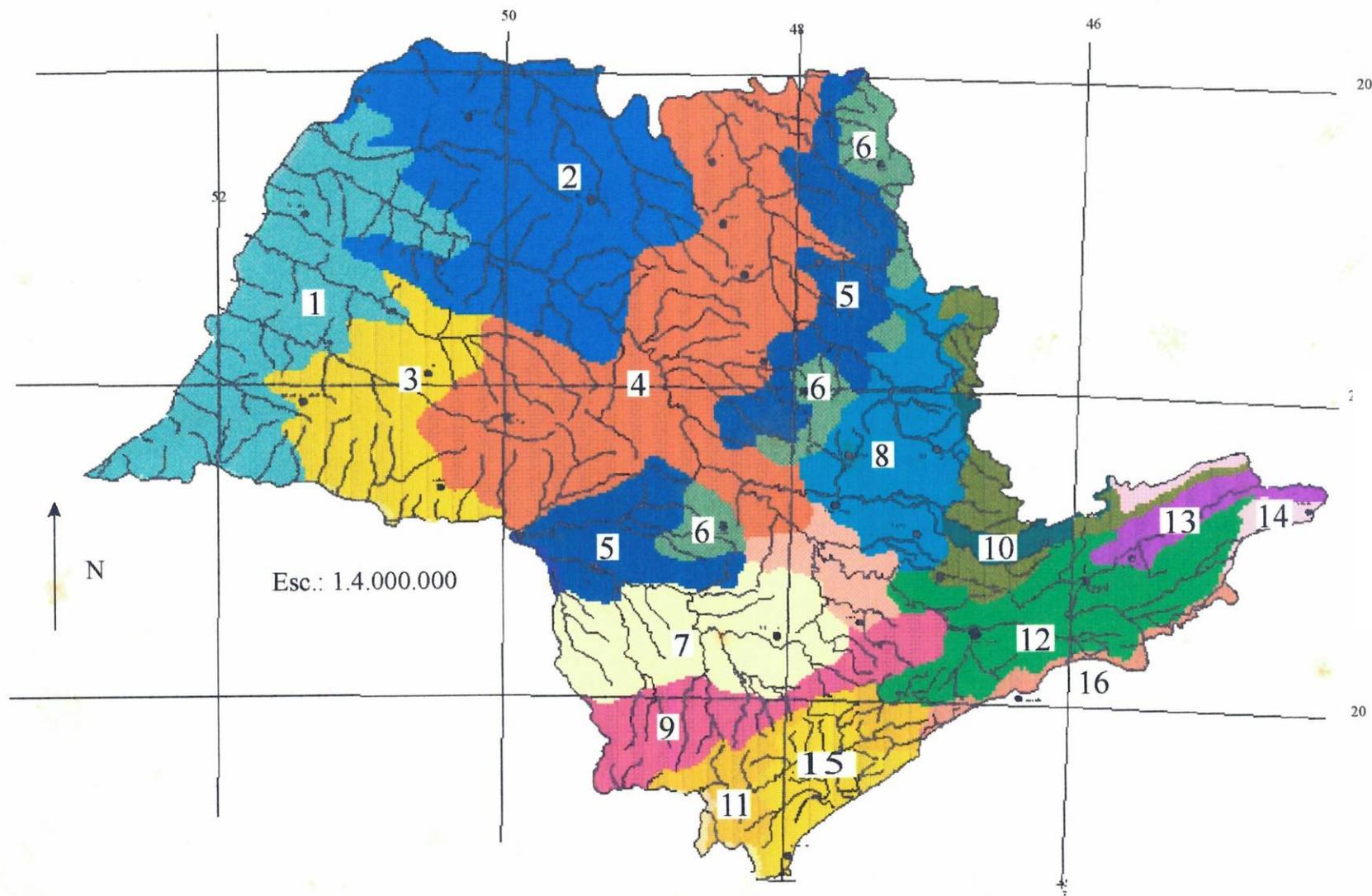
O mapa das unidades ambientais, obtido pela combinação do mapa das unidades homogêneas com a hipsometria (DTM), é apresentado na Figura 8.1. Utilizando esta metodologia de integração de dados ambientais ao nível regional, identificamos 16 unidades no estado. As características geomorfológicas, geológicas, litológicas, e suas relações com a vazão média específica e a frequência de cheias, são apresentadas no Quadro 8.1.

A análise de coincidência espacial entre o mapa das regiões hidrológicas e o mapa das unidades ambientais, efetuada através de álgebra booleana, mostrou uma tendência de associações mais prováveis entre as categorias dos citados mapas.

A Tabela 8.4 apresenta a matriz de tabulação cruzada entre as categorias hidrológicas (colunas) e as categorias ambientais. Para uma melhor comunicação visual do conteúdo da referida tabela, construiu-se um diagrama de barras múltiplo, mostrando a distribuição das 16 unidades em cada região hidrológica (Figura 8.2).

No diagrama, os valores de Q_{med}/A e de $P(X>3,0)$ aumentam no sentido das ordenadas, e a distribuição das unidades ambientais alinha-se no sentido das abcissas, da esquerda para a direita do diagrama. A figura foi organizada de maneira que se pudesse visualizar a variação espacial da intensidade dos parâmetros hidrológicos, segundo as unidades ambientais e a divisão geomorfológica do estado.

Fig. 8.1 - UNIDADES AMBIENTAIS OBTIDAS POR GEOPROCESSAMENTO



UNIDADES AMBIENTAIS	FORMAS DE RELEVO	GEOLOGIA	LITOLOGIA	COBERTURA VEGETAL PREDOMINANTE (1)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)	EVAPOTRANSP. MÉDIA (mm)	DISPONIBILIDADE HÍDRICA (mm)	ESCOAMENTO SUPERFICIAL (2)	P (X) % (3)
1	Colinas Amplas com Topos Extensos e Aplanados	Formação Cauá	Arenitos Finos a Médios	Pastagens Campos Antrópicos	1 246,13	1 080,11	166,02	0,76	8,49
	Colinas Médias com Topos Aplanados	Formação Santo Anastácio	Arenitos Finos a Muito Finos						
2	Colinas Médias com Topos Aplanados	Formação Adamantina	Arenitos Finos a Muito Finos	Pastagens Citricultura	1 222,30	1 159,46	62,84	1,01	20,48
3	Morrotes Alongados e Espigões com Topos Angulosos e Achatados	Formação Adamantina	Arenitos Finos a Muito Finos	Pastagens Culturas Anuais Cana de Açúcar	1 257,03	1 003,97		0,96	18,39
		Formação Santo Anastácio	Arenitos Finos a Médios						
4	Morros Amplos com Topos Arredondados e Achatados	Formação Serra Geral	Basaltos Intercalados a Arenitos	Cana de Açúcar Pastagens Reflorestamento Cerrado / Campo Cerrado	1 298,88	988,8	310,08	1,20	32,15
	Colinas Médias com Topos Aplanados	Formação Adamantina	Arenitos Finos a Médios						
5	Morros Amplos com Topos Arredondados e Achatados	Formação Serra Geral	Basaltos Intercalados a Arenitos	Pastagens Cana de Açúcar Campos Antrópicos	1 341,16	919,62	421,54	1,38	41,98
	Morros Arredondados com Exposição Local de Rochas	Formação Botucatu	Arenitos Finos a Médios						
	Morrotes Alongados e Espigões com Topos Angulosos e Achatados	Formação Marília	Arenitos Grosseiros a Conglomeráticos						
6	Escarpas Festonadas com Topos Angulosos e Espigões	Formação Botucatu	Arenitos Finos a Médios	Pastagens Reflorestamento Matas Cana de Açúcar	1 409,59	930,85	478,74	1,49	47,63
		Formação Serra Geral	Basaltos Intercalados a Arenitos						
	Mesas Basálticas e Morros Testemunhos Isolados, com Topos Aplanados	Formação Itaqueri	Arenitos e Conglomerados						
7	Colinas Amplas com Topos Extensos e Aplanados	Formação Pirambóia	Arenitos Médios a Finos	Reflorestamento Pastagens Campos Antrópicos Matas	1 200,53	817,71	382,82	1,37	42,38
	Colinas Médias com Topos Aplanados	Formação Itararé	Arenitos de Granulação Heterogênea						
	Morrotes Alongados e Espigões com Topos Angulosos e Achatados	Formação Tatui	Siltitos						
8	Colinas Amplas com Topos Extensos e Aplanados	Formação Aquidauana	Arenitos Siltitos Folhelhos	Cana de Açúcar Citricultura Pastagem	1 305,12	846,55	166,02	1,58	52,57
	Colinas Médias com Topos Aplanados	Formação Itararé	Arenitos de Granulação Heterogênea						
	Morrotes Alongados e Espigões com Topos Angulosos e Achatados								
	Morros Amplos com Topos Arredondados e Achatados	Formação Serra Geral	Basaltos Intercalados a Arenitos						
9	Serras Alongadas com Topos Angulosos	Suites Graníticas Sintectônicas Fácies Cantareira	Granitos e Gnaisses	Mata Atlântica e Pastagens	1 477,51	671,51	806,00	1,85	53,56
	Montanhas com Vales Profundos e Topos Angulosos Morros com Serras Restritas e Topos Arredondados								
10	Mar de Morros com Topos Arredondados	Suites Graníticas Indiferenciadas	Dioritos e Granitos	Pastagens Culturas de Subsistência Matas	1 536,25	720,82	815,43	2,46	50,82
	Morros com Serras Restritas e Topos Arredondados	Complexo Amparo	Gnaisses e Migmatitos de Estrutura Diversa						
	Serras Alongadas com Topos Angulosos								
11	Mar de Morros com Topos Arredondados	Complexo Costeiro	Migmatitos	Mata Atlântica	1 735,98	729,46	1 006,52	3,09	69,18
	Morros com Serras Restritas e Topos Arredondados	Complexo Turvo-Cajati	Ectinitos e Migmatitos						
	Morros Paralelos com Topos Arredondados								
12	Mar de Morros com Topos Arredondados	Suites Graníticas Sintectônicas Fácies Cantareira	Granitos e Gnaisses	Pastagens Matas de Galeria	1 775,51	728,58	1 046,93	2,44	65,08
	Serras Alongadas com Topos Angulosos	Complexo Embu	Migmatitos Heterogêneos						
	Morros com Serras Restritas e Topos Arredondados								
13	Colinas Pequenas com Espigões Locais e Topos Aplanados	Formação Caçapeva	Sedimentos Arenosos e Siltosos	Pastagens e Culturas Irrigadas	1 481,77	709,1	772,67	3,45	73,68
	Planícies Fluviais								
	Colinas Amplas com Topos Extensos e Aplanados	Formação Tremembé	Folhelhos e Argilitos						
14	Serras Alongadas com Topos Angulosos	Complexo Paraíba do Sul	Gnaisses e Migmatitos	Pastagens Mata Atlântica Campos de Altitude	1 891,48	731,89	1 150,59	3,86	78,09
	Escarpas Festonadas com Topos Angulosos e Espigões		Migmatitos Granulitos Xistos e Rochas Básicas						
	Escarpas com Espigões Digitados e Topos Angulosos	Complexo Costeiro							
15	Colinas Pequenas Isoladas	Formação Parquera-Açu	Sedimentos Areno-Argilosos e Cascalhos	Mata Atlântica Bananas Pastagens Mangues	1 840,52	727,8	1 120,72	3,05	78,74
	Morrotes Mesa-Laranja / Topos Arredondados	Complexo Costeiro	Migmatitos de Estruturas Diversas						
	Terraços Marinhas	Formação Cananéia Quaternário Marinho	Áreas Inconsolidadas						
16	Escarpas Festonadas com Topos Angulosos e Espigões	Complexo Costeiro	Migmatitos Granulitos Xistos e Rochas Básicas	Mata Atlântica e Vegetação de Restinga	2 379,08	759,23	1 618,85	3,12	70,24
	Escarpas com Espigões Digitados e Topos Angulosos	Suites Graníticas Sintectônicas Fácies Cantareira	Granitos e Gnaisses						
	Planícies Costeiras	Quaternário Marinho	Áreas Inconsolidadas						

(1) - Em ordem de representatividade espacial dentro de unidade ambiental

(2) - Em m³/km² x 10

(3) - Probabilidade de ocorrer cheias maiores que 3.0 m³/km² x 10

		REGIÕES HIDROLÓGICAS					
		I	II	III	IV	V	VI
UNIDADES AMBIENTAIS	1	0,5777	0,4223	0	0	0	0
	2	0	0,9759	0,0241	0	0	0
	3	0,1026	0,8729	0,0245	0	0	0
	4	0	0,5064	0,4162	0,0774	0	0
	5	0	0,2014	0,5624	0,2327	0	0
	6	0	0,1413	0,4441	0,4156	0	0
	7	0	0	0,9399	0,0601	0	0
	8	0	0	0,4971	0,5029	0	0
	9	0	0	0,5079	0,2848	0,2073	0
	10	0	0	0,0349	0,5638	0,1901	0
	11	0	0	0,0282	0	0,9718	0
	12	0	0	0	0,5429	0,4334	0
	13	0	0	0	0,0536	0,5018	0,4446
	14	0	0	0	0	0,1011	0,8989
	15	0	0	0	0	0,0294	0,9706
	16	0	0	0	0,0615	0,8712	0,0673

Tabela 8.4 - Matriz de tabulação cruzada, entre as unidades ambientais e as regiões hidrológicas (%).

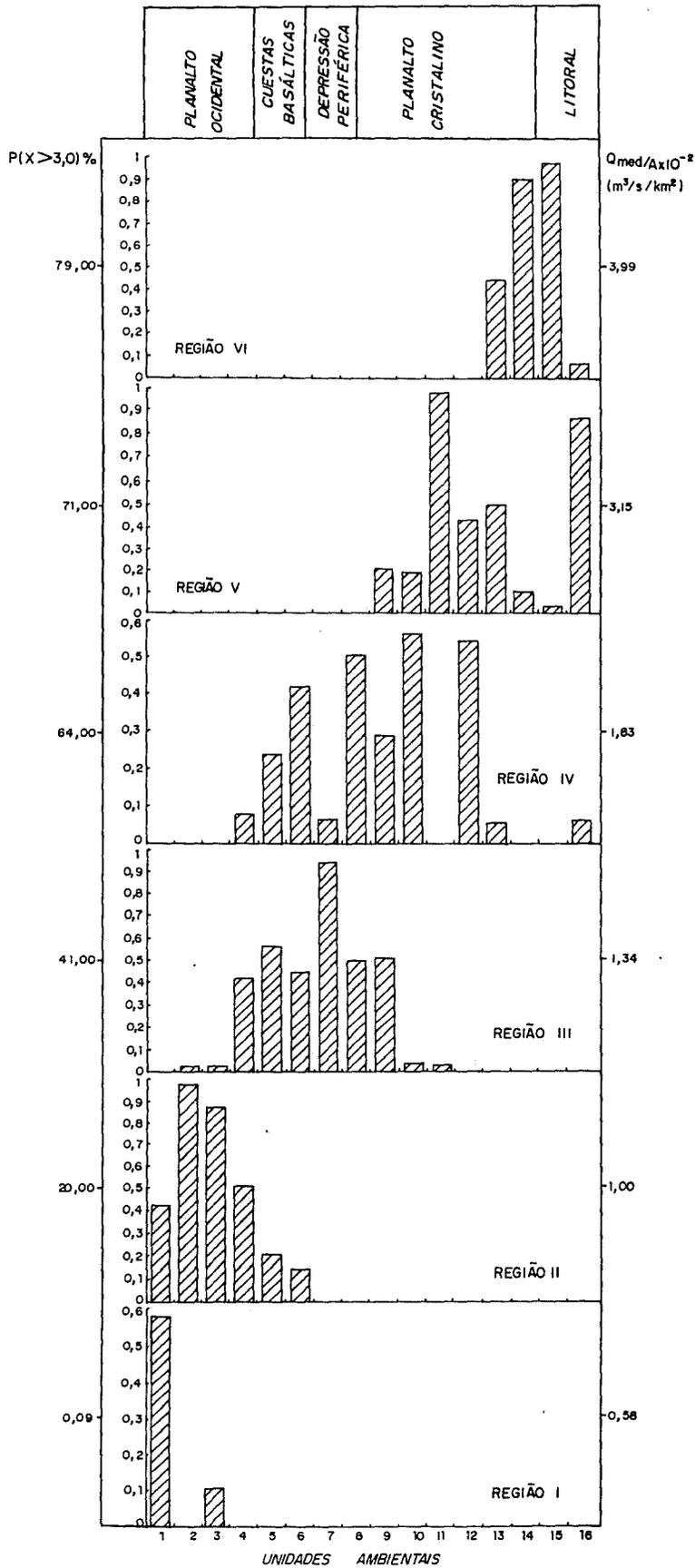


Figura 8.2 - Diagrama de distribuição das unidades ambientais em relação às regiões hidrológicas e à divisão geomorfológica do estado.

Pode-se notar claramente que a disposição das barras de frequência obedece um padrão diagonal, isto é, a sua concentração cresce tanto no sentido das ordenadas como no das abcissas. Desta maneira verifica-se, com base nos valores de Q_{med}/A e $P(X>3,0)$, que a intensidade dos processos hidrológicos é função da posição espacial da divisão geomorfológica regional do estado, sendo menores no Planalto Ocidental, intermediários nas Cuestas Basálticas e Depressão Periférica, atingindo valores máximos a partir do setor oeste e sudoeste do Planalto Cristalino e no Litoral.

Os resultados mostraram que as unidades localizadas no Planalto Ocidental (unidades 1 a 4) ocupam preferencialmente porções das regiões hidrológicas I e II, cujos valores de $P(X > 3,0)$ e Q_{med}/A são os menores do território estudado. Observa-se que a unidade 1 apresenta maior coincidência com a Região I e as unidades 2 e 3 situam-se com maior frequência na Região II.

As unidades situadas nas Cuestas Basálticas (5 e 6) concentram-se espacialmente nas Regiões III e IV, devendo-se ressaltar que o reverso das cuestas é mais notório na Região III e, as escarpas, coincidem com relativa intensidade com os espaços ocupados pela Região IV.

Analisando-se a Região IV, nota-se que a mesma demonstra uma maior coincidência espacial com diferentes unidades ambientais, obviamente devido à sua maior área ocupada dentre as demais regiões hidrológicas do território paulista. Mas se observa também que a partir desta região e da Região III, as unidades ambientais típicas do Planalto Cristalino começam a se tornar mais freqüentes.

Na Região III, deve-se destacar os maiores valores para as unidades 7 (Zona do Paranapanema) e 8 (Zona do Mogi-Guaçu), situadas na

Depressão Periférica, e na Região IV, as unidades 9 (Planalto de Guapiara), 11 (Serrania de Lindóia) e 13 (Vale do Paraíba), situadas no Planalto Cristalino.

As unidades 12 (Planalto do Paraitinga) e 15 (Vale do Ribeira), também do Planalto Cristalino, têm a maior coincidência de suas áreas com a Região V, enquanto as unidades 14 (Serra da Mantiqueira e Serra da Bocaina) e 16 (Serra do Mar e Planície Costeira), posicionam-se com maior destaque na região hidrológica VI.

9 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DAS UNIDADES AMBIENTAIS

Nas unidades ambientais 1, 2 e 3 predominam principalmente as colinas (amplas e médias) e localmente, morrotes alongados, com baixos valores de declividades, amplitude altimétrica e densidade de drenagem, Nestas unidades destacam-se os arenitos finos e muito finos, sendo a pastagem o tipo de cobertura vegetal espacialmente mais importante.

AB'SABER (1969a) se refere a este conjunto de paisagens como os "baixos chapadões do oeste paulista", os quais o autor caracteriza como uma vasta extensão de chapadões areníticos de vertentes convexas suaves e de relevo tabuliforme, ou seja, o "*mar de chapadões baixos*". TROPMAIR (1981) individualiza estas unidades como os geossistemas planalto paulista sudoeste, planalto paulista centro e planalto paulista noroeste.

Na classificação climática de MONTEIRO (*op.cit.*), percebe-se que as unidades 1 e 2, inserem-se com maior representatividade na feição climática VIII (oeste), onde o autor informa que "as chuvas de inverno, se bem que reduzidas a ponto de constituir um período seco, são bem mais intensas que aquelas produzidas no centro-norte". Quanto ao ritmo climático, o autor prossegue afirmando que "as chuvas de primavera e especialmente de verão são bem maiores na área centro-norte do que no oeste (...) e o oeste e o norte oferecem um contraste do ponto de vista rítmico".

Ainda consultando a classificação de MONTEIRO (*op.cit.*), verificamos que a unidade 3 representa um maior predomínio da feição climática X (sudoeste), que segundo o autor, devido a "sua posição mais meridional, está

sujeita à maior participação das massas polares" (em relação à feição VIII). Esta posição geográfica, prossegue o autor, "oferece de quando em vez a existência de um inverno mais chuvoso."

As duas últimas colunas do Quadro 8.1 mostram que o Q_{med}/A situa-se entre 0,76 e 1,01 $m^3/s/km^2 \times 10^2$. Já quanto a $P(X>3,0)$, os resultados mostram que nestas unidades ambientais os valores menores ocorrem na unidade 1 (8,49 %) e os maiores para a unidade 2 (20,48 %)

Um segundo conjunto de unidades ambientais é aquele composto morfologicamente por morros (amplos e arredondados) associados à colinas médias (unidades 4 e 5). Nestas unidades verificamos a presença bem definida dos basaltos e arenitos de granulometria fina e grosseira. Onde destacam-se espacialmente a cana de açúcar e as pastagens.

ALMEIDA (1974) entende que o espaço ocupado pelas unidades ambientais 4 e 5 formam o conjunto das cuestas basálticas. Já TROPMAIR (*op.cit.*), mostra a unidade ambiental 4 como o geossistema planalto paulista noroeste e a 5 como o geossistema serrinhas .

Estudos de MONTEIRO (*op.cit.*) nos apoiam em dizer que a unidade 4 envolve as feições climáticas V (centro-norte) e VII (serra de Botucatu e a faixa meridiana de transição). Nos espaços onde a unidade 4 coincide com a feição V, a característica fundamental, segundo o autor, "é a existência de um período seco muito nítido onde a frequência da chuva diminui consideravelmente no sentido dos paralelos, culminando no setor norte, que se constitui na área de inverno mais nitidamente seco do estado".

No que se refere a porção coincidente com a feição VII, observa o autor que "seu ritmo mantém uma transição entre o oeste e o centro-norte" e também que "esta faixa constitui a zona de intersecção das três grandes correntes da circulação regional" que atuam no estado de São Paulo.

Analisando os parâmetros hidrológicos das duas unidades mencionadas, destacamos que Q_{med}/A assume valores de 1,20 e 1,38 $m^3/s/km^2 \times 10^{-2}$, e probabilidade de ocorrência de valores acima de 3,0 $m^3/s/km^2 \times 10^{-2}$, $P(X>3,0)$, da ordem de 32,15 % e 41,98% (unidades 4 e 5, respectivamente).

A unidade ambiental 6, diferencia-se das demais situadas na Bacia Sedimentar do Paraná, já mencionadas anteriormente, devido as formas de relevo à ela relacionada: escarpas festonadas com topos angulosos e mesas basálticas com morros testemunhos isolados. ALMEIDA (1964) define de maneira geral esta unidade, como cuevas basálticas e TROPPEMAIR (*op.cit.*) como o geossistema cuevas.

Verifica-se nesta unidade, a presença de arenitos de finos a conglomerados e basaltos intercalados a arenitos, onde predominam as pastagens com maior destaque sobre o reflorestamento, as matas e a cana de açúcar. O escoamento fluvial médio é da ordem de 1,49 $m^3/s/km \times 10^{-2}$ e a $P(X > 3)$ igual a 47,98 %.

Além de posicionar-se em áreas de domínio climático relativo à feição VII de MONTEIRO (*op.cit.*), a unidade 7 tem também em seus domínios as características da fácies Vb, à qual o autor individualiza como "um lóbulo avançado do Planalto Ocidental ao norte da "pércee" do Tietê, sobre o qual se localizam São Carlos e Brotas, que revela um ligeiro aumento na quantidade de

precipitação". Nota também o autor, que no inverno o aumento da pluviosidade se dá por efeito orográfico.

Ainda sob o ponto de vista climático, mais ao norte na unidade 7, ocorre a fácies Vc, que inclui o Planalto de Franca e áreas vizinhas. Nesta fácies destaca o autor que, "mantém-se a nitidez do período seco (...) contrastando com um período chuvoso de maiores índices" que os da fácies Vb.

As unidades ambientais 7 e 8, têm formas de relevo do tipo colinas (amplas e médias) e morrotes alongados, principalmente. Em termos litológicos apresentam arenitos médios, siltitos, folhelhos e basaltos intercalados a arenitos, sendo verificados com maior relevância a cana de açúcar e o reflorestamento.

ALMEIDA (1964) define o conjunto formado pelas unidades 7 e 8 como a Depressão Periférica Paulista, subdividindo-a em três zonas: Zona do Médio Tietê, Zona do Paranapanema e Zona do Mogi-Guaçu. A unidade ambiental 7 nada mais é que a zona do Paranapanema, e a unidade 8, é espacialmente similar a zona do Mogi-Guaçu. A zona do médio Tietê insere-se parcialmente nas duas unidades, não sendo possível individualizá-la. Em TROPPEMAIR (op. cit.), notamos que o autor mapeou dois geossistemas na depressão periférica: Depressão Periférica Sul, que coincide com a unidade 7, e Depressão Periférica Norte, que superpõe-se à unidade 8.

A unidade 7 combina-se espacialmente de maneira bem perceptível, com a feição Ilc, que segundo MONTEIRO (op.cit) "trata-se de área onde não se distingue período seco (...). A posição extrema meridional colocaria esta área (...) a receber, mesmo no inverno, importante colaboração das chuvas frontais a par de flutuações térmicas mais sensíveis".

Já a unidade 8 enquadra-se claramente na fácies da feição Centro-Norte, identificada pelo autor como Va. Descreve esta feição como "parte setentrional da Depressão Paulista abrigada entre os contrafortes da Mantiqueira e a borda do Planalto Ocidental, que apresenta como nota característica a reduzida nebulosidade e moderação da umidade".

A análise do comportamento hidrológico de superfície destas unidades mostra que a vazão média específica é $1,37 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 10^2$ na unidade 7 e $1,58 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 10^2$ na unidade 8. A probabilidade $P(X > 3,0)$ é maior na unidade 8, em torno de 52,57 %, e inferior na unidade 7, com 42,38 %.

A partir da unidade ambiental 9, observa-se o domínio das rochas cristalinas e o aumento significativo dos valores de escoamento fluvial e de $P(X > 3)$. As unidades 9 e 10, com formas de relevo caracterizadas por serras alongadas, montanhas com vales profundos e morros com topos arredondados, apresentam litologias dominadas por granitos, gnaisses e migmatitos. Nestas unidades, são relevantes a mata atlântica e as pastagens.

Efetuada uma análise na divisão geomorfológica proposta por ALMEIDA (1974), nota-se que a unidade 9 corresponde em boa parte de seus domínios à zona do Planalto de Guapiara. Já a unidade 10 engloba as zonas Serrania de São Roque, Planalto de Jundiá e Serrania de Lindóia.

No que concerne ao caráter climático, a unidade 9 distribui-se em maior predomínio, com a faixa transicional entre as feições climáticas IIc e IIa, cuja descrição é comentada neste texto junto à outras unidades ambientais. Quanto à unidade 10, a feição climática de MONTEIRO (*op.cit.*) que mais se adapta é a IVb. Nesta área, segundo o autor, "a massa tropical marítima também predominante no inverno, sofre basalmente de resfriamento, aumentando a sua

estabilidade. O mau tempo (...) restringe-se às passagens frontais que aí chegam já enfraquecidas. A quantidade e a freqüência das chuvas é bem superior àquela que se observa nas áreas que se desenvolvem a oeste (...)"

A vazão média específica na unidade 10 é superior aos valores observados na unidade 9, sendo na primeira $2,46 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 10^2$ e na segunda, $1,85 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 10^2$. No que se refere às cheias, os valores observados nas unidades são muito próximos, respectivamente 53,56 % e 52,57 %.

As unidades ambientais 11 e 12 posicionam-se em terrenos do Planalto Cristalino, dominados por mar de morros, e em plano inferior de extensão territorial, por serras alongadas e morros com serras restritas. Na divisão geomorfológica de ALMEIDA (*op.cit.*) verifica-se que a unidade 11 insere-se principalmente na subzona Serrania costeira e Serrania do Itatins enquanto a unidade 12 é ocupada pelas subzonas Serrania de Natividade-Quebra Cangalha, Morraria do Paraitinga e Morros Cristalinos.

Na classificação climática de MONTEIRO (*op.cit.*), a unidade 11 associa-se à fácies IIa, uma área com "maior índice de penetração de massas polares e passagens frontais". Segundo o autor, este é o "trecho litorâneo paulista exposto no inverno a sensíveis e mais freqüentes abaixamentos de temperatura" e no verão, "o seu índice de precipitação polar é o mais elevado do estado (...) e as chuvas frontais tem aí uma grande importância".

A unidade 12 apresenta maior probabilidade de coincidência com a fácies Ia, ou seja, "a estreita faixa do Planalto Atlântico entre a costa e o Vale do Paraíba (...) que diferencia-se do litoral norte quanto a "distribuição das chuvas, pois que a diminuição ocorrida no outono-inverno é tal que se pode distinguir um período seco".

Analisando-se a classificação dos geossistemas de TROPMAIR (*op.cit.*), certifica-se que a unidade 12 engloba os geossistemas mar de morros e Bacia de São Paulo. Nas unidades 11 e 12 predominam os migmatitos, granitos e gnaisses, e ectinitos, onde as pastagens e a mata atlântica ocupam maior percentual das áreas nas respectivas unidades.

A vazão média específica nas unidades 11 e 12 é de 3,09 m³/s/km² e 2,44 m³/s/km², respectivamente. No que se refere à frequência de cheias, os resultados mostram que a unidade 11 apresenta valores superiores a unidade 12, isto é, 69,18 % contra 65,08 %.

A unidade ambiental 13 individualiza-se das demais situadas no leste paulista, devido principalmente às suas características geomorfológicas e litológicas. Apresentando colinas pequenas com espigões locais/topos aplainados e colinas amplas com topos extensos e planícies fluviais, a unidade está localizada sobre sedimentos arenosos e siltosos, bem como, sobre folhelhos e argilitos. Nesta unidade definem-se com maior relevância as pastagens e as culturas irrigadas. Esta feição do estado de São Paulo, é reconhecida por ALMEIDA (*op.cit.*) como a subzona Colinas Sedimentares. TROPMAIR (*op.cit.*) identificou aí o geossistema Vale do Paraíba.

Os estudos de MONTEIRO (*op.cit.*), mostram que o espaço ocupado pela unidade 13 encontra-se em concordância com a feição climática Vale do Paraíba (Ili). Para o autor, esta feição apresenta-se como uma faixa de menor umidade e temperaturas mais elevadas" que as Serras da Mantiqueira e a do Mar. Nesta feição, continua o autor, "a descida do ar vindo do oceano já aliviado de boa parte de sua umidade pela precipitação na subida da serra, é a explicação suficiente a este caráter".

Constatou-se que na unidade 13 o escoamento fluvial médio é da ordem de $3,45\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2 \times 10^2$ e a probabilidade de ocorrência de valores extremos de vazão fluvial situa-se em torno de 73,68 %. Estes altos valores não devem ser interpretados em termos absolutos, pois o Vale do Paraíba estando próximo à duas áreas de altos valores de Q_{med}/A e $P(X > 3,0)$ (Serras da Mantiqueira e da Bocaina), apresenta influência destes dados no processo de interpolação. Isto se dá principalmente pela escala adotada no trabalho, que preferencialmente tornam mais relevantes as relações globais.

Caracterizada principalmente por Escarpas (Festonadas e com Espigões Digitados), a unidade ambiental 14 envolve 5 subzonas: Planalto de Campos do Jordão, Planalto de Santo Antônio do Pinhal, Serrania do Alto Sapucaí, Serrania da Bocaina e Planaltos Isolados (ALMEIDA, *op.cit.*).

Do ponto de vista climático, a classificação de MONTEIRO (*op.cit.*) mostra que a Serra da Mantiqueira e o Planalto de Campos do Jordão, "destacam-se pelo decréscimo da temperatura e o aumento da pluviosidade". Ainda segundo o autor, "na face da serra voltada para o mar, o teor de chuvas aumenta de modo a não se distinguir período seco". Quanto à Serrania da Bocaina e os Planaltos Isolados, o autor ressalta que trata-se de um setor setentrional mais elevado e pluvioso" do Planalto Atlântico Norte.

A unidade ambiental 15, compreende um conjunto de relevo caracterizado por Colinas Pequenas Isoladas, Morrotes Meia-Laranja e Terraços Marinhos, situados no Vale do Ribeira entre as Serras do Itatins e do Azeite. Nesta unidade, a litologia apresenta sedimentos areno-argilosos e cascalhos, migmatitos de estruturas diversas e areias inconsolidadas.

ALMEIDA (1974) atribui a este espaço do estado, as zonas Morraria Costeira e Baixadas Litorâneas. Quanto aos elementos climáticos, a unidade 15 insere-se na feição Ila, cujas características já foram descritas nos comentários sobre a unidade 11. Para TROPMAIR (op.cit.), este setor do estado corresponde ao geossistema Planície Costeira Sul.

Os resultados relativo à Q_{med}/A mostram que a unidade 15 apresenta um valor de $3,05 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, sendo a $P(X>3,0)$ igual a 78,74 %, os maiores valores do estado.

Tanto o litoral norte como o litoral sul paulista, estão inseridos na unidade ambiental 16, cujo relevo apresenta escarpas (festonadas e com espigões digitados) e planícies costeiras. A litologia nesta unidade varia de migmatitos, granulitos, xistos e rochas básicas, granitos e gnaisses, nas escarpas da serra do mar, a areias inconsolidadas na Planície Costeira.

ALMEIDA (op.cit), identificou as sub-zonas Serra do Mar e Baixadas Litorâneas dentro dos limites correspondentes a esta unidade, enquanto TROPMAIR (op.cit) individualizou os geossistemas Planície Costeira Norte e Escarpas. O escoamento fluvial médio estimado para esta unidade situa-se em torno de $3,12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, enquanto a $P(X>3,0)$ aproxima-se de 70,04 %.

10. CONCLUSÕES

De acordo com os dados fluviométricos brutos das 66 bacias analisadas, foi possível classificar a área de estudo em 6 regiões hidrológicas homogêneas, definidas segundo a similaridade das vazões médias específicas. As regiões foram ordenadas segundo o potencial de escoamento superficial, podendo-se assim diferenciar setores com comportamento hidrológico distintos.

As fronteiras das regiões são flexíveis, não havendo uma preocupação em se fechar limites estáticos, uma vez que não se conhece o comportamento hidrológico de subsuperfície das mesmas. No entanto, os polígonos delimitados para cada região hidrológica, nos serviram como unidades amostrais para a análise integrada com as demais variáveis ambientais. Tais polígonos atuaram então como fontes de coleta de dados espaciais intermapas, fornecendo elementos para interpretação da superposição espacial entre dados geográficos.

Desta maneira, observamos que em uma escala global, os parâmetros Q_{med}/A e P ($X > 3,0$) dependem da precipitação média anual, do percentual de rochas sedimentares na bacia e da altitude média e da amplitude altimétrica. Estas relações são primeiras aproximações que tem valor apenas para a área de estudo.

Observamos também que os parâmetros hidrológicos acima podem ser analisados com maior precisão espacial, quando comparados às unidades definidas segundo uma integração de variáveis ambientais. A análise de coincidência entre o mapa das unidades ambientais e o mapa das regiões hidrológicas, demonstrou o grau de relação entre as categorias dos mapas e os compartimentos geomorfológicos do estado.

hidrológicas, demonstrou o grau de relação entre as categorias dos mapas e os compartimentos geomorfológicos do estado.

Neste sentido, constatamos que os valores de Q_{med}/A e $P (X>3,0)$ aumentam na seguinte ordem dos compartimentos: Planalto Ocidental, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas, Planalto Cristalino e Litoral.

A delimitação espacial das unidades ambientais foi efetuada de maneira probabilística, uma vez que os limites de cada unidade não podem ser precisos e estáticos. Isto porque cada unidade foi individualizada estatisticamente com base em fatores geológicos, hipsométricos e climáticos.

Se considerarmos que os fatores do clima foram estruturados na base de dados digitais através de superfícies interpoladas a partir de isotermas, isoietas, isolinhas de radiação solar global, evapotranspiração e probabilidade de ocorrência de geadas, a superposição destes dados aos altimétricos e geológicos, resultou em unidades com limites transitórios.

Desta forma, cada unidade tem na porção central do polígono que a delimita, uma probabilidade de 100 % de homogeneidade. A medida que se afasta deste centro a homogeneidade diminui em proporções não estudadas, de maneira que próximo aos limites da unidade, tem-se áreas que podem ser atribuídas também a unidade vizinha.

A análise comparativa com estudos clássicos da regionalização físico-geográfica do estado, tais como ALMEIDA (1974), MONTEIRO (*op.cit.*) e PONÇANO et al. (1981), possibilitou-nos uma individualização mais nítida das unidades, uma vez que os resultados obtidos nestes três estudos apresentam,

de certa forma, coincidência espacial com as unidades obtidas por geoprocessamento.

O trabalho do PONÇANO et al. (*op. cit.*) mostrou que as unidades ambientais podem ser discriminadas entre si pela frequência de determinadas formas de relevo, as quais estão relativamente associadas aos parâmetros utilizados para a regionalização hidrológica. O relevo de colinas (amplas e médias) apresenta maior incidência nas unidades cujos valores de Q_{med}/A e $P(X>3,0)$ são os menores do estado.

Em uma situação superior às colinas, em termos de valores de Q_{med}/A e $P(X>3,0)$, estão os morrotes (alongados e arredondados) e os morros amplos. Em um patamar acima dos morrotes, estão as serras alongadas, morros com serras restritas e os mares de morros, que ocorrem em unidades ambientais com maiores valores de Q_{med}/A e $P(X>3,0)$.

Em um nível destacado, associadas à unidades com altos valores de parâmetros hidrológicos regionalizados, encontramos as escarpas (festonadas e com espigões digitados), que inserem-se com maior importância nas unidades ambientais Serra da Mantiqueira e Serra da Bocaina.

Apresentando inequívoca coincidência com a divisão geomorfológica do estado de São Paulo proposta por ALMEIDA (*op. cit.*) e a classificação climática de MONTEIRO (*op. cit.*), as unidades ambientais obtidas através de geoprocessamento, são na realidade associações entre fatores litoestruturais e feições climáticas geneticamente ligadas à orografia e à participação percentual de massas de ar.

Os resultados da associação entre estes fatores podem ser vistos pela análise quantitativa dos parâmetros hidrológicos utilizados para a regionalização hidrológica. No estado de São Paulo, de maneira geral, as litologias com menor capacidade de infiltração (terrenos do Planalto Cristalino), ocorrem espacialmente ligadas à feições climáticas de elevada pluviosidade média anual, resultante da ampla participação alternada das massas polares, subtropicais e tropicais.

Nestas áreas situam-se as unidades de maiores valores de Q_{med}/A e $P(X>3,0)$, contrastando com o comportamento hidrológico do centro e oeste paulista, onde as unidades ambientais inserem-se em áreas de menor participação de chuvas frontais e menor pluviosidade anual, englobando litologias com maior capacidade de infiltração.

Sob a ótica dos recursos hídricos, observamos de forma preliminar, baseado-se nos valores médios anuais atribuídos às unidades ambientais, que há uma correlação da ordem de 0,79 entre a pluviosidade e Q_{med}/A e de - 0,78 entre a evapotranspiração e Q_{med}/A . Considerando a probabilidade de ocorrência de cheias, os índices de correlação são respectivamente 0,73 com a precipitação e de -0,89 para a evapotranspiração média anual.

Mas o que mais nos chamou a atenção foram os índices de correlação entre Q_{med}/A e a disponibilidade hídrica ou seja, excedente anual resultante da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração. Para este caso, o índice foi o mais elevado, em torno de 0,89. Também é elevada a correlação entre $P(X>3,0)$ e a disponibilidade hídrica, ao redor de 0,85.

Com base no quadro de relações entre variáveis ambientais exposto acima, em uma primeira aproximação, podemos afirmar com segurança

que ao nível regional, os valores extremos de vazão fluvial específica no estado de São Paulo têm maior probabilidade de ocorrer em áreas de rochas do complexo cristalino, sob ação de intensa pluviosidade associada à entrada de massas polares, baixa evapotranspiração e baixos índices de radiação solar. Tais características podem ser encontradas nas regiões hidrológicas V e VI.

Quanto ao uso e ocupação da terra, acreditamos que não cabe analisar e integrar estas informações às discutidas neste trabalho, em função da escala adotada. A inclusão deste plano de informação, com o detalhe espacial que o mesmo requer para representação cartográfica, deveríamos escolher uma escala subregional (1:500.000 ou 1:250.000). Estas escalas de trabalho, são compatíveis com níveis hierárquicos inferiores às unidades ambientais, tais como unidades de paisagem. Realizamos contudo, uma avaliação da predominância de determinados usos dentro de cada unidade ambiental, sem precisar em termos cartográficos, a sua posição absoluta na unidade.

Ao que tudo indica, a urbanização ainda não mostrou claramente sua influência regional nos dados relativos a Q_{med}/A , a não ser em escala local, ao nível de pequenas bacias com elevada proporção de área urbanizada. Neste caso, o fenômeno das cheias terá outro nível de relação com as variáveis ambientais regionalizadas, talvez com menor grau de dependência espacial. Mas são hipóteses a serem verificadas em outros estudos, cuja abordagem não seja a global, preocupação central desta pesquisa.

Acreditamos que as abordagens futuras envolvendo a metodologia proposta, devam caminhar no sentido da integração de dados espaciais com dados hidrológicos em tempo real, através de telemetria e dentro de um SIG. Também entendemos que os estudos que utilizarem esta metodologia, segundo

uma abordagem de monitoramento multitemporal, deverão integrar os dados espaciais e hidrológicos, à imagens provenientes de sensores orbitais de média e baixa resolução, adequados análises de mudanças globais.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. - Os baixos chapadões do oeste paulista. *Geomorfologia*, 17. São Paulo, USP, Instituto de Geografia, 1969,

ALMEIDA, F.F.M. - Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Bol. Inst. Geogr. Geol.*, São Paulo, (41):169-263, 1964.

ALMEIDA, F.F.M et al. - Mapa geológico do estado de São Paulo, vol. 1 e 2. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. Séries *Monografias* no.6, São Paulo, 1981.

ARONOFF, S - *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, WDL Publ., 1990.

AUTODESK, INC. - *AUTOCAD® Release 10: reference manual*. Autodesk, 1989, USA, 457p.

BEROUTCHACHVILI, N & BERTRAND, G. Le geossystème ou système territorial naturel. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 49(2):167-180, 1978.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DNAEE - *Boletim Fluviométrico n.20*, Bacia do Rio do Peixe, 1945-1968. São Paulo, DNAEE, 1970, 68P.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. DNAEE - *Boletim Fluviométrico n.23*, Bacia do Rio Paraíba, 1936-1968. São Paulo, DNAEE, 1970, 462P.

BURROUGH, P.A & FRANK, A.U. - Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information systems truly generic? *Int. journal of geographical information systems*, 9 (2):101-116, 1995

CAMARGO, M.B.P; PEDRO JR. M.P.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A; BRUNINI, O. & CHIAVEGATTO, O. - *Probabilidade de ocorrência de geadas nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul*. Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas, 136, Campinas, 1990 10p.

CORSON-RIKERT, J.- *ROOTS® digitizing systems: user manual*. Decision Images, Skillman, N.J., USA, 1992, 153p.

COWEN, D.J - GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? *Photogr. Eng. and Remote Sensing*, 54:1551-1554, 1981.

CHORLEY, R.J & KENNEDY, B.A - *Physical geography: a system approach*. London, Prentice-Hall, 370p.

CUNNANE, C. - Review of statistical models for flood frequency estimation. in: V.P. Singh (ed) - *Hydrologic frequency modeling*, Dordrecht, Hol., D.Riedel & Co., pp.49-85, 1987.

DEMECK, J. - The landscape as a geosystem. *Geoforum*, 9(1):29-34, 1978.

EASTMAN, J.R - *IDRISI: user's guide, version 4.1*, vols. I e II. Clarck University, Worcester, Mas., 1993

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do estado de São Paulo: primeiro esboço de divisão regional. *Geografia, São Paulo*, 1(2):117-169, 1935.

GREGORY, K.J. & WALLING, D.E. - *Drainage basins, form and process: a geomorphological approach*. London, Edward Arnold, 1973, 449p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - *Diagnóstico ambiental do Brasil*. Rio de Janeiro, FIBGE, 1990.

LANNA, A.E.; SILVEIRA, G.L. & TUCCI, C.E - Regionalização de vazões mínimas na bacia do Rio Jacuí, RS. *V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos*, Blumenau, SC, 13-18 de novembro, vol. 3, pp.109-131, 1983.

MAGUIRE, D.J. - An overview and definition of GIS. In: *Geographical information systems, vol. 1, Principles*, MAGUIRE, D.J. ; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (eds.), pp. 9-20, 1991.

MONBEIG, P. - A divisão regional do estado de São Paulo. *An. Assoc. Geogr. Bras.*, São Paulo, 1 (1945-1946):19-30, 1949.

MONTEIRO, C.A.F. - *Dinâmica das chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico em forma de atlas*. São Paulo, USP, Instituto de Geografia, 1973, 130p.

MORAES REGO, L.F. - *Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese*. São Paulo, Inst. Astron. Geofis., 43 p., 1932.

MOREHOUSE, S. - The architecture of ARC-INFO. *Proceedings of AUTOCARTO 9*. ASPRS/ACSM, Falls Church, pp. 266-277, 1989.

MOSLEY, M.P. - Delimitation of New Zealand hydrological regions. *Journal of Hydrology*, 49:173-192, 1981.

PABLO, C.L.; SAL, A.G & PINEDA, F.D. - Elaboration automatique d'une cartographie écologique et son évaluation avec des paramètres de la théorie de l'information. *L'Espace Geographique*, 26(2):115-128, 1987.

PEDRO JR., M.J.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.; CHIAVEGATTO, O.P;

RHIND, D.W. - Global databases and GIS. In: *Association for Geographic Information Yearbook 1989*. Taylos & Francis and Miles Arnold, London pp. 85-91, 1989

ORTOLANI, A.A. & BRUNINI, O. - *Disponibilidade de radiação solar global para o estado de São Paulo*. Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas, 123, Campinas, 1989, 13p.

OZEMOY, V.M.; SMITH, D.R; SICHERMAN, A. - Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. *Interfaces*, 11, 92-98, 1981.

PONÇANO, W.L. et al. - Mapa geomorfológico do estado de São Paulo, vol 1 e 2. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Série *Monografias*, no. 5. São Paulo, 1981.

RIGGS, H.C. - Frequency curves. *Techniques of Water Resources Investigations*. United States Geological Survey, A2, Book 4, 1968, 15p.

ROUGERIE, G. & BEROUTCHACHVILLI, N. - *Geosystèmes e paysages: bilan et méthodes*. Paris, Armand Colin, 1990, 302p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. IAC. - *Zoneamento agrícola do estado de São Paulo*; Vol 1 - isotermas anuais e levantamento do uso das terras. Campinas, SP., IAC, 1974.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DO INTERIOR. IGC. - *Hipsometria do estado de São Paulo*, esc.: 1:1.000.000. São Paulo, IGC, 1982.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. - *Atlas pluviométrico do estado de São Paulo*. São Paulo, CTH-DAEE, 1972.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. - *Atlas de evapotranspiração efetiva do estado de São Paulo*. São Paulo, CTH-DAEE, 1976.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.1*, 4ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1975, 176p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.2*, 2ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1974, 390p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.3*, 7ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1975, 176p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.4*, 1ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1975, 667p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.5*, 2ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1976, 181p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE. DAEE. *Boletim fluviométrico no.6*, 6ª zona hidrográfica. São Paulo, DAEE, 1977, 201p.

SÃO PAULO. SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS. DAEE. - *Estudo de águas subterrâneas. Região Administrativa 6.*, Vols. 1, 2, 3 e 4. São Paulo, DAEE, 1974.

SÃO PAULO. SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS. DAEE. - *Estudo de águas subterrâneas. Regiões Administrativas 7, 8 e 9.*, Vols. 1, 2, 3 e 4. São Paulo, DAEE, 1976.

SÃO PAULO. SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS. DAEE. - *Estudo de águas subterrâneas. Regiões Administrativas 10 e 11, Vols. 1, 2, 3 e 4.* São Paulo, DAEE, 1979.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. - *Inventário ambiental do estado de São Paulo.* São Paulo, 1992.

SCHUMM, S.A - *The fluvial system.* London, John Wiley & Sons, 1977, 335p.

SMITH, T.R; MENON, S; STARR, J.L; ESTES, J.E. - Requirements and principles for implementations and construction of large-scale geographic information systems. *int. Journal of Geographical Information Systems*, 1:13-31, 1987.

SOCHAVA, V.B. - Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre. *Biogeografia.* São Paulo, USP, Instituto de Geografia, 1978.

TROPPEMAYER, H. - Ecossistemas e geossistemas do estado de São Paulo. *Boletim de Geografia Teórica*, 13(25):28-38, 1983.

TUCCI, C. et al. - Regionalização das vazões máximas da alta bacia do rio Paraguai. *V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos.* Blumenau, SC, 13-18 de novembro, vol. 3, pp.150-171, 1983.

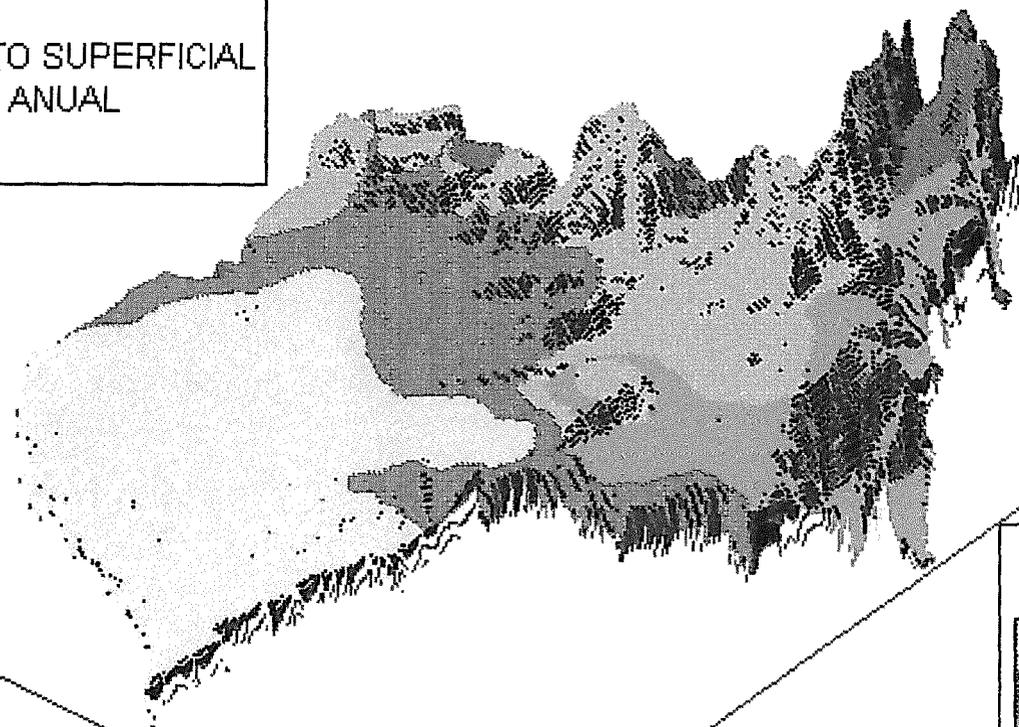
WILKINSON, L. - *SYSTAT®: the system for statistics.* Evanston, IL, SYSTAT INC., 1986.

WILTSHIRE, S. & BERAN, M. - Multivariate techniques for identification of homogeneous flood frequency regions. in: *Regional Flood Frequency Analysis.* V.P. Singh (ed), pp.133-145. Dordrecht, Hol., D.Riedel & Co., 1987.

ZIELINSKA, M.O. - Statistical analysis of floods and regional relations. in: *Regional Flood Frequency Analysis*. V.P. Singh (ed), pp.103-118. Dordrecht, Hol., D.Riedel & Co., 1987.

ANEXO I

ESCOAMENTO SUPERFICIAL
MÉDIO ANUAL



LEGENDA
m³/s/km² x 100



0.04 - 1.00

1.00 - 1.50

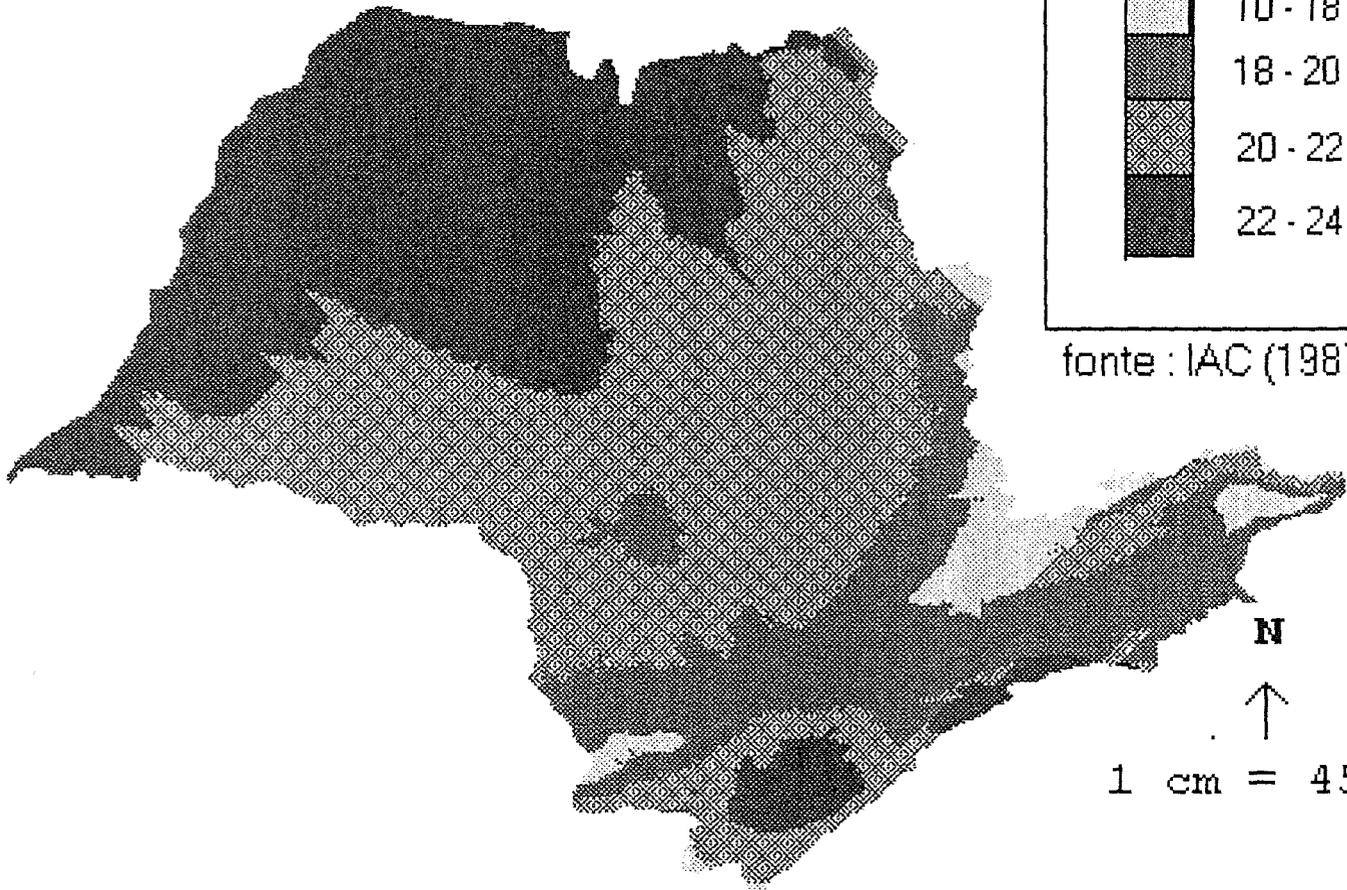
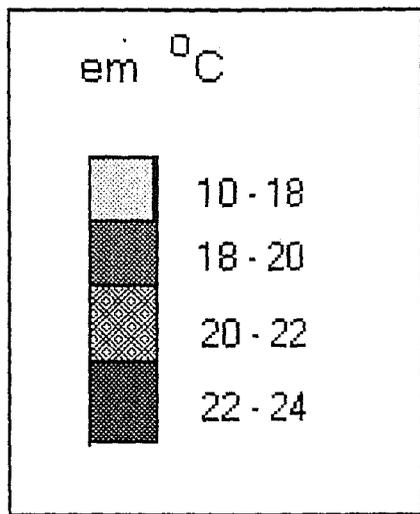
1.50 - 2.00

2.00 - 3.00

> 3.00

ESCALA
1:4.500.000

TEMPERATURA MÉDIA ANUAL



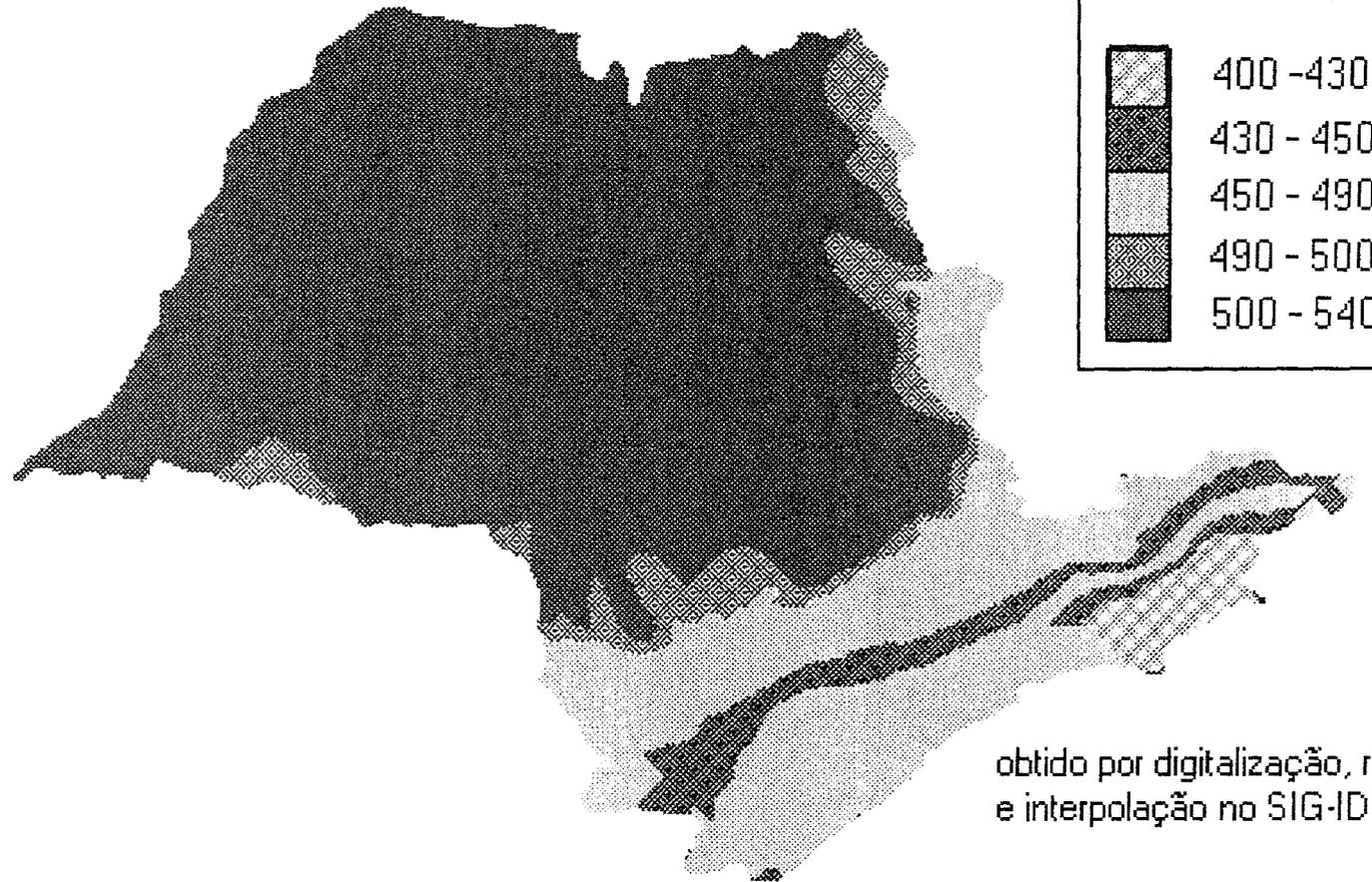
fonte : IAC (1987)

N

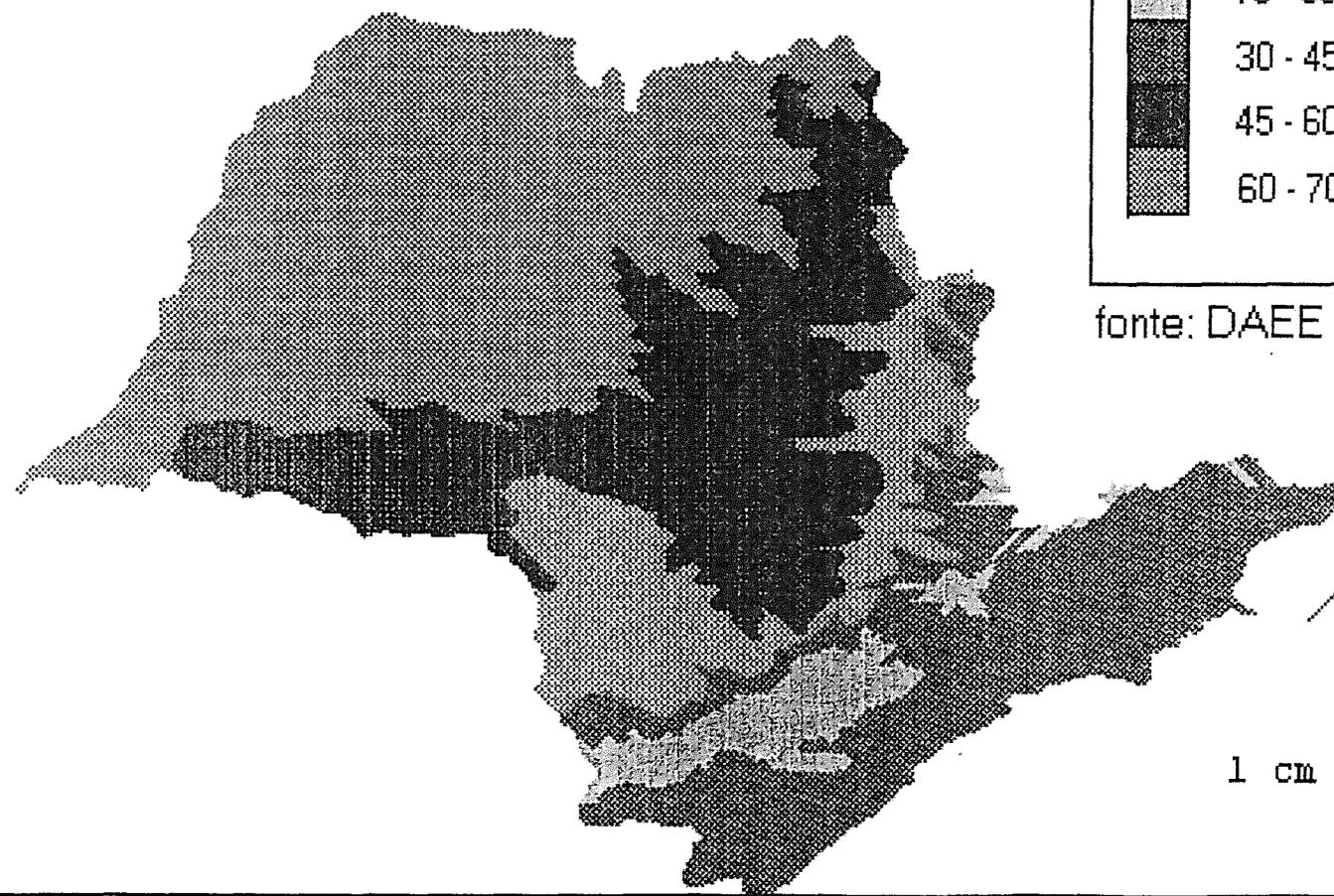


1 cm = 45 km

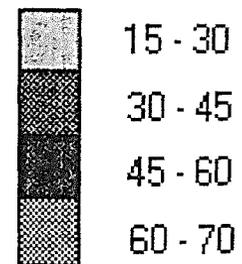
RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA NO VERÃO



EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO MÊS MAIS FRIO



em MM



fonte: DAEE (1976)



1 cm = 45 km

EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÉDIA DO MÊS MAIS QUENTE

em MM



40 - 70

70 - 90

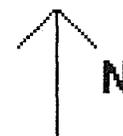
90 - 100

100 - 110

110 - 120

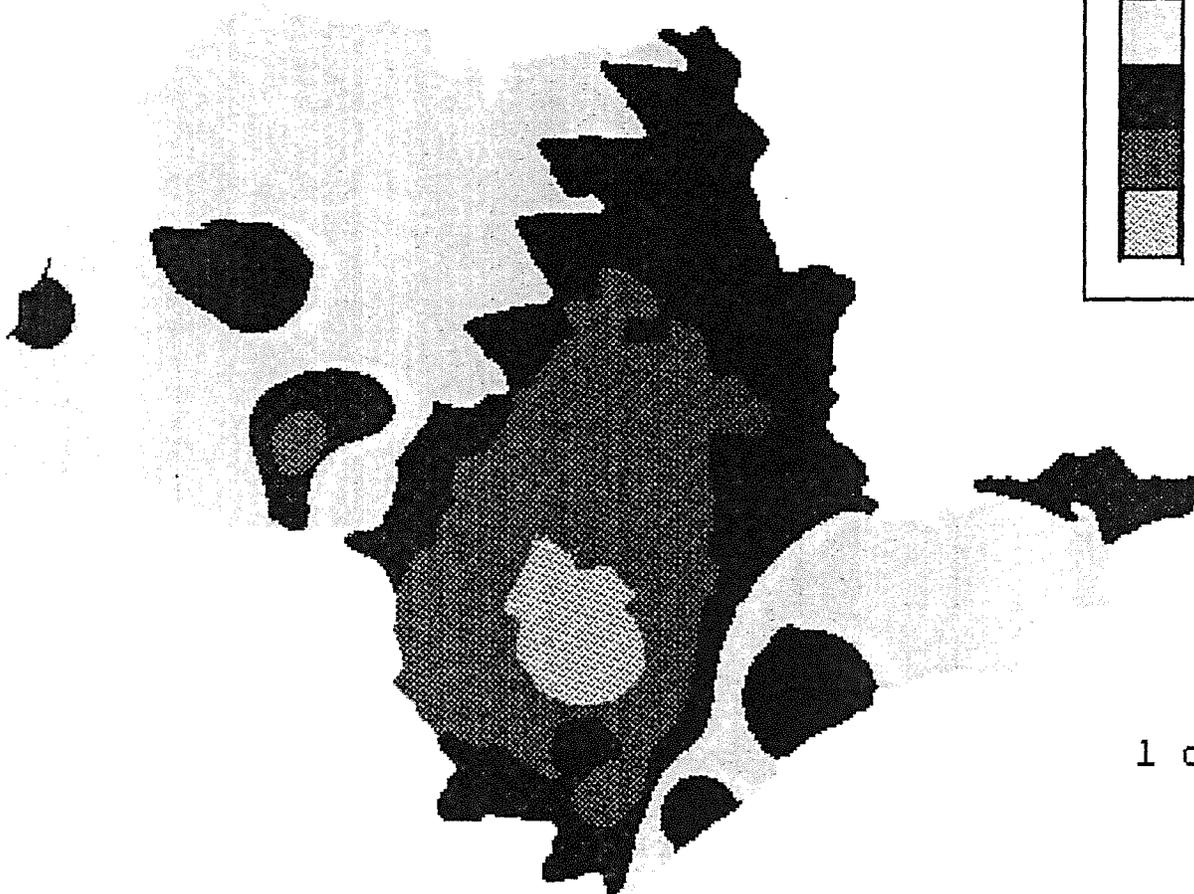
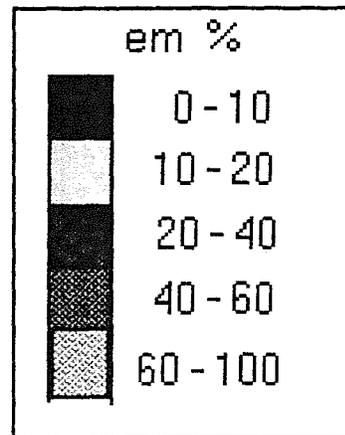


Fonte: DAEE (1976)



1 cm = 45 km

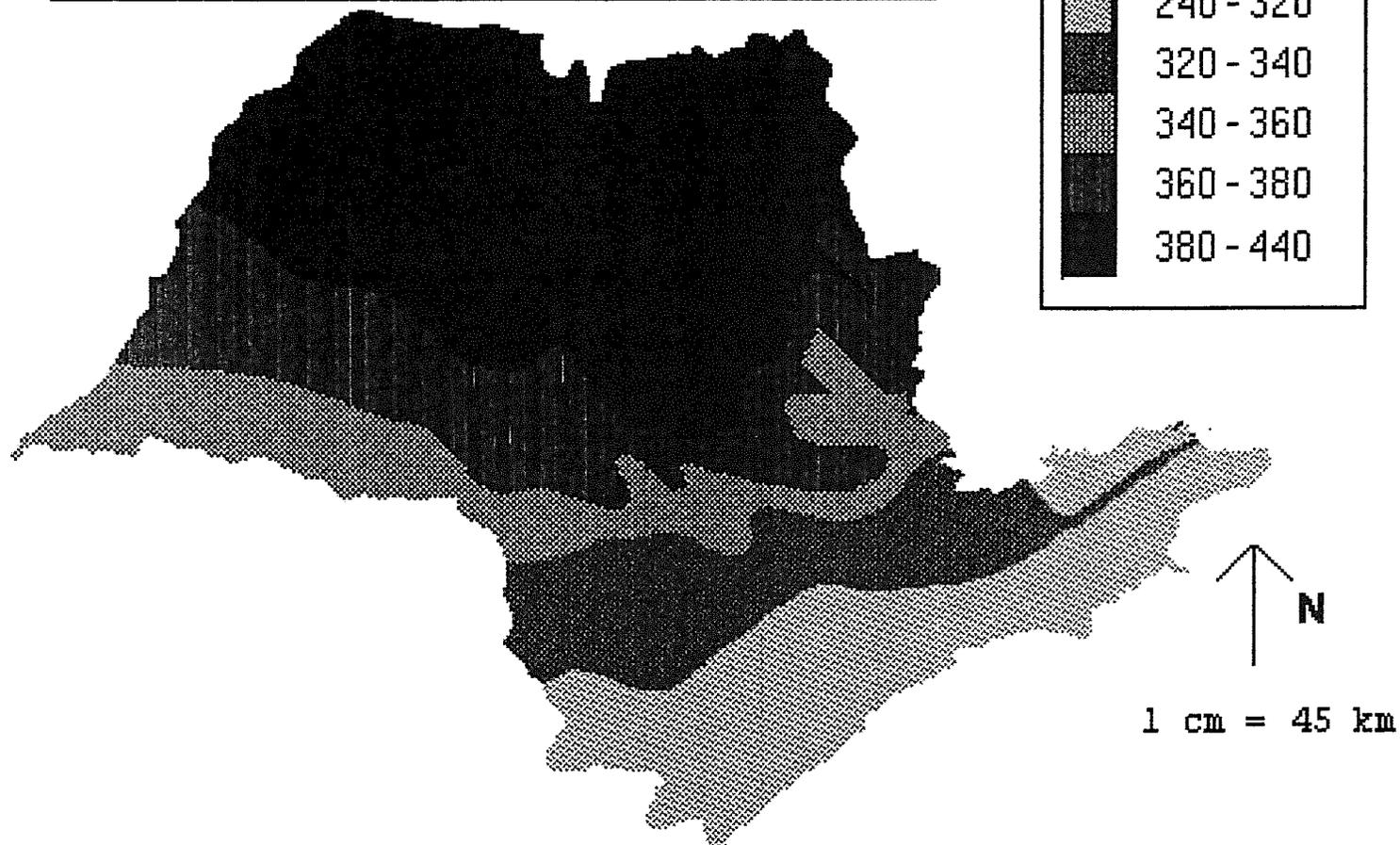
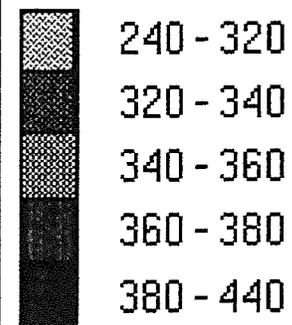
PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE GEADAS



1 cm = 45 km

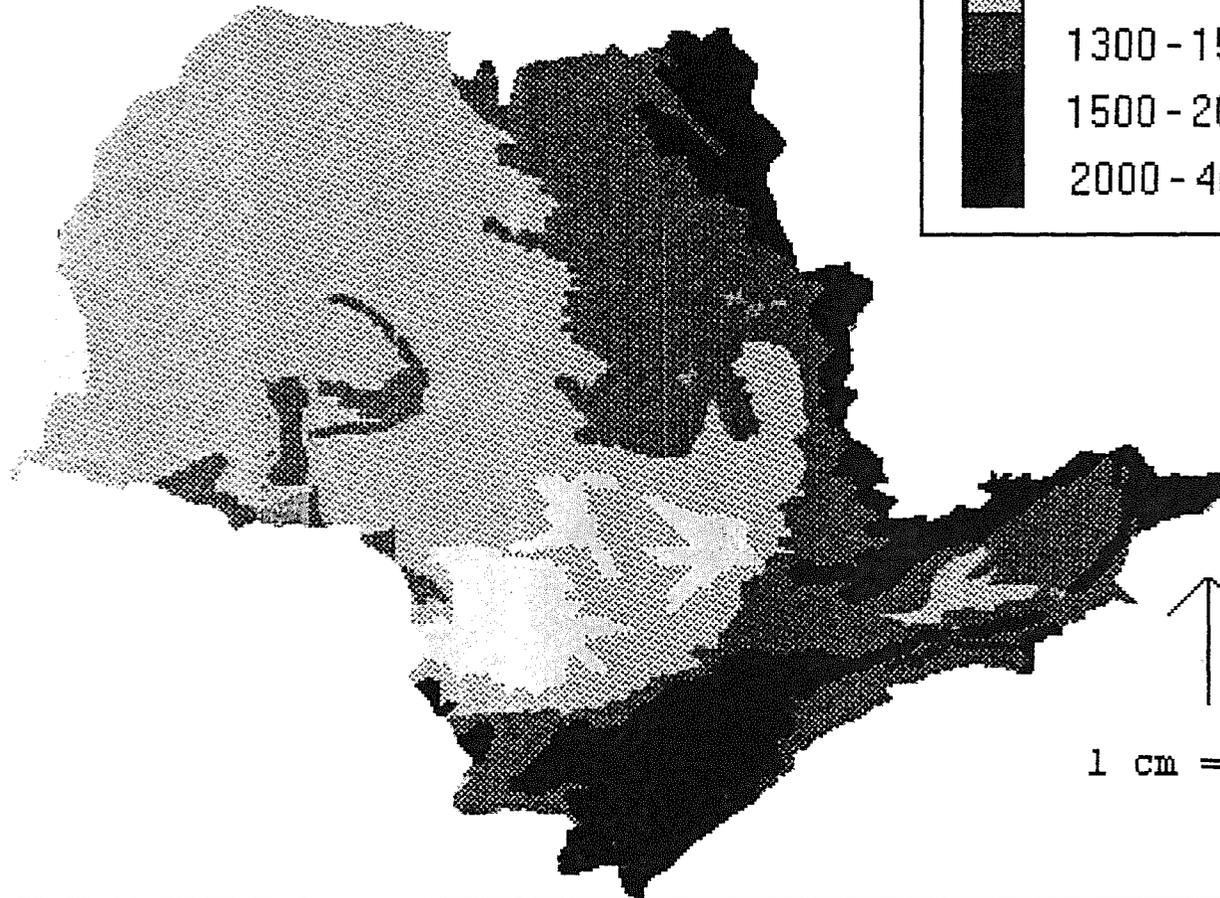
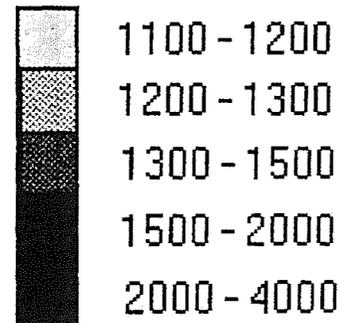
RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA NO INVERNO

em Kcal/dia

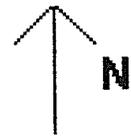
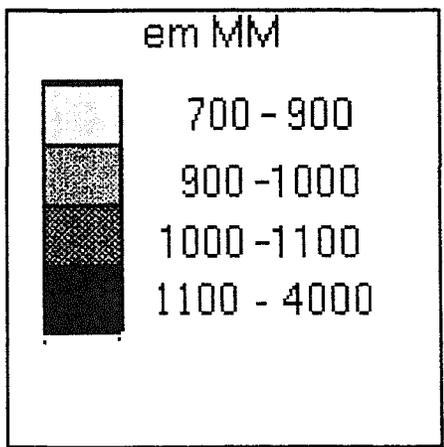
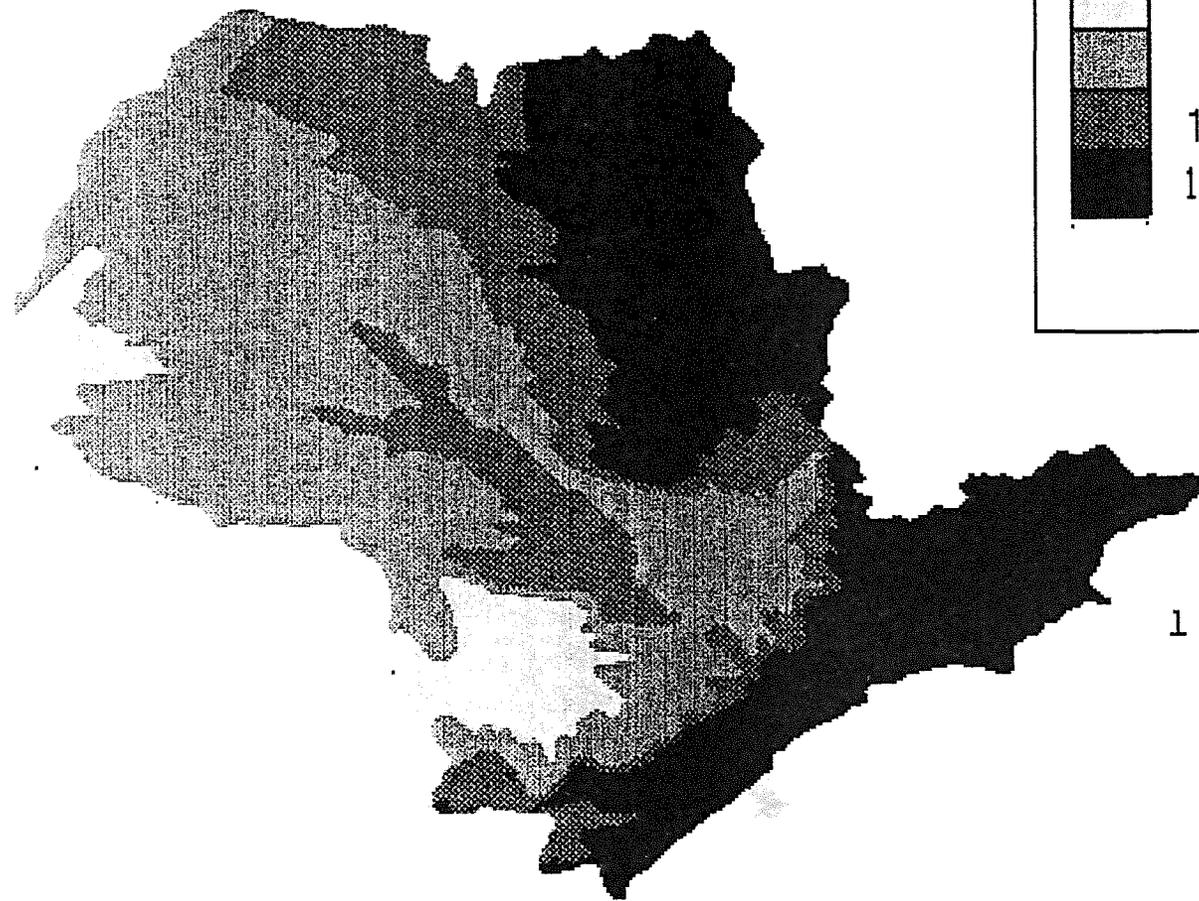


PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

em MM



PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO CHUVOSA



1 cm = 45 km

A digitalização deste documento foi possível graças ao investimento do Programa de Pós-graduação em Geografia Humana (PPGH-FFLCH-USP) e realizada com recursos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Essa ação integra as atividades de comemoração dos 50 anos do PPGH no ano de 2021. Para mais informações sobre o PPGH e sua história, visite a página do programa: <http://ppgh.ffeilch.usp.br/>.

