



---

## VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NO ENTORNO DO MACIÇO DA TIJUCA – RIO DE JANEIRO (RJ)

Adriano Severo Figueiró<sup>1</sup> e Ana Luiza Coelho Netto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Geociências – UFMS e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ

<sup>2</sup> Professora titular do Departamento de Geografia da UFRJ e Coordenadora do Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO)

---

RESUMO – A busca de tendências gerais para a explicação das variabilidades pluviométricas na escala global, ainda apresenta-se com muitas dificuldades, tendo em vista a forte descontinuidade dos eventos no tempo e no espaço. Muitos autores têm feito referência a uma queda da pluviosidade (em torno de 0,3% por década) entre as latitudes médias do hemisfério norte, porém há fortes indícios de que esta queda esteja se processando também no hemisfério sul, especialmente naquelas regiões mais sujeitas à ação de mecanismos dinâmicos de circulação regional, como é o caso do entorno do Maciço da Tijuca, na cidade do Rio de Janeiro, onde se situa esta pesquisa. O presente estudo visa analisar o regime e a tendência de distribuição das chuvas em uma escala local, a partir de uma série de dados de 28 anos e de cinco outras séries referentes às chuvas diárias dos últimos seis anos. Foram analisados os dados de precipitação diária, mensal e anual, buscando-se identificar possíveis mudanças de regime a partir da comparação temporal dos dados. A partir de então, as tendências de distribuição das precipitações foram relacionadas tanto com as mudanças potenciais na resultante hidrológica do sistema florestal, quanto com a ocorrência de desastres naturais nesta área, nos últimos anos. Dentre os resultados encontrados, pode-se ressaltar uma tendência progressiva de redução dos totais anuais de precipitação, reforçando o papel da circulação regional na regulação dos totais pluviométricos locais. Os resultados apontam nitidamente para uma intensificação da sazonalidade associada a uma substituição dos eventos de maior frequência e menor intensidade (responsáveis pela estabilidade hidrológica dos sistemas ambientais), pelos de menor frequência e alta intensidade. Assim, a variação no regime de distribuição das chuvas resulta fundamentalmente da variabilidade anual da frequência das chuvas diárias mais intensas, o que poderá vir a ter conseqüências tanto no que se refere a um aumento na geração de desastres naturais, quanto na modificação das relações interespecíficas dos geoeossistemas, resultando tanto numa mudança estrutural e funcional do sistema florestal, quanto numa transformação mais profunda, ligada à sua retração.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de chuvas, variabilidade climática, Maciço da Tijuca

---

### 1. INTRODUÇÃO

A entrada de água no sistema da paisagem é uma variável que regula não apenas a distribuição e a estrutura dos biomas na superfície da Terra (Walter, 1986), como também a grande maioria dos processos que concorrem para a formação e transformação dos geoeossistemas, já que o ciclo hidrológico não pode ser entendido de forma isolada, mas sim na interação que ele estabelece com os processos geomorfológicos e biológicos. Neste caso, a água, juntamente com o clima, é o agente mais dinâmico dessa interação (Kobiyama, 1998). Nas palavras de Coelho Netto (1995),

A precipitação é um importante fator-controle do ciclo hidrológico e, portanto, da regulação das condições ecológicas e geográficas de uma determinada região. As quantidades relativas de precipitações (volume), seus regimes sazonais ou diários (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais (p.100).



Em áreas florestadas, as características do ciclo hidrológico definem não apenas o balanço hídrico das bacias hidrográficas, como também a ciclagem de nutrientes, interferindo na disponibilidade dos mesmos para o restante do sistema biológico (Silva Filho, 1988).

A interceptação reduz a energia erosiva das gotas de chuva e, após uma estocagem temporária da água no nível das copas e/ou na serrapilheira, disponibiliza a umidade para o topo do solo. A água infiltrada e estocada no solo torna-se disponível à absorção pelas plantas e também ao retorno para a atmosfera por evapotranspiração. A água que não retorna à atmosfera, recarrega o reservatório de água subsuperficial ou subterrânea e daí converge muito lentamente para as correntes de fluxos (Coelho Netto, 1995).

Dessa forma, salienta Neumann (1989), *“a floresta mantém, de certo modo, a paisagem em equilíbrio com o sistema hídrico regional, evitando catástrofes de ordem erosiva e a degradação ambiental”* (p.5).

Como consequência disso, o volume e a forma de distribuição da precipitação condicionam estruturas morfológicas e funcionais das plantas que, por sua vez, implicam em alterações no tipo e na intensidade dos serviços ambientais prestados por estas comunidades vegetais.

O percentual de interceptação das águas da chuva é uma função tanto da frequência das precipitações, quanto das características estruturais do dossel (Dunne e Leopold, 1978). Nos lugares com chuvas curtas, frequentes e de baixa intensidade, o total anual de interceptação será certamente maior do que nos locais onde ocorrem chuvas fortes, pouco frequentes e de grande intensidade, típicas das áreas tropicais dominadas por uma dinâmica atmosférica de frontogênese.

Dessa forma, considerando que a demanda por evapotranspiração devido à atmosfera é praticamente constante nas regiões tropicais (Reichardt, 1975), uma mudança no regime de distribuição das chuvas, traz como consequência inevitável, uma reorganização (leia-se refuncionalização) da parte biótica em relação ao uso da água disponível, armazenada no solo. A dimensão deste desequilíbrio dependerá da habilidade das raízes de absorver a água do solo, bem como das propriedades do solo no fornecimento e na transmissão desta água até as raízes, em uma proporção que satisfaça as exigências da transpiração.

Em função do que se apresentou até aqui, é possível perceber que as chuvas e as florestas representam elementos interatuantes da paisagem, ou seja, ao mesmo tempo em que as características da precipitação condicionam características estruturais e funcionais da vegetação (em função do volume, frequência e intensidade das precipitações e do aporte de nutrientes), a vegetação também regula importantes aspectos da precipitação (seja pelo controle da liberação de umidade na evapotranspiração, seja pela ação na regulagem da temperatura da atmosfera). Para Bonan (2002), esse processo dá origem ao conceito de *“coevolução do clima e da vida”*, onde *“a atividade biológica é regulada pelo clima e, por sua vez, através da ciclagem de energia, água e elementos químicos, regula o clima”* (p.11).

Entendida dentro desse contexto, a água da chuva pode ser considerada tanto um recurso, quanto um fator de distúrbio para os ecossistemas, uma vez que uma mudança no regime das chuvas que acarrete uma má distribuição, associada aos impactos sócio-econômicos sobre as áreas de floresta, pode gerar grandes efeitos sinérgicos de degradação estrutural e funcional (De Luís et al, 2001).



Nos últimos anos, se tem acumulado evidências de que as variabilidades interanuais de precipitação estão, de alguma forma, sincronizadas e relacionadas com uma oscilação periódica do sistema atmosfera-oceano no Pacífico equatorial (Guariguata e Kattan, 2002). No entanto, por mais que as alterações recentes no regime de chuvas representem uma combinação instável entre causas naturais e não-naturais (Wang e Schimel 2003), as transformações atuais nas formas de uso do solo certamente têm desempenhado um papel importante na aceleração desse processo. No caso brasileiro, a intensidade e a frequência com que os eventos climáticos extremos vêm sendo registrados nas últimas décadas, especialmente na Região Centro-Sul do país, não deixam dúvidas quanto à participação humana no sentido de agravá-los (Brandão, 1992).

## **2. LOCAL DE ESTUDO E ASPECTOS CLIMÁTICOS REGIONAIS:**

O presente estudo teve como área-laboratório o Maciço da Tijuca, localizado na área urbana do município do Rio de Janeiro (Figura 1), cuja posição geográfica (pouco acima do Trópico de Capricórnio) a coloca exatamente em numa zona de conflitos entre os sistemas atmosféricos polares e os sistemas intertropicais, o que potencializa ainda mais a participação das chuvas frontais em eventos de pouca frequência e grande intensidade, detonadores dos desastres naturais que acompanham a cidade ao longo da sua história.

É importante ressaltar que dentro do tecido urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, o Maciço da Tijuca tende, tanto pela sua localização (próxima do mar), quanto pela sua topografia (encostas íngremes de elevada altitude), a potencializar a ocorrência de elevadas precipitações no seu interior e encostas, destacando-se em relação às áreas circundantes.

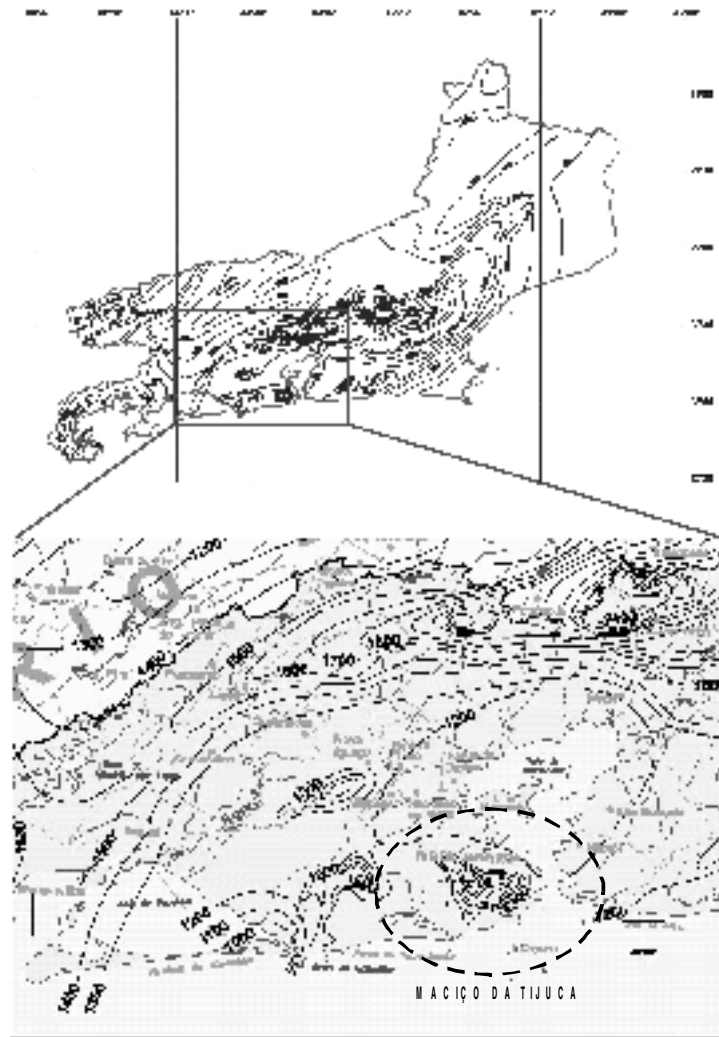


Figura 1- Mapa de isoietas do Estado do Rio de Janeiro, com destaque para a área da região metropolitana. Observem-se os núcleos de precipitação distribuídos entre os três maciços montanhosos da zona costeira e a escarpa da Serra do Mar.

Fonte: adaptado de Davis e Naghettini (2000).

Além disso, as análises procedidas por Brandão (1997) e Fernandes (1998), demonstram nitidamente que as áreas de ocorrência de episódios pluviais de maior intensidade e com os maiores prejuízos sócio-econômicos, são justamente aquelas áreas onde o processo histórico de ocupação do solo nas encostas determinou uma grande degradação estrutural e funcional das áreas florestadas, ou mesmo a sua eliminação.

Assim, todas estas características de variação topo-climática que a cidade apresenta, associadas à sua posição geográfica e à condição metropolitana, fazem, segundo Brandão (1992), “(...) o clima urbano da metrópole carioca um dos mais complexos, senão o mais complexo, do país” (p.159).

### 3- METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, procedeu-se à análise dos dados diários de precipitação na Estação Capela Mayrink (SERLA), nos últimos 28 anos (1977-2002). A



escolha desta Estação ocorreu tanto devido à existência de uma série satisfatória de dados <sup>1</sup>, como pela representatividade da Estação em relação ao Maciço da Tijuca, dada a sua localização no interior do Parque Nacional da Tijuca e próximo ao divisor.

A fim de aumentar a consistência dos resultados encontrados, optou-se por estabelecer as mesmas análises para séries mais curtas de dados (6 anos), em outras 5 estações meteorológicas (duas na vertente Sul – Jardim Botânico e São Conrado, duas na vertente Norte- Tijuca e Grajaú e uma no divisor- Sumaré) na área do Maciço, mantidas pela GEORIO<sup>2</sup>. Nas análises que envolveram a periodização da série Capela Mayrink, utilizou-se esta série das demais estações (1997-2002) como referência para o recorte temporal da última década da estação Capela Mayrink.

Salienta-se que a análise dos dados destas séries de 6 anos, teve o único intuito de reforçar os resultados encontrados para a série de 28 anos, dando maior representatividade espacial às tendências encontradas para a estação Capela Mayrink. Sempre que os resultados encontrados nesta diferiram dos resultados daquelas, mantiveram-se as tendências da série mais longa, descartando as demais estações para aquela variável em questão.

O conjunto da análise da variabilidade pluviométrica no Maciço da Tijuca, envolveu o cálculo de três comportamentos diferentes:

**a) Variação dos totais anuais.** Levando-se em conta a velocidade das mudanças ambientais correntes e tendo em vista a avaliação de possíveis implicações destas mudanças na variabilidade dos regimes de chuvas, optou-se por combinar a análise do ritmo e variabilidade das precipitações anuais ao longo da série histórica, como sugerido por Monteiro (1976). Para tanto, avaliou-se o comportamento da tendência secular ou histórica em relação à média da série, através do cálculo da reta de regressão (linear ou polinomial, conforme a melhor adequação aos dados de cada Estação), tal como sugerido por Daveau et al (1977).

Na estação Capela Mayrink, este procedimento foi repetido para cada um dos três períodos da série histórica (1977-86; 1987-96; 1997-2002), a fim de poder caracterizar a tendência de variação decenal. Além disso, Juntamente com a média da série e a linha de tendência, calculou-se o Desvio Padrão (DP) das precipitações anuais ( $P_a$ ) em relação à média da série ( $\bar{x}$ ), com vistas a identificar os anos secos ( $P_a \leq \bar{x} - DP$ ) e os anos chuvosos ( $P_a \geq \bar{x} + DP$ ).

Por fim, para que se pudesse estabelecer uma comparação entre os períodos secos e chuvosos, foram selecionados os três anos mais representativos de cada tipo de regime (1984, 1997 e 1999 para os anos secos, e 1988, 1996 e 1998 para os anos chuvosos).

<sup>1</sup> Entendemos que o período disponível de dados ainda não corresponde ao ideal, já que para tornar os dados sobre clima compatíveis e comparáveis, a Organização Meteorológica Mundial aprovou uma norma (WMO, 1995) segundo a qual as "normais climatológicas" só podem ser calculadas a partir de conjuntos de 30 anos consecutivos de dados, começando no primeiro ano de uma década. Apesar disso, afirmam Peixoto e Oort (1991), "(...) a escolha destes períodos para apuramento de valores de referência não implica que exista alguma particularidade especial nos intervalos de 30 anos em geral ou nos períodos das normais em particular. Se for verdade que o tradicional intervalo de 30 anos determinado pela Organização Meteorológica Mundial para definir o clima a partir de valores médios é ainda um conceito útil, não é menos verdade que a preparação de sumários de dados climáticos para períodos recentes e relativamente curtos, (...) deve ser encorajada".

<sup>2</sup> Estas estações fazem parte da rede de 31 estações automatizadas, instaladas pela GEORIO em toda a cidade do Rio de Janeiro em função dos desastres naturais ocorridos no ano de 1996.



**b) Regime Médio Mensal.** Para cada uma das Estações trabalhadas, elaborou-se um gráfico de distribuição da precipitação média mensal da série, onde também foram plotados os valores referentes à precipitação média mensal dos anos secos e à precipitação média mensal dos anos chuvosos. Objetivou-se, dessa forma, comparar a forma de distribuição das chuvas ao longo do ano, entre os diferentes tipos de regime (regime médio, regime dos anos secos e regime dos anos chuvosos).

Para a Estação Capela Mayrink, esta análise foi complementada com a elaboração de um gráfico referente ao Desvio Médio Mensal das precipitações por década (em % da média), tal como será apresentado mais adiante.

**c) frequência de classes de chuva.** A frequência e a intensidade das chuvas, são duas variáveis que contribuem fortemente não apenas para prever a capacidade de manutenção do geocossistema florestal, como também para definir o nível de risco à ocorrência de desastres naturais numa dada paisagem (Dehn e Buma, 1999).

Na presente pesquisa, a análise da evolução das precipitações diárias envolveu o cálculo da frequência de eventos chuvosos, em quatro classes de intensidade (0,2-10mm; 10,1-50; 50,1-100 e >100mm), levando-se em conta o período total, os anos extremos e a média da distribuição de cada uma das classes por ano e na média de cada mês. Para tanto, considerou-se como evento de chuva apenas aqueles em que a precipitação foi > 0,2mm.

A primeira classe (chuvas até 10mm), segundo Miranda (1992), representa a chuva que fica quase que integralmente retida pelas copas, pouco contribuindo para a precipitação terminal e estocagem no solo. Já a segunda classe, representa os eventos de chuva que realmente contribuem para a regulação hidrológica do geocossistema florestal e recarga dos aquíferos. As classes 3 e 4, representam os eventos de menor frequência e grande intensidade, muitos dos quais, detonadores de processos associados a desastres naturais. Dos 78 episódios pluviais intensos, causadores de impactos sócio-ambientais na cidade do Rio de Janeiro entre 1882 e 1996, relacionados por Brandão (2001), 64,1% foram de uma intensidade superior a 50mm/24h. Neste mesmo sentido, para Davis e Naghettini (2000), o critério de inclusão para a análise das chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro, foi o da intensidade igual ou superior a 55 mm em 24h.

Numa etapa posterior, as classes 1 e 2 foram somadas, a fim de verificar o comportamento médio, ao longo do ano, das chuvas de menor intensidade (responsáveis pela manutenção das condições de estabilidade hidrológica dos geocossistemas florestais). Da mesma forma, as classes 3 e 4 foram somadas, a fim de verificar o comportamento médio, ao longo do ano, das chuvas de maior intensidade (responsáveis pelo desencadeamento de eventos extremos associados à ocorrência de grandes desastres naturais).

A dinâmica de cada classe foi comparada com as demais, sendo calculada para cada uma delas, a respectiva linha de tendência.

## 4 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1- Variação dos totais pluviométricos anuais

Apesar da alta precipitação anual desta área (com média anual chegando a 2130mm na estação do Sumaré), típica do clima tropical, a análise da distribuição das chuvas no entorno do Maciço da Tijuca, demonstra claramente uma tendência de diminuição destes totais anuais (figura 2), comportamento esse que também se reproduz para as demais



Estações trabalhadas, com valores de “m” (ângulo de inclinação da linha de tendência, extraído da equação da reta de regressão) de -25,649 para o Jardim Botânico, -111,14 para São Conrado, -54,177 para Grajaú, -95,426 para Tijuca e -81,36 para a Estação Sumaré.

Uma análise mais detalhada dos 28 anos de registro de chuvas diárias, permite identificar uma leve alternância entre períodos mais secos e mais úmidos, porém com um aumento expressivo dos desvios negativos na última década<sup>3</sup> (figura 3), em relação à média da série, fato este que condiciona o ângulo de queda da reta de regressão.

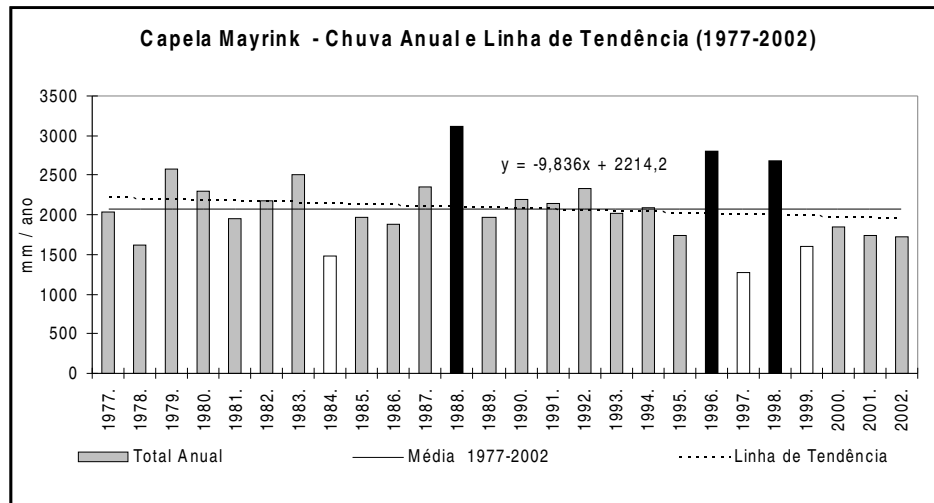


Figura 2- Gráfico da distribuição da precipitação anual ao longo da série de dados da Estação Capela Mayrink, com respectiva linha de tendência. As colunas brancas marcam os anos calculados como de regime seco ( $P_a \leq \bar{x} - DP$ ) e as colunas pretas marcam os anos calculados como de regime chuvoso ( $P_a \geq \bar{x} + DP$ ).

Como consequência desse processo, dois dos três anos mais secos de toda a série aparecem sinalizados no último período (1997 e 1999).

Diferentemente das regiões pouco urbanizadas, onde o decréscimo das precipitações anuais pode estar associado à redução da evapotranspiração decorrente da perda de extensas áreas florestais nas últimas décadas<sup>4</sup> (Cavelier e Vargas, 2002), nas grandes áreas urbanas, há uma expectativa de grande parte da literatura, de que uma acelerada expansão urbano-industrial esteja associada a um aumento nos níveis de precipitação local (Drew, 1986). Isso, devido ao aumento dos núcleos de condensação e da turbulência eólica gerada no atrito com as edificações (Goldreich, 1985).

Para a presente pesquisa, no entanto, a queda na inclinação da reta de tendência em todas as estações analisadas<sup>5</sup> parece, em um primeiro momento, apontar em direção oposta.

<sup>3</sup> Considerando que o registro de dados teve início em 1977, mesmo dotando a pesquisa de um certo “casuismo estatístico”, optou-se por trabalhar com as décadas “quebradas”, a fim de incluir o maior número de dados possível, sem ter que excluir o período 1977-1980 e 2000-2002. Dessa forma, toda a análise decenal realizada teve como referência duas décadas completa (1977 – 1986 e 1987 – 1996) e uma década incompleta, de seis anos (1997-2002).

<sup>4</sup> Para Nepstad et al (1994), em grandes áreas florestadas, a substituição das florestas por campos reduz significativamente a superfície foliar durante os meses mais secos, diminuindo a transferência de água para a atmosfera e, conseqüentemente, reduzindo a participação das chuvas convectivas no balanço hidrológico local (Bosch e Hewlett, 1982)

<sup>5</sup> Estes resultados se aproximariam das tendências sinalizadas por outros autores, tanto para regiões tropicais (Ângelo et al, 2003; Walsh, 1996) quanto para regiões extratropicais (De Luís et al, 2001).

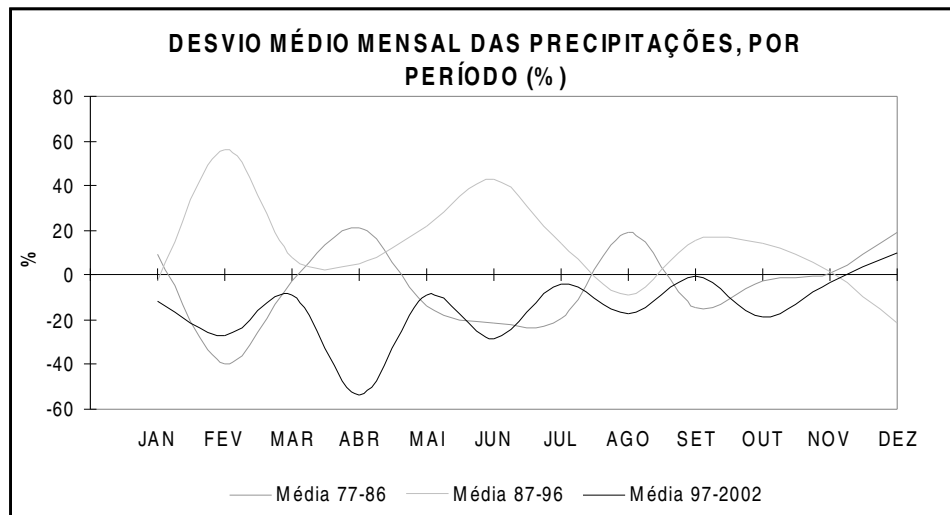


Figura 3- Desvio médio mensal dos eventos de chuva (% em relação à média da série) para os três períodos de análise da estação Capela Mayrink

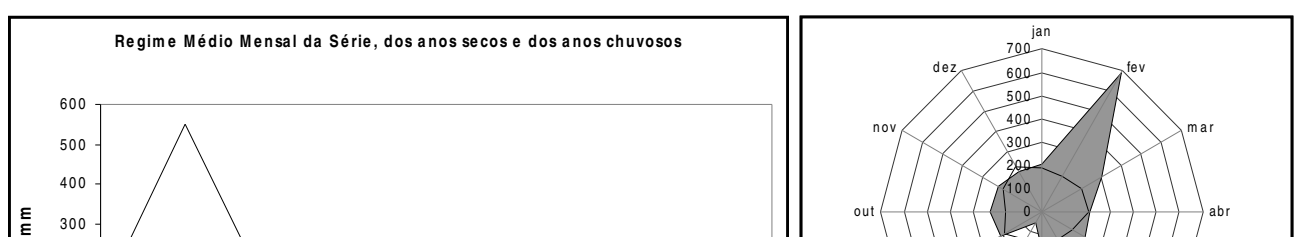
A hipótese inicial, posteriormente confirmada pela análise comparativa da distribuição mensal das classes de chuva ao longo da série, é de que os eventos de precipitação fraca a moderada (responsáveis pelo maior volume precipitado anualmente), produzidos pela dinâmica atmosférica local, estão sofrendo uma redução significativa, em função do aumento dos eventos de alta magnitude, desencadeados por modificações na circulação regional.

Tal fato, reforça ainda mais a idéia de que as variabilidades pluviométricas locais estão refletindo mudanças da dinâmica atmosférica regional ou global (Lindner et al, 1997). Este comportamento já havia sido anteriormente apontado por Meis et al (1981) e, mais recentemente, por Figueiró et al (2003), na comparação entre perfis pluviométricos em diferentes escalas no Estado do Rio de Janeiro.

#### 4.2- Variabilidade do Regime Mensal

A análise do regime mensal de precipitação permite visualizar de forma mais clara a sazonalidade climática da área de estudo.

Merece um especial destaque aqui, a variabilidade diferenciada dos desvios pluviométricos dos anos extremos em relação à média da série. Neste particular, dois cenários precisam ser analisados. De um lado a série mais longa de dados, referente ao regime mensal médio da estação Capela Mayrink no período 1977-2002. Nesta série, a distribuição da precipitação mostra-se bastante equilibrada ao longo do ano, mesmo durante os anos extremos (figura 4). A única distorção, neste caso, aparece no mês de fevereiro, durante o regime mensal dos anos chuvosos, cujo pico pronunciado de precipitação permite-nos confirmar o referido mês, tal como já havia sido indicado por Coelho Netto (1985), como um importante indicador dos anos chuvosos, para esta escala de tempo. Esse comportamento corrobora as afirmações de Monteiro(1991), para quem a sazonalidade nas áreas de transição entre a ação dos sistemas polares e a ação dos sistemas intertropicais, está relacionada à ocorrência de fortes precipitações de frontogênese durante o verão. Nos anos em que a ação da Massa Polar tem menor incidência na movimentação atmosférica regional, a ausência das chuvas concentradas de grande porte, imprime uma tendência de maior uniformidade no regime médio mensal das precipitações.





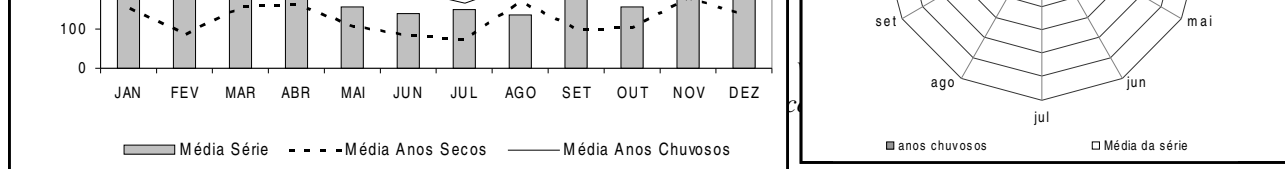


Figura 4- Gráficos do regime médio mensal de precipitação para a estação Capela Mayrink, no período 1977-2002. Evidencia-se, para esta estação e nesta escala de tempo, o mês de fevereiro como um importante indicador dos anos chuvosos.

De outro lado, quando analisamos apenas o último período de dados (1997-2002), excetuando-se a estação São Conrado (cuja variação média ao longo do ano ainda não se apresenta de forma tão evidente), todas as demais estações trabalhadas (incluindo Capela Mayrink) demonstram o aparecimento de uma sazonalidade pronunciada durante o regime dos anos chuvosos (figura 5). Tal comportamento nos dá uma indicação de que, durante os anos mais chuvosos do último período, a tendência de concentração das chuvas durante o verão, tem forçado o aparecimento de um desvio negativo durante os meses de menor impacto das massas polares.

Muito embora esta sazonalidade já esteja levemente marcada na média mensal do período integral, é na média mensal dos anos chuvosos onde ela melhor se define, já que é exatamente nestes anos que a dinâmica de movimentação das massas de ar se acentua, elevando o contraste entre os eventos de chuva de verão e de inverno.

Uma análise mais detalhada do regime médio mensal dos anos chuvosos neste último período, revela-nos duas características importantes, posto que sinalizadoras de uma possível modificação no regime de distribuição das chuvas no entorno do Maciço:

- As maiores precipitações médias mensais aparecem mais distribuídas durante os meses de verão (dezembro a março), e não apenas no mês de fevereiro, como se evidenciou anteriormente na série total da Capela Mayrink.

Esta mudança de comportamento vem ao encontro das mudanças que se têm verificado nos últimos anos, para o Estado do Rio de Janeiro, na ocorrência de escorregamentos. Segundo Amaral (1996), até o ano de 1996, a maior parte dos escorregamentos significativos no Estado do Rio se concentravam no mês de fevereiro. A partir de 1997, no entanto, Silva et al (2000) demonstram que o mês de janeiro passou a ser o mais expressivo (concentrando quase 35% do total de acidentes do Estado).

- Outra característica importante que pode ser evidenciada no regime dos anos chuvosos neste último período, é a presença marcada de desvios positivos nos meses de setembro e outubro, cabendo a este último a maior concentração. Também aqui, os resultados obtidos por Silva et al (2000) confirmam esta análise, ao afirmarem:

Nos últimos três anos, observou-se também um elevado registro de ocorrências (*de escorregamentos*) em outubro, chegando a alcançar um percentual de 10,7%, contrariando



sua tendência histórica (até 1996 apresentava menos que 5% das ocorrências) e superando inclusive alguns meses de verão como dezembro e março (p. 9).

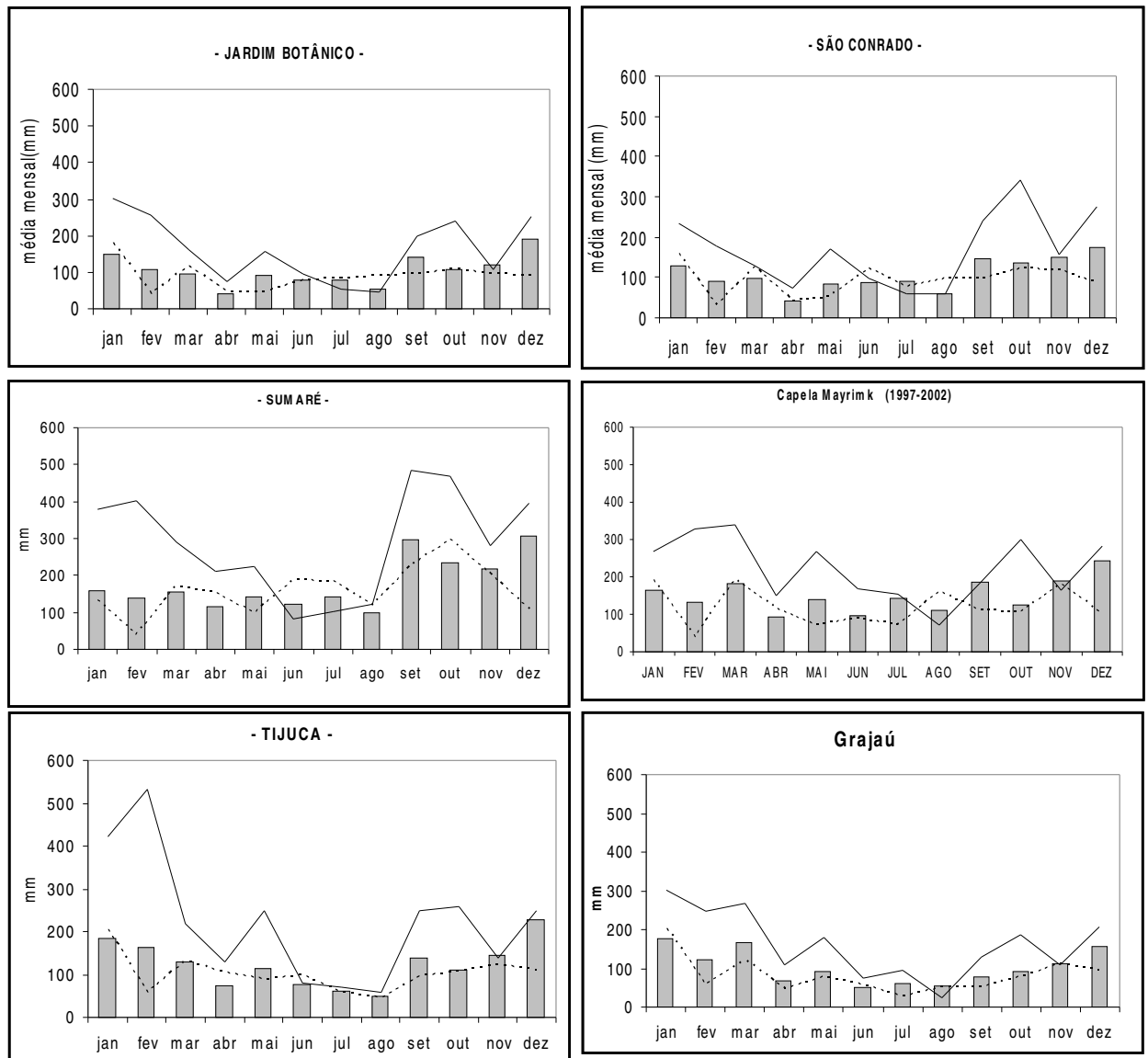


Figura 5- Gráficos do regime médio mensal de precipitação para as seis estações trabalhadas, no período 1997-2002. As colunas representam a precipitação média mensal (em mm) do período, enquanto que a linha contínua representa a precipitação média mensal dos anos chuvosos e a linha pontilhada, dos anos secos.

Para Amaral e Feijó (2004), o período posterior a 1997 também marca uma nova etapa na análise dos escorregamentos na cidade do Rio de Janeiro, onde os eventos “(...) passam a ser registrados também ao longo de todo o ano e não apenas nos meses de verão” (p.205).

#### 4.3- Frequência das classes de intensidade de chuva



Uma análise do gráfico da Estação Capela Mayrink (figura 6), nos permite confirmar a hipótese anteriormente levantada, de que a redução dos totais pluviométricos anuais é decorrente não apenas da diminuição do número de eventos de chuva por ano, mas, principalmente, da intensidade dos mesmos. Neste caso, o que se observa é a tendência de aumento das chuvas de alta intensidade (classe 4), em detrimento das chuvas intermediárias (classe 2), que apresentam uma tendência significativa de redução da frequência, principalmente na última década, tal como se pode verificar pela equação da reta.

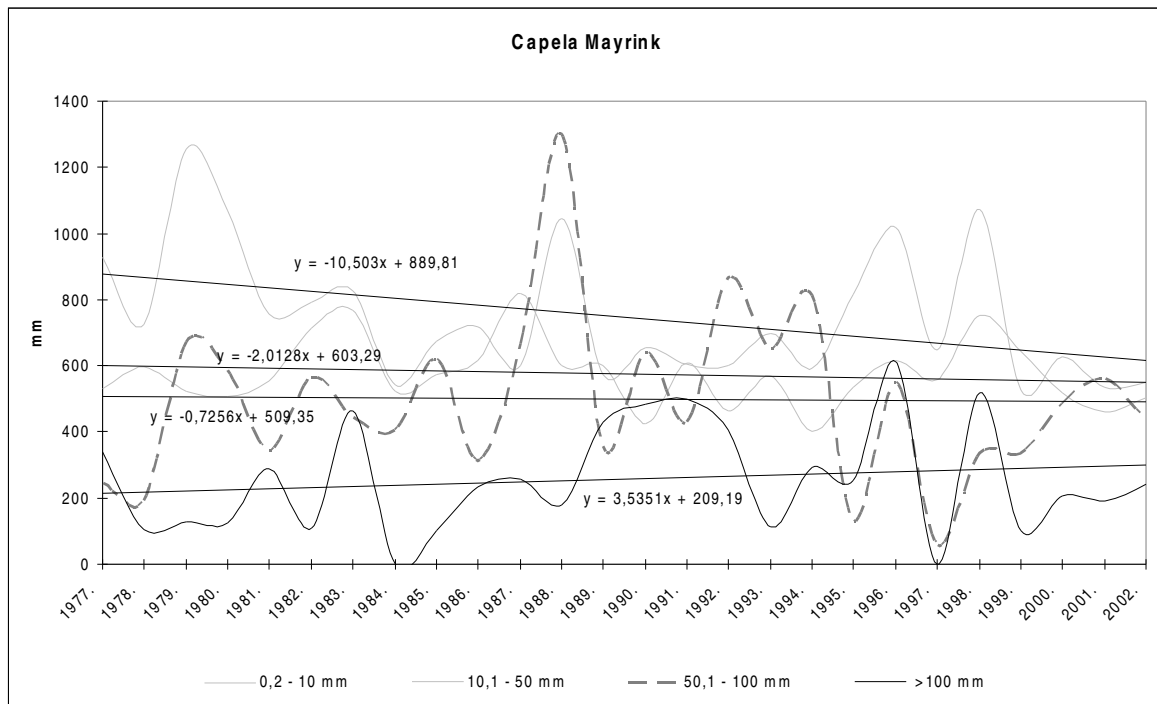


Figura 6- Gráfico da frequência anual dos eventos pluviométricos (em mm), por classe de intensidade, para a Estação Capela Mayrink, com as respectivas linhas de tendência.

Percebe-se que as chuvas de classe 1 vêm apresentando uma tendência menor de redução, possivelmente em decorrência do aumento dos núcleos de condensação gerados pelo crescimento urbano-industrial da cidade. Contudo, considerando que esta classe de chuva pouco afeta o conjunto solo-vegetação, dada à sua retenção no estrato superior das copas, é justamente sobre a tendência de redução das chuvas de classe 2, que recaem as maiores preocupações.

Uma rápida visualização da participação de cada uma das classes nos totais anuais, nos permitiu evidenciar o predomínio da classe de intensidade 2 (10,1 a 50mm) sobre as demais classes de chuva, durante praticamente todos os meses do ano. Tal quadro, quando analisado separadamente, poderia parecer bastante satisfatório, uma vez que temos insistido no fato de que são estas as chuvas que representam o maior potencial de manutenção do equilíbrio hidrológico da floresta e de recarga dos mananciais. Todavia, quando analisamos este quadro juntamente com a figura acima, passamos a perceber que é exatamente esta a classe de chuva que vem apresentando as maiores taxas de queda na participação dos totais anuais. Ao mesmo tempo, as chuvas de maior intensidade (classe 4), que na maior parte do ano (exceção ao mês de fevereiro) representam a classe de menor



participação, são justamente as chuvas que apresentam as maiores tendências anuais de crescimento.

Uma análise mais detalhada das classes de intensidade de chuva, a partir da evolução da sua distribuição mensal, nos permitiu constatar duas características importantes: de um lado, o predomínio das chuvas intensas no total dos desvios positivos e, de outro lado, a ocorrência de grandes desvios positivos também no período do inverno, sinalizando para a possibilidade de ocorrência de eventos catastróficos em outras épocas do ano que não apenas o verão, fato este que já vem sendo constatado nos trabalhos de Amaral (1996), Amaral e Feijó (2004), D'Orsi et al (2000) e Silva et al (2000).

Resta-nos aqui, apenas uma questão a ser analisada, que se refere às mudanças de comportamento das classes de chuva entre o regime médio da série, o regime dos anos chuvosos e o regime dos anos secos.

A figura 7 nos ajuda a compreender melhor esta diferença de comportamento das classes de chuva em diferentes regimes. Percebe-se que na média da Série (figura 7-a), a proporção entre as classes de chuva se mantém com grande homogeneidade ao longo de todos os meses do ano, resultando em um regime de baixa variabilidade, tal como já havíamos identificado na análise do regime médio mensal. Neste regime médio, as chuvas menos intensas condicionam os totais mensais, tendo em vista a sua maior contribuição nestes totais, já que prevalecem em 11 dos 12 meses do ano.

Já no regime dos anos chuvosos, embora todas as classes apresentem um acréscimo de precipitação (figura 7-b), concentrado especialmente nos meses de verão (o que passa a demarcar com maior clareza a sazonalidade), é o aumento das chuvas de grande intensidade (figura 7 – c) que vai efetivamente definir a elevação dos totais anuais, já que as mesmas prevalecem em 10 dos 12 meses do ano.

De forma análoga, durante os anos secos, embora haja um decréscimo generalizado de todas as classes de chuva, em todos os meses do ano (figura 7-d), é a redução das chuvas de grande intensidade (com o praticamente desaparecimento dos eventos de classe 4), que vai definir os pequenos totais anuais que caracterizam este tipo de regime. Durante estes anos, as chuvas menos intensas voltam a prevalecer em 11 dos 12 meses do ano (exceção apenas ao mês de agosto).

Uma característica importante no regime dos anos extremos, já sinalizada anteriormente, refere-se à grande amplitude na variabilidade do mês de fevereiro, e que a partir daqui, começa a ser entendida com maior detalhe. Percebe-se que, durante os anos chuvosos, ao contrário dos outros meses do ano, as responsáveis pelo grande desvio positivo do mês de fevereiro são, na maior parte, as chuvas de baixa intensidade. É possível identificar, pelo gráfico, um aumento expressivo das chuvas de grande intensidade, ligadas diretamente aos momentos de frontogênese. Todavia, o aumento ainda maior das chuvas de baixa intensidade, muito provavelmente decorra de mecanismos pós-frontais, ou de frentes estacionárias, que produzem um aumento da frequência com conseqüente redução da intensidade dos eventos<sup>6</sup>. Em se tratando do comportamento de anos de extremos pluviométricos, aos quais se associou a ocorrência de inúmeros desastres naturais, é

<sup>6</sup> Temos consciência de que a comprovação de tal hipótese está muito além da capacidade deste trabalho, posto que a correta definição da gênese de cada evento pluviométrico apresenta-se como um desafio ainda pouco enfrentando pelos climatólogos. Segundo Galvani e Azevedo (2003), “*como as séries históricas se constituem por registros de totais pluviométricos diários, não há como distinguir a gênese exata da chuva com tal detalhamento, a partir de registros tão grosseiros. Por isto, habitualmente, toda esta precipitação é tratada em conjunto como oriunda ou derivada da passagem da frente polar*” (p.2)



provável que o mecanismo de detonação destes desastres resida exatamente na associação entre estas diferentes intensidades de chuva, e não apenas no fortalecimento de uma delas.

A análise da frequência anual das classes de chuva para as demais Estações envolvidas nesta pesquisa, confirmaram as mesmas tendências apontadas na análise dos dados da estação Capela Mayrink. No quadro 4.3, foram os transpostos os valores de “m” (ângulo de inclinação da linha de tendência, extraído da equação da reta de regressão), para cada uma das classes de chuva, para cada uma das Estações trabalhadas.

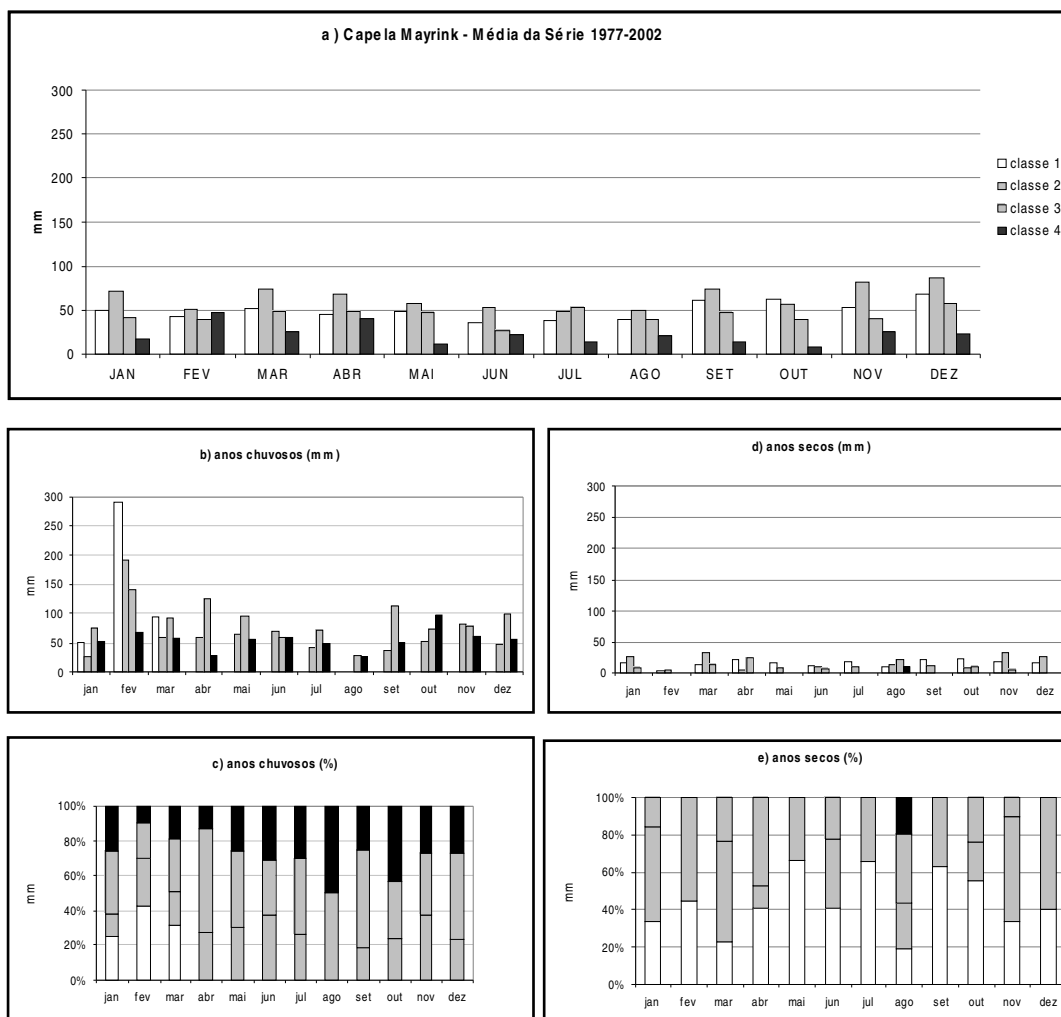


Figura 7- Distribuição média das classes de chuva ao longo dos meses do ano na Estação Capela Mayrink, durante o regime médio da série (a), durante os anos chuvosos (b, c) e durante os anos secos (d, e).

Quadro 4.3- Valores do ângulo de inclinação da linha de tendência, para cada classe de intensidade de chuva, nas 6 Estações trabalhadas.

Classe de chuva	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Estação				
Jardim Botânico	-20,729	7,8314	22,789	<b>-23,277</b>
São Conrado	-52,049	-38,831	25,951	<b>-5,5286</b>
Sumaré	-21,546	-44,786	0,48	<b>-19,58</b>
Capela Mayrink (último período)	-36,734	-56,729	76,486	<b>9,6314</b>
Tijuca	-20,24	-48,837	6,0457	<b>-31,271</b>



Grajaú	-30,346	5,2086	0,0829	-29,009
--------	---------	--------	--------	---------

A partir do quadro acima, pode-se verificar que em cinco das seis Estações trabalhadas, a classe 3 assumiu o maior ângulo de inclinação dentre as quatro classes, sendo que na Estação Grajaú, a classe 3 ficou com a segunda colocação.

Neste mesmo contexto, a classe 1 demonstrou tendência de queda em todas as Estações, o mesmo acontecendo com as chamadas “chuvas de baixa intensidade” (classes 1 e 2 somadas).

No caso da Estação Capela Mayrink, percebe-se que ao incluir nos cálculos apenas os dados referentes ao último período (1997-2002), todas as classes assumem tendências bem mais acentuadas do que àquelas calculadas para o conjunto da série toda. Destaque-se aqui, que a classe 3, que no conjunto da série, havia apresentado tendência de queda, quando analisada no contexto dos últimos 6 anos, apresenta um crescimento vertiginoso, seja em relação às demais classes, seja em relação ao seu próprio resultado no universo anterior de dados.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados neste trabalho, nos levam a concluir que a dinâmica pluviométrica da área de estudo tende a ser cada vez mais regulada pela ação dos mecanismos regionais, permitindo que a geração de chuvas frontais (ou a sua ausência) determinem o ritmo da variabilidade pluviométrica local.

Mesmo que aceitemos a hipótese mais lógica da ciclicidade do comportamento pluviométrico, é preciso entender, de um lado, que este movimento está muito longe da linearidade e, de outro lado, que mesmo que as linhas de tendência das próximas décadas voltem a apontar um retorno das chuvas de baixa intensidade, o desajuste hidrológico atual do sistema (seja no que se refere ao abastecimento dos mananciais, seja na manutenção do geossistema florestal) apresenta algumas faces de recuperação muito lenta ou até mesmo irreversível, dada a transposição dos limites de resiliência, que o quadro atual projeta.

Após a análise e discussão de um grande número de variáveis, em 6 estações diferentes, localizadas no entorno do Maciço, é possível extrairmos algumas considerações mais gerais que caracterizam o quadro de transição a uma paisagem com menor disponibilidade hídrica e, por conseqüência, com diferentes níveis de modificação dos mecanismos de regulação hidrológica do sistema.

O aumento da instabilidade do sistema vem exatamente do fato de que os eventos de maior freqüência e menor intensidade (conseqüentemente de maior regularidade na distribuição das chuvas) – (classes 1 e 2) – apontam para uma tendência de diminuição de ocorrência, em detrimento dos eventos de menor freqüência e maior intensidade (distribuídos entre as classes 3 e 4), que vêm apresentando uma tendência de crescimento. Além disso, tal tendência aparece associada a outras importantes características de instabilização do sistema ambiental, tais como:

- Redução dos totais pluviométricos anuais.
- Tendência de aumento da sazonalidade.
- Aumento dos períodos interpluviais.
- Aumento na freqüência dos eventos extremos associados a linhas de instabilidade e frentes estacionárias.





Figura 8- Diagrama de síntese das principais tendências evidenciadas no tratamento dos dados diários de chuva no entorno do Maciço da Tijuca.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, C. 1996. **Escorregamentos no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes Geológicos e Redução do Risco**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: PUC. 269p.
- AMARAL, C.; FEIJÓ, R.L. 2004. Aspectos ambientais dos escorregamentos em áreas urbanas. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. P.193-223.
- ÂNGELO, J.R.; TOLEDO, C.C.; FARIA, H.O.; MARTINS, L.A. 2003. Precipitação em áreas urbanas- o caso de Juiz de Fora- MG. **Geo UERJ**, (nº especial 2003): 1-8.
- BONAN, G.B. 2002. **Ecological Climatology**. Cambridge: University Press.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. 1982. A review of catchments experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation. **Journal of Hydrology**, (55): 3-23.
- BRANDÃO, A.M.P.M. 1992. As alterações climáticas na área metropolitana do Rio de Janeiro: Uma provável influência do crescimento urbano. In: ABREU, M. de A. (org.). **Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esporte. p. 143-200 .
- \_\_\_\_\_ 1997. As chuvas e a ação humana: uma infeliz coincidência. In: ROSA, L.P.; LACERDA, W. (Orgs.) **Tormentas Cariocas**. Rio de Janeiro: UFRJ. p. 21-38.
- \_\_\_\_\_ 2001. Clima urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.47-109.
- CAVELIER, J.; VARGAS, G. 2002. Procesos Hidrológicos. In: GUARIGUATA, M.R.; KATTAN, G.H. **Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales**. Cartago: LUR. P.145-166.
- COELHO NETTO, A.L. 1985. Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- \_\_\_\_\_ 1995. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia. Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 93-148.
- DAVEAU, S.; COELHO, C.; COSTA, W.G.E.; CARVALHO, L. 1977. Repartition et rythme precipitations au Portugal. **Memórias do Centro de Estudos Geográficos**, 3. Lisboa: 192p.
- DAVIS, E.G.; NAGHETTINI, M.C. 2000. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª Ed. Revisada e ampliada. Brasília: CPRM. 145p.
- DE LUÍS, M.; GARCÍA-CANO, M.F.; CORTINA, J.; RAVENTÓS, J.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; SÁNCHEZ, J.R. 2001. Climatic trends, disturbances and short-term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland. **Forest Ecology and Management**, (147): 25-37.
- DEHN, M.; BUMA, J. Modelling future landslide activity based on general circulation models. **Geomorphology**, (30): 175-187.





- D'ORSI, R.N.; FEIJÓ, R.L.; PAES, N.M. 2000. Rainfall and Mass Movements in Rio de Janeiro. 31<sup>st</sup> **International Geological Congress**. Rio de Janeiro. V.1 , p. 1-4.
- DREW, D. 1986. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. São Paulo: Difel.
- DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. 1978. **Water in Environmental Planning**. New York: W.H. Freeman. 818p.
- FERNANDES, M.C. 1998. **Geocologia do Maciço da Tijuca-RJ: uma abordagem geo-hidroecológica**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ.
- FIGUEIRÓ, A.S.; COELHO NETTO, A.L. 2004. Climatic variability and pluviometric trends in a humid tropical environment at Resende municipality in the middle Paraíba do Sul river valley: SE Brazil. **Journal of Hydrology** (Submetido).
- GALVANI, E.; AZEVEDO, T.R. 2003. A Frente Polar Atlântica e as características de tempo associadas: estudo de caso. **Geo UERJ**, (nº especial 2003): 1-11.
- GOLDREICH, Y. 1985. The structure of the ground-level heat island in a Central Business District. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, (24): 1237-44.
- GUARIGUATA, M.R.; KATTAN, G.H. (Orgs.) 2002. **Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR. 691p.
- KOBIYAMA, M. 1998. Geo-bio-hidrologia. In: I FORUM DE GEO-BIO-HIDROLOGIA. **Anais...** Curitiba: UFPR.p. 1-25.
- LINDNER, M.; BUGMANN, H.; LASCH, P.; FLECHSIG, M.; CRAMER, W. 1997. Regional impacts of climatic change on forests in the state of Brandenburg, Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**, (84): 123-135.
- MEIS, M.R.M.; COELHO NETTO, A.L.; OLIVEIRA, P.T.T.M. 1981. Ritmo e variabilidade das precipitações no vale do rio Paraíba do Sul: o caso de Resende. **R. Hidrol. Rec. Hídricos**, 3(1): 43-51.
- MIRANDA, J.C. 1992. **Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Dissertação de mestrado em Geografia. Rio de Janeiro: UFRJ. 100p.
- MONTEIRO, C.A.F. 1976. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP, Série Teses e Monografias, 25. 181p.
- \_\_\_\_\_. 1991. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Curitiba: UFPR. 241p.
- NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, (372): 666-669.
- NEUMANN, J.A. 1989. A importância da cobertura florestal para o ecossistema e para a sociedade. **Boletim Gaúcho de Geografia**, (17): 3-15.
- PEIXOTO, J.P; OORT, A. H. 1991. **Physics of Climate**. New York: American Institute of Physics, 520 p.
- REICHARDT, K. 1975. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3ª Ed. São Paulo: USP-CNEN/Fundação Cargill. 286p.
- SILVA FILHO, N.L. 1988. **Recomposição da cobertura vegetal de um trecho degradado da Serra do Mar, Cubatão, SP**. Campinas: Fundação Cargill. 53p.
- SILVA, F.L.M.; PIMENTEL, J.; FREITAS, A.C.N. 2000. **Inventário de escorregamentos no Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM. 24p.



- TAVARES, A.C. 2004. Mudanças Climáticas. In: VITTE, A.C.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. P. 49-88.
- WALSH, R.P.D. 1996. Climate. In: RICHARDS, P.W. (org.) **The Tropical Rain Forest**. P.159-205. Cambridge: University Press.
- WALTER, H. 1986. **Vegetação e zonas climáticas**. São Paulo: EPU. 326p.
- WANG, G; SCHIMEL, D. 2003. Climate Change, Climate Modes and Climate Impacts. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, (28): 1-28.
- WMO- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1995. **Climatic Change**, Technical Note N° 79, WMO - N° 195.TP100, 79 pp.