

FLUTUAÇÕES AMBIENTAIS DE CURTO PRAZO NA INTERFACE FLORESTA-CIDADE E AUMENTO DA VULNERABILIDADE A DESASTRES: UMA ANÁLISE A PARTIR DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO-RJ

FLUCTUACIONES AMBIENTALES EN LA INTERFAZ DE CORTO
PLAZO BOSQUE-CIUDAD Y UNA MAYOR VULNERABILIDAD A LOS
DESASTRES: UN ANÁLISIS DE LA CIUDAD DE RIO DE JANEIRO-RJ

*ENVIRONMENTAL FLUCTUATIONS OF SHORT-TERM IN THE
INTERFACE FOREST-CITY AND INCREASED VULNERABILITY TO
DISASTERS: AN ANALYSIS FROM THE RIO DE JANEIRO CITY*

Adriano Severo Figueiró

Departamento de Geociências- Universidade Federal de
Santa Maria – Coordenador do Laboratório de
Geoecologia e Educação Ambiental (LAGED)
e pesquisador do Grupo de Análise e
Investigação Ambiental (GAIA)
adri.geo.ufsm@gmail.com

Resumo: O rápido crescimento das cidades, combinado com as mudanças climáticas e a explosão populacional urbana, tende a criar novas tensões para os assentamentos urbanos, tornando a população cada vez mais vulnerável. Este estudo parte do princípio de que uma redução da funcionalidade ambiental dos sistemas urbanos, especialmente no que se refere à degradação das áreas de recarga, pode aumentar a vulnerabilidade à ocorrência de desastres. A análise de vinte e sete anos de precipitação para a cidade do Rio de Janeiro, demonstra uma tendência clara de redução dos totais pluviométricos anuais, com concentração da chuva nas classes de maior intensidade e menor frequência.

Palavras-chave: Flutuação ambiental; Floresta; Cidade; Desastres.

Resumen: El rápido crecimiento de las ciudades, en combinación con el cambio climático y la explosión demográfica urbana, tiende a crear nuevas tensiones en los asentamientos urbanos, haciendo que la población cada vez más vulnerable. Este estudio supone que una reducción de la característica ambiental de los sistemas urbanos, especialmente con respecto a la degradación de las zonas de recarga puede aumentar la vulnerabilidad a los desastres. El análisis de veintisiete años de lluvia para la ciudad de Río de Janeiro muestra una clara tendencia a la reducción de la precipitación total anual con concentración de lluvia en las clases de mayor intensidad y una frecuencia más baja.

Palabras clave: Fluctuaciones ambientales; Bosques; Ciudad; Desastres.

Abstract: The rapid growth of cities, combined with climate change and the urban population explosion, will create new stresses for urban settlements and make city dwellers increasingly vulnerable. This study assumes that a reduction of environmental functionality of urban systems, especially with regard to the degradation of recharge areas, may increase vulnerability to disasters. Analysis of twenty-seven years of rainfall to the city of Rio de Janeiro, shows a clear trend of reduction of total annual rainfall, concentrated rainfall classes with higher intensity and lower frequency

Keywords: Environmental fluctuations; Forest; City; Disaster.

INTRODUÇÃO

As proposições conservacionistas fundamentadas na reprodução de ecossistemas ‘naturais’ em equilíbrio permanente não consideram que é impossível anular a ação humana sobre os mesmos, mas apenas regulá-la. (BRESSAN, 1996, p. 45)

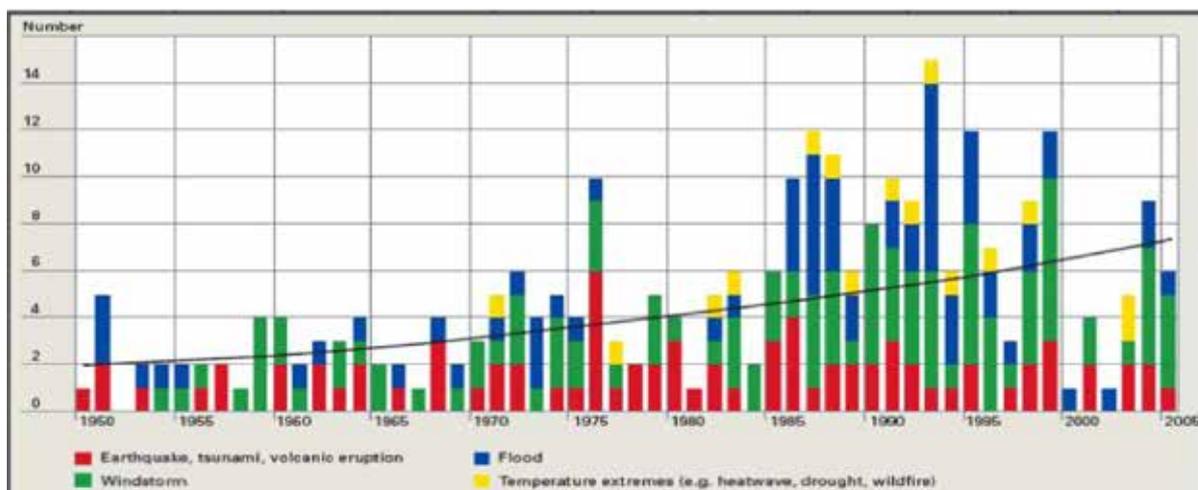
A ocorrência dos desastres ditos “naturais”, como nos lembram Burton et al (1978), está associada tanto aos mecanismos que regulam a variabilidade da dinâmica da natureza, quanto aos (des)controles promovidos pela sociedade no processo de transformação do espaço e modificação das estruturas naturais. A resposta a estas mudanças, em termos de aumento da quantidade e magnitude dos desastres, faz com que Lavell (1999) considere a vulnerabilidade aos riscos como um processo socialmente construído.

Considerando que as áreas urbanas correspondem a espaços onde a estabilidade do sistema ambiental é comprometida por um alto grau de entropia intrínseca (Pereira, 2001), é justamente aí onde estes processos de “produção” da vulnerabilidade têm assumido proporções bastante preocupantes, especialmente a partir da última década. Mendonça (2010) afirma de forma bastante clara, que “o planejamento urbano não tem considerado a relação entre as mudanças e variabilidades climáticas, as vulnerabilidades naturais da superfície terrestre e o crescimento das cidades” (p.136).

Levando-se em conta que, atualmente, mais da metade da população mundial é urbana, e que de cada três moradores urbanos um vive em assentamentos marginais ou favelas lotadas (LEONI, 2010), com enorme perda dos serviços ambientais capazes de estabelecer algum limite de resiliência às flutuações do sistema ambiental (figura 1), somos obrigados a concluir que o rápido crescimento urbano mundial, combinado com as variabilidades climáticas em diferentes escalas, tem contribuído para elevar de forma geométrica o nível de vulnerabilidade humana a desastres naturais no planeta.

A maior parte destes desastres está relacionada com as entradas de água no sistema ambiental. Segundo levantamento de Maffra e Mazzola (2007), 69% dos desastres naturais ocorridos no Brasil entre 2000 e 2007 estiveram ligados à incapacidade do sistema ambiental em absorver tais *inputs*, produzindo deslizamentos e enchentes, com perdas humanas e materiais. Tais dados são corroborados por Nunes (2007), ao analisar a evolução das tipologias de desastres naturais no mundo entre 1950 e 2005, como se apresenta no gráfico abaixo.

Gráfico I - Evolução dos desastres naturais ocorridos no mundo entre 1950 e 2005



Fonte: Nunes (2007)

Ao analisarmos as informações presentes no gráfico sobre a evolução da quantidade de desastres naturais ocorridos no mundo entre 1950 e 2005, percebe-se que o aumento do número de eventos nas últimas décadas é representado, basicamente, pelo incremento de inundações (em azul) e vendavais (em verde).

Para Coelho Netto (1998), é preciso considerar que a disponibilidade de água, bem como a sua mobilidade na paisagem (superficial e subsuperficial), “[...] *constituem condições limitantes à regulação dos ajustes internos e externos dos geocossistemas, particularmente em regiões úmidas*” (p.27).

É nesse ponto que reside a importância dos fragmentos florestais em áreas urbanas, especialmente para cidades que se desenvolvem ao longo de vertentes úmidas. A interceptação promovida pela vegetação reduz a energia erosiva das gotas de chuva¹ e, após uma estocagem temporária da água no nível das copas e/ou na serapilheira, 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).

Diversos são os serviços ambientais prestados pelos geocossistemas florestais; no entanto, em áreas tropicais de encosta, os mais importantes, dizem respeito às relações que o sistema florestal estabelece com os processos hidrológicos, uma vez que a natureza da pai-

¹ Para Gardner (1960), neste sistema, o fluxo de água corre no sentido da diminuição de sua energia potencial.

sagem (tipo, forma e densidade da cobertura, declive da superfície e características do solo) condiciona os fluxos superficiais e subsuperficiais que, por sua vez, definem os mecanismos erosivo-depositivos nas áreas a jusante.

Por outro lado, para compreender a capacidade de estocagem de água pelo sistema, é preciso considerar também a estreita relação entre a duração da chuva, a densidade da massa vegetal e a absorção de água pelo solo (BERNAL e AGUIAR, 1982).

Assim, 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 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. Vê-se, então, que o fenômeno depende de fatores do solo (especialmente nas características que se relacionam à condutividade hidráulica), da planta (densidade, profundidade, orientação, taxa de crescimento e fisiologia das raízes) e da atmosfera (distribuição da precipitação, déficit de saturação, vento e radiação disponível).

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 regulação 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). Esta visão é também compartilhada por Nobre (1992), ao afirmar:

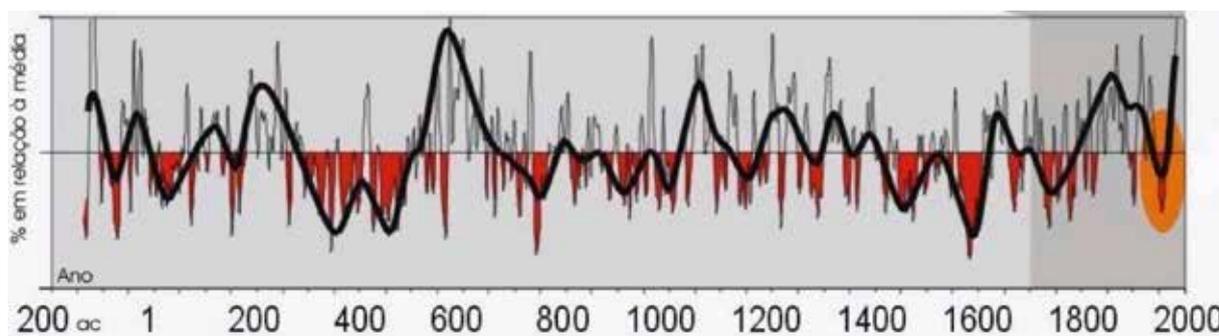
Pensava-se que os mecanismos responsáveis pelas altas e quase contínuas taxas de precipitação [...] eram ligados à circulação geral da atmosfera e não dependiam da vegetação. Esta visão tem sido modificada nos últimos 15 anos, à medida que experimentos com modelos complexos da atmosfera têm demonstrado que a presença ou ausência de vegetação pode influenciar o clima regional. Uma implicação desses resultados é que o clima atual e a vegetação coexistem num equilíbrio dinâmico que pode ser alterado por perturbações em qualquer dos dois componentes (p10).

Assim, quando se pensa a relação entre a água e a floresta num contexto de fragmentação florestal e geração de efeitos de borda, a discussão da variabilidade pluviométrica assume uma dimensão ainda mais significativa, já que, ao afetar sobremaneira a condição microclimática das áreas florestadas, a fragmentação pode induzir a uma redução na disponibilidade de água, particularmente nas bordas (KAPOS *et al*, 1997); e, para os indivíduos das bordas, uma maior demanda evaporativa poderia significar um *déficit* hídrico severo, gerando perdas de funcionalidade e aumento da vulnerabilidade a desastres.

VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO PERÍODO ATUAL: CONTEXTUALIZANDO O DEBATE ACERCA DAS MUDANÇAS NO REGIME DAS CHUVAS

Nas escalas histórica e geológica de tempo, o regime de chuvas tem apresentando uma variabilidade que pode chegar a centenas de anos, como revelam os estudos de Thompson *et al* (1985) e Grissino-Mayer (1996) presentes no gráfico a seguir.

Gráfico II - Reconstrução geológica das variações pluviométricas



Fonte: Grissino-Mayer (1996)

O gráfico apresenta a reconstrução geológica das variações pluviométricas na região NW do Novo México (U.S.A.) nos últimos 2.129 anos, demonstrando o comportamento cíclico das precipitações. Apesar de ser um estudo local, expressa o sentido global desse processo.

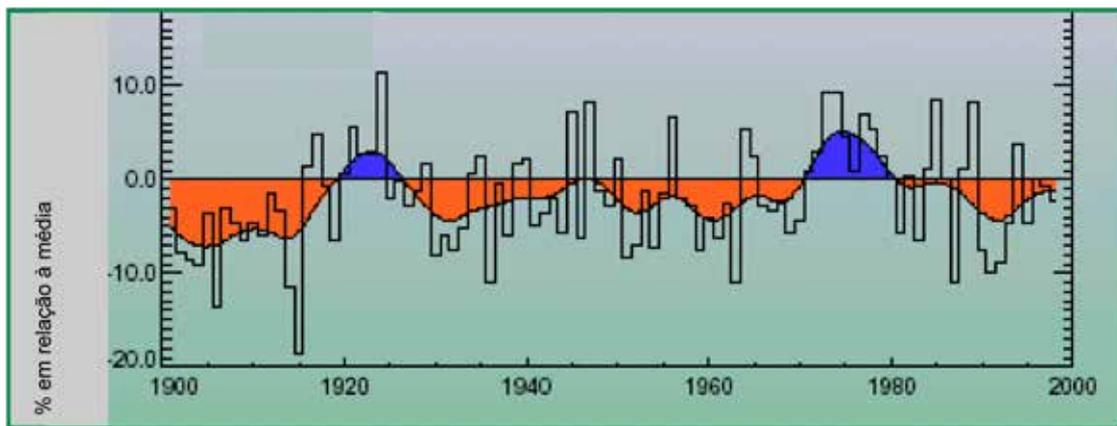
Para além da associação com fenômenos naturais de variabilidade da dinâmica atmosférica (PHILANDER e FEDOROV, 2003), este aquecimento global é também creditado a um aumento potencial das taxas de temperaturas em escalas regional e/ou local, decorrentes das mudanças ambientais marcadas, de um lado, pela forte expansão dos centros urbanos e industriais (LAHMER *et al*, 2001) e, de outro, por altas taxas de retração dos remanescentes florestais (BRUIJNZEEL, 1988).

Nos últimos anos, graças à evolução dos modelos preditivos, vem se tornando cada vez mais freqüente a divulgação de informações sobre distorções no comportamento climático esperado para diversas regiões do Planeta (WANG e SCHIMEL, 2003), tanto na literatura especializada como na mídia de amplo alcance. Essas distorções têm sido atribuídas, pelo

menos em parte, aos efeitos do aumento da temperatura média global sobre a circulação geral da atmosfera (ARNELL, 2003).

Associado a este aumento médio da temperatura, alguns estudos (HULME e SHEARD, 1999; WALSH, 1996; MEIS et al, 1981) têm identificado uma clara tendência de redução dos totais pluviométricos anuais para algumas regiões do Planeta² (vide o gráfico III), as quais, muito provavelmente, estão ligadas à tendência cíclica de variação pluviométrica já anteriormente referida.

Gráfico III - Variação pluviométrica no Brasil no sec. XX



Fonte: Hulme e Sheard (1999).

O gráfico evidencia, para o caso brasileiro, um claro predomínio dos desvios negativos, decorrentes da tendência secular de redução dos totais pluviométricos anuais, espelhando um comportamento mais geral do fenômeno.

Essa tendência à redução das chuvas pode representar, de certa maneira, um *stress* adicional aos sistemas florestais já ameaçados, uma vez que, segundo Nobre (1992) “[...] *devido ao aumento da temperatura, poderia haver aumento da demanda evaporativa e redução da água disponível no solo até mesmo em áreas que experimentassem aumento das chuvas*” (p.01).

Somam-se a isso as evidências acumuladas durante as últimas décadas, de que algumas variações interanuais de precipitação estão, de alguma maneira, relacionadas com as oscilações periódicas do sistema atmosfera-oceano no Pacífico Equatorial, conhecido como fenômeno de “El Niño” (ou ENSO- “El Niño Southern Oscillation”).

² A discussão de tendências pluviométricas tem sido um dos assuntos mais controversos dentro da literatura que discute mudanças climáticas, justamente pela dificuldade de se estabelecer padrões universais para um fenômeno que apresenta tanta variação espaço-temporal. Mesmo regiões que estejam geograficamente próximas, podem assumir comportamentos bastante diferenciados, definidos pela variação dos controles locais. Um exemplo disso, é o estudo desenvolvido por Sant’Anna Neto (1995), demonstrando a diferença de tendências existente entre a região litorânea (decréscimo de precipitações) e o planalto ocidental paulista (tendência de aumento dos totais pluviométricos). Além disso, o caráter cíclico da variável em questão pode permitir interpretações diferenciadas para um mesmo local, dependendo do intervalo de tempo utilizado.

Este fenômeno, segundo Cavalier e Vargas (2002), apresenta uma periodicidade média de 3 a 5 anos, podendo variar de 2 a 7 anos. Ele tem uma duração de 14 a 22 meses e começa com uma diminuição dos ventos Alísios de leste sobre o Pacífico equatorial. Esta redução da intensidade do vento resulta em uma diminuição da espessura das águas quentes superficiais sobre o Pacífico ocidental (SE da Ásia) e, de forma concomitante, em um aumento das temperaturas superficiais do Pacífico central e oriental, estendendo-se até as costas da América do Sul (HASTENRATH, 1990).

No Brasil, embora as conseqüências de tal fenômeno sejam mais evidentes e regulares para as regiões Sul e Nordeste (DZINSKI, 1995), é possível se pensar, tal como se tentará demonstrar mais à frente, que as ocorrências de El Niño concorrem para uma intensificação da circulação das massas de ar sobre a região Sudeste durante o verão, ocasionado aumento de chuvas frontais, com concentração dos eventos durante estes meses.

Neste caso, uma hipótese bastante razoável é a de que o agravamento da variabilidade pluviométrica sobre a região Sudeste reside justamente no somatório destas duas tendências apresentadas, ou seja, tendência secular de redução dos totais pluviométricos anuais, e tendência de concentração dos eventos de chuva nos meses de verão, durante os períodos de ação de El Niño.

Já na escala local, Nimer (1971) destaca que as barreiras impostas pelo relevo montanhoso à circulação das massas de ar promovem variações quantitativas das chuvas frontais, além de propiciarem alguns eventos de chuvas locais. As chuvas convectivas, de abrangência local, também estão fortemente associadas à geração de *ilhas de calor* nas grandes metrópoles, podendo igualmente potencializar os efeitos dos mecanismos de chuvas frontais (MONTEIRO, 1976; BRANDÃO, 2001). A mudança nos padrões de cobertura transforma a aerodinâmica e as propriedades radiativas da superfície, modificando o comportamento da temperatura e da umidade na camada de ar mais próxima do local transformado. Nestes, modificam-se especialmente os parâmetros de conforto térmico (GÓMEZ *et al*, 2001), sob a influência daquilo que Oke (1987) chama de “urban canopy layer”, ou seja, o estrato mais inferior da atmosfera, onde se associam a influência da geometria da cidade com as suas funções urbanas respectivas.

A interação entre a dinâmica climática regional e o conjunto da área construída, provoca alterações nas variáveis atmosféricas, modificando o comportamento tanto da temperatura (CHANDLER, 1962; MENDONÇA, 1994), quanto da intensidade e distribuição da pluviosidade (BRANDÃO, 1997) sobre as áreas urbanas.

ANÁLISE DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NO MACIÇO DA TIJUCA (RIO DE JANEIRO-RJ)

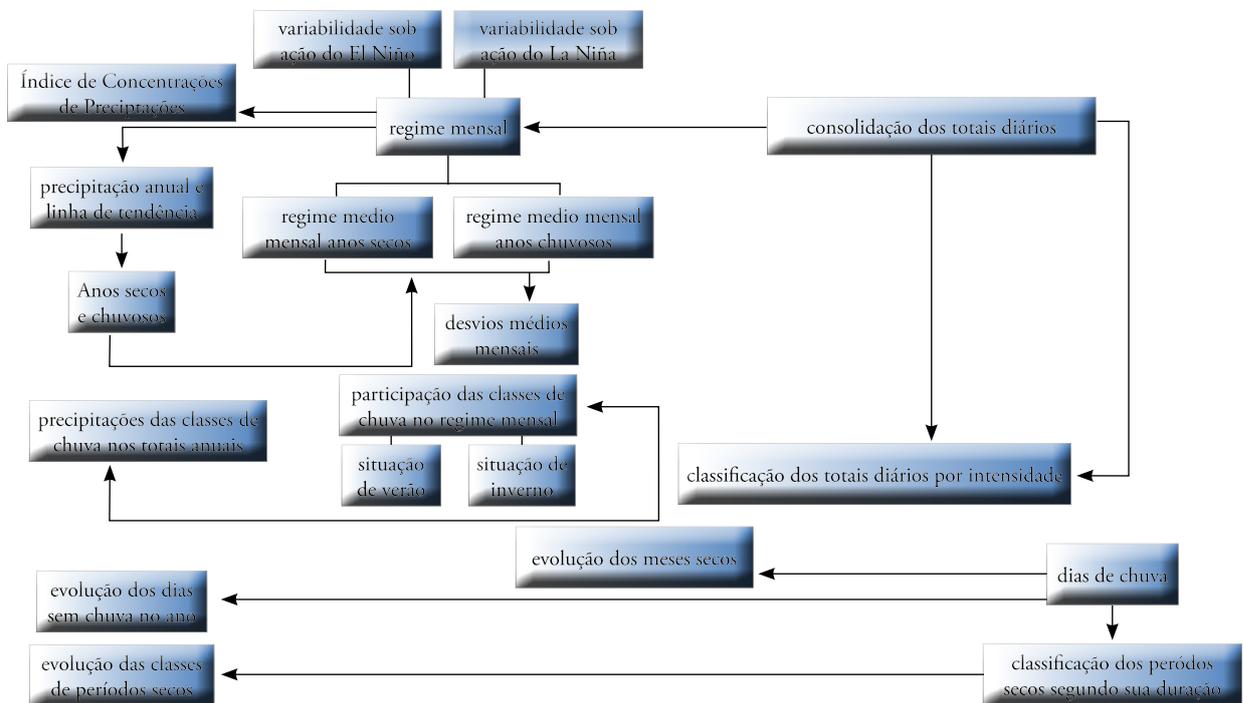
Para a realização desta pesquisa, procedeu-se à análise dos dados diários de precipitação na Estação Capela Mayrink (SERLA), no período de 27 anos (1976-2002). A escolha desta Estação se deu em função da existência de uma série satisfatória de dados, e também

pela representatividade da Estação em relação ao Maciço da Tijuca, dada a sua localização estratégica em relação à cidade do Rio de Janeiro, no interior do Parque Nacional da Tijuca e próximo ao divisor.

A periodização da série de dados obedeceu a um recorte decenal, contado a partir do primeiro ano de registros. Dessa forma, adotaram-se os seguintes intervalos: 1976-85; 1986-95; 1996-2002.

Partindo-se da precipitação diária da Estação, o conjunto da análise da variabilidade pluviométrica no Maciço da Tijuca a partir da consolidação dos dados de chuva envolveu diferentes escalas de tempo, conforme se apresenta no quadro abaixo.

Quadro I - Roteiro metodológico dos dados de chuvas na estação Mayrink (RJ)



Este quadro demonstra o roteiro metodológico de tratamento dos dados de chuva da Estação capela Mayrink (Rio de Janeiro-RJ) por meio de setas e cores. Da esquerda para a direita aparecem representados os tratamentos da escala anual (azul escuro), mensal (azul intermediário) e diária (azul claro).

Para tanto, avaliou-se o comportamento da tendência secular ou histórica em relação á média da série, através do cálculo da reta de regressão, tal como sugerido por Daveau (1977). Para checar a correlação dos resultados encontrados, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson, interpretado segundo as categorias propostas por Borg (*apud* POCINHO e FIGUEIREDO, 2004)³. Já para testar a significância dos resultados obtidos, utilizou-se o coeficiente “t” de Student .

³ Com $0,20 < r \leq 0,35$, indica ligeira relação entre as variáveis; $0,35 < r \leq 0,65$, indica correlação estatisticamente significativa; $0,65 < r \leq 0,85$, indica correlações que tornam possíveis predições; $r > 0,85$, indica íntima relação entre as variáveis correlacionadas.

Dada a limitação de espaço do texto, o presente artigo tratará apenas das variabilidades nas classes diárias de intensidade pluviométrica e de distribuição dos períodos secos, reconhecendo serem estas flutuações as que melhor responderam ao aumento da vulnerabilidade e do aumento de desastres naturais na cidade.

A análise da frequência do intervalo interpluvial foi desdobrada em dois momentos. Em um primeiro momento, a fim de verificar uma possível tendência de redução e/ou concentração dos eventos de chuva, calculou-se a frequência de dias secos para cada ano da série, estabelecendo, a seguir, um gráfico com a evolução histórica desta frequência⁴ e a respectiva linha de tendência (por análise de regressão).

Em uma segunda análise, o total anual de dias secos foi desdobrado em classes de dias secos⁵, obedecendo-se os mesmos intervalos já trabalhados por Coelho Netto (1985) para o Maciço da Tijuca. Dessa forma, foi calculada a frequência anual, com as respectivas linhas de tendência, para os seguintes intervalos de dias sem chuva: 1 a 3 dias, 4 a 7, 8 a 11 e 12 dias ou mais.

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 mensal de distribuição de cada classe de intensidade. Para tanto, considerou-se como evento de chuva apenas aqueles em que a precipitação foi > 0,2mm⁶.

A primeira classe de precipitação (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 (chuvas de 10,1 a 50mm) representa os eventos de chuva que realmente contribuem para a regulação hidrológica do geocossistema florestal e recarga dos aquíferos. As classes 3 (50,1 a 100mm) e 4 (> 100mm) 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 humanos e econômicos na cidade do Rio de Janeiro entre 1882 e 1996, relacionados por Brandão (2001), 64,1% foram de uma intensidade superior a 50mm em 24h. Neste mesmo sentido, para Davis e Naghettini (2000), o critério de inclu-

⁴ A análise de frequência refere-se à quantificação do número de ocorrências de um evento pluviométrico. Para Davis e Naghettini (2000) “[...] em se tratando de ocorrências naturais raras, como cheias, estiagens e tempestades extremas, a análise de frequência adquire especial importância devido, principalmente, às conseqüências desastrosas que esses eventos podem acarretar para a sociedade humana” (p.51).

⁵ Referente ao número de dias consecutivos sem precipitação.

⁶ Apesar da indicação de Pinto (1976), de considerar-se como dia chuvoso, apenas aqueles com precipitação maior ou igual a 0,5mm, mantivemos o limite inferior da primeira classe em 0,2mm, a fim de tornar os dados comparáveis com estudos anteriores (COELHO NETTO, 1985; MIRANDA, 1992).

são 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, quando a análise dos dados exigiu um grau maior de generalização, as classes 1 e 2 foram somadas, a fim de verificar o comportamento médio, ao longo do ano, das chuvas menores (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 maiores (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.

Considerando que a primeira classe adotada (0,2-10mm) representa fundamentalmente a chuva interceptada e armazenada pelas copas (LLORENS e GALLART, 2000), algumas das análises foram feitas levando em conta o comportamento das chuvas de média intensidade (entre 10 e 50mm- as quais garantem a estabilidade hidrológica do sistema da paisagem) e das chuvas de altíssima intensidade (>100mm – causadoras de grande instabilidade no sistema⁷).

Uma pesquisa desenvolvida por Souza (2003), nos dá uma dimensão da importância deste tipo de precipitação de alta intensidade nos desajustes ambientais em áreas florestadas montanhosas sujeitas a um grande adensamento urbano. Ao analisar a variabilidade pluviométrica em Juiz de Fora (MG), o autor identificou que mais de 90% da precipitação ocorrida durante os períodos de primavera-verão de 1996-97 e 1999-2000 foi originada por sistemas frontais, aos quais o autor associa a detonação dos escorregamentos verificados naquela cidade durante este mesmo período

ANÁLISE DOS RESULTADOS

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 décadas⁸ (CAVALIER 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).

⁷ Segundo as estatísticas da GEO-Rio (FEIJÓ et al, 2001), a maior parte dos eventos de escorregamento na cidade do Rio de Janeiro, ocorreram, em média, com precipitações acumuladas acima de 90mm em 24h, ou 110mm em 96h.

⁸ Para Nepstad (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). Estudos de modelagem atmosférica na região amazônica realizados por Nobre (1992) demonstram que, para uma célula de 2,8° de longitude por 1,8° de latitude, a substituição de floresta por pastagens, resultaria em um aquecimento médio de 1 a 3°C à superfície, e numa redução de 400 a 800mm de chuva por ano.

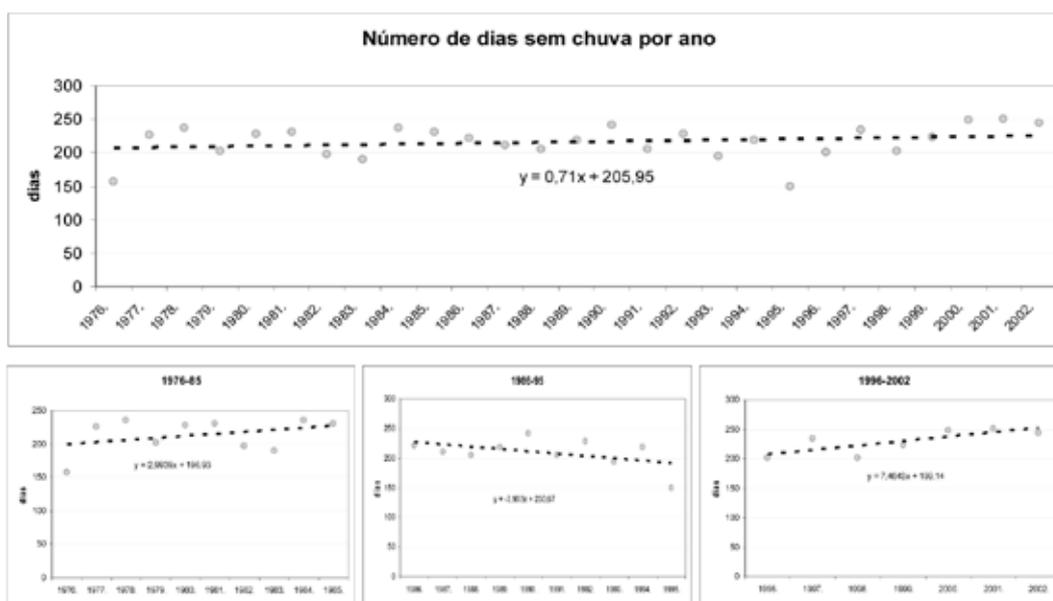
Para a presente pesquisa, no entanto, a queda na inclinação da reta de tendência na Estação analisada⁹ parece, em um primeiro momento, apontar em direção oposta. A hipótese inicial, posteriormente confirmada pela análise comparativa da distribuição mensal das classes de chuva ao longo da série, é de 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. Ressalva-se aqui, no entanto, aquela parcela dos eventos de baixa intensidade que têm a sua origem associada a mecanismos pós-frontais. Para estes, a intensificação dos eventos de frontogênese poderá significar, também, aumento da sua frequência, em condições atmosféricas específicas, como é o que ocorre nos meses de fevereiro dos anos chuvosos.

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

Uma primeira análise acerca dos períodos interpluviais, envolveu o cálculo de frequência do número de dias secos por ano, ao longo de cada série de dados, a fim de confirmar (ou abrir outras possibilidades de análise) a tendência de redução dos totais anuais identificada na série de dados anuais.

Tal como era previsto, os resultados para a série da Estação Capela Mayrink demonstraram uma tendência de aumento anual do período seco (gráfico IV), embora a comparação entre os três períodos de tempo demonstre uma alternância entre tendência de aumento e de redução do número de dias sem chuva por ano (sendo que apenas os resultados do segundo e terceiro períodos apresentaram uma boa correlação, com $r = 0,48$ e $0,77$ ¹⁰, respectivamente).

Gráfico IV - Frequência anual para a Estação Capela Mayrink



⁹ Estes resultados se aproximariam das tendências sinalizadas por outros autores, tanto para regiões tropicais (ÂNGELO, 2003; WALSH, 1996) quanto para regiões extratropicais (DE LUÍS et al, 2001).

¹⁰ O primeiro, estatisticamente significativo a 0,1 e o segundo a 0,05

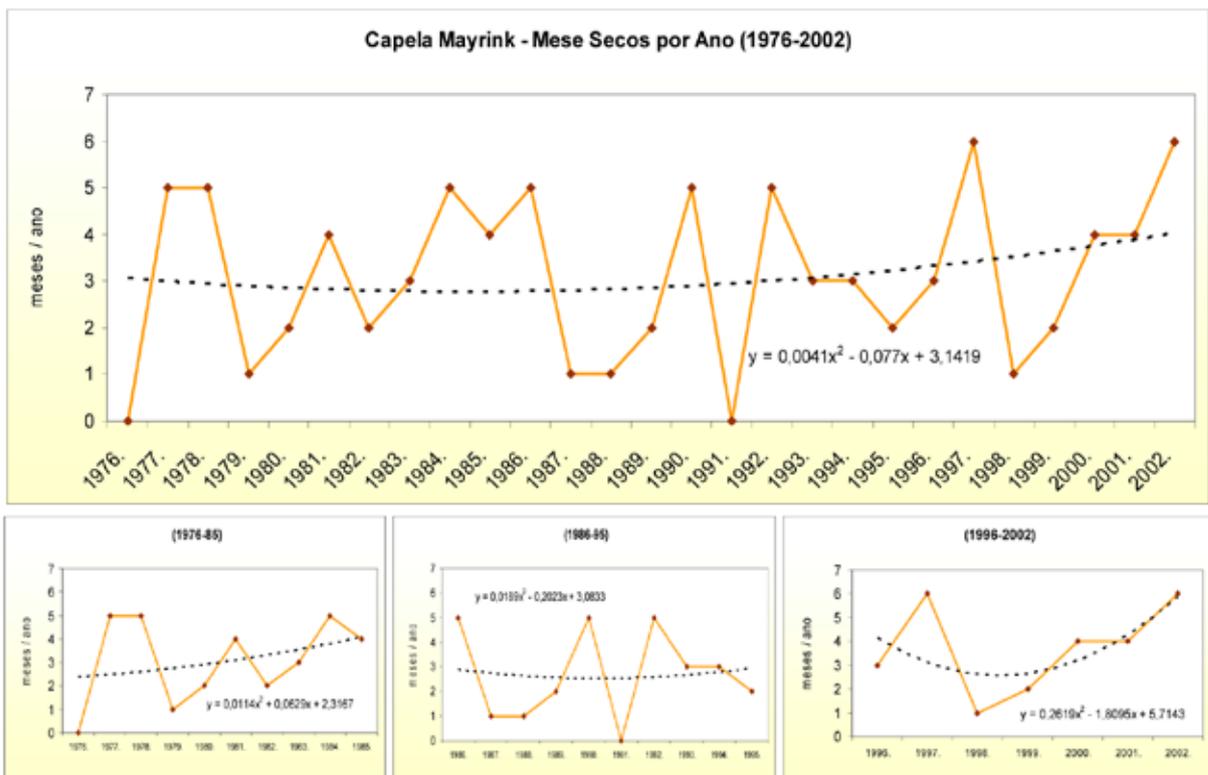
Seguindo a metodologia proposta por Windsor (1990), tratou-se de selecionar todos os meses com precipitação inferior a 100mm calculando-se, posteriormente, a linha de tendência para este conjunto de meses.

A análise dos resultados de frequência dos meses secos confirmou a expectativa de que a redução dos totais pluviométricos anuais não está concentrada apenas nos meses de inverno (historicamente de menor precipitação), já que a evolução do número de meses secos vem demonstrando uma tendência de expansão (gráfico V).

Para a Estação Capela Mayrink, os resultados acompanham, em linhas gerais, as tendências expressas pela frequência anual dos dias secos, muito embora apenas os resultados do período 1996-2002 possam ser considerados estatisticamente significativos a 0,1 ($r = 0,61$).

Esta hipótese é comprovada, na seqüência, ao se verificar no gráfico de frequência das classes de intervalos interpluviais (figura 8), um crescimento de 72,5% na linha de tendência da classe 4 (12 dias ou mais sem chuva) de eventos interpluviais (com um $r = 0,97$, sendo estatisticamente significativo no nível de 0,005), contra uma expressiva redução da classe 1 (1 a 3 dias), estatisticamente significativa no nível de 0,05 (com $r = 0,77$).

Gráfico V - Frequência anual dos meses secos e linhas de tendência

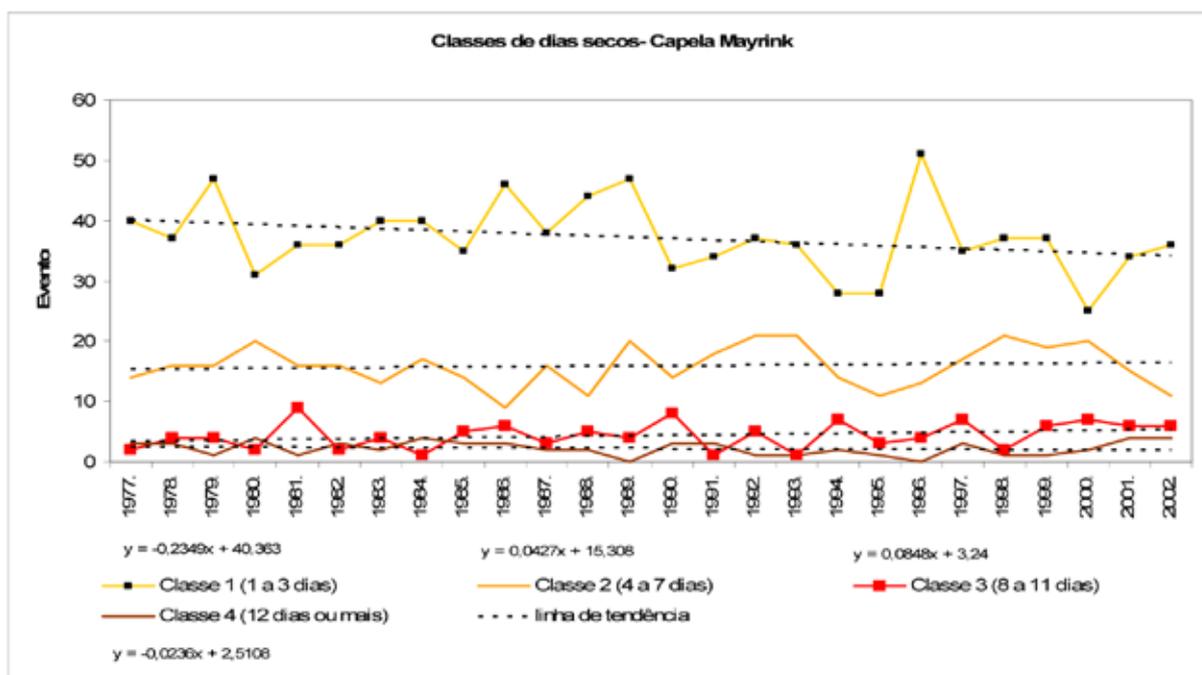


A comparação entre os dois gráficos, acompanhados das respectivas linhas de tendência (calculadas por regressão polinomial), nos permite refletir sobre o comportamento geral dos eventos interpluviais ao longo da série trabalhada.

Assim, uma análise mais detalhada dos dados não deixa dúvida de que a variabilidade pluviométrica no entorno do Maciço da Tijuca caminha para um cenário de maior fragilização ambiental, no que se refere à distribuição da umidade. Para Goldstein et al (2002), “[...] quando se conjugam uma folhagem muito densa, uma demanda evaporativa considerável e uma Estação seca prolongada (que em alguns locais pode durar de 1 a 3 meses), se pode gerar um desequilíbrio na disponibilidade de recursos hídricos” (p.252).

Se a mudança na distribuição anual das chuvas já começa a ser configurada pelas alterações na frequência das classes de intensidade dos períodos interpluviais (na direção do aumento do espaçamento entre chuvas), resta saber se a distribuição mensal do volume de chuva também caminha na direção de alguma forma de concentração ao longo do ano.

Gráfico VI - Frequência das classes de eventos interpluviais para a Estação Capela Mayrink



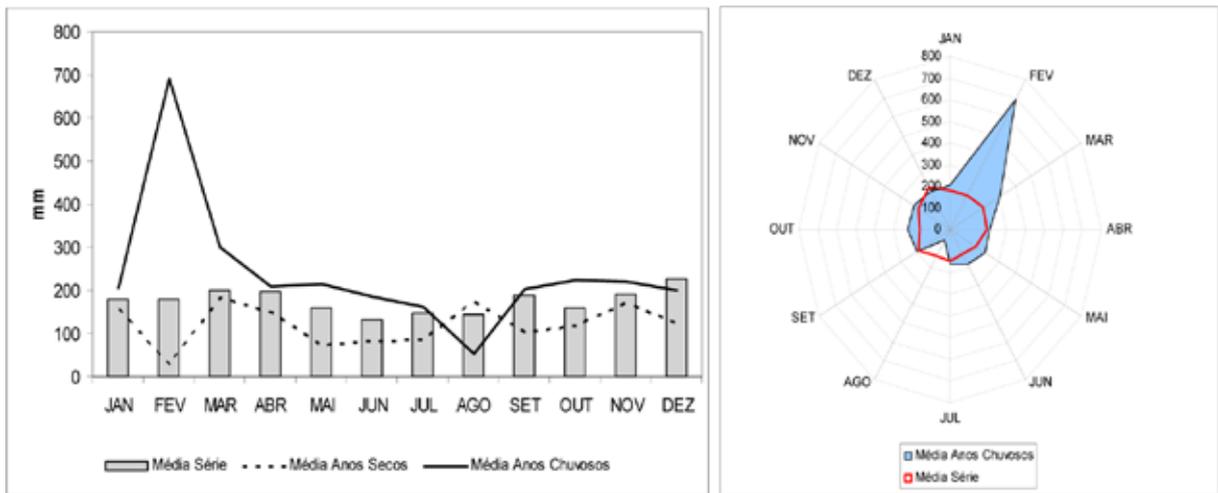
Neste gráfico temos as linhas tracejadas em preto, representam as linhas de tendência, calculadas a partir de regressão linear (equações junto à legenda das classes). Significância estatística para os resultados da classe 1, no nível de 0,1, e classe 3, no nível de 0,05.

A grande distorção das médias mensais da estação Capela Mayrink aparece no mês de fevereiro, durante o regime mensal dos anos chuvosos (figura 9), 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(1973), para quem a sazonalidade nas áreas de transição entre a ação dos sistemas polares e a ação dos sistemas intertro-

picais, está relacionada à ocorrência de fortes precipitações de frontogênese durante o verão. Nos anos em que a ação da Massa Polar é obstruída pelo fortalecimento do sistema intertropical ou, ao contrário, quando o avanço da Frente Polar se dá em uma velocidade muito alta na região Sudeste, não encontrando resistência do sistema intertropical, a ausência das chuvas concentradas de grande porte imprime uma tendência de maior uniformidade no regime médio mensal das precipitações.

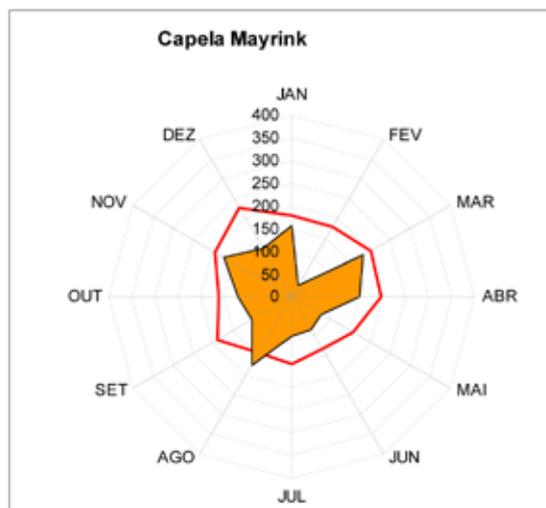
Gráfico VII - Regime médio mensal de precipitação para a Estação Capela Mayrink: 1976-2002



A interação entre as duas figuras no referido gráfico permite evidenciar, para esta Estação Capela Mayrink e nesta escala de tempo, o mês de fevereiro como um importante indicador dos anos chuvosos, considerando a média dos três anos de maior precipitação da série.

Da mesma forma que nos anos chuvosos, o mês de fevereiro também se coloca como um importante indicador dos períodos secos, já que é o mês que apresenta os maiores desvios negativos na média mensal dos anos secos (gráfico VIII).

Gráfico VIII - Regime médio mensal dos anos secos Estação Capela Mayrink



No gráfico, a linha vermelha corresponde à média mensal da Estação para o período todo, enquanto que o polígono amarelo representa a média mensal da Estação para os três anos mais secos. Cabe destacar que, pelos dados analisados, o papel do mês de fevereiro como indicador dos anos chuvosos, poderá ser colocado em questão nas próximas décadas, visto que este mês vem apresentando, para o regime médio do último período da Estação Capela Mayrink, uma nítida tendência de decréscimo do total mensal.

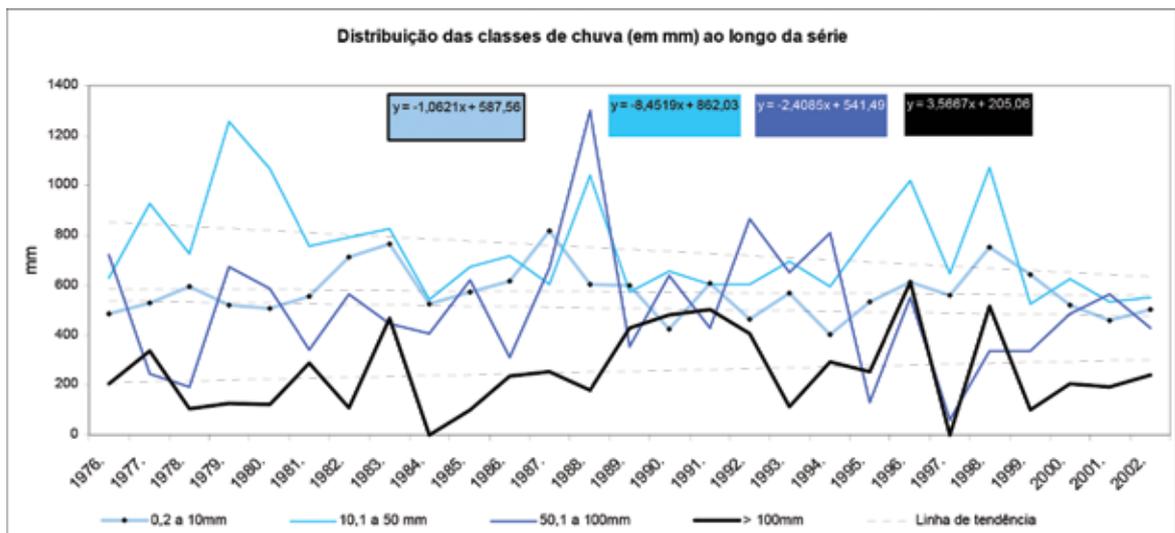
Esta mudança de comportamento vem ao encontro das mudanças que se têm verificado nos últimos anos, para o Estado do Rio de Janeiro, na ocorrência de escorregamentos. Segundo Amaral (1996), até o ano de 1996, a maior parte dos escorregamentos significativos no Estado do Rio se concentravam no mês de fevereiro. 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).

Já no que se refere às classes de intensidade de chuva, a sua caracterização levou em conta três grandes agrupamentos: as chuvas menores (**classe 1: de 2 a 10mm**), representando a chuva que, na sua maior parte, é interceptada e armazenada pelas copas das árvores, sendo devolvida à atmosfera por evaporação; as chuvas maiores (**classes 3 e 4: de 50,1 a 100mm e > 100mm, respectivamente**), representando os eventos de baixa frequência e alta intensidade, potencializadores de desastres naturais (DEHN e BUMA, 1999) e que pouco contribuem para a manutenção da estabilidade hidrológica do geossistema (uma vez que o volume de água produzido é rapidamente perdido pelo sistema na forma de escoamento superficial e subsuperficial). Por fim, as chuvas intermediárias (**classe 2: de 10,1 a 50mm**), que são responsáveis pela “alimentação” hídrica do sistema, tanto através da disponibilização de água para o subsistema serapilheira - topo do solo - raízes, quanto pela recarga dos mananciais a partir da água de infiltração.

Uma análise do gráfico da frequência anual dos eventos pluviométricos para a Estação Capela Mayrink, com as respectivas linhas de tendência (gráfico IX), 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 o 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 no último período, tal como se pode verificar pela equação da reta.

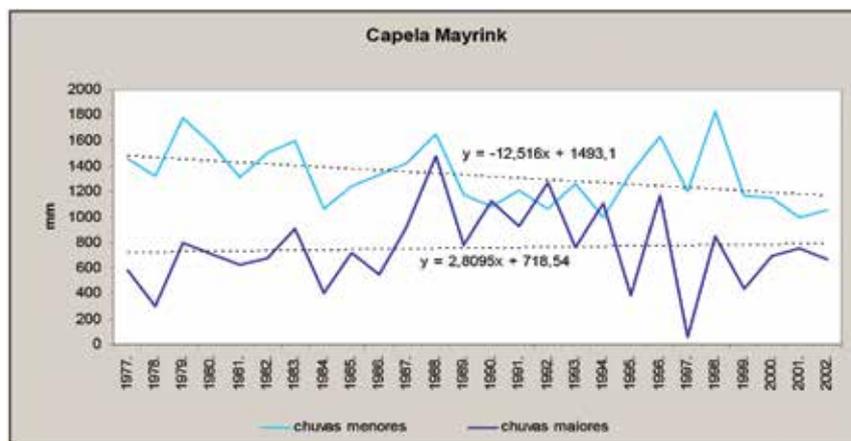
Percebe-se que as chuvas de classe 1 vêm apresentando uma tendência menor de redução, possivelmente em decorrência do aumento dos núcleos de condensação gerados pelo crescimento urbano-industrial da cidade. Contudo, considerando que esta classe de chuva pouco afeta o conjunto solo-vegetação, dada à sua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

Gráfico IX - Frequência anual dos eventos pluviométricos (em mm), por classe de intensidade



Um recurso à generalização, nos permite visualizar mais claramente o comportamento descrito nos parágrafos acima. Quando unificamos as classes 1 e 2 (chuvas menores) e 3 e 4 (chuvas maiores), verificamos a nítida tendência de aumento na frequência das chuvas mais intensas, em substituição às chuvas menores, que tendem a reduzir a sua participação no total anual, como se apresenta no gráfico dos totais pluviométricos (em mm), a partir do agrupamento das classes de intensidade (1 e 2 para as chuvas menores, e 3 e 4 para as chuvas maiores), na Estação Capela Mayrink, com as respectivas linhas de tendência (gráfico X).

Gráfico X - Totais pluviométricos (em mm) por agrupamento das classes de intensidade



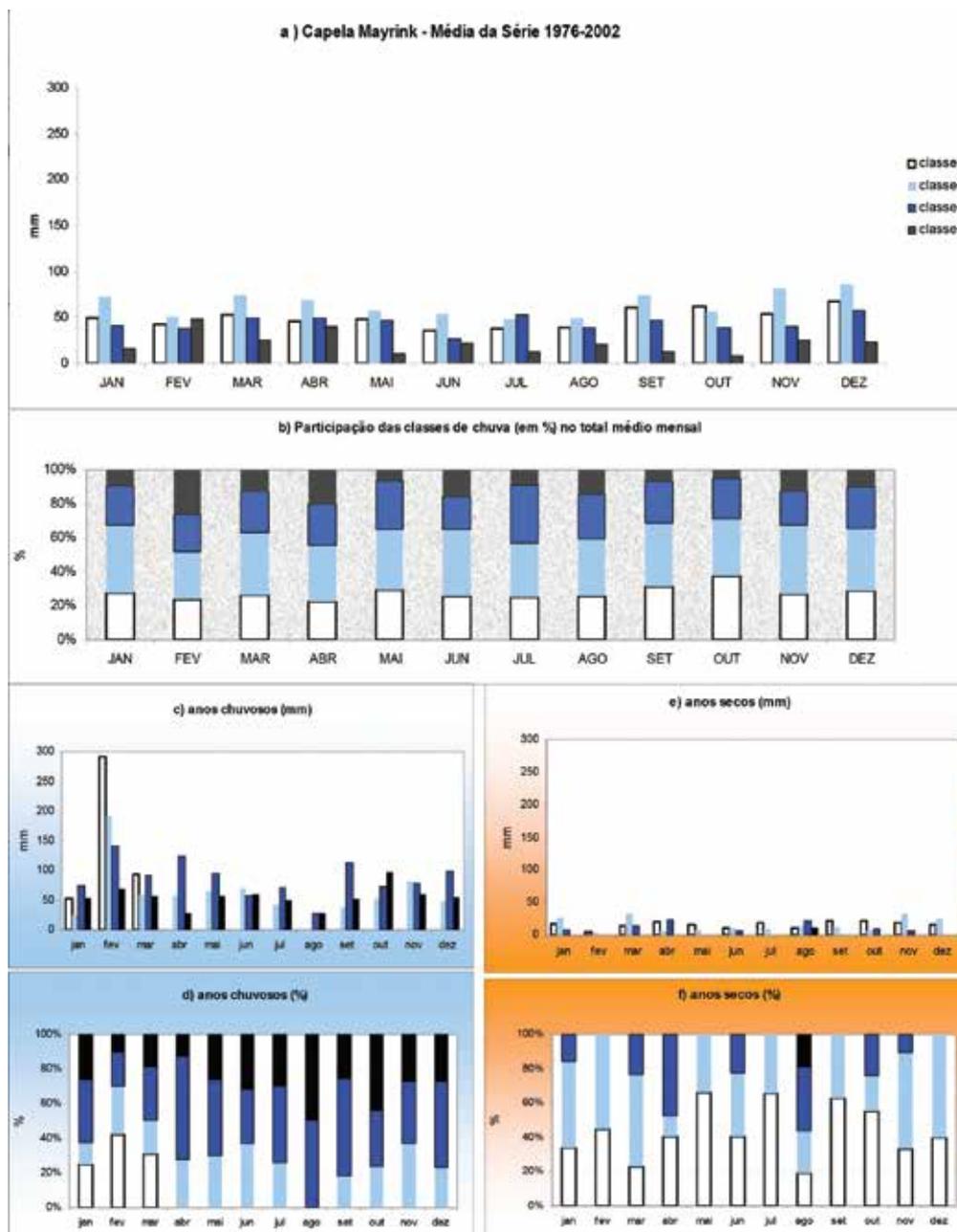
No que se refere à análise do comportamento das classes de chuva na Estação Capela Mayrink, resta-nos apenas uma questão a ser analisada, que se refere às mudanças de comportamento das classes de chuva entre o regime médio da série, o regime dos anos chuvosos e o regime dos anos secos.

O gráfico XI nos ajuda a compreender melhor esta diferença de comportamento das classes de chuva em diferentes regimes. Percebe-se que na média da Série (gráfico XI a e b),

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 (gráfico XI c), concentrado especialmente nos meses de verão (o que passa a demarcar com maior clareza a sazonalidade), é o aumento das chuvas de grande intensidade (gráfico XI d) que vai efetivamente definir a elevação dos totais anuais, já que as mesmas prevalecem em 10 dos 12 meses do ano.

Gráfico XI - Distribuição média das classes de chuva. Regime médio da série (a, b), durante os anos chuvosos (c, d) e durante os anos secos (e, f)



De forma análoga, durante os anos secos, embora haja um decréscimo generalizado de todas as classes de chuva, em todos os meses do ano (gráfico XI e), 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- gráfico XI f).

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 eventos¹¹.

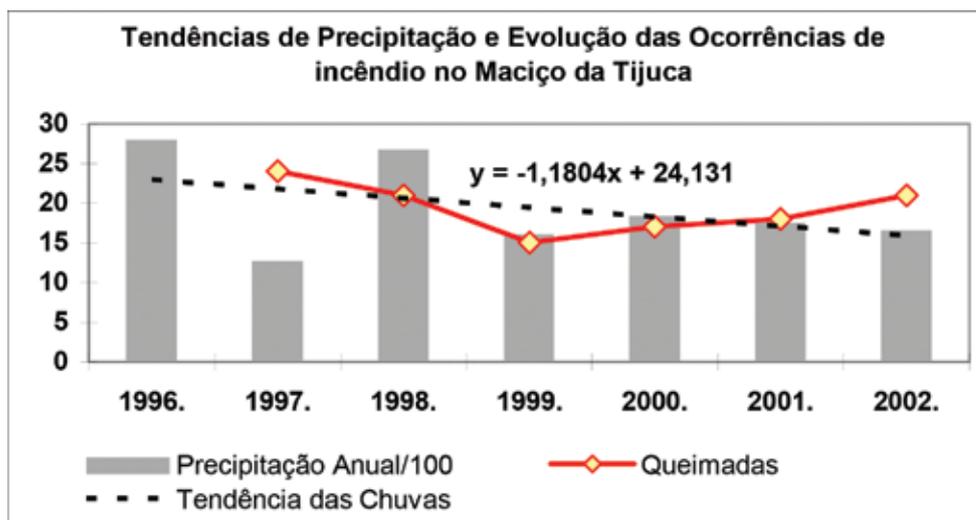
Em se tratando do comportamento de anos de extremos pluviométricos, aos quais se associou a ocorrência de inúmeros desastres naturais, é provável que o mecanismo de detonação destes desastres resida exatamente na associação entre estas diferentes intensidades de chuva, e não apenas no fortalecimento de uma delas.

Por outro lado, a análise dos gráficos também permite visualizar com bastante evidência que os grandes desvios negativos dos meses de fevereiro, no regime de anos secos, são atribuídos à ausência das chuvas de grande intensidade; ausência esta que tanto pode estar ligada, em alguns casos, ao fortalecimento e dominância da Massa Tropical Atlântica (Mta) quanto, em outros casos, à retração da Mta, com rápida passagem da Frente Polar em direção ao Nordeste brasileiro. Ambas as situações acabam resultando na redução ou ausência dos eventos de frontogênese.

Cabe ressaltar, por fim, que as séries de anos secos são especialmente responsáveis pelo aumento na incidência de queimadas na área da floresta, tal como se observou no período de 1999 a 2002 no Rio de Janeiro, como vemos no comparativo entre a tendência anual de precipitação para os dados da estação Capela Mayrink (totais anuais divididos por 100) e o número anual de ocorrências de incêndio para o Maciço da Tijuca, entre 1997 e 2002 (gráfico XII).

¹¹ 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)

Gráfico XII -



Este quadro apresenta-se bastante preocupante, uma vez que a ocorrência de um ano chuvoso sucedendo a esta série de anos mais secos e com maior incidência de incêndios, poderá deflagrar processos erosivos mais intensos, tal como nos lembra Freitas (2001):

Os principais eventos erosivos derivados do fogo são, portanto, temporalmente dispersos, e catastróficos, pois dependem de eventos de precipitação mais intensos, no caso da erosão subsuperficial, e da combinação de fogo e chuvas subseqüentes, que quando são em alta intensidade devem causar mais erosão do que muitos anos seguidos de chuvas em áreas cobertas de vegetação (p.123).

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, 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 deste sistema, que o quadro atual projeta.

O aumento da instabilidade do sistema vem exatamente do fato de que os eventos de maior frequência e menor intensidade (conseqüentemente de maior regularidade na distribuição das chuvas) - (classes 1 e 2 de intensidade) - apontam para uma tendência de diminuição de ocorrência, em detrimento dos eventos de menor frequência e maior

intensidade (distribuídos entre as classes de intensidade 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 frequência dos eventos extremos associados a linhas de instabilidade.
- Modificação na dinâmica de recarga dos mananciais pela redução na disponibilidade da água de infiltração e, por fim, modificação estrutural e funcional dos geossistemas, devido à necessidade de geração de processos adaptativos da vegetação a estes períodos mais secos.

Certamente que todas estas características tendem a ter as sua resultante hidrológica potencializada pela ocupação intensa e desordenada que a área vem sofrendo nas últimas décadas, aumentando de forma expressiva a sensibilidade ambiental do sistema como um todo.

REFERÊNCIAS

ÂNGELO, J.R. Precipitação em áreas urbanas - o caso de Juiz de Fora-MG. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. Nº especial, p. 1-8, novembro 2003.

ARNELL, N.W. Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future stream flows in Britain **Journal of Hydrology**, Nederland, n. 270, p. 195-213, 2003.

BERNAL, F.F.; AGUIAR, V.B. **Introducción a la agrometeorología** Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982.

BONAN, G.B. **Ecological climatology. Concepts and applications**. Cambridge: Cambridge Press, 2002.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchments experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaporation **Journal of Hydrology**, Nederland, n. 55, p. 3-23, 1982.

BRANDÃO, A.M.P.M. As chuvas e a ação humana: uma infeliz coincidência in: ROSA, L.P.; LACERDA, W. (Orgs.). **Tormentas cariocas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. p. 21-38.

_____. 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, 2001. p. 47-109.

BRESSAN, D. **Gestão racional da natureza** São Paulo: Hucitec, 1996.

BRUIJNZEEL, L.A. (De) forestation and dry season flow in the tropics: a closer look. **Journal of Tropical Forest Science**, n. 1, p. 229-243, 1988.

BURTON, I.; KATES, R.W.; WHITE, G.F. **The Environment as Hazard**. New York: Oxford University Press, 1978.

CAVALIER, J.; VARGAS, G. Procesos hidrológicos. in: GUARIGUATA, M.R.; KATTAN, G.H. (Orgs.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales..** Cartago: LUR, 2002. p. 145-166.

CHANDLER, T.J. London's urban climate **The Geographical Journal**, n. 128, p. 279-302, 1962.

COELHO NETTO, A.L. **Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro** Belgium, 1985. Tese (PhD) - Katholieke Universiteit Leuven.

_____ Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia in: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 93-148.

_____ A abordagem geo-hidroecológica: um procedimento analítico-integrativo fundamentado na geomorfologia, hidrologia e geoecologia *In*: FORUM DE GEO-BIO-HIDROLOGIA, 1., 1998, Curitiba. **Anais....** Curitiba: UFPR, 1998. p. 26-29.

DAVEAU, S. Repartition et rythme precipitation au Portugal. **Memórias do Centro de Estudos Geográficos**, Lisboa, n. 3, 1977.

DAVIS, E.G.; NAGHETTINI, M.C. **Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro**. 2ª Ed. Revisada e ampliada ed. Brasília: CPRM, 2000.

DE LUÍS, M.; GARCÍA-CANO, M.F.; CORTINA, J.; RAVENTÓS, J.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; SÁNCHEZ, J.R. Climatic trends, disturbances and short-term vegetation dynamics in a Mediterranean scrubland. **Forest Ecology and management**, (147): 25-37. 2001.

DEHN, M.; BUMA, J. Modeling future landslide activity based on general circulation models. **Geomorphology**, n. 30, p. 175-187, 1999.

DREW, D. **Processos interativos homem - meio ambiente**. São Paulo: Difel, 1986.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. **Water in environmental planning**. New York: W. H. Freeman, 1978.

DZINSKI, C.D.S. **Um estudo da precipitação na região sul do Brasil e sua relação com os Oceanos Pacífico e Atlântico tropical e sul**. São José dos Campos, 1995. 99 f. Tese (Doutorado) – INPE.

FEIJÓ, R.L.; PAES, N.M.; D'ORSI, R.N. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. *In*: COBRAE, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: UFRJ, 2001. p. 223-230.

- FREITAS, L.E. **Transformações geocológicas, hidrológicas e erosivas em ecossistemas florestais de encosta: o papel da recorrência de incêndio**. Rio de Janeiro, 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ.
- GALVANI, E.; AZEVEDO, T.R. A Frente Polar Atlântica e as características de tempo associadas: estudo de caso. **Geo UERJ**, n. Nº Especial, p. 1-11, 2003
- GARDNER, W.R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil Science**, n. 89, p. 63-73, 1960.
- GOLDREICH, Y. The structure of the ground-level heat island in a Central Business District. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, n. 24, p. 1237-1244, 1985.
- GÓMEZ, F; TAMARIT, N.; JABALOYES, J. Green zones, bioclimatics studies and human confort in the future development of urban planning. **Landscape and Urban Planning**, n. 55, p. 151-162, 2001.
- GRISSINO-MAYER, H.D. A 2129 year annual reconstruction of precipitation for northwestern New Mexico, USA. in: DEAN, J.S.; MEKO, D.M.; SWETNAM, T.W. (Eds.). **Tree rings, environment and humanity**. Tucson: University of Arizona, 1996. p. 191-204.
- HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, n. 3, p. 893-904, 1990.
- HULME, M.; SHEARD, N. **Cenários de alterações climáticas para o Brasil**. Norwich-UK: Climatic Reserach Unit. , 1999.
- KAPOS, V.; WANDELLI, E.; CAMARGO, J.L.; GANADE, G. Edge-related changes in environment and plant responses due to forest fragmentation in central Amazonia. in: LAURANCE, W.F.; BIERREGARD JR., R.O. (Eds.). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: University Chicago Press, 1997. p. 33-44.
- LAHMER, W.; PFÜTZNER, B.; BECKER, A. A assessment of land use and climate change impacts on the mesoescale. **Phys. Chem. Earth**, v.7-8, n.26, p. 565-575, 2001.
- LAVELL, A. **Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos**. San José: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en America Latina LA RED, 1999. Disponível em: <<http://www.desenredando.org/public/articulos/1999/grau/index.html>>. Acesso em: 28 mai 2011.
- LEONI, B. **Disaster Through a Different Lens**. New York: United Nations, 2010.
- LINDNER, M. Regional impacts of climatic change on forests in the state of Brandenburg, Germany. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 84, p. 123-135, 1997.
- LLORENS, P; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. **Journal of Hydrology**, n. 240, p. 131-144, 2000.

MAFRA, C.Q.T.; MAZZOLA, M. As razões dos desastres em território brasileiro. In: SANTOS, R.F. (Org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Fenômenos naturais ou induzidos? Capítulo 1, p.09-12. Brasília: MMA, 2007.

MEIS, M.R.M.; COELHO NETTO, A.L.; OLIVEIRA, P.T.T.M. Ritmo e variabilidade das precipitações no vale do rio Paraíba do Sul: o caso de Resende. **Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos**, v. 1, n. 3, p. 43-51, 1981.

MENDONÇA, F.A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para o estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. São Paulo, 1994. 322 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, USP.

MENDONÇA, M. A vulnerabilidade da urbanização do centro-sul do Brasil frente à variabilidade climática. **Mercator**, 9(1): 135-151, 2010.

MIRANDA, J.C. **Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Rio de Janeiro, 1992. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ.

MONTEIRO, C.A.F. A climatologia do Brasil ante a renovação atual da Geografia: um depoimento. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 6, 1973.

_____. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: USP, 1976. (Série Teses e Monografias.) v. 25.

NEPSTAD, D.C. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, n. 372, p. 666-669, 1994.

NIMER, E. Análise dinâmica da precipitação pluviométrica na região serrana do SE do Brasil, especialmente na Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, n. 33, p. 55-162, 1971.

NEUMANN, J.A. A importância da cobertura florestal para o ecossistema e para a sociedade. **Boletim Gaúcho de Geografia**, n. 17, p. 3-15, 1989.

NOBRE, C.A. Alterações climáticas globais e suas implicações para o Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, n. especial, p. 1-36, 1992.

NUNES, L.H. Mudanças Ambientais, Desastres e Repercussões no Meio Ambiente. In: Seminário sobre Impacto das Mudanças Climáticas nas Metrópoles. Programa Estadual de Mudanças Climáticas-PROCLIMA. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/palestras/palestras.asp>. Acesso em 15 de maio de 2011.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. Londres: Mathuen, 1987.

PEREIRA, G. A natureza (dos) nos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 3, p. 33-51, 2001.

PHILANDER, S.G.; FEDOROV, A. Is El Niño sporadic or cyclic? **Annu. Rev. Earth Planet Sci.**, n. 31, p. 579-594, 2003.

PINTO, N.L.S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

POCINHO, M.; FIGUEIREDO, J.P. **Estatística e bioestatística**. Lisboa: EDUTECH, 2004.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 3ª ed. São Paulo: USP-CNEN/Fundação Cargill, 1975.

THOMPSON, L.G.; MOSLEY-THOMPSON, E.; BOLZAN, J.F.; KOCI, R.B. A 1500-year record of tropical precipitation in ice cores from the Quelccaya ice cap, Peru. **Science**, n. 229, p. 971-973, 1985.

WALSH, R.P.D. Climate. in: RICHARDS, P.W. (Org.). **The Tropical Rain Forest**. Cambridge: University Press, 1996. p. 159-205.

WANG, G; SCHIMEL, D. Climate change, climate models and climate impacts. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, n. 28, p. 1-28, 2003.

WINDSOR, D.W. **Climate and moisture variability in a tropical forest: long-term records from Barro Colorado Island, Panama**. USA: Smithsonian Institute Press, 1990. (Smithsonian Contributions to Earth Science.) v. 29.