

6 Considerações Finais

A avaliação inicial dos dados da estação pluviométrica Rio Centro produziu as seguintes observações: 1) a média decenal foi 1390 mm anuais, 2) as linhas de tendência aponta claro aumento das chuvas no decorrer da década, a ser confirmada nos próximos anos, 3) El Niño, e La Niña em menor magnitude, parecem influenciar as alturas pluviométricas no Rio Centro. Não houve confirmação estatística.

Durante a década 2001-2010, abril, março, outubro e dezembro apresentaram as maiores tendências de aumento de chuvas. Nos anos mais chuvosos, os meses de destaque em precipitação foram março e janeiro, apesar da leve tendência em decréscimo de chuvas neste último. Estas afirmações apontam para a expansão do período de chuvas, geralmente concentrada no verão, e para um acréscimo no volume das já intensas chuvas do fim desta estação e início do outono.

A intensidade diária de chuva que determina a maior parte da altura pluviométrica de um mês encontra-se entre 10 mm. dia⁻¹ e 50 mm. dia⁻¹ (C₂). No período chuvoso entre dezembro e abril, esta intensidade diária ocorre com maior frequência e são acompanhadas de intensidades acima de 50 mm. dia⁻¹ (C₃ + C₄). As intensidades diárias acima de 50 mm. dia⁻¹ determinam os eventos de chuva de grande magnitude/ intensidade apresentaram tendência de crescimento para os meses de dezembro, janeiro, março e abril, confirmando o acréscimo da intensidade dos seus eventos no decorrer da década. Estes eventos potencializam grandes estragos materiais causados por movimentos de massa e alagamentos, e em seu ápice com a ocorrência combinada de intensidades diárias acima de 100 mm. dia⁻¹ (C₄), ajudam a promover desastres ainda maiores como o do evento da primeira semana de abril de 2010 que deixou mais de 200 mortos no estado do Rio de Janeiro. As tendências do decorrer da década apontam para a consolidação do mês de abril no período de grande volume e intensidade de chuvas. Durante os outros meses do ano, intensidades entre 50 mm. dia⁻¹ e 100 mm. dia⁻¹ são esporádicas e intensidades acima de 100 mm. dia⁻¹ incomuns.

A análise dos dias sem chuva confirmou março como o mês de eventos de maior intensidade na década. A tendência de aumento do volume de chuva na década não se reflete apenas no aumento da intensidade de chuvas no período entre dezembro e abril, mas também o aumento da frequência de chuvas de menor intensidade diária nos outros meses do ano. Este fato pode diminuir o relativo déficit hídrico verificado no inverno, com média decenal para junho, julho, agosto e setembro abaixo de 100 mm. mês⁻¹. Se estes valores são suficientes para produzir mudanças adaptativas na vegetação (FIGUEIRÓ, 2005) e o aumento das chuvas de baixa intensidade pode amenizar este déficit hídrico, seriam necessários mais estudos para caracterizar qual seria o complexo limite benéfico para o ser humano, já que este aumento vem acompanhado do acréscimo na magnitude de chuvas durante a época chuvosa do regime.

O total pluviométrico para o período de 1 ano, entre 04/11/2009 e 04/11/2010, na área amostral situada na sub-bacia do rio Caçambe foi de 2357,07 mm. Este valor mostra-se bastante acima da média da zona oeste do Rio de Janeiro entre 1.000 e 1.200 mm anuais (DERECZYNSKI *et al.*, 2009; TOGASHI, 2009), e mesmo acima da média da década no Rio Centro de 1390 mm anuais. O ano de 2010 foi extremamente chuvoso, perdendo na década apenas para o ano de 2003. Apesar disso, o Rio Centro registrou durante o período amostral de 04/11/2009 à 04/11/2010, 1.931 mm, ou média de 22% a menos de chuvas. A comparação dos padrões de regimes de chuva do Caçambe com o Rio Centro indicou grande grau de similaridade, sendo inclusive estatisticamente significativa em grau de confiança de 95% (com ligeira exceção no inverno). Atribuiu-se a diferença de alturas pluviométricas aos fatores altitude e relevo, como já indicado na literatura relativa ao estado do Rio de Janeiro (BARBOZA *et al.*, 2004a, 2004b; OLIVEIRA e HACK, 2004; COELHO NETTO, 2007; DERECZYNSKI *et al.*, 2009), distribuídas com grande proporcionalidade ao longo do ano. Quanto à média da zona oeste, por não haver nenhuma estação pluviométrica situada no maciço da Pedra Branca, fica claro que a rede de monitoramento pluviométrico não é representativa da região administrativa como um todo, mas apenas da planície.

A similaridade de regimes entre Caçambe e Rio Centro confirmou o papel da intensidade diária acima de 50 mm.dia⁻¹ (C₃ + C₄) na constituição dos eventos de maior magnitude, sendo um evento o período de 1 dia ou alguns dias ininterruptos de chuva. Apesar do acúmulo de mais de 1 evento em algumas coletas no Caçambe, foi possível verificar que o volume, ou magnitude de um evento, coincidiu com a sua intensidade. As intensidades diárias acima de 50

mm.dia⁻¹ ($C_{i3} + C_{i4}$) ficaram restritas aos quatro maiores eventos, com média pelo menos duas vezes maior do que o quinto maior evento. O evento da primeira semana de abril de 2010 (mais de 200 mortos no estado) foi o de maior intensidade no ano.

Aparentemente, a precipitação foi o principal fator a determinar o volume do fluxo de atravessamento, pois este aumentou com o incremento da quantidade de chuva, sendo ambos estatisticamente correlacionados. O fluxo de atravessamento no Caçambe apresentou o mesmo padrão do descrito pela literatura. Ocorreu o aumento da interceptação (I) para dosséis mais densos. O atravessamento (At) foi decrescente ao seguir o gradiente mata secundária inicial (SI) - borda – floresta secundária avançada (SA). A interceptação da Borda mostrou-se irregular, sendo exceção por algumas ocasiões, mas no geral superior à tipologia secundária inicial. Altos desvios padrão encontrados foram atribuídos à heterogeneidade do dossel florestal.

Os resultados percentuais para o fluxo de atravessamento no Caçambe, 94% em SI, 89% na borda, e 72% em SA são compatíveis com valores encontrados em estudos anteriores na área amostral e na Floresta Atlântica de forma geral. A cobertura vegetal de SA praticamente não interceptou a chuva. A afirmação não se estende ao piso florestal que não foi monitorado. A cobertura vegetal da borda mostrou baixa interceptação em eventos de pequena intensidade, mas em relação aos eventos mais intensos seu atravessamento foi proporcionalmente decrescente, sugerindo neste estágio sucessional, um processo de desenvolvimento das funções de interceptação do dossel para eventos maiores. A cobertura vegetal de SA foi a mais consistente em interceptar diferentes intensidades de chuva.

Foi realizada uma tentativa de monitoramento da interceptação da serrapilheira, principal componente do piso florestal. Autores como Helvey (1964), Walsh e Voigt (1977), Gerrits *et al.* (2007) e Guevara-Escobar (2007) afirmam que os estudos contemplando a interceptação do piso florestal (I_p) não são frequentes apesar do fato de sua interceptação poder ser tão alta quanto a interceptação pelo dossel. A escassa literatura (PUTUHENA e CORDERY, 1996; SCHAAP *et al.*, 1997; TOBON-MARIN *et al.*, 2000; SATO *et al.*, 2004;) destaca a imensa dificuldade em investigar a precipitação terminal, principalmente pela interface piso florestal e o topo do solo não se apresentar facilmente verificável. Dois fatores foram responsáveis pelo cancelamento do experimento: o ajuste dos coletores mostrou-se inviável ao longo do experimento por não adaptar-se à realidade da área amostral de grande quantidade de matacões e pelo aumento

desproporcional do volume de serrapilheira que acumulou sobre os coletores-bandeja.

Observou-se por algumas vezes fluxo de atravessamento em dosséis superior a 100% em Si e na Borda. Atribui-se isso a duas possibilidades não diferenciadas neste trabalho: convergência de gotejamento pela vegetação densa arbustiva, inclusive com armazenamento de água por galhos e folhas entrelaçadas ou precipitação altamente heterogênea considerando-se a captação pontual e os altos desvios-padrão.

Não foi encontrada correlação entre o fluxo de atravessamento e o número de dias consecutivos sem chuva antecedendo um evento, ou entre o fluxo de atravessamento e dias consecutivos sem chuva após o término do evento antecedendo a coleta.

Os resultados de concentração média de nutrientes (mg. L^{-1}) para os cátions Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} foram respectivamente na precipitação de 1,53; 0,73; 0,36 e 2,44; no fluxo de atravessamento da tipologia secundária inicial de 1,90; 3,63; 0,71 e 3,86; na borda de 2,26; 7,38; 0,96 e 4,98; e na tipologia secundária avançada de 2,37; 13,89; 1,87 e 6,81. A ordem decrescente dos elementos foi na precipitação (P) $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$, na tipologia secundária inicial (SI) $\text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$, na borda $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ e na secundária avançada (SA) $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$.

Os valores de fluxos médios ($\text{kg. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$) para os cátions Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} foram respectivamente na precipitação de 15,32; 17,21; 8,46 e 57,49; no fluxo de atravessamento da tipologia secundária inicial de 31,39; 74,65; 14,67 e 79,39; na borda de 34,28; 142,5; 18,48 e 96,12; e na tipologia secundária avançada de 30,51; 246,20; 33,09 e 120,60. As ordem dos fluxos $\text{Ca}^{+2} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ na precipitação, $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ na tipologia secundária inicial, $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ na borda e $\text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2}$ não se repetiram em nenhum dos autores consultados a respeito da Floresta Atlântica.

A interpretação destes resultados procurou caracterizar a ciclagem de nutrientes da interface atmosfera-vegetação no Caçambe através da confirmação ou refutação de observações retiradas da literatura nacional e internacional no tema. Registrou-se confirmação da literatura para: 1) o enriquecimento da água da chuva ao passar pelo dossel florestal (concentração e fluxos), 2) correlação positiva entre o avanço do estágio de sucessão e o enriquecimento do fluxo de atravessamento (concentração e fluxos), 3) o enriquecimento superior do K^+ no fluxo de atravessamento (concentração e fluxos). 4) a altura pluviométrica se correlaciona inversamente com a

concentração de Na^+ , K^+ e Mg^{+2} na precipitação incidente e do fluxo de atravessamento, 5) a altura pluviométrica se correlaciona positivamente com os fluxos iônicos de Na^+ e Ca^{+2} e Mg^{+2} na precipitação incidente e do fluxo de atravessamento. O K^+ não apresentou correlação aparente.

Fortes indícios indicam boa possibilidade de influência positiva, mesmo que não determinante, na concentração de Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} na chuva sobre a concentração dos mesmos cátions no fluxo de atravessamento das 3 tipologias vegetais. A afirmação também é válida para os fluxos de K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} na precipitação interferindo em uma relação positiva com os fluxos de cátions do fluxo de atravessamento das 3 tipologias.

Muitos autores indicam que existe correlação positiva entre a concentração de íons e os eventos precedidos de longos períodos de estiagem. Este padrão não foi aparentemente encontrado no Caçambe, pelo menos em se tratando de uma relação diretamente relacionada.

O principal destaque entre os resultados deste trabalho foi o valor superior do cátion Ca^{+2} . Na concentração da precipitação e fluxos de atravessamento seu valor foi elevada mas de acordo com níveis altos. Nos fluxos da precipitação e fluxos de atravessamento, sua quantidade foi maior do que em toda literatura consultada. Teoricamente, áreas próximas do oceano apresentam grande aporte de aerossóis com menos Mg^{+2} e Ca^{+2} e mais Na^+ e K^+ . No Caçambe, os níveis de Ca^{+2} estiveram em maior quantidade e concentração ao lado de Na^+ na precipitação e ao lado de K^+ nos fluxos de atravessamento.

A posição hierárquica do Ca^{+2} ocupando altas posições na ordem decrescente de nutrientes já havia sido reportada no Rio de Janeiro (SILVEIRA e COELHO NETTO, 1999; ABREU, 2005). No entanto, suas médias alcançaram altos valores absolutos e a comparação das razões Ca/Na e Ca/Mg com os números esperados para o oceano, confirmaram a contribuição de fonte emissora adicional. Durante o período amostral, o Ca^{+2} experimentou grande entrada via precipitação, mas também elevados aumentos absolutos de seu teor e quantidade no fluxo de atravessamento, significando que sua deposição e disponibilidade no sistema em 2010 podem ser resultado de acúmulo anterior.

Esta gênese tem provável caráter antrópico visto a ocupação urbana no sul do maciço da Pedra Branca, que apesar de consolidada, experimenta grande crescimento, impulsionada pelas obras em andamento relativas à Copa do mundo de futebol em 2014 e às Olimpíadas em 2016. Segundo Likens *et al.* (1998), entre as principais fontes antropogênicas de emissão de cálcio estão a produção de cimento e a queima de combustível, atividades que nos últimos

anos aumentaram em grande proporção na área em questão. Este desenvolvimento urbano-industrial da planície costeira entre o oceano e o maciço está na rota da massa de ar polar (MPA), e mesmo por vezes da massa tropical atlântica (MTA), que carregam estas contribuições adicionais de íons a serem incluídas por deposição seca e úmida na floresta.

Através dos resultados gerais deste trabalho delinea-se um quadro de fragilidade ambiental crescente para o Caçambe, a partir de uma combinação de fatores. A expansão urbano-industrial aumenta a pressão sobre o remanescente florestal do maciço da Pedra Branca. O aumento populacional inevitavelmente aumenta a demanda pelos recursos florestais, seja através de pequenos cultivos, seja através da exploração turística. Mesmo no caso de uma exploração regulamentada e criteriosa, o aumento de emissões como o Ca^{+2} afeta a floresta de formas pouco conhecidas.

Ressalta-se que as razões da precipitação de K/Na e Mg/Na, ainda que em menor magnitude, também indicaram a presença de contribuições adicionais de Mg^{+2} , Na^+ e K^+ no Caçambe. A dinâmica de florestas urbanas em relação à interface atmosfera-vegetação é muito pouco estudada, como foi possível observar pelo levantamento bibliográfico realizado neste trabalho. Não foram encontradas informações a respeito de longa exposição a deposições adicionais combinadas de metais. Apesar de este trabalho ter contemplado apenas 4 cátions, os íons H^+ , Cl^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- e PO_4^- também são determinantes na manutenção dos processos florestais. Trabalhos focados nas fontes externas e internas do enriquecimento do fluxo de atravessamento ganharam mais atenção apenas a partir do fim da década de 1970. Anteriormente as atenções eram voltadas apenas para parcionamento físico, heterogeneidade de vegetação e climas e quantificação de nutrientes. Some-se o fato de florestas em altas latitudes receberem menos atenção dos estudos (PARKER, 1983).

Esta dinâmica diferenciada da ciclagem de nutrientes em florestas urbanas presumivelmente afeta a evolução da sucessão ecológica. O retardamento do avanço sucessional significa um desenvolvimento lento da função ecológica de interceptação e armazenamento das chuvas em volume. Surge ainda uma questão sem resposta até o momento: o desequilíbrio na ciclagem de nutrientes afetaria a capacidade de interceptação e armazenamento da chuva, mesmo em estágios mais avançados da sucessão ecológica? Esta tendência de fragilização é agravada pela tendência na última década de aumento das chuvas, inclusive da intensidade no verão, e conseqüentemente a potencialização ainda maior de desastres envolvendo movimentos de massa e alagamentos, comuns nas

encostas do maciço e na planície onde se encontra a ocupação urbana ao redor do Rio Centro.

Na situação atual do Caçambe, estágios avançados de sucessão podem interceptar até 20% a mais de chuvas em relação à estágios iniciais. A partir da ampliação dos resultados deste trabalho para a bacia do rio Camorim, estimou-se que a capacidade de armazenamento está 140 mm anuais aquém das perdas por interceptação atuais. Este é um valor expressivo frente ao tamanho de 795 ha da bacia do rio Camorim, ressaltando ainda que esta constitui uma preservada porção do remanescente do maciço da Pedra Branca, com 41,3% de tipologias vegetais em estágio avançado e maduro e 28,4% em estágio intermediário. Além disso, a serrapilheira de uma floresta em estágio avançado pode até duplicar esta interceptação (HELVEY, 1964; WALSH e VOIGT, 1977; GERRITS *et al.*, 2007; GUEVARA-ESCOBAR, 2007).

As seguintes características respaldaram a ampliação dos dados para a bacia do rio Camorim: 1) a sub-bacia do rio Caçambe situa-se dentro do mesmo limite de divisores de drenagem que a bacia do rio Camorim, 2) historicamente, os mesmos usos foram conferidos a terra, 3) as três tipologias vegetais escolhidas (SI, Borda e SA) na área amostral são representativas do mosaico florestal do Camorim, 4) a literatura de interceptação vegetal em Floresta Atlântica registra resultados similares e poucas exceções. Uma transmutação destes valores para outras bacias do maciço da Pedra Branca parece exagerada. Entretanto, acredita-se que a dinâmica “encosta com floresta – planície com ocupação urbana” respeite padrões similares.

Não se defende aqui uma preservação em que o ser humano seja privado do acesso aos recursos florestais do maciço da Pedra Branca. O desenvolvimento urbano-tecnológico-industrial gera impactos e o ser humano ainda não tem domínio de todas suas conseqüências. Por outro lado, gera expectativas sociais, econômicas e ambientais que podem melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sabe-se hoje que não há desenvolvimento sem risco associado. Todavia, é importante que se conheça e se avalie os impactos e riscos gerados, suas magnitudes e conseqüências. A problemática ambiental é complexa e enquadra-se no conjunto dos problemas contemporâneos, sendo produto das atividades socioeconômicas e do modelo de desenvolvimento. Procurou-se neste trabalho contribuir com a investigação da importância da interceptação vegetal no ciclo hidrológico, no que concerne sua função de armazenar, redistribuir e reduzir a disponibilidade da água em um sistema encosta-planície sujeito a constantes desastres com vítimas fatais.