

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos do Projeto

Este projeto foi idealizado com o objetivo principal de formar uma base conceitual e uma visão geral sobre disponibilidade hídrica, no sentido de subsidiar o processo de gestão de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul, especialmente no que tange à tomada de decisão sobre proteção/recuperação de sub-bacias.

Para atingir este objetivo principal, foram definidos os seguintes procedimentos sequenciais (objetivos específicos):

- Identificar conceitos básicos e o nível atual de conhecimento sobre hidrologia florestal na região em que se insere a bacia do rio Paraíba do Sul;
- A partir da base bibliográfica e dos dados disponíveis, caracterizar os aspectos ambientais relacionados à disponibilidade hídrica na bacia;
- Realizar uma análise interdisciplinar desses aspectos, buscando identificar critérios para classificação de sub-bacias quanto à disponibilidade hídrica;
- Selecionar e caracterizar em maior escala duas sub-bacias para futuros estudos experimentais;
- Indicar sub-bacias prioritárias para ações de proteção e recuperação florestal voltadas para os suprimentos de água e indicar lacunas na base de dados a serem preenchidas por novos programas e pesquisas na bacia.

Referida à base conceitual, a análise interdisciplinar teve como premissa avaliar as condições de disponibilidade hídrica na bacia, a partir da base de dados existente, no sentido de testar o nível de resposta possível para uma bacia de grandes dimensões, em uma escala qualitativa – de *muito baixa* a *muito alta* disponibilidade hídrica.

Tendo em vista as sugestões feitas na última reunião de acompanhamento com a FINEP e as reduções no orçamento inicial do projeto, houve necessidade de modificar e reduzir seu escopo. Foram restringidas as checagens de campo, bem como a caracterização de duas sub-bacias em maior escala. Visando não prejudicar a qualidade do projeto com estas alterações, optou-se por ampliar a revisão bibliográfica, incluindo banco de dados acessível em planilha, como ficha de identificação e resumo das referências obtidas.

Este relatório contém os resultados alcançados com o projeto, apresentados em quatro itens principais, além desta Introdução, que são: o **item 2**, revisão bibliográfica, contendo a base conceitual do estudo e algumas informações sobre pesquisas em hidrologia florestal na bacia; o **item 3**, com a caracterização ambiental, descrevendo as condições fisiográficas e de ocupação da bacia - relevo, solos, vegetação e uso do solo - e as condições hidrometeorológicas, com avaliação da representatividade espacial e temporal das estações existentes na bacia; o **item 4**, contendo a análise interdisciplinar dos aspectos levantados na caracterização ambiental, para avaliação da disponibilidade hídrica por sub-bacias; e o **item 5**, em que são feitas sugestões de ações para preenchimento de lacunas no conhecimento básico e aplicado e para a efetiva proteção de mananciais, bem como análise de critérios para indicação de áreas prioritárias à proteção, com base nos resultados do estudo e em outros estudos já realizados pelo Laboratório de Hidrologia para a bacia.

1.2 Descrição Geral da Bacia

A bacia do rio Paraíba do Sul estende-se na Região Sudeste do Brasil por cerca de 55.400km² em terras dos Estados de São Paulo (13.500km²), Minas Gerais (20.900km²) e Rio de Janeiro (21.000km²). O rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, a 1.800m de altitude, e deságua no norte fluminense, no município de São João da Barra. Sua bacia tem forma alongada, com comprimento cerca de três vezes maior que a largura máxima, e distribui-se na direção leste-oeste entre as serras do Mar e da Mantiqueira, situando-se em uma das poucas regiões do país de relevo muito acidentado, de colinoso a montanhoso, chegando a mais de 2.000m nos pontos mais elevados. Destaca-se o Pico das Agulhas Negras, ponto culminante na bacia, com 2.787m de altitude, situado no Maciço do Itatiaia.

Situada em uma das regiões mais desenvolvidas do país, a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta um conjunto de problemas ambientais que se acumulam e crescem ano a ano, se expressando em danos à qualidade de vida de uma população atual superior a 5,0 milhões de habitantes, além de prejuízos à geração de energia e à qualidade do abastecimento de água a mais de 8,0 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (cerca de 2/3 da vazão do rio Paraíba do Sul são desviados para o Sistema Light e bacia do rio Guandu, onde localiza-se a ETA que abastece a Região).

Com sua destacada posição geopolítica, interligando os maiores centros urbanos do país – São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte – a bacia sofreu um processo de ocupação e uso dos recursos naturais que extrapola a capacidade de suporte do ambiente. Os diagnósticos já realizados na bacia evidenciam problemas críticos em todos os aspectos ambientais que se possa considerar, desde a escassez de florestas (reduzidas a menos de 15% de sua extensão original) à contaminação das águas por lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento adequado, passando pelo esgotamento da capacidade produtiva dos solos.

A maior parte dos rios da bacia apresenta níveis de poluição acima dos limites aceitáveis pelas normas ambientais, especialmente o próprio rio Paraíba do Sul, mais intensamente utilizado e corpo receptor dos demais rios. Para a recuperação ambiental da bacia, estima-se a necessidade de recursos da ordem de 3,0 bilhões de dólares em ações voltadas para saneamento básico, controle de inundações, controle de erosão, entre outras.

A escassez de água na bacia parece ser, por enquanto, um problema relacionado à qualidade da água mais do que à quantidade disponível, embora existam indícios em algumas regiões de redução na quantidade de água, comprometendo o abastecimento público e a irrigação de lavouras, principalmente nas áreas mais intensamente desmatadas, como as bacias dos rios Pombo e Muriaé. Nas regiões onde os usos múltiplos da água são mais intensos, conflitos entre usuários e problemas institucionais de gerenciamento dos usos também se refletem em escassez relativa. Mesmo em áreas com bom nível de cobertura florestal, as pressões de uso da água decorrentes do rápido crescimento urbano podem representar ameaça de desmatamentos e sobre-exploração dos mananciais, levando à escassez relativa de água (demanda maior do que disponibilidade). No **Anexo A** são apresentadas fotos de algumas regiões da bacia do rio Paraíba do Sul, com diferentes condições de relevo, solos, vegetação e uso do solo.

1.3 Contexto de Inserção do Projeto

Tendo em vista a dimensão dos problemas e os custos envolvidos, as iniciativas voltadas para a melhoria das condições de quantidade/qualidade das águas na bacia, através de ações de proteção de mananciais e de recuperação de áreas degradadas, devem ser orientadas em função dos níveis de degradação e de comprometimento aos usos. As iniciativas devem ser, portanto, concentradas inicialmente nas áreas prioritárias, especialmente em termos de atendimento ao maior número possível de usuários da bacia, sob uma perspectiva de sustentabilidade no uso dos recursos.

Ações de reflorestamento visando à proteção dos mananciais encontram exigências e critérios de localização definidos nas normas ambientais existentes no país, principalmente no Código Florestal (Lei 4.771/65), que determina as áreas de preservação permanente (nascentes, margens de rios, topos de morros, etc.), nas quais a vegetação natural deve ser mantida ou recuperada. Embora a base técnico-científica não seja rigorosa, essas normas e critérios visam, acima de tudo, garantir as funções hidrológicas das florestas nas bacias hidrográficas. Normas para ocupação do solo urbano e critérios técnicos relativos à capacidade de uso agropecuário dos solos também fornecem suporte necessário à adequação das formas de uso rural e urbano.

Idealmente, portanto, deveriam ser mobilizados recursos suficientes para que, de curto a longo prazo, a cobertura vegetal e as formas de uso rural e urbano na bacia sejam adequadas às restrições ambientais previstas em leis e em normas e critérios técnicos. No entanto, as dificuldades para se atingir condições ideais são bem conhecidas, não só quanto à disponibilidade de recursos financeiros, como principalmente quanto às questões político-institucionais, sociais e culturais envolvidas na implantação, manutenção e continuidade de ações voltadas para reflorestamentos ecológicos e proteção de mananciais.

Considerando-se, portanto, a necessidade de serem priorizados os investimentos em função dos níveis de criticidade nas condições de quantidade/qualidade das águas, torna-se fundamental que o conhecimento técnico-científico a respeito dos processos hidrológicos na bacia seja capaz de fornecer subsídios aos processos político-institucionais de decisão sobre “onde”, “como” e “quando” aplicar recursos em ações de recuperação e proteção dos recursos hídricos.

Neste sentido, o presente projeto de pesquisa se insere no cenário de demandas de suporte técnico-científico à aplicação de recursos na recuperação ambiental da bacia do rio Paraíba do Sul. Cenário este que vem consolidando no Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ, desde 1997, um conjunto de estudos multidisciplinares voltados para a melhoria da base de dados e de conhecimento sobre as condições ambientais da bacia, que já fornecem subsídios ao processo de gestão dos recursos hídricos.

Este projeto representa, no entanto, um primeiro passo no potencial e vasto campo de pesquisa básica e aplicada sobre hidrologia florestal na bacia. Seus resultados, na melhor das hipóteses, fornecem uma base para a definição de ações e de áreas prioritárias para investimentos em proteção/recuperação e, fundamentalmente, em novos projetos de pesquisa e levantamento de dados, que permitam avançar na compreensão das relações entre florestas/uso do solo e disponibilidade hídrica na bacia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia adquirida na revisão bibliográfica encontra-se listada na **tabela B.1**, situada no **Anexo B**.

2.1 Base Conceitual

2.1.1 Bacia Hidrográfica e Escala de Estudo

A bacia hidrográfica é um sistema aberto, onde a água que circula tem papel fundamental no modelado terrestre e na estrutura e composição física, química e biológica dos seus compartimentos (vegetação, solo, rocha). Estes, por sua vez, determinam as características da água que chega aos corpos hídricos, da própria bacia, e fora dela, no seu ponto de saída. Todo o sistema está submetido à variabilidade das condições meteorológicas locais e regionais.

De acordo com as características e a dinâmica do sistema, pode haver maior ou menor disponibilidade de água em cada compartimento. Do ponto de vista dos usos humanos, o interesse principal recai sobre a água disponível nos corpos hídricos, de onde é coletada para os principais usos (abastecimento urbano, processos industriais e irrigação de lavouras) e para a qual se espera quantidade e qualidade adequadas. Por outro lado, alterações de quantidade, qualidade ou tempo de percurso da água podem ser vistas como indicadoras de sucesso ou fracasso nos modos de uso e manejo da terra e dos recursos hídricos da bacia.

Verifica-se, desse modo, que as possibilidades de controle da quantidade e da qualidade da água para os diversos usos humanos depende da compreensão sobre os processos hidrológicos, ao longo do tempo. E o crucial para se entender os processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia e, portanto, para ser capaz de prever mudanças nesses processos, é identificar que características de cada compartimento estão relacionadas aos fluxos da água e qual a resposta do sistema (a bacia hidrográfica) às condições meteorológicas.

No entanto, a diversidade de fatores ambientais relacionados aos caminhos e à estocagem da água em uma bacia, desde a entrada pela precipitação até a saída na desembocadura do curso d'água principal, gera um razoável grau de incertezas nas respostas esperadas, principalmente em grandes bacias. Os processos podem variar muito, conforme a resposta da bacia à intensidade e à duração das chuvas.

A maior parte dos estudos hidrológicos se encontra nos países do Norte e as medições e observações de campo (bacias experimentais) são feitas geralmente em microbacias com menos de 5km², em regiões com características menos heterogêneas do que se observa nas regiões tropicais. O desenvolvimento de bacias experimentais como uma ferramenta de pesquisa na América do Norte e na Europa teve início na segunda metade do século XIX e foi um resultado direto da necessidade de entender a influência das florestas e das formas de uso do solo sobre os recursos hídricos. No início do século XX, controvérsias a respeito da influência das florestas nas inundações e preocupações com a erosão trouxeram estímulo ao desenvolvimento de programas de pesquisa. Nos EUA, a necessidade de estudos científicos dos fatores que controlam a erosão e as inundações se acentuaram após as dramáticas inundações de 1927 na Bacia do Rio Mississippi (Swank e Johnson, 1994).

Estudos para a compreensão do comportamento hidrológico em regiões tropicais são mais recentes e há dificuldades no estabelecimento de bacias experimentais e na extrapolação de dados para áreas maiores, tendo em vista a fraca base de dados, a heterogeneidade ambiental nos trópicos - relevo, altitude, clima, biodiversidade, intensidade e mudanças rápidas nos padrões de uso do solo - e os problemas político-institucionais para o desenvolvimento de pesquisas de campo de longo prazo. No entanto, as pesquisas desenvolvidas há muitas décadas em países do Norte fornecem conceitos e parâmetros básicos que têm auxiliado os estudos em regiões tropicais.

2.1.2 Caminhos da Água

Da quantidade de água que chega na bacia a partir da precipitação, uma parte é interceptada pela vegetação e outra parte cai diretamente no solo (quando descoberto) e sobre rios, córregos e demais corpos superficiais de água. Da água que é interceptada pela vegetação, uma parte evapora, outra parte escoia pelas folhas, ramos e troncos até o solo e outra parte atravessa a copa, podendo ainda ser interceptada pela serrapilheira, que é a camada de matéria morta em processo de decomposição sobre o solo. A matéria orgânica retém uma quantidade de água equivalente a várias vezes o seu peso.

Quando a água chega ao solo, uma parte escoia pela superfície e outra parte infiltra pelos poros do solo. Em geral, o escoamento superficial começa quando se esgota a capacidade de infiltração. No entanto, solos descobertos podem apresentar “selamento” da superfície, resultando em escoamento direto, sem infiltração. Da água que infiltra no solo, há três caminhos – a absorção pelas raízes da vegetação, o escoamento subsuperficial pelo perfil do solo e a percolação para os lençóis subterrâneos. A água absorvida pelas raízes vai alimentar os tecidos da planta, exercendo suas fundamentais funções de transporte e dissolução de nutrientes, sendo depois eliminada pela transpiração, que soma-se à evaporação das partes aéreas da planta (folhas, ramos, flores), resultando na chamada *evapotranspiração*. A água gravitacional, que percola pelos poros do solo, vai alimentar os lençóis e, por gravidade, os cursos d’água que se formam nos fundos de vale da bacia, gerando o chamado “escoamento base”, ou seja, a água que chega aos rios sem a participação do escoamento superficial e da precipitação direta sobre estes.

Assim, a saída de água da bacia se dá “horizontalmente”, pelo escoamento superficial, subsuperficial ou subterrâneo até um ponto de saída no terreno (uma nascente, um corpo d’água ou o oceano). A transpiração das plantas, a evaporação na superfície dos compartimentos (corpos d’água, solo, plantas), a respiração dos seres vivos e a emissão de vapor de combustão (fornos, motores de avião, carros, tratores, etc) devolvem para a atmosfera parte da água precipitada em forma de vapor, podendo condensar e novamente se precipitar sobre a bacia. No entanto, a maior parte da precipitação na superfície terrestre provém da evaporação e condensação das águas dos oceanos.

A **figura 2.1**, a seguir, ilustra os caminhos principais da água na bacia hidrográfica. As proporções na distribuição da água da chuva na bacia por compartimento variam muito, conforme sua intensidade e duração e com as formas de relevo, as rochas, os tipos de solo, a composição e a estrutura da cobertura vegetal, as formas de uso e de manejo do solo, as condições meteorológicas e, principalmente, a interação entre todos esses fatores.

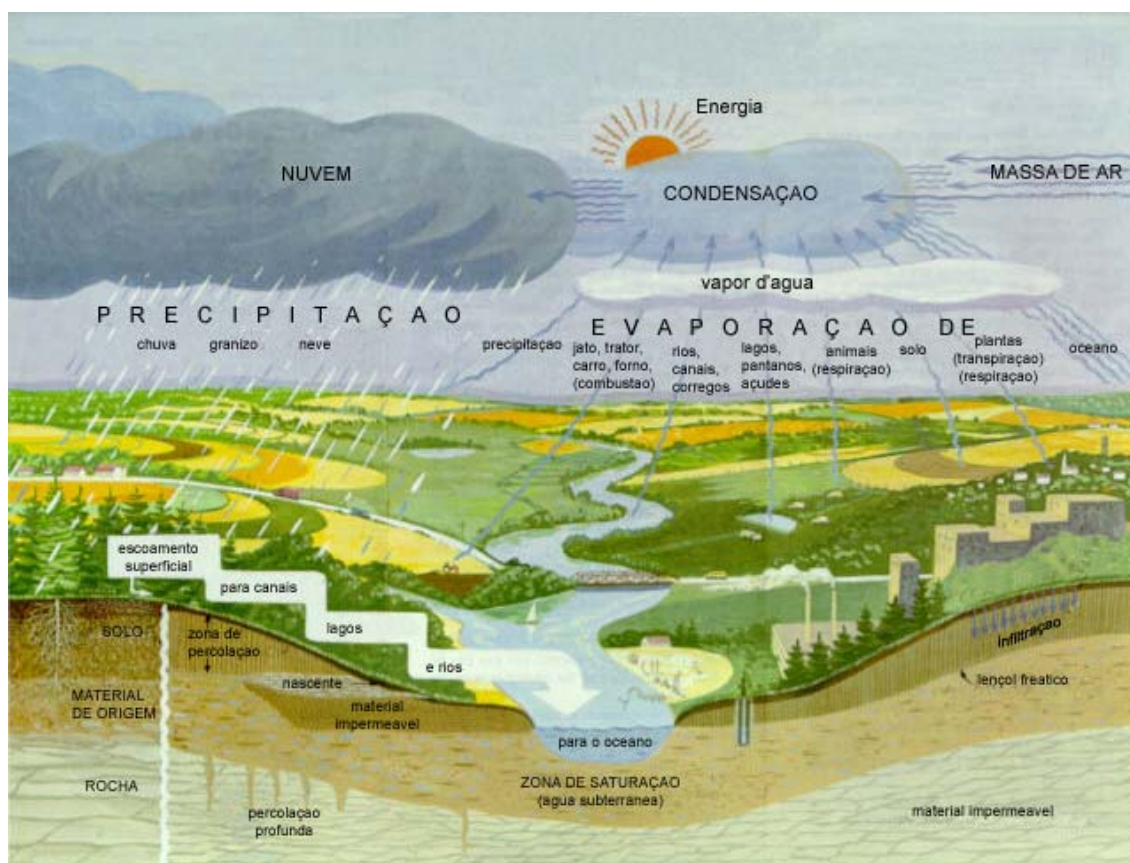


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico

2.1.3 Relação Solo-Vegetação-Água

Via de regra, entende-se que o tipo de cobertura vegetal (ou sua ausência) é fator preponderante nos processos hidrológicos, especialmente nas variações das taxas de infiltração e escoamento. E, em regiões tropicais ou temperadas, nas condições de cobertura natural (florestal principalmente) as taxas de infiltração são maiores do que as taxas de escoamento superficial. Em solos onde a cobertura natural foi retirada, a tendência observada é de inversão desta relação, ou seja, aumento das taxas de escoamento superficial e redução das taxas de infiltração, variando em função das formas de uso, até o extremo de impermeabilização em solos urbanos pavimentados.

Em uma bacia situada nos EUA, p. e., verificou-se que, com 100% de cobertura vegetal natural, a infiltração representa cerca de 40% da precipitação e o escoamento superficial (*runoff*) é de 10%; já na área urbana, com 75-100% de impermeabilização do solo, o escoamento superficial sobe para 55% e a infiltração reduz para 15%. Ou seja, a disponibilidade de água no solo está diretamente relacionada ao nível de cobertura vegetal natural da bacia (Denbow, 2000).

O efeito da cobertura vegetal nas taxas de infiltração e escoamento pode ser visualizado com a utilização de um modelo físico com simulador de chuva. Nas fotos a seguir, observa-se a evolução do processo de entrada e saída de água sobre duas situações de mesmo solo, mesma declividade e diferentes condições de cobertura – uma com vegetação e outra em solo nu. Sob mesma intensidade e duração de chuva, a caixa com vegetação apresentou escoamento superficial mínimo, sem sedimentos

em suspensão, maior infiltração de água no solo e maior escoamento subsuperficial; e, na caixa com solo nu, quase toda a chuva precipitada saiu sob a forma de escoamento superficial, com grande quantidade de sedimentos, observando-se infiltração e escoamento sub-superficial muito inferiores em relação à outra caixa. Ressalta-se que a evaporação foi praticamente nula, tendo em vista a elevada umidade relativa do ar no momento. A demonstração foi feita na sede do Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar (SP), situado nas cabeceiras do rio Paraibuna, formador do rio Paraíba do Sul.



Demonstração com simulador de chuva do efeito da vegetação nas taxas de infiltração e de escoamento superficial e sub-superficial (Instituto Florestal - Cunha, SP).

O volume de água que evapora por interceptação depende da composição e densidade da cobertura vegetal e das condições meteorológicas. Segundo Larcher (1986), em média, a “perda por interceptação” (evaporação) nas florestas de coníferas é de 20 a 35%, podendo chegar a 50% nas comunidades muito densas; nas florestas mistas das zonas temperadas está entre 15 e 30% e nas florestas tropicais densas entre 35 e 70% do total da precipitação. A duração e a intensidade da chuva e as condições anteriores de umidade do ambiente se refletem em diferentes percentuais de interceptação. Quanto mais úmido e mais saturado o ambiente, menores as “perdas por interceptação”. Coelho Neto (1994: 111), cita que, em pesquisa desenvolvida na Floresta da Tijuca, Miranda (1992) observou que chuvas até 10mm podem ser totalmente interceptadas pelas copas, aumentando linearmente o atravessamento com o aumento das chuvas; a interceptação torna-se insignificante durante chuvas maiores e de longa duração. Golley et al (1978: 82), estudando a ciclagem de minerais em florestas tropicais no Panamá, verificaram que quantidades de chuva acima de 8,8mm passavam através da copa, com interceptação mínima ou nula; abaixo desse valor o percentual de “perda por interceptação” variava de acordo com a área da copa (índice de área foliar).

Em regiões de clima tropical chuvoso, com maiores precipitações nos meses mais quentes, como na bacia do Paraíba do Sul, as florestas exercem papel fundamental de interceptação, reduzindo o impacto das chuvas sobre o solo e, conseqüentemente, interferindo nas taxas de infiltração/escoamento e regularizando as vazões – vazões de cheia menores e vazões mínimas maiores do que em bacias desmatadas. As taxas de escoamento superficial sob floresta densa são ínfimas ou inexistentes. Segundo Tucci (2002), o desmatamento tende a aumentar a vazão média em função da diminuição da evapotranspiração, com aumento das vazões máximas e diminuição das mínimas (**figura 2.2**).

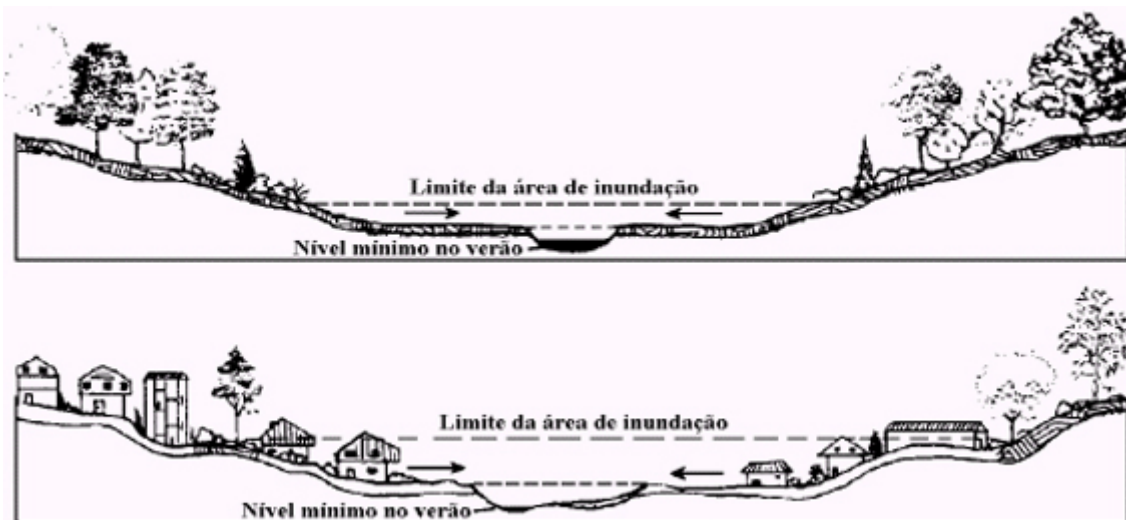


Figura 2.2 – Efeito da cobertura nas vazões máximas e mínimas (Tucci, 2002).
Observa-se que, no exemplo, o verão corresponde à estação de estiagem.

As funções hidrológicas das florestas, no entanto, são ainda pouco conhecidas e há resultados controversos nas pesquisas, que não permitem conclusões definitivas. A influência da floresta na quantidade de chuva que precipita em uma dada região é uma das questões mais polêmicas. Kimmins (1987: 267) considera que, em regiões temperadas, o efeito máximo que uma floresta poderia ter sobre a precipitação seria um aumento de 5% (observado em condições muito específicas), mas destaca a

crescente preocupação de que o desmatamento na Bacia Amazônica poderia afetar significativamente a umidade atmosférica e a precipitação sobre grandes áreas, tendo em vista as altas taxas de evapotranspiração da floresta tropical. Collishchonn (2001) e Tucci (2002) comentam os resultados de vários ensaios com modelos GCM (*Global Climate Models*) que avaliam o comportamento hidrológico na Amazônia – na hipótese de substituição da floresta por pastagem, os resultados apontam para uma redução de até 50% na evapotranspiração e 20% na precipitação. No entanto, esses mesmos autores citam estudos sobre a questão “florestas interferem no regime de chuvas?” que afirmam não existir evidências experimentais claras de que plantando ou retirando uma floresta a precipitação seja afetada.

Outro aspecto controverso que se observa na literatura diz respeito ao papel da floresta natural nas vazões de estiagem. Ao contrário da concepção ilustrada na **figura 2.2**, há estudos concluindo que, nos períodos de estiagem, as florestas podem reduzir muito as vazões mínimas (e, portanto, a disponibilidade de água nos rios), porque muitas árvores têm sistemas radiculares que podem alcançar grandes profundidades, retirando água de lençóis subterrâneos. Tucci (2002) comenta estudos em regiões tropicais que identificaram menor teor de umidade no solo sob a floresta do que em clareiras. Collishchonn (2001), cita que “quando o manejo do solo e o regime de precipitação não geram diferenças significativas na capacidade de infiltração do solo, a substituição das florestas por outro tipo de vegetação aumenta as vazões mínimas”.

Porém, a consistência de conclusões taxativas como essas e outras apontadas na literatura seria maior se acompanhadas de informações e dados relevantes para uma adequada compreensão dos processos hidrológicos, tendo em vista: 1) a complexidade das interações entre ambientes biótico-abiótico relacionadas aos fluxos da água; 2) as especificidades regionais e locais; e 3) a falta de séries históricas longas (mais de 50 anos) de chuva e vazão, acompanhadas de análises espaciais das variações na cobertura vegetal e formas de uso do solo.

Nesse aspecto comentado (sobre a redução das vazões mínimas causada pelo maior aproveitamento da água do solo feito pelas árvores em períodos de estiagem), deveriam ser verificadas, a longo prazo, as relações de infiltração/escoamento das bacias com e sem florestas. Ou seja, a avaliação deveria levar em conta o papel da floresta natural na qualidade da água e na manutenção dos lençóis e aquíferos, que pode ser mais eficiente do que de outras formas (introduzidas) de cobertura do solo, garantindo uma quantidade total maior de água armazenada no sistema.

Outro aspecto que deve também ser observado diz respeito ao comportamento ecofisiológico da vegetação. A redução da disponibilidade de água em períodos de estiagem leva as plantas a reduzir o consumo de água, *abrindo menos os estômatos e durante períodos mais curtos* (Larcher, 1986: 263-4). As espécies de ambientes sujeitos a estresses hídricos, como os cerrados, desenvolvem estruturas morfológicas e mecanismos fisiológicos altamente eficientes para evitar as perdas de água, reduzindo seu consumo em até 80% do consumo em período chuvoso.

As interações entre o meio biótico e o abiótico, ou seja, as relações entre água-vegetação-solo/rocha (incluindo a fauna associada) são determinantes para os processos hidrológicos em uma bacia. Além da proteção mecânica e da função de infiltração da água, o meio biótico influencia na estrutura e na porosidade do solo, pela presença da matéria orgânica. De acordo com Guerra (1994: 157), há um aumento da capacidade de infiltração à medida que aumenta o teor de matéria orgânica do solo, pela influência das ligações da matéria orgânica com as argilas na estabilidade dos agregados e, portanto, na estrutura do solo. Conforme destaca Coelho Neto (1994:

115), o arranjo espacial dos materiais do solo (sua estrutura) influência no direcionamento e no tempo de viagem dos fluxos de água.

Coelho Neto (1994: 116-7) também destaca a importância da fauna endopedônica (que atua na decomposição e na mineralização da matéria orgânica) para a porosidade do solo, bem como a participação das raízes na estruturação física dos solos, ampliando a capacidade de transmissão de água. A autora cita estudos na Floresta da Tijuca que demonstraram um aumento da umidade abaixo da zona com maior frequência de raízes, aproximadamente entre 50 e 150cm de profundidade (destaca-se que essa Floresta não sofre estresse hídrico ao longo do ano).

Além das interações biótico-abiótico, as condições geológicas e as formas de relevo, associadas aos tipos de solo, são fatores que podem resultar em respostas muito distintas para o comportamento hidrológico na bacia. Áreas íngremes e solos rasos resultam em menores taxas de infiltração – se a cobertura vegetal for rala, o escoamento superficial se eleva, causando deslocamento e arraste das partículas de solo por erosão laminar. Áreas íngremes, porém com solos mais profundos podem ter maiores taxas de infiltração, dependendo do tipo de solo (sua estrutura e gradiente textural principalmente) e também da cobertura vegetal – se for densa e de estratificação diversificada, como as florestas, podem ser importantes áreas de recarga de aquíferos; mas se for rala, a infiltração diminui e o escoamento aumenta, resultando em processos erosivos intensos, com ravinamentos e voçorocamentos, com transporte de grandes quantidades de sedimentos para os rios. Na bacia do Paraíba do Sul observa-se muitas áreas neste último caso – solos profundos com cobertura vegetal inadequada e avançado estado de degradação por erosão.

Por último, ressalta-se que a distribuição espacial das florestas em uma bacia hidrográfica tem papel relevante nos processos hidrológicos. Sob a ótica da hidrologia florestal, as matas ciliares ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos como ecológicos e geomorfológicos. Estas áreas têm sido chamadas de *zonas ripárias*. A zona ripária está intimamente relacionada ao curso d'água, mas seus limites são variáveis e de difícil demarcação. Em tese, os limites laterais se estenderiam até o alcance da planície de inundação. No entanto, os processos que moldam o leito dos cursos d'água (com diferentes ocorrências de cheias), determinam um padrão temporal de variação da zona ripária. Devido à elevada frequência de alterações que ocorrem na zona ripária, a vegetação que ocupa esta zona (a mata ciliar) apresenta, em geral, uma alta variação em termos de estrutura, composição e distribuição espacial (Lima e Zakia, 2000). Do ponto de vista ecológico, as zonas ripárias têm sido consideradas extremamente importantes para o fluxo gênico de espécies da flora e da fauna, somando-se à extrema importância nas funções hidrológicas e geomorfológicas, por sua ação direta na retenção e filtragem de sedimentos, no controle dos processos de erosão fluvial, nas taxas de infiltração e escoamento, entre outros aspectos importantes para a disponibilidade e a qualidade da água na bacia hidrográfica.

2.2 Pesquisas na Bacia

Foram identificadas três instituições que vêm trabalhando em pesquisas de campo sobre o comportamento hidrológico na bacia, duas em São Paulo - do Instituto Florestal de São Paulo e do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais; e uma no Rio de Janeiro, do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

As pesquisas realizadas na bacia pelo Instituto Florestal, vinculado à Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, desenvolvem-se no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, situado no Núcleo Cunha, do Parque Estadual da Serra do Mar, visitado em maio de 2002.

O Laboratório foi implantado no início da década de 1980, com o objetivo principal de desenvolver pesquisas sobre processos hidrológicos em microbacias hidrográficas. As microbacias estudadas são afluentes da bacia do rio Paraibuna e estão recobertas com vegetação de Mata Atlântica e usos diversos, principalmente pastagens. As principais linhas de pesquisa conduzidas são: a) análise do balanço hídrico de microbacias com coberturas vegetais diferenciadas; e b) análise da qualidade da água de microbacias com coberturas vegetais diferenciadas. (Arcova & Cicco, 1998; Fújieda *et al.* 1997).

A área de estudo do Laboratório compreende sete microbacias hidrográficas (de 36 a 460ha), sendo quatro recobertas com vegetação secundária da Mata Atlântica, duas com lavouras típicas da região e pastagem e uma de uso misto. Entre os parâmetros mensurados nas microbacias, destacam-se: precipitação, interceptação, *throughfall* (fluxo através da copa das árvores), *stemflow* (fluxo nos troncos), vazão, turbidez, temperatura, condutividade específica, oxigênio dissolvido e principais íons dissolvidos na água dos rios. Paralelamente, experimentos de campo mensuram taxas de erosão.

As microbacias estão situadas em áreas de ocorrência de latossolo e cambissolo com relevo suave de colinas e precipitação média anual acima de 2000mm. A análise do funcionamento hidrológico das microbacias com cobertura florestal aponta que 15% da precipitação é interceptada pela vegetação florestal e não alcança o piso florestal, 5% escoam superficialmente, 79% alcança o piso florestal via *throughfall* e 1% via *stemflow*. A evapotranspiração florestal é de aproximadamente 30% da chuva (15% da interceptação + 15% de transpiração da vegetação) e a vazão responde por 70%. A maior parte desta vazão (59%) chega aos rios na forma de fluxo de água subterrânea e 11% vem sob a forma de fluxo rápido (superficial e subsuperficial) durante as chuvas (Fújieda *et al.* 1997; Cicco & Arcova, 1998). Dados hidrológicos comparativos de microbacias com outros usos ainda não foram produzidos.

O uso diferenciado das microbacias resulta em variações principalmente nos parâmetros físico-químicos de turbidez e temperatura. As microbacias com pastagem têm temperatura da água mais elevada e maior turbidez. A turbidez após as chuvas também aumenta em intensidade nas áreas com pouca cobertura florestal ou sem floresta. As concentrações químicas encontradas nas águas sobre microbacias florestadas são baixas e refletem o alto grau de lixiviação dos solos. Por isso ocorre um balanço geoquímico negativo, ou seja, a floresta fornece mais solutos para os solos (através da passagem da chuva pelas copas) do que propriamente o solo pobre existente (Arcova & Cicco, 1998; Arcova *et al.* 1985).

Esses resultados, fruto de medições contínuas ao longo de 15 anos, demonstram a importância da cobertura florestal natural, em uma área onde as condições do meio físico (relevo+solos) não são das mais favoráveis à disponibilidade hídrica na bacia e, ao contrário são muito vulneráveis à ocorrência de intensos processos de erosão hídrica, conforme indicam os resultados dos estudos de qualidade da água nessas microbacias.

Em região relativamente próxima à área de pesquisa do Instituto Florestal, a jusante das barragens de Paraibuna e Santa Branca, encontra-se duas bacias experimentais em área de produção de eucalipto da Companhia Votorantim Celulose e Papel (VCP).

As pesquisas são desenvolvidas através de parceria entre a VCP e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), vinculado à Universidade de São Paulo (USP) e fazem parte de um programa específico de monitoramento ambiental em microbacias de empresas florestais, iniciado em 1987 pelo IPEF.

Esses estudos de monitoramento do IPEF evoluíram para a formação da Rede de Monitoramento de Microbacias (REMAM) e para a recente criação, em 2001, do Programa de Modelagem e Monitoramento Ambiental em Microbacias Hidrográficas (PROMAB), relacionado principalmente ao geoprocessamento aplicado ao manejo de bacias hidrográficas. Os objetivos do PROMAB são: a) identificar os efeitos das atividades florestais sobre a quantidade e qualidade da água; b) desenvolver modelos, que permitam simular o comportamento hidrológico de microbacias hidrográficas florestais; c) desenvolver indicadores hidrológicos para subsidiar a busca do manejo sustentável de plantações florestais; e d) subsidiar o sistema de gestão ambiental de cada empresa (informações disponíveis no *site* do Instituto – <http://www.ipef.br>).

De acordo com a bibliografia fornecida por técnicos da Votorantim, as microbacias situam-se na Fazenda Bela Vista III, no município de Santa Branca (SP), em áreas de plantios de eucalipto (espécie *Eucalyptus saligna* Smith.) da empresa. As microbacias vêm sendo monitoradas desde 1987, quando foram introduzidos os plantios. São adjacentes e de pequenas dimensões – 7,0ha e 6,7ha – com declividades médias de 19,6% e 28,9%. A bibliografia fornecida não apresenta dados de comportamento hidrológico das microbacias, apenas relaciona dados de deflúvio dos meses mais chuvosos com produção de madeira (Amaral, 2002). As referências mais específicas sobre os processos hidrológicos nas microbacias, indicadas pelo gerente de meio ambiente como disponíveis no *site* do IPEF, não foram encontradas (Ranzini, 1990; e Vital, 1996).

As pesquisas desenvolvidas na bacia do rio Paraíba do Sul pelo Departamento de Ciências Ambientais (DCA), do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro não envolvem monitoramento em microbacias experimentais. As linhas de pesquisa do DCA estão voltadas para projetos de recuperação de áreas degradadas, priorizando estudos sobre processos erosivos para o manejo de bacias hidrográficas. A área principal de abrangência das pesquisas do Instituto tem sido a área do Sistema Light (bacias dos rios Piraí e Lajes/Guandu). Do material bibliográfico fornecido pelo coordenador das pesquisas, destaca-se a dissertação de Rosa (1995), que define critérios para estratificar zonas de comportamento hidrológico semelhantes.