

ASPECTOS HIDROLÓGICOS DOS PLANTIOS FLORESTAIS

Walter de Paula Lima (USP/ESALQ) (wplima@usp.br)
Carolina B. Rodrigues (IPEF/PROMAB) (promab@ipef.br)

No mundo todo, as florestas plantadas sempre estiveram na mira de discussões acaloradas, relacionadas principalmente com seus possíveis efeitos sobre os recursos hídricos, como resultado da percepção genérica de um consumo exagerado de água. Tais discussões, longe de terminar, atingiram presentemente uma dimensão nova e muito significativa (Jackson et al., 2005; Farley et al., 2005; Van Kijk & Keenan, 2007). Em primeiro lugar, devido à área plantada, a qual atinge aproximadamente 50 milhões de hectares nas regiões tropicais do mundo, com uma taxa de novos plantios de cerca de 3 milhões de hectares por ano (FAO, 2005). Por outro lado, torna-se cada vez mais evidente o fato de que a disponibilidade natural de água constitui hoje um dos mais importantes temas relacionados ao manejo dos recursos naturais no mundo todo (Zalewski, 2000; Wagner et al., 2002). Desta forma, levando-se em consideração que existe naturalmente uma associação muito forte entre o manejo florestal e a água, estas evidências estão cada vez mais exigindo que o manejo das florestas plantadas deve incorporar a análise dos impactos hidrológicos potenciais de forma mais sistêmica (Lima, 2005; Calder, 2007; Vanclay, 2009)

As relações entre as florestas plantadas e seus efeitos sobre a água vêm sendo estudados em vários países, através de diferentes modalidades e enfoques de pesquisa, tanto no nível da árvore isolada, quanto do talhão e também na escala de microbacias experimentais. Tais trabalhos incluem, por exemplo, o estudo de aspectos fisiológicos do consumo de água (Whitehead & Kelliher, 1991; Roberts et al., 1992; Calder et al., 1992; Soares et al., 1997; Reis et al., 1997; Mielke et al., 1999; Almeida & Soares, 2003; Lima et al., 2003; Lane et al., 2004; Almeida et al., 2007), o balanço hídrico de microbacias hidrográficas (Swank & Miner, 1968; Lesch & Scott, 1997; Scott & Lesch, 1997; Fahey & Jackson, 1997; Câmara & Lima, 1999; Vital et al., 1999; Sharda et al., 1998; Oki, 2002; Zhou et al., 2002; Sikka et al., 2003; Lane et al., 2004; Brown et al., 2005; Hopmans & Bren, 2007), o balanço hídrico do solo (Lima et al., 1990; Harding et al., 1992; Huber et al., 1998) e os impactos hidrológicos das práticas de manejo florestal (Lima, 1990; Dias Jr., et al., 1999; Stott et al., 2001; Dias Jr. et al., 2003; Pennington & Laffan, 2004; Fernandez et al., 2004). Por outro lado, a literatura especializada conta também com alguns trabalhos de revisão sobre o tema, como os de Hibbert (1967), Bosch & Hewlett (1982), Calder (1992), Lima (1993), Andreassian (2004) e Whitehead & Beadle (2004). O trabalho de Andreassian (2004) constitui uma perspectiva histórica consistente sobre a controvérsia relacionada com os impactos hidrológicos das florestas e do manejo florestal. Durante muito tempo este debate permaneceu confinado a argumentos folclóricos, e mesmo românticos, que com certeza evoluiriam para um beco sem saída. Mas o autor então sintetiza a evolução dos trabalhos em microbacias experimentais, que se iniciaram em 1850 na França e depois em vários outros países, com o marco histórico do início da metodologia de microbacias pareadas no Estado do Colorado, em 1910 (Bates & Henry, 1928). Em termos dos aspectos fisiológicos do consumo de água pelo eucalipto, por exemplo, talvez um dos pontos mais polêmicos

destas discussões, o excelente trabalho de revisão publicado recentemente por Whitehead & Beadle (2004) analisa praticamente todos os aspectos que devem ser levados em conta para a análise objetiva do consumo de água, em termos de taxas de transpiração, dinâmica dos estômatos, índice de área foliar, eficiência de uso da água, perdas por interceptação e balanço hídrico. Uma das principais conclusões é a de que o eucalipto não consome mais água por unidade de biomassa produzida do que qualquer outra espécie vegetal.

Todavia, a despeito destas recentes evidências, as campanhas contra as florestas plantadas, principalmente em relação aos plantios de eucalipto, e as dúvidas a respeito de seu impacto sobre a umidade do solo, continuam muito comuns tanto no Brasil quanto em outros países (ACIAR, 1992; Camino & Budowski, 1998; Cossalter & Pye-Smith, 2003; Dye & Versfeld, 2007). Não há dúvida de que esta situação paradoxal está indicando a necessidade de se avaliar estas relações entre as florestas plantadas e a água de uma forma diferente, pois pode muito bem ser o caso de que estas reclamações populares e estas campanhas polêmicas não dizem respeito somente à questão de quanta água elas consomem, mas sim de que maneira o manejo das florestas plantadas está usando a água disponível e como fica a qualidade da água como consequência das práticas de manejo. Em outras palavras, a questão fundamental a ser abordada na relação florestas plantadas e a água deve envolver sim o consumo da água, mas deve, com certeza, incluir muitas outras considerações tais como a qualidade da água, a sedimentação, a qualidade do ecossistema aquático, a hidrologia da microbacia, a permanência dos fluxos de base, o controle dos picos de vazão, assim como o princípio fundamental de equidade ao acesso à água (Nambiar & Brown, 1997; Lima, 2004). Esta nova percepção da sociedade para com o uso racional dos recursos naturais, sem dúvida, está claramente implícita no conceito multi-dimensional do manejo florestal sustentável (Nambiar, 1999; Gayoso et al., 2001; Nardelli & Griffith, 2003; Wang, 2004).

Todavia, existe também uma percepção de que as florestas plantadas em larga escala para o abastecimento industrial não devem fazer parte deste conceito de manejo florestal sustentável, com o argumento de que são, na realidade, cultura de árvores, caracterizada pela homogeneidade e pelo objetivo primário de produção de biomassa, semelhante ao sistema convencional de produção agrícola (Saa & Vaglio, 1997). Este argumento, além de não contribuir em nada para o equacionamento da dimensão ambiental, já que a agricultura, causa impactos hidrológicos significativos, tampouco encontra respaldo no conhecimento contemporâneo dos sistemas biológicos. De fato, como bem argumenta Perry (1998), a estratégia de manejo florestal visando a produção intensiva de biomassa e a estratégia de manejo florestal sustentável não são antagônicas. Muito pelo contrário, a manutenção da produtividade florestal ao longo do tempo depende crucialmente de sua integração com a manutenção dos aspectos ecológicos e hidrológicos ao longo da paisagem.

Assim, um aspecto importante para o entendimento das relações entre as florestas plantadas e a água é a questão da escala do uso da terra. Em outras palavras, a busca do manejo florestal sustentável tem que considerar sua característica inerente de múltiplas dimensões e de múltiplas escalas. Esta estratégia incorpora a noção da microbacia hidrográfica, como unidade sistêmica da paisagem e como escala natural dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico, na qualidade da água, no regime de vazão e na saúde do ecossistema aquático. Ela possibilita, também, uma visão mais abrangente das relações

entre o uso da terra, seja para a produção florestal, a produção agrícola, a abertura de estradas, a urbanização, enfim toda e qualquer alteração antrópica da paisagem e a conservação dos recursos hídricos. E quem sabe, assim, a sociedade acabará percebendo que o eventual problema da diminuição da água e da deterioração de sua qualidade, ou a degradação hidrológica, não está apenas nos plantios florestais, mas numa infinidade de outras ações antrópicas e de práticas inadequadas de manejo dos recursos naturais (Lima, 2004).

As evidências disponíveis mostram que os possíveis impactos dos plantios florestais sobre a quantidade de água nas microbacias podem ser mais ou menos severos, dependendo das condições hidrológicas regionais prevaletentes, assim como da disponibilidade natural de água, em termos do balanço entre a precipitação média e a demanda evapotranspirativa de água. Torna-se, desta maneira, muito importante que este possível efeito das florestas plantadas seja devidamente analisado e levado em conta no plano de manejo, considerando as diferentes escalas da sustentabilidade hidrológica. Semelhantemente, é também muito importante que estes possíveis efeitos sejam monitorados na escala da microbacia, com o objetivo básico de obter informações cruciais para o necessário ajuste das práticas de manejo. Existem também evidências de que as práticas de manejo, principalmente em termos das atividades da colheita florestal, podem também causar impactos sobre algumas variáveis da qualidade da água das microbacias, como é o caso da concentração de sedimentos em suspensão, por exemplo.

A microbacia, desta forma, proporciona uma modalidade de avaliação das relações entre o manejo das florestas plantadas e a água numa escala sistêmica da paisagem. Com base em sua funcionalidade e também nas interações biofísicas entre as práticas de manejo e os possíveis impactos sobre a água, movidos pelo próprio ciclo hidrológico, ela possibilita, também, uma base estrutural consistente para a implementação de uma estratégia sistêmica de manejo das florestas plantadas. Esta estratégia, por sua vez, está baseada, em primeiro lugar, no princípio de produção florestal sustentável, como de pronto é o objetivo primário das florestas plantadas. Em segundo lugar, no princípio de que esta produção sustentável depende crucialmente da preservação simultânea da integridade do ecossistema. Portanto, esta estratégia aponta para a necessidade da reestruturação das práticas convencionais de manejo, com o objetivo de adaptá-lo às condições regionais prevaletentes, bem como aos processos ecológicos e às potencialidades da paisagem. Ela evidencia, também, a necessidade de monitoramento nas diferentes escalas da sustentabilidade. Representa, portanto, uma mudança conceitual fundamental de manejo baseado na unidade de manejo florestal para manejo baseado no ecossistema, o que sem dúvida agrega valor e possibilita inovações tecnológicas e novas estratégias de manejo, que incorporam a questão da água, envolvendo pelo menos as seguintes premissas: a) as decisões de manejo são baseadas na capacidade natural de suporte da paisagem; b) o manejo incorpora a manutenção da hidrologia da microbacia e, conseqüentemente, da conservação da água; c) o plano de manejo é continuamente melhorado com base nos resultados do monitoramento; d) possibilita maior flexibilidade e interatividade; e) incorpora o aspecto crucial das escalas de sustentabilidade; f) proporciona transparência às decisões de manejo.

Todavia, a despeito destas evidências, a necessidade de sua incorporação em políticas de manejo integrado das microbacias ainda não se encontra totalmente consolidado, tanto no

Brasil como em outros países da América Latina. E as consequências aparecem reiteradas vezes, na forma de pressões ambientalistas, de dúvidas e reclamações de proprietários rurais e mesmo de artigos e opiniões na imprensa, sempre reiterando a noção falsa de que as florestas plantadas são necessariamente incompatíveis com a conservação ambiental e com a manutenção dos recursos hídricos. Integrar, portanto, os objetivos de manutenção e conservação da água no plano de manejo das florestas plantadas, em termos da hidrologia da microbacia, balanço hídrico, qualidade da água, regime de vazão (fluxo de base e pico de vazão) e qualidade do ecossistema aquático, parece ser a resposta mais adequada a estas inquietudes (Twery & Hornbeck, 2001).

BIBLIOGRAFIA

ACIAR, 1992. Eucalypts: curse or cure? Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra. 6p.

Almeida, A.C., Soares, J.V., 2003. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, 27 (2): 159-170.

Almeida, A.C.; Soares, J.V.; Landsberg, J.J.; Rezende, G.D., 2007. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, 251: 10-21.

Andreassian, V., 2004. Water and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, 291: 1-27.

Bates, C.G. & Henry, A.J., 1928. Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. **Monthly Weather Review**, Supplement 30: 1-79.

Bosch, J.M. & Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, 55: 3-23.

Brown, A.E.; Zhang, L.; McMahon, T.A.; Western, A.W.; Vertessy, R.A., 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, 310: 28-61.

Calder, I.R., 1992. Water use of Eucalypts – a review. In: Calder, I.R., Hall, R.L., Adlard, P.G. (Eds.). **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, Chichester: 167-179.

Calder, I.R., Hall, R.L., Adlard, P.G., 1992. **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, Chichester. 381p.

Calder, I.R., 2007. Forests and water: ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest Ecology and Management**, 251: 110-120.

Câmara, C.D., Lima, W.P., 1999. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balanço hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis**, 56: 41-58.

Camino, R., Budowski, G., 1998. Impactos ambientales de las plantaciones forestales y medidas correctivas de carácter silvicultura. **Revista Forestal Centroamericana**, 22: 6-12

Cossalter, C., Pye-Smith, C., 2003. **Fast-Wood Forestry – Miths and Realities**. CIFOR, Jakarta. 50p.

Dias Jr., M.S.; Ferreira, M.M.; Fonseca, S.; Silva, A.R.; Ferreira, D.F., 1999. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz, ES. **Revista Árvore**, 23: 371-380.

Dias Jr., M.S., Leite, F.P., Winter, M.E., Pires, J.V.G., 2003. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com eucalipto na região de Peçanha, MG. **Revista Árvore**, 27: 343-349.

Dye, P. & Versfeld, D., 2007. Managing the hydrological impacts of South African plantation forests: an overview. **Forest Ecology and Management**, 251: 121-128.

Fahey, B. & Jackson, R., 1997. Hydrological impacts of converting native forests and grasslands to pine plantation, South Island, New Zealand. **Agricultural and Forest Meteorology**, 84: 69-82.

FAO, 2005. Global Forest Resources Assessment. FAO Forestry Paper, 147. FAO, Rome.

Farley, K.A.; Jobbágy, E.G.; Jackson, R.B., 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, 11: 1565-1576.

Fernandez, C., Vega, J.A., Gras, J.M., Fonturbel, T., Cuinas, P., Dambrine, E., Alonso, M., 2004. Soil erosion after *Eucalyptus globulus* clearcutting: differences between logging slash disposal treatments. **Forest Ecology and Management**, 195: 85-95.

Gayoso, J., Acuna, M., Munoz, R., 2001. Gestión sostenible de ecosistemas forestales: caso predio San Pablo de Tréguia, Chile. **Bosque**, 22: 75-84.

Harding, R.J.; Hall, R.L.; Swaminath, M.H.; Srinivasa Murthy, K.V., 1992. The soil moisture regimes beneath forest and an agricultural crop in southern India – measurements and modeling. In: Calder et al. (Ed.), 1992. **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, West Sussex: 244- 269.

Hibbert, A.R., 1967. Forest treatment effects on water yield. In: Sopper & Lull (Ed.). **International Symposium on Forest Hydrology**. Pergamon Press: 527-543.

Hopmans, P. & Bren, L.J., 2007. Long-term changes in water quality and solute exports in headwater streams of intensively managed radiata pine and natural eucalypt forest catchments in south-eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, 253: 244-261.

Huber, A., Barriga, P., Trecaman, R., 1998. Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico em la zona de Collipulli, IX Region (Chile). **Bosque**, 19: 61-69.

Jackson, R.B.; Jobbágy, E.G.; Avissar, R.; Roy, S.B.; Barret, D.J.; Cook, C.W.; Farley, D.A.; Maitre, D.C.; Murray, B.C., 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. **Science**, 310: 1944-1947.

Lane, P.N.J., Morris, J., Ningnan, Z., Guangyi, Z., Guoyi, Z., Daping, X., 2004. Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, 124: 253-267.

Lesch, W. & Scott, D.F., 1997. The response in water yield to the thinning of *Pinus radiata*, *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, 99: 295-307.

Lima, W.P., 1990. Overland flow and soil and nutrient losses from *Eucalyptus* plantations. **IPEF International**, 1: 35-44.

Lima, W.P., 1993. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. EDUSP. 301p.

Lima, W.P., 2004. O eucalipto seca o solo? **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 13- 17.

Lima, W.P., 2005. Planted forests and water impacts: cross-scale analysis through hydrological indicators. **The International Forestry Review**, 7(5): 758-764.

Lima, W.P.; Zakia, M.J.B.; Libardi, P.L.; Souza Filho, A.P., 1990. Comparative evapotranspiration of Eucalyptus, Pine and natural cerrado vegetation measured by the soil water balance method. **IPEF International**, 1: 5-11.

Lima, W.P., Jarvis, P., Rizopoulou, S., 2003. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, 60: 231-238.

Mielke, M.S., Oliva, M.A., Barros, N.F., Penchel, R.M., Martinez, C.A., Almeida, A.C., 1999. Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees**, 13: 152-160.

Nambiar, E.K.S., 1999. Productivity and sustainability of plantation forests. **Bosque**, 20: 9-21.

Nambiar, E.K.S. & Brown, A.G., 1997. Towards sustained productivity of tropical plantations: science and practice. In: Nambiar, E.K.S. & Brown, A.G. (Eds.). **Management**

of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests. ACIAR/CSIRO/CIFOR: 527-554.

Nardelli, A.M.B. & Griffith, J.J., 2003. Mapeamento conceitual da visão de sustentabilidade de diferentes atores do setor florestal brasileiro. **Revista Árvore**, 27: 241-256.

Oki, V.K., 2002. Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP, Piracicaba. 71p.

Pennington, P.I. & Laffan, M., 2004. Evaluation of the use of pre- and post-harvest bulk density measurements in wet *Eucalyptus oblique* forest in Southern Tasmania. **Ecological Indicators**, 4: 39-54.

Perry, D.A., 1998. The scientific basis of forestry. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 29: 435-466.

Reis, G.G.; Reis, M.G.F.; Gomes, R.T.; Silva, J.F., 1997. Potencial hídrico e condutância estomática de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* e *E. urophylla* no sudeste do Brasil. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvements of Eucalyptus. Salvador, Brazil: 196-200.

Roberts, J.M.; Rosier, P.T.W.; Srinivasa Murthy, K.V., 1992. Physiological studies in young Eucalyptus stands in southern India and their use in estimating forest transpiration. In: Calder et al. (Ed.), 1992. **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, West Sussex: 226-243.

Saa, H.J. & Vaglio, E.A., 1997. Plantar árboles no es reforestar – la confusion de términos genera sérios errores. **Revista Forestal Centroamericana**, 21: 6-10.

Scott, D.F. & Lesch, W., 1997. Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus radiata* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, 199: 360-377.

Sharda, V.N.; Samraj, P.; Samra, J.S.; Lakshmanan, V., 1998. Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiris sub-watersheds. **Journal of Hydrology**, 211: 50-60.

Sikka, A.K., Samra, J.S., Sharda, V.N., Samraj, P., Lakshmanan, V., 2003. Low flow and high flow responses to converting natural grassland into bluegum (*Eucalyptus globules*) in Nilgiris watersheds of South India. **Journal of Hydrology**, 270: 12-26.

Soares, J.V.; Almeida, A.C.; Penchel, R.M., 1997. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: IUFRO Conference on Silviculture and Improvements of Eucalypts. Salvador, Brazil: 80-88.

Stape, J.L., Binkley, D., Ryan, M.G., 2004. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, 193: 17-31.

Stott, T., Lees, G., Marks, S., Sawyer, A., 2001. Environmentally sensitive plot-scale timber harvesting: impacts on suspended sediment, bedload and bank erosion dynamics. **Journal of Environmental Management**, 63: 3-25.

Swank, W.T. & Miner, N.H., 1968. Conversion of hardwood-covered watersheds to White Pine reduces water yield. **Water Resources Research**, 4: 947-954.

Twery, M.J. & Hornbeck, J.W., 2001. Incorporating water goals into forest management decisions at a local level. **Forest Ecology and Management**, 143: 947-954.

Vanclay, J.K., 2009. Managing water use from forest plantations. **Forest Ecology and Management**, 257: 385-389.

Van Dijk, I.J.M. & Keenan, R.J., 2007. Planted forests and water in perspectiva. **Forest Ecology and Management**, 251: 1-9.

Vital, A.R.T., Lima, W.P., Camargo, F.R.A., 1999. Efeitos do corte raso de uma plantação de Eucalyptus sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, 55: 5-16.

Wagner, W., Gawel, J., Furumai, H., Souza, M.P., Teixeira, D., Rios, L., Ohgaki, S., Zehnder, J.B., Hemond, H.F., 2002. Sustainable watershed management: an international multi-watershed case study. **Ambio**, 31: 2-13.

Wang, S., 2004. One hundred faces of sustainable forest management. **Forest Policy and Economics**, 6: 205-213.

Whitehead, D. & Beadle, C.L., 2004. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, 193: 113-140.

Whitehead, D. & Kelliher, F.M., 1991. A canopy water balance model for a *Pinus radiata* stand before and after thinning. **Agricultural and Forest Meteorology**, 55: 109-126.

Zalewski, M., 2000. Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. **Ecological Engineering**, 16: 1-8.

Zhou, G.Y., Morris, J.D., Yan, J.H., Yu, Z.Y., Peng, S.L., 2002. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecology and Management**, 167: 209-222.