

Impacto sobre a disponibilidade hídrica quantitativa do consumo de água da produção de madeira de eucalipto produzido em área de Mata Atlântica

Eixo temático:

- Seção - Sustentabilidade dos Biomas Brasileiros e as Políticas Públicas
 - Subseção - Economia e produção sustentável nos biomas brasileiros

RESUMO

Vem ganhando destaque a discussão com enfoque na água em decorrência do aumento da compreensão de sua importância fundamental para a realização de atividades antrópicas e ecológicas que mantem a vida no planeta. Sua qualidade e quantidade estão associadas a fatores naturais e antrópicos, neste sentido, modificações da cobertura natural dos solos podem ocasionar alterações no ciclo hidrológico, que por sua vez podem impactar sua disponibilidade para todos os usos. Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHPS) vem ocorrendo uma substituição de áreas de pastagens por plantações de eucalipto, em áreas que antes eram cobertas por florestas de Mata Atlântica. O objetivo deste trabalho foi analisar o impacto da atividade de silvicultura de eucalipto para produção de celulose sobre a disponibilidade de água no trecho paulista da BHPS. Para isso, empregaram-se métodos de quantificação da água adaptados a partir do método de Pegada Hídrica (PH) e o método de Balanço Hídrico Climatológico. Os resultados obtidos apontaram que o consumo de água anual por hectare da floresta nativa é um pouco menor que o consumo da floresta de eucalipto. O volume de água precipitado (água verde) utilizado pela silvicultura por hectare por ano em média é de 9.866 m³, enquanto o volume utilizado pela vegetação nativa é de 9.844 m³/ha/ano e da pastagem é de 9.712 m³/ha/ano. A disponibilidade hídrica verde da região é de 19.922 milhões de m³/ano, enquanto a demanda por parte da cobertura vegetal (80,3% da área) utiliza em média 10.904 milhões de m³/ano. Pôde-se observar, ao considerar os dados mensais, que em meses mais secos pode ocorrer concorrência pelo uso da água por parte das coberturas vegetais, afetando a disponibilidade hídrica quantitativa da bacia (água azul).

Palavras-chave: Balanço hídrico de bacia, uso da água, eucalipto.

ABSTRACT

The focus on the water questions have been contributing to understand the essential importance of the water, and helping for a better comprehension about its importance to the several anthropocentric and ecological activities that supports the life existence in the world. Its quality and quantity are associated with natural and anthropic factors. Modifications in the natural cover of the soil can induce changes in the hydrological cycle that can impact the water availability to the other users in the watershed. In the Paraíba do Sul watershed (BHPS) occurs the substitution of the Eucalyptus plantations in areas which were used to pasture, and before was covered for the natural vegetation of Atlantic Forest. The objective of this study was investigating the hydrological impacts of the Eucalyptus monoculture to the pulp production over the hydric availability in the BHPS in São Paulo. Quantification of water using the water footprint and Climatologic Water balance methods was applied. The results pointed that the annual water consumption of the natural forest are smaller than the Eucalypts plantations. The Eucalyptus use 9,866 m³ of green water (precipitation water or rain water) and the natural forests used 9,844 m³ of water in the same area analyzed, in the same period of time. The pasture used 9,712 m³/ha/year of green water. The green water availability of the region is about 19.922 million m³/ha/year, and a proportion of this water, 10.904 million m³/ha/year, is used for this vegetal cover. During the most dry periods, a less availability can be observed in the watershed that implies in the insufficient volume of water to attend to all the users.

Key words: water balance in the watershed, water use, Eucalyptus.

1. INTRODUÇÃO/OBJETIVOS/HIPOTETES

A importância da discussão sob a ótica da água se dá devido ao seu papel como fator fundamental para a realização das atividades antrópicas, bem como para a manutenção dos ecossistemas e vida no planeta (SALATI et al, 2006). Segundo Rebouças (2006) e Setti et al (2001), a qualidade e disponibilidade da água está relacionada a diversos fatores naturais e antrópicos e podem variar de acordo com o seu local de origem, armazenamento e circulação, formas de uso, ocupação do solo, atividades socioeconômicas desenvolvidas, entre outros.

Modificações realizadas na cobertura vegetal natural de uma área, sejam elas proporcionadas por ações naturais ou antrópicas, afetam o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, podendo impactar também a disponibilidade quali e quantitativa da água (TUCCI & CLARKE, 1997, NEARY et al, 2009). Segundo Tucci & Clarke (1997), a cobertura vegetal de uma área possui papel fundamental no balanço hídrico. Pritchett (1979) e Neary et al (2009) apontam possíveis relações entre a quantidade de água produzida na bacia e sua cobertura vegetais, pois a capacidade de infiltração é maior, assim como o escoamento é menor, em solos com cobertura florestal quando comparados a outras superfícies desmatadas. Já estudos de Reis (2004), Neary et al (2009) e Mingoti (2009) indicam a relação existente entre a qualidade da água produzida em áreas com diferentes proporções de cobertura florestal nativa, evidenciando o impacto positivo da preservação da vegetação.

Neste trabalho se propõe a utilização de métodos quantitativos do uso da água baseados no método de Pegada Hídrica (HOEKSTRA & HUNG, 2002; HOEKSTRA & CHAPAGAIN, 2007) para avaliação do uso da água de florestas nativas por se tratar de um método de análise diferenciado dos demais, principalmente no tocante à classificação da água de acordo com a natureza de sua fonte.

O conceito da Pegada Hídrica (PH), introduzido por Hoekstra e Hung (2002) e melhor elaborado posteriormente por Hoekstra e Chapagain (2007), contabiliza o total de água alocada para a produção de bens ou serviços econômicos, mensurado no local onde estes são produzidos (HOEKSTRA &

CHAPAGAIN, 2007). Para sua mensuração, é realizada uma divisão da água utilizada em três categorias: água azul, água verde e água cinza.

A água azul seria a água superficial ou subterrânea coletada e consumida para a produção de um bem ou serviço. A água verde seria o indicador da água de chuva consumida pela fase de produção vegetal de uma cadeia produtiva, como exemplo pode-se citar o processo agrícola ou de silvicultura. Por fim, a água cinza refere-se ao indicador do volume de água requerido para que a poluição de um processo possa ser assimilada. Ela é definida como o volume de água utilizado para a diluição dos poluentes, baseando-se no limite máximo estabelecido por legislação (ou qualquer outro critério para limite adotado) e da qualidade natural do corpo hídrico em questão (HOEKSTRA et al, 2009).

A quantificação do uso da água em uma bacia é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Tendo isto em mente, o objetivo deste trabalho foi analisar o impacto da atividade de silvicultura de eucalipto para produção de celulose sobre a disponibilidade quantitativa de água no trecho paulista da BHPS e identificar se ocorrem alterações pelo uso hídrico comparado à vegetação nativa. Neste trabalho, não será avaliada a PH em si da produção de madeira de eucalipto para produção de celulose, mas será empregada a classificação da água, de acordo com suas fontes, na avaliação do balanço hídrico da bacia a fim de compreender como a água é utilizada por seus diversos usuários.

Posto isto, acredita-se que ocorra uma alteração do consumo de água verde por parte do eucalipto, quando comparado ao consumo da cobertura vegetal anterior (pastagem) e a natural. Estas alterações podem, consequentemente impactar a quantidade de água produzida na bacia, ou seja, o serviço ecossistêmico de provisão de água. Esta água verde consumida, além de se tornar indisponível para consumo pela floresta nativa, responsável pela provisão de outros serviços ecossistêmicos diversos¹, deixa de se tornar disponível para os outros usuários da bacia sob a forma de água azul (água superficial e subterrânea).

¹ Como, por exemplo, manutenção da qualidade da água, controle de processos erosivos, retenção de solos, ciclagem de nutrientes, etc (Arcova & Cicco, 1999; World Bank & WWF, 2003; Forti, 2003; Reis, 2004; Bacellar, 2005; Cicco et al, 2007; Balbinot et al, 2008; Gama-Rodrigues et al, 2008; Sheer, 2009; Ditt et al, 2010)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Método do Balanço Hídrico Climatológico

Foi aplicado o método de balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955), a partir da utilização de planilhas elaboradas por Rolim et al (1998) e Sentelhas et al (1999), ou programa "BHnorm". O balanço hídrico climatológico determina o regime hidrológico local sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo. Pode ser considerado como uma das maneiras de monitoramento da variação de armazenamento de água no solo (SENTELHAS et al, 1999).

Seu emprego implica na utilização de dados climatológicos de uma série histórica de um intervalo de 30 anos (normais climatológicas) e adaptação dos dados de capacidade de água armazenada no solo (CAD), adequada à cobertura vegetal em análise. Com a utilização da média histórica de dados climatológicos espera-se evitar a escolha de dados atípicos do comportamento climático da região.

Foram utilizados dados das normais climatológicas referentes à temperatura média mensal do ar e chuva total média mensal pertencentes às redes do INMET, IAC, IAPAR, DAEE/SP e ESALQ/USP para o período de 1961-1990, que já estavam contidas no modelo de Sentelhas et al (1999), para todos os municípios que compõe a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul pertencentes ao Estado de São Paulo que possuem silvicultura de eucalipto². Uma média de todos os municípios que possuem silvicultura de eucalipto foi utilizada para obter um dado geral da região.

O dado de CAD utilizado para a cobertura florestal de eucalipto se baseou em valores observados em plantios da espécie *Eucalyptus grandis* entre 3 a 8 anos (ALMEIRA & SOARES, 2003; SOUZA et al, 2006). Para a floresta nativa, optou-se por utilizar valores encontrados para florestas de Mata Atlântica, considerando a diversidade de fitofisionomias segundo estudos de Fujieda et al (1997), que estuda a bacia experimental de Cunha, na Serra do Mar no Estado de

² Segundo estudo de Viana et al (2009) e Arguello (2010).

São Paulo, e Kurtz & Araujo (2000), que estuda uma bacia localizada no Estado do Rio de Janeiro.

Tendo em vista que as coberturas florestais (silvicultura de eucalipto e floresta nativa) representam apenas 22,7% da cobertura total do trecho paulista da bacia (COPPETEC, 2006; ARGUELLO et al, 2010), foi considerada também a cobertura de pastagens, que representa sozinha 57,6% do total do trecho analisado (COPPETEC, 2006).

Para a estimativa da ET, através do emprego do método de balanço hídrico utilizado para as demais coberturas (SENTELHAS et al, 1999), foi utilizado o valor intermediário de 50 mm dados para CAD, levantados para as espécies mais cultivadas de pasto na região estudada (ANDRADE, 2003; DELGADO-ROJAS et al, 2004).

2.1. Método do Balanço Hídrico a partir da classificação de água pela Pegada Hídrica

Como visto, método de Pegada Hídrica definido em Hoekstra et al (2011) realiza uma classificação da água utilizada em três categorias de acordo com sua origem: água azul, água verde e água cinza. Para atender aos objetivos propostos nesta pesquisa, foram contabilizados disponibilidade e consumo de água verde e de água azul na BHPS.

Para contabilização da água verde associada às áreas naturais e às áreas plantadas foi necessário avaliar o volume de água de chuva utilizado por estas coberturas vegetais. Segundo Hoekstra et al (2011), o volume de água proveniente da chuva utilizado pela vegetação pode ser indicado através da aplicação do método de contabilização da Evapotranspiração do ambiente (ET_{amb}).

Este método, segundo Hoekstra et al (2011) foi desenvolvido para determinar o volume de água verde requerido pelas áreas naturais que necessitam ser preservadas dentro de uma bacia hidrográfica ou qualquer outra delimitação geográfica adotada para análise. No caso desta pesquisa, tendo em vista a incerteza das áreas mínimas a serem preservadas de forma a garantir o fluxo de serviços ecossistêmicos, sem risco de perdas irreversíveis, optou-se por aplicar este método para analisar somente a demanda de água verde por parte das

coberturas vegetais (floresta nativa, pastagens e silvicultura de eucalipto) atualmente existentes na bacia e, a partir desta análise, identificar se os usos estão sendo atendidos pela disponibilidade.

Desta forma, o método apresentado por Hoekstra et al (2011) será adaptado para a determinação dos usos de água verde, não apenas da cobertura natural, como também das coberturas plantadas. Para sua aplicação é necessário determinar a taxa de evapotranspiração da cobertura vegetal a ser analisada, considerando sua proporção de área em relação ao restante da bacia, como pode ser observado na Equação 1. O resultado aponta o volume ou vazão de água que está associado à cobertura da área em análise, enquanto a soma destes resultados (obtido para cada cobertura analisada) indica o consumo “total”³ das coberturas vegetais da bacia hidrográfica.

$$ET_{amb} = (P \cdot A_{total} \cdot ET) \cdot 1000$$

Eq. 1

Sendo,

P – Proporção da área de vegetação em relação à área total

A_{total} – Área total da bacia ou limite geográfico da análise (km²)

ET – Evapotranspiração da vegetação da área de estudo (mm.ano⁻¹)

Para esta análise, serão utilizados os valores estimados de ET a partir do emprego das planilhas de Rolim et al (1998) e Sentelhas et al (1999) para estimativa do balanço hídrico climatológico e de dados oficiais de porcentagens das coberturas vegetais (COPPETEC, 2006; ARGUELLO et al, 2010).

Com a aplicação do método apresentado, foram obtidos volumes de água requeridos por ambas as coberturas vegetais em m³/ha/ano. Estes resultados possibilitaram a análise da utilização da água verde pela cobertura da silvicultura de eucalipto e cobertura vegetal natural, responsável pelo fornecimento dos Serviços Ecossistêmicos. Para isso, foi necessária ainda a contabilização da disponibilidade hídrica verde total, obtida a partir da multiplicação da precipitação média anual (de uma série de aproximadamente 30 anos ou normal climatológica) pela área total da bacia.

³ Considerando apenas as coberturas delimitadas pelo escopo desta pesquisa.

A demanda de água azul, por sua vez, foi determinada a partir do levantamento bibliográfico acerca dos principais usuários da bacia e da estimativa de consumo destes para o ano de 2010, relativo apenas ao trecho paulista da bacia (VALLENGE, 2011). É importante ressaltar que foram considerados nesta análise apenas dados oficiais de demanda de água levantados pelas fontes consultadas. Com isso, é esperado que o valor da vazão de água realmente demandada na bacia esteja subestimado, pois deixa de considerar outros usos de menor proporção e usos informais ou excluídos da contagem.

Ainda que reconhecida a desconsideração dos usos informais da água na bacia, não se pode deixar de considerar que ocorram perdas da água azul pelo processo de evaporação. Em relação a este dado, foram levantados trabalhos que realizam a quantificação da evaporação que ocorre na bacia (THOMAS & GOMES, 2005; REIS et al, 2006; VALLENGE, 2011). Para a estimativa da evaporação total do trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, optou-se por empregar o mesmo método utilizado em Diniz et al (2010) que utiliza o dado de evaporação total em mm e extrapola para a superfície de água que se deseja considerar. Desta forma, optou-se por utilizar os dados de Evaporação Total, estimado a partir do método de Piché, disponibilizados pelo INMET (sd) e extrapolar para toda a área de água⁴ do trecho analisado determinado pelo Relatório do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul (COPPETEC, 2007).

3. RESULTADOS

A seguir podem ser observados os resultados obtidos a partir da aplicação do “BHnorm” (ROLIM et al, 1998; SENTELHAS et al, 1999).

Tabela 1 – Balanço Hídrico Climatológico da Bacia do rio Paraíba do Sul, com cobertura de silviculturas de eucalipto, florestas nativas e pastagem –

⁴ A determinação da área de água da bacia pela COPPETEC (2007) considera todos os corpos d'água registrados nas bases cartográficas ou detectáveis nas imagens de satélite, inclusive lagos naturais ou artificiais e planícies de inundação natural do leito dos rios.

Evapotranspiração potencial (ETP), Evapotranspiração Real (ETR), Déficit Hídrico (DEF) e Excedente Hídrico (EXC).

Meses	ETP (mm)	Eucalipto			Floresta nativa			Pastagem		
		ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	118,86	118,9	0,0	120,9	118,9	0,0	120,9	118,9	0,0	120,9
Fev	109,85	109,9	0,0	111,1	109,9	0,0	111,1	109,9	0,0	111,1
Mar	109,65	109,7	0,0	71,7	109,7	0,0	71,7	109,7	0,0	71,7
Abr	79,02	79,0	0,0	0,0	79,0	0,0	0,0	78,9	0,1	0,0
Mai	58,43	58,1	0,3	0,0	58,0	0,4	0,0	57,3	1,2	0,0
Jun	45,38	45,1	0,2	0,0	45,1	0,3	0,0	44,5	0,9	0,0
Jul	45,39	43,8	1,6	0,0	43,3	2,1	0,0	40,0	5,4	0,0
Ago	57,81	54,7	3,1	0,0	53,8	4,0	0,0	48,3	9,5	0,0
Set	70,33	68,4	2,0	0,0	67,8	2,5	0,0	64,8	5,5	0,0
Out	87,99	88,0	0,0	0,0	88,0	0,0	0,0	88,0	0,0	12,0
Nov	98,13	98,1	0,0	45,7	98,1	0,0	47,9	98,1	0,0	49,0
Dez	112,97	113,0	0,0	97,3	113,0	0,0	97,3	113,0	0,0	97,3
Total	993,82	986,6	7,3	446,7	984,4	9,4	448,9	971,2	22,6	462,1
Média	82,82	82,2	0,6	37,2	82,0	0,8	37,4	80,9	1,9	38,5

Como também citado por autores que realizaram análises comparativas de escoamentos em solos com coberturas de pastagem e florestas (LIMA, 1990; BAUMHARDT, 2010; CAVALCANTE, 2011), utilizando diversos métodos, dentre os quais o método de balanço de massa que implica em medições locais (ao menos de precipitação e deflúvio), os resultados obtidos com o método aqui empregado (ROLIM et al, 1998; SENTELHAS et al, 1999) apontam maior EXC, maior escoamento (sub e superficial) por esta cobertura vegetal.

Sato et al (2007) e Sato (2008) apontam que na região do médio Vale do Paraíba do Sul, as taxas de escoamento entre as três coberturas vegetais analisadas (eucalipto, pastagem e floresta nativa) foram semelhantes. Resultados semelhantes foram obtidos neste trabalho, com a estimativa a partir do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite & Mather (1955), ao observar a diferença entre os valores obtidos sendo de 446,7 mm/ano de EXC produzido pela cobertura de silvicultura, 448,9 mm/ano para floresta nativa e 462,1 mm/ano para a pastagem.

A evapotranspiração é outro parâmetro que apresentou diferença de 13,2 mm/ano entre as coberturas de florestas naturais, plantadas e de pastagem analisadas. No caso da silvicultura de eucalipto, o valor estimado foi de 986,6 mm/ano, para a floresta nativa o valor foi de 984,4 mm/ano e para a pastagem de 971,2 mm/ano.

Zhang et al (2001) e Lima (2011) apontam que o comportamento de diferentes coberturas vegetais em relação a evapotranspiração é semelhante. Neste sentido, os autores defendem que o balanço hídrico é governado mais fortemente por condições climáticas do que pela cobertura vegetal. Entretanto, há controvérsias quanto a esta ideia, uma vez que trabalhos como o de Nosetto et al (2005), Tatsch (2006) e CAVALCANTE (2011) apontam que em áreas de vegetação de pampa ou cerrado, por exemplo, a plantação de eucalipto altera a taxa de evapotranspiração da microbacia. A partir destes trabalhos, percebe-se que não somente o porte das espécies vegetais, mas também o espaçamento influencia este parâmetro.

A partir das estimativas dos balanços hídricos climatológicos das três coberturas vegetais, que juntas representam 80,3% do uso do solo do trecho paulista da bacia, foi possível estabelecer a comparação e análise entre as demandas e disponibilidade de água verde e azul.

A seguir, na Tabela 2, são apresentados os usos da água verde pelas principais coberturas vegetais da bacia hidrográfica. Estes usos representam a demanda por água verde que é disponibilizada naturalmente na bacia hidrográfica através do regime de chuvas. Cabe destacar que nesta contabilização, são quantificadas apenas as perdas de água do sistema através do processo de evapotranspiração, o que diferencia estes resultados daqueles obtidos pelo método utilizado para o cálculo da PH_{verde} , que considera também a água verde contida na madeira no momento do corte.

Tabela 2 – Demanda de água verde por diferentes coberturas vegetais na Bacia do rio Paraíba do Sul

Objeto de análise	ETR ^a (mm/ano)	Porcentagem de cobertura	Água verde requerida pela cobertura total (m ³ /ano)	Água Verde anual requerida* (m ³ /ha/ano)
Vegetação Nativa	984	0,156 ^b	2.134.572.960	9.844
Silvicultura de Eucalipto	987	0,071 ^c	973.675.540	9.866
Pastagem ^e	971	0,576 ^b	7.775.815.680	9.712

* Este valor se difere daquele calculado para a PH_{verde}, pois não considera a água verde contida na madeira, e sim apenas a água verde da evapotranspiração vegetal.

^a Todos os valores de ETR foram obtidos a partir da aplicação do Modelo Embrapa (Rolim et al (1998) e Sentelhas et al (1999) com adaptação de CAD que emprega o Método de Thornthwaite & Mather (1955).

^b COPPETEC (2006)

^c ARGUELLO et al (2010)

Apresentada a demanda por água verde agregada para valores anuais, cabe analisar também a disponibilidade hídrica verde da bacia. Como é possível observar na Tabela 3, com base nos dados de precipitação média anual de uma série de normais climatológicas utilizado pelo modelo de estimativa do balanço hídrico climatológico de Rolim et al (1998) e Sentelhas et al (1999), pôde-se estimar a disponibilidade da água verde total anual (m³/ano) e por área (m³/ha/ano).

Tabela 3 – Disponibilidade de água verde na Bacia do rio Paraíba do Sul

Disponibilidade de água verde da bacia			
Precipitação total (mm/ano)	Área da Bacia (km ²)	Água verde total disponível (milhões m ³ /ano)	Água Verde disponível (m ³ /ha/ano)
1.433	13.900	19.922	14.333

Fonte de dados: COPPETEC (2006); DAEE; INMET

Com base nos conceitos apresentados por Tucci e Clarke (1997) e Tucci (2002) é possível apontar as relações entre a água verde e água azul, com base nos processos de fluxo vertical (precipitação e evapotranspiração da água verde) e dos fluxos longitudinais (escoamento superficial e subterrâneo da água azul). Ou seja, a água precipitada (água verde) que não é evapotranspiração pode se tornar água azul superficial e subterrânea, via escoamento sub e superficial.

A seguir são apresentados os dados de demanda oficial para uso (VALLENGE, 2011) e água perdida pelos processos de evaporação de superfície.

Tabela 4 – Demanda de água azul por diferentes atividades antrópicas na Bacia do rio Paraíba do Sul em seu trecho paulista

Estimativa das Demandas da Bacia do Rio Paraíba do Sul para o ano de 2010 – Apenas trecho Paulista		
Usos	Demanda estimada da Bacia do Rio Paraíba do Sul (m³/s)	Demanda estimada da Bacia do Rio Paraíba do Sul (m³/ano)
Uso doméstico	7,1 ¹	223.905.600
Uso Agropecuário	8,2 ¹	259.225.920
Uso Industrial	0,68 ¹	21.444.480
Total (usos)	16	504.576.000
Evaporação	-	218.732.400 ²
Total (usos e perdas)	-	723.308.400

¹ Vallenge (2011)

² Evaporação média total (INMET, sd) extrapolada para todo o trecho paulista da bacia com base no método utilizado por Diniz et al (2011)

Com base na análise dos dados anuais, para o período considerado, foi possível observar que na área de estudo, a disponibilidade de água verde total da bacia parece atender às demandas relativas às principais coberturas vegetais da bacia (floresta nativa, floresta de eucalipto e pastagem).

Ao analisar a relação entre água verde e água azul, os dados indicam que a atividade de silvicultura aparentemente não impacta diretamente a disponibilidade da água azul para os demais tipos de uso da água na bacia, pois existe maior produção de água azul do que é consumido, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 – Disponibilidade de água verde e água azul na bacia e as demandas para cada tipo de água

Parâmetro analisado	milhões m³/ano
Disponibilidade de água verde total na bacia	19.922
Água verde total requerida – cobertura florestal nativa, silvicultura e pastagem	10.904
Disponibilidade de água azul no trecho paulista (superficial e subterrânea)	9.018
Demanda de água azul no trecho paulista*	723

* Considera demanda por água pelos setores industrial, agropecuário, consumo doméstico e perdas por evaporação no trecho paulista da bacia

Ainda que a análise dos dados agregados anualmente não evidenciem possíveis impactos do consumo de água realizado pela atividade de silvicultura de eucalipto na bacia sobre os serviços ecossistêmicos e os demais usos dos recursos hídricos em relação à água verde e azul, não se pode deixar de considerar a existência da geração da pegada hídrica cinza da atividade desta produção.

Com base no esquema ilustrativo do balanço hídrico de uma Bacia Hidrográfica desenvolvido por Salmoral et al (2011), elaborou-se a Figura a seguir, que esquematiza similarmente o balanço hídrico do trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

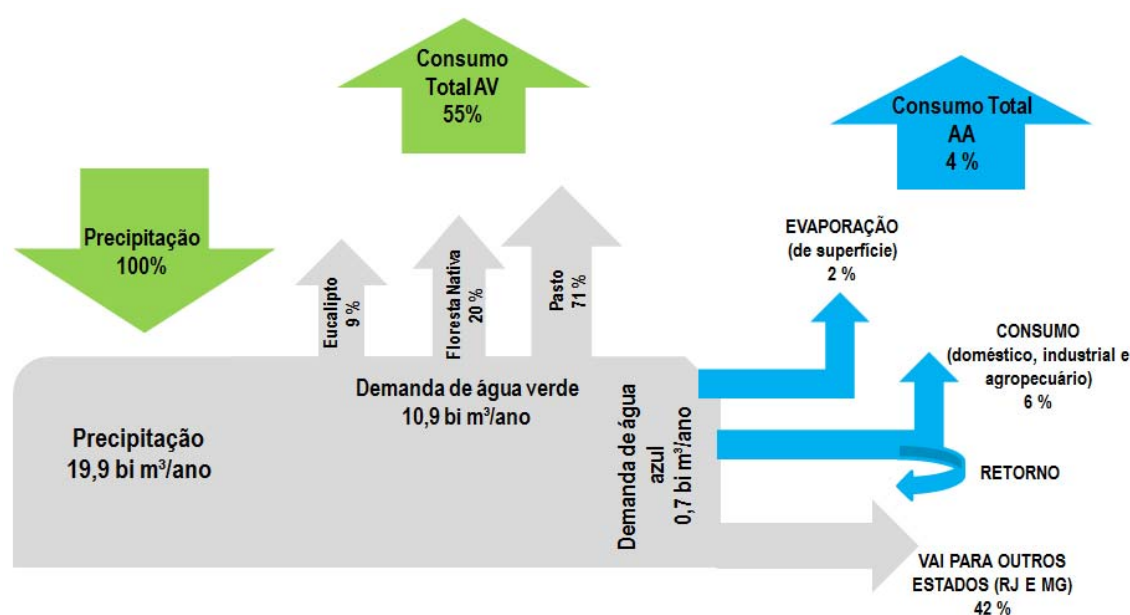


Figura – Usos proporcionais da água verde e azul no trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Baseado em Salmoral et al, 2011) – AV (Água Verde); AA (Água Azul).

No esquema acima a proporcionalidade apresentada para os usos da água verde estão diretamente relacionados com a proporção da área do trecho estudado da bacia. Sendo assim, observa-se o maior consumo de água verde pela cobertura de pastagem, seguida pela cobertura de floresta nativa e por último a silvicultura de eucalipto.

O total de água azul consumido representa 4% de toda a água precipitada na bacia. Do total de água verde disponibilizada, cerca de 55% é consumido pela cobertura vegetal, 3% é consumido para atendimento dos diversos usos (doméstico, industrial e agropecuário), 1% é perdido para a atmosfera devido ao processo de evaporação da água de superfície e 42% é o restante que mantém o

corpo hídrico e segue para os demais estados abrangidos pela bacia. Em relação à disponibilidade de água azul, cerca de 6% é utilizada pelos demais usuários do recurso na bacia e 2% é evaporada.

Para uma análise mais detalhada em relação ao uso da água ao longo do ano, optou-se também por realizar o mesmo processo para dados agregados mensalmente. Na Tabela 7, na qual a disponibilidade hídrica verde foi subtraída da demanda por água verde pelas coberturas vegetais analisadas, pode-se notar que os dados mensais apresentam situações em que a disponibilidade de água da chuva não atende completamente as demandas pelas coberturas vegetais. Com isso, parte da água é perdida pelo processo de evapotranspiração e deixa de se tornar água azul.

Tabela 7 – Disponibilidades de água verde e azul da bacia e água azul restante após usos por outros usuários.

Meses	Disponibilidade hídrica verde total da bacia	Disponibilidade hídrica azul total da bacia	Disponibilidade descontada dos usos e perdas* da bacia
	milhões de m ³ /ano	milhões m ³ /ano	milhões m ³ /ano
Jan	3.333	2.006	1.946
Fev	3.070	1.844	1.784
Mar	2.521	1.297	1.237
Abr	1.052	171	110
Mai	696	54	- 5
Jun	579	80	20
Jul	423	-33	- 93
Ago	559	2	- 58
Set	858	125	65
Out	1.860	878	818
Nov	2.045	950	889
Dez	2.922	1.661	1.601
Total Anual	19.922	9.038	8.315
Média mensal	1.660	753	692

* Considerou-se a evaporação média da região (INMET, sd) extrapolada para toda superfície de água da bacia (COPPETEC, 2007).

O que se nota ao observar os dados agregados por mês é que as disponibilidades hídricas, que parecem altas e suficientes para atender a todas as demandas quando se considera somente o volume de água anual, apresentam situações críticas em meses menos chuvosos do ano. Após considerar o consumo por outros usuários da bacia (apenas uso oficial) e das perdas por evaporação da água superficial (lagos, rios, etc), os meses de maio, julho e agosto parecem

apresentar uma situação de criticidade quantitativa da disponibilidade hídrica nesta região. Consequentemente, a criticidade da disponibilidade hídrica neste trecho acaba por afetar as demais regiões que a bacia contempla. Isto por que não se pode deixar de ressaltar que esta bacia tem a nascente de seu principal rio no trecho paulista da bacia, abastecendo mais dois estados em seguida.

A água da bacia, apesar de aparentemente abundante, apresenta momentos de escassez quali e quantitativa, devido aos diversos usos. As coberturas vegetais, neste trabalho, são consideradas “usuários” do recurso hídrico da bacia. Com os resultados até então apresentados, o que se pode argumentar é que a preservação de áreas de vegetação natural, apesar de consumir a água de forma aparentemente semelhante, produz os serviços ecossistêmicos que poderiam garantir a melhor qualidade da água produzida pela bacia (REIS, 2004; MINGOTI, 2009). No entanto, estes serviços associados à qualidade da água produzida não foram estudados neste momento.

Em relação ao serviço de produção de água da bacia, ou seja, a vazão de água produzida, diversos autores (LIMA, 1993; SOARES & ALMEIDA, 2001; ALMEIDA & SOARES, 2003; VITAL, 2007; VIANA et al, 2009) apontaram que em locais nos quais ocorra precipitação pluviométrica que atendam à demanda hídrica da plantação florestal, não ocorreria o consumo da água do solo e parte desta é escoada sub e superficialmente. Sato et al (2007) e Sato (2008) ressaltam ainda que na região da Bacia do rio Paraíba do Sul as taxas de escoamento e relação entre escoamento e precipitação de diferentes coberturas vegetais (eucalipto, floresta nativa e pastagem) são semelhantes entre si.

Neste sentido, estudos conduzidos em áreas de alta precipitação pluviométrica, como o de Soares & Almeida (2001) e Almeida & Soares (2003), apontaram que tanto a floresta plantada, como a floresta nativa apresentaram comportamento semelhante em relação ao consumo de água, inclusive consumindo água do solo nos períodos de menor precipitação.

No entanto, outros estudos conduzidos em locais de menor precipitação pluviométricas, como no sul do país ou regiões de clima árido ou semiárido apontam que pode ocorrer a redução da produção de água de uma bacia hidrográfica em função, principalmente, das alterações dos processos de

escoamento superficial, armazenamento de água no solo e evapotranspiração (CALDER, 1986; MORRIS et al, 2004; LIMA, 1993; OLIVEIRA et al, 2002; NOSETTO et al, 2005; TATSCH, 2006; BAUMHARDT, 2010; CAVALCANTE, 2011).

O que se pôde concluir a partir dos diversos resultados apontados nos estudos consultados foi que quando as características, relacionadas a estes parâmetros (armazenamento de água no solo, evapotranspiração, escoamento superficial), da vegetação nativa local se assemelharem às características da silvicultura, menos intensos serão os impactos sobre este serviço ecossistêmico. Neste sentido, as características locais (climáticas, pedológicas, edáficas, hidrológicas e fitogeográficas⁵) nas quais a plantação de eucalipto estiver inserida influenciam na vulnerabilidade aos impactos em relação à disponibilidade quantitativa da água.

Não somente a similaridade das características do ambiente físico (clima, solo, hidrografia, etc) e da vegetação nativa devem ser considerados. Ainda que a plantação de eucalipto se enquadre nestas características, ainda assim são necessárias adoções de práticas de manejo que visem à mitigação dos impactos causados.

Faz-se importante ressaltar que o recorte desta análise não está considerando outras dimensões de impactos ambientais, como aqueles associados aos usos sociais da água na bacia hidrográfica (comunidades locais, população, demais atividades econômicas, entre outros).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar se ocorre impacto de ordem hidrológica da atividade de silvicultura de eucalipto, considerando também as demais coberturas vegetais, no trecho paulista da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Os resultados obtidos a partir das análises realizadas indicam as vegetações consideradas (eucalipto, floresta nativa e pastagem) concorrem pelo

⁵ Características que permitem o estabelecimento dos domínios morfoclimáticos de Ab'Saber (1977; 2003).

uso da água verde em meses de menor precipitação, diminuindo o serviço de provisão de água para a bacia.

Não obstante a concorrência existente entre o consumo de água verde pelas coberturas vegetais da bacia se observou concorrência também em relação aos demais usuários da bacia, uma vez que pode ocorrer déficit hídrico nos meses mais secos do ano, ocasionando baixa ou nula produção de água no trecho analisado da bacia hidrográfica em função da precipitação.

Tendo em vista que o histórico de uso e ocupação do solo, não se pode afirmar que o impacto pela concorrência por uso da água deve-se exclusivamente a existência da atividade de silvicultura, pois esta vem substituindo áreas de pastagens desvalorizadas. No entanto, observou-se que maiores valores de evapotranspiração, apesar da forte semelhança comparando-se à floresta nativa, foram obtidos para a cobertura de eucalipto em comparação com as demais coberturas vegetais.

Quanto ao serviço de provisão de água, pode-se verificar que, apesar de sua semelhança à vegetação nativa em relação ao uso da água (evapotranspiração), a silvicultura de eucalipto pode implicar em menor produção de água, dentre as coberturas vegetais analisadas, para a bacia hidrográfica em função do excedente hídrico produzido.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. *Rev. Árvore*. 2003, vol.27, n.2, pp. 159-170.
- ANDRADE, F. M. B. Produção de forragem e valor alimentício do capim-Marandu submetido a regimes de lotação contínua por bovinos de corte. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ciência animal e Pastagens da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. São Paulo: ESALQ, 2003.
- ARGUELLO, F. V. P. Expansão do Eucalipto no trecho paulista da bacia hidrográfica Paraíba do Sul. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2010.
- BAUMHARDT, E. Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- CALDER, I. The influence of land use on water yield in upland areas of the U.K. *Journal of Hydrology*, 88, pp. 201-211, 1986.
- CAVALCANTE, R. B. L. Planejamento de povoamentos de eucalipto com condicionantes hidrológicos: um estudo de caso em Eldorado do Sul/RS. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- COPPETEC. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo: Diagnóstico dos Recursos Hídricos - Relatório Final. Relatório contratual para Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP Resende: AGEVAP, 2006.
- DELGADO-ROJAS, Juan S.; NOVAES, Marcelo; LOURENCO, Leandro F. and COELHO, Rubens D.. Evapotranspiração máxima do capim "Tanzânia" (*Panicum maximum* J.) em pastejo rotacionado, baseada na evaporação do tanque "Classe A " e no índice de área foliar. *Eng. Agríc.*, vol.24, n.1, pp. 226-234. 2004.
- DINIZ, H. N.; GALINA, M. H.; TEIXEIRA BATISTA, G.; SANTOS TARGA, M. Hidrogeologia da Várzea do Rio Paraíba do Sul: estudo de caso de uma área de mineração no município de Tremembé, SP, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 5, núm. 3, 2010, pp. 76-107
- FUJIEDA, M.; KUDOH, T.; CICCIO, V.; CALVARCHO, J. L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, n. 196, p. 26–46, 1997.
- HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M. and MEKONNEN, M.M. (2009) Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K. (2007). The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities, *Ecological Economics* 64(1): 143-151.
- HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- HOEKSTRA, A.Y. AND HUNG, P.Q. (2002). 'Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade'. Value of Water Research Report Series, No.11, UNESCO-IHE.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL 1961-1990. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/>. Acessado em: 05/02/2013.

- KURTZ, B. C.; ARAÚJO, D. S. D. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de um trecho de Mata Atlântica na Estação Ecológica Estadual do Paraíso, Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia* n. 51, 78/115, p. 69-112, 2000.
- LIMA, W. P. Impacto Ambiental do Eucalipto. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993.
- LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; STAPE J. L.; MENDONÇA, E. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; PAUL, K.; SCHULTHAIS, F.; POLGLASE, P.; RAISON, J.; SOARES, E. M. B. Modeling changes in organic carbon stocks for distinct soils in southeastern Brazil after four eucalyptus rotations using the century model. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:833-847, 2011.
- LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; LIBARDI, P.L. & SOUZA FILHO, A. P. 1990. Comparative evapotranspiration of Eucalyptus, Pine and Cerrado vegetation measured by the soil water balance method. *IPEF International*, Piracicaba, 1:5-11.
- MINGOTI, R. Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal. (Tese de Mestrado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2008. 101p.
- MORRIS, J; NINGNAN, Z; ZENGJIANG, Y.; COLLOPY, J.; DAPING, X. Water use by fast-growing Eucalyptus urophylla plantations in southern China. *Tree Physiology* 24, 1035–1044, 2004.
- NEARY, D. G.; ICE, G. G.; JACKSON, C. R. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 13 p., 2009.
- NOSETTO, M. D.; JOBBÁGY, E. G.; PARUELO, J. M. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology*, Volume 11, Issue 7, pages 1101–1117, July 2005.
- OLIVEIRA, F. R. ; VELASQUEZ, L. N. M. ; DUARTE, U. . Impacto ambiental do eucalipto na recarga de água subterrânea em área de cerrado, no médio Vale Jequitinhonha, Minas Gerais. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - Aquíferos Transfronteiriços. Florianópolis: ABAS, 2002.
- PRITCHETT, W.L. Properties and Management of Forest Soils. New York: Wiley, John & Sons, Incorporated, 1979.
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, p. 1-35.
- REIS, L. V. S. COBERTURA FLORESTAL E CUSTO DO TRATAMENTO DE ÁGUAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO: CASO DO MANANCIAL DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2004.
- ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, p. 133 – 137, 1998.
- SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, p. 37-62.
- SALMORAL, G., DUMONT, A., ALDAYA M.M., RODRÍGUEZ-CASADO R., GARRIDO A. AND LLAMAS M.R. Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. *Papeles de Seguridad Hídrica y Alimentaria y Cuidado de la Naturaleza*, No. 1, Fundación Botín, Observatorio Del Agua, Santander, 2011.
- SATO, A. M. Respostas geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de eucalipto no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

- SATO, A. M.; AVELAR, A. S. COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encosta numa cabeceira de drenagem com cobertura de eucalipto na bacia do rio Sesmarias: médio vale do rio Paraíba do Sul. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, p. 147-154.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. Balanços hídricos climatológicos do Brasil – 500 balanço hídricos de localidades brasileiros. Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM.
- SETTI, A. A., WERNECK LIMA, J. E. F., CHAVES, A. G. M., PEREIRA, I. C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 328 p, 2001.
- SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes on a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. Journal of Hydrology, 253, pp. 130 – 147, 2001.
- SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. Revista Árvore, v. 30, n. 3, Sociedade de Investigações Florestais, Vicosa, Brasil, p. 399 – 410, 2006.
- TATSCH, J. D. Uma análise dos fluxos de superfície e do microclima sobre cerrado, cana-de-açúcar e eucalipto, com implicações para mudanças climáticas regionais. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ciências do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo: Universidade d São Paulo, 2006.
- THOMAS, P. T.; GOMES, P. M. Mecanismos de cobrança pelo uso de Recursos Hídricos para o setor de extração de areia da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. Anais: ABRH.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.
- TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/corpo docente/tucci/publicacoes/relclima.PDF>. Acessado em: 14/03/2012.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. IMPACTO DAS MUDANÇAS DA COBERTURA VEGETAL NO ESCOAMENTO: REVISÃO. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2 n.1 Jan/Jun 1997, 135-152.
- VALLENGE. Vallenge Consultoria, Projetos e Obras Ltda. RELATÓRIO TÉCNICO - BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL – SUBSÍDIOS ÀS AÇÕES DE MELHORIA DA GESTÃO 2011. Relatório contratual para Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP Resende: AGEVAP, 2011.
- VIANNA, L. G. R.; SATO, A. M.; COELHO NETO, A. L. EXPANSÃO DO EUCALIPTO NO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL: SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS DE BACIAS. In: XIII SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa - MG. Anais do XIII SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa, 2009. p. 01-13.
- VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V. 14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007.
- ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. Water Resources Research, 37: 701-708, 2001.