

## Mapeamento de uso das terras a partir de séries históricas de imagens Landsat TM e ETM como subsídio nos estudos de impactos hidrológicos

Vânia Rosa Pereira<sup>1</sup>  
José Teixeira Filho<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Geociências  
Caixa Postal 6152 – 13083 970 – Campinas – SP, Brasil.  
vaniarp@ige.unicamp.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola  
Caixa Postal 6011 – 13083875 – Campinas – SP, Brasil.  
jose@agr.unicamp.br

**Abstract:** Remote sensing products and techniques are very useful for historical land use mapping, especially sensors that have temporal series as Landsat has. This paper is a research result, which objective is to identify the relationship between the land use conversion from forest to pasture and silviculture during 20 years in the water yield during the dry season at the upstream Cachoeira watershed reservoir (307km<sup>2</sup>). The land use maps were derived from 1986, 1999 and 2005 Landsat scenes classification. The hydrological analysis were derived from 30, 45 60 and 75 consecutive dry day daily discharge and total water year precipitation during 1986 to 2005. As a methodology, linear regression analyses were used to identify the temporal changes in the discharge and precipitation trend. The results indicate that forest land cover decrease and pasture and logging increase. During the same period, discharge presented a trend to decline in 30, 45, 60 and 75 consecutive dry days presenting a decrease to 61%, 56%, 55% and 60% respectively. The precipitation presents a decrease from 20% during the period. To sum up, the results indicate that exist a water yield decrease trend during the dry season at Cachoeira watershed. The results of this study are coherent with another studies found in the literature, according to which forest land use conversion to another crops diminishes the soil infiltrations capacity. In conclusion, the results offer conditions for public environment policies to adopt the right actions to water resources conservations practices.

**Palavras-chave:** Land use conversion, hydrologic effects, watershed management, conversão de uso das terras, efeitos hidrológicos, manejo de bacia hidrográfica.

### 1. INTRODUÇÃO

As incertezas no ramo da hidrologia em relação à conversão de uso das terras em áreas de floresta estão centralizadas na questão da escala. Estudos para verificar os impactos da conversão de uso das terras na escala local, com bacias hidrográficas de até 1km<sup>2</sup> já foram vastamente explorados, destacando-se o estudo de bacias pareadas de Bosch and Hewlett (1982).

No entanto, estudos em bacias hidrográficas acima de dezenas de km<sup>2</sup>, na meso e macro escala, ainda são incipientes e, dos existentes, ainda apresentam dados discrepantes. As diferenças nos resultados estão associadas às proporções de conversão de uso das terras, nas novas formas de uso e respectivos manejos, na distribuição desigual da chuva no tempo e no espaço, nas condições de infiltração dos solos, etc.

Os estudos dos efeitos das transformações das paisagens no regime hídrico de bacias hidrográficas são de suma importância para as questões de planejamento ambiental. Respostas para as questões como “Quanto de cobertura do solo foi convertido?, Quais são as práticas de manejo associadas às novas formas de utilização das terras? Quais são as conseqüências para os regimes de cheia e de estiagem? Quais são as ações necessárias para garantir o abastecimento de água para a população? Como minimizar os efeitos dessa conversão?” tornam-se cada vez mais necessárias para o manejo e planejamento dos recursos hídricos.

Assim, as imagens do sensor Landsat TM e ETM apresentam-se como importantes registros históricos de uso das terras, disponibilizando informações bastante úteis no ramo da

hidrologia, permitindo a identificação da proporção da evolução e conversão do uso das terras em determinada paisagem.

Andreassian (2004), apresentou uma perspectiva histórica em relação às discordâncias em relação aos impactos hidrológicos das florestas. Segundo o autor, na Europa e nos países desenvolvidos, as conseqüências do desmatamento para a qualidade e quantidade de água já vem sendo discutidas desde a antiguidade, no entanto, ainda não existe um consenso de quais são os reais efeitos do desmatamento no regime hídrico das bacias hidrográficas, principalmente durante os eventos de cheia e estiagem.

Diante de tantas incertezas em relação aos reais efeitos da conversão de floresta para agricultura, Cosandey (1993) e Fritsch (1990) apud Andreássian (2004) concluíram que, a causa essencial para o aumento dos eventos de cheia em áreas desmatadas não é exatamente a redução da área de floresta, mas sim as condições em que essa redução ocorreu.

Assim, estudos que visam identificar a evolução do uso das terras, suas atuais condições tais como procedimentos de manejo adotados nas novas formas de uso das terras e o comportamento da chuva e vazão durante um período em que os dados sejam coincidentes são de suma importância para o manejo dos recursos hídricos.

O objetivo deste trabalho foi a identificação das possíveis alterações no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica de 307 km<sup>2</sup> em região montanhosa nos períodos de estiagem em função das alterações na paisagem partindo da análise de uso das terras, regime de chuvas do ano hidrológico e vazões de 30, 45, 60 e 75 dias de estiagem num período de 20 anos, de 1986 a 2005.

### 1.1 Área de estudos

A área de estudo consiste na bacia do rio Cachoeira a montante dos reservatórios, localizadas entre os paralelos 22° 50' 37.24" S e 23° 11' 43.65" S e os meridianos 46° 01' 56.20" W e 46° 17' 31.12" W, abrangendo uma área total de 307 km<sup>2</sup> (Figura 1).

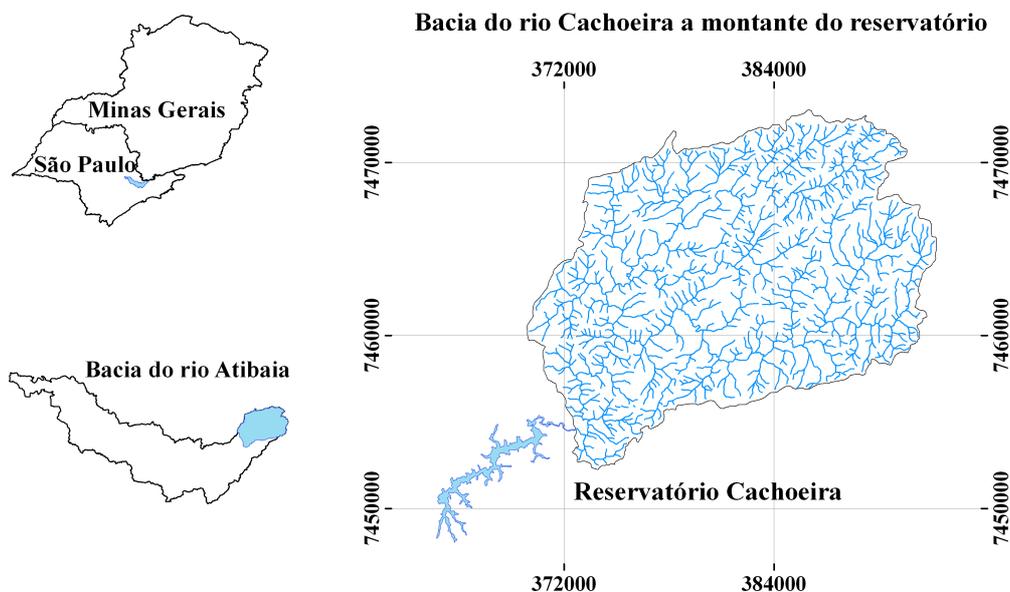


Figura 1: Localização da área de estudos no contexto regional.

A área de estudo pertence a Serra da Mantiqueira, face ocidental, estando inserida na área de nascentes da bacia do rio Atibaia, sub-bacia do rio Piracicaba. O clima predominante é o tropical de altitude, que consiste em chuvas concentradas no verão e invernos secos, sendo o

índice de pluviosidade influenciado pela proximidade do oceano, pelas massas tropicais atlânticas.

A área de estudos faz parte do Sistema Cantareira de Abastecimento de Água, que junto a outras três bacias hidrográficas, abastecem a região metropolitana de São Paulo e Campinas. Assim, a área de estudos contribui para o abastecimento hídrico de um total de 13 milhões de pessoas, na região economicamente mais desenvolvida do Brasil.

A área está inserida numa região de terras altas constituídas predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas que apresentam terrenos acidentados e relevo declivoso. As altitudes chegam a superar 1900 m e os assoalhos dos vales oscilam predominantemente, entre 750 m e 850 m, predominando as classes de declividade entre 25 a 45%, segundo classificação do Mapa de Solos do Estado de São Paulo/Embrapa/IAC (Oliveira et al,1999).

Os solos da área de estudos compreendem em solos rasos, bem a moderadamente bem drenados com argila de atividade baixa. São solos em sua maioria de fertilidade natural baixa/média, com potencial de produção para pastagens e reflorestamentos.

Nessa região, o desmatamento intenso das florestas naturais de mata atlântica ocorreu no século XIX para abrigar as plantações de café; posteriormente, devido à crise cafeeira de meados do século XX, a atividade desenvolvida foi a pastagem, uma vez que as altas declividades não permitiam a agricultura mecanizada.

## **2. METODOLOGIA DE TRABALHO**

### **2.1 Materiais:**

- Imagens dos sensores *Landsat TM* e *ETM* nas datas 06/08/1986, 02/08/1999, e 11/09/2005, com as bandas 3, 4 e 5, para os mapas de uso e ocupação das terras.

- Série histórica dos totais mensais dos postos de chuva localizados no interior e entorno da área de estudos, disponibilizados pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), ANA (Agência Nacional de Águas), e SIGRH (Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo).

- Série histórica de vazões diárias da entrada do reservatório Cachoeira disponibilizadas pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

### **2.2 Método**

#### **2.2.1 Uso das terras**

Para a definição da evolução dos tipos de uso e ocupação das terras, utilizou-se uma série histórica de imagens *Landsat TM* (1986, 1999 e 2005). O processamento das imagens consistiu em três etapas: georreferenciamento, classificação supervisionada, confirmação com dados de campo e correção das falhas da classificação anterior ao campo.

#### **2.2.2 Chuvas**

Em função da disponibilidade das informações de uso das terras, foram selecionados postos de chuva que melhor representasse a chuva regional e que obtivessem dados consistidos no intervalo dos anos de 1986 a 2005. Foram utilizados os totais anuais do ano hidrológico (outubro a setembro) dos postos Joanópolis (D3 054), Crioulos (E3 229) e Sabesp na seção Cachoeira para avaliação do ciclo anual climático completo.

Para avaliar o comportamento regional das chuvas utilizou-se a média dos totais anuais de chuva dos postos selecionados para cada ano hidrológico. Para representar a variação temporal do regime de chuvas na área de estudos foram plotadas em um gráfico a média dos totais anuais de chuva e gerada superfície de tendência por regressão linear simples (Equação 1).

(Equação 1)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

sendo,

**Y** - variável dependente (chuvas)

**X** - variável independente (ano hidrológico representado em números de 1 (1985 a 1986) a 19 (2003 a 2004) para posterior comparação aos dados de vazão).

**$\beta_0$**  e  **$\beta_1$**  - parâmetros ajustados na regressão pelo método dos mínimos quadrados, adimensional.

A equação representativa da tendência de variação da variável considerada ao longo do tempo, foi calculada a variação absoluta ( $\Delta Abs$ ) pela equação 2:

(Equação 2)

$$\Delta Abs = V_f - V_i$$

sendo,

**$V_f$** - valor da variável estudada para o final do intervalo considerado, e

**$V_i$** - valor da variável estudada para o início do intervalo considerado.

A variação relativa ( $\Delta Rel$ ) pertinente à variável considerada foi obtida pela equação 3:

(Equação 3)

$$\Delta Rel = (\Delta Abs / V_i) * 100$$

### 2.2.3 Vazões

Considerando que a variabilidade espacial das chuvas torna difícil a identificação de possíveis efeitos no aumento do escoamento superficial, optou-se por avaliar as vazões mínimas em 30, 45, 60 e 75 dias de estiagem para cada ano hidrológico no intervalo de 1986 a 2005. Os valores das vazões mínimas foram plotados em gráficos e para representar a variação temporal do ano hidrológico no regime de vazões para cada intervalo de estiagem considerado foi adotada a mesma metodologia utilizada para os dados de chuva.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Uso das terras

A Figura 2 apresenta os resultados da classificação supervisionada.

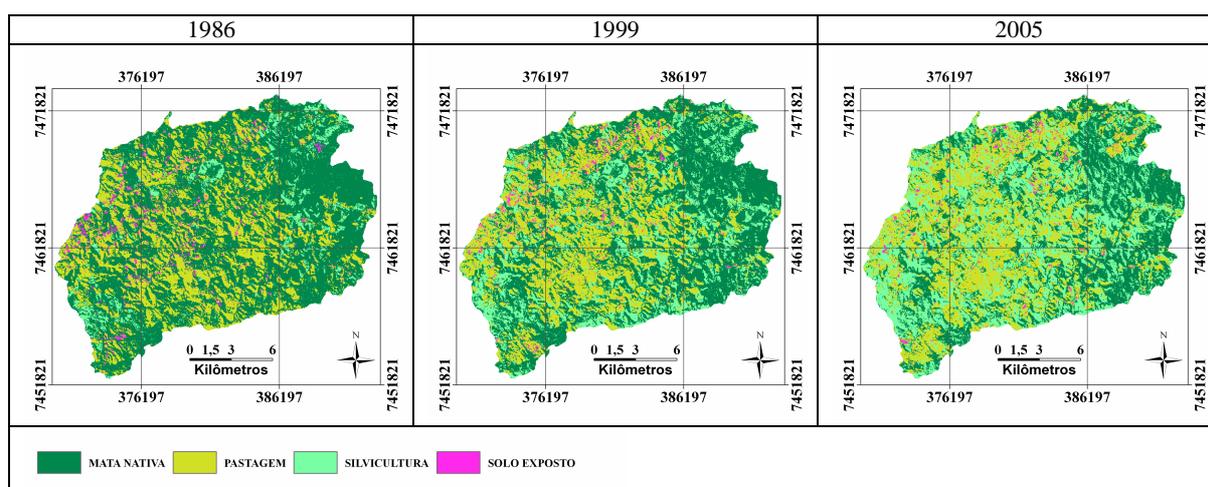


Figura 2: Distribuição do uso das terras na bacia do rio Cachoeira em 1986, 1999 e 2005.

Os resultados do uso das terras demonstraram que nos 3 anos analisados, a área de estudo possui fragmentos de mata secundária e atividades de silvicultura e pastagem. No entanto, ocorreram modificações nos usos das terras e suas proporções entre 1986, 1999 e 2005.

A tabela 1 demonstra a conversão de uso das terras nos anos de 1986, 1999 e 2005.

Tabela 1: Porcentagens do uso das terras na bacia do rio Cachoeira nos anos de 1986, 1999 e 2005.

	% da área total da bacia (307 km <sup>2</sup> )		
	1986	1999	2005
Mata Nativa	<b>62</b>	<b>48</b>	<b>34</b>
Pastagem	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>32</b>
Silvicultura	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>33</b>
Solo Exposto	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Total	100	100	100

Os resultados da Tabela 1 indicam um decréscimo de 62 para 34% nas áreas de mata nativa e um acréscimo de 6 para 33% nas áreas com silvicultura durante o período analisado. A partir de 1999 as velocidades de desmatamento aumentam significativamente. De 1986 a 1999 a velocidade de desmatamento foi de 3 km<sup>2</sup>/ano, enquanto entre 1999 a 2005 a velocidade foi de 6 km<sup>2</sup>/ano.

A Figura 2 demonstra que as áreas de mata que foram preservadas encontram-se na parte nordeste da bacia, nas porções mais altas, com declive acentuado.

A silvicultura se desenvolveu nos entornos dos fragmentos florestais e a pastagem foi se desenvolvendo nas linhas das estradas, adentrando as malhas rodoviárias.

Durante o período de 20 anos, de 1986 a 2005, a pastagem foi a atividade que se manteve estável. A principal mudança no uso das terras foi em relação à silvicultura e à mata nativa.

As áreas desmatadas distribuem-se nas porções intermediárias em direção às porções mais baixas da bacia, onde predominam os menores fragmentos de mata.

Os resultados demonstram também que as áreas desmatadas foram em sua maior parte substituída por silvicultura e, em menor parte por pastagem.

Em relação ao manejo das áreas de silvicultura, Pereira (2007) identificou que não existe planejamento nem assistência técnica para os agricultores. A finalidade da silvicultura é para a produção de lenha e carvão vegetal utilizados nas padarias e pizzarias na região metropolitana de São Paulo e o corte das toras é realizado de 4 a 5 anos, com utilização de fogo para eliminação dos galhos mais finos. A espécie das plantações é a *Eucalyptos urophylla* e as plantações das mudas são realizadas com aração e gradagem tendo o período de chuvas como preferência para o plantio.

### 3.2 Chuva

A variação relativa ( $\Delta Rel$ ) da chuva ao longo dos 20 anos hidrológicos observados, seguindo a equação da linha de tendência das chuvas foi de 20% entre o intervalo de 1985-1986 (ano 1) a 2003-2004 (ano 19).

### 3.3 Vazões

A figura 3 apresenta os resultados do comportamento das vazões na estiagem entre 1986 a 2005.

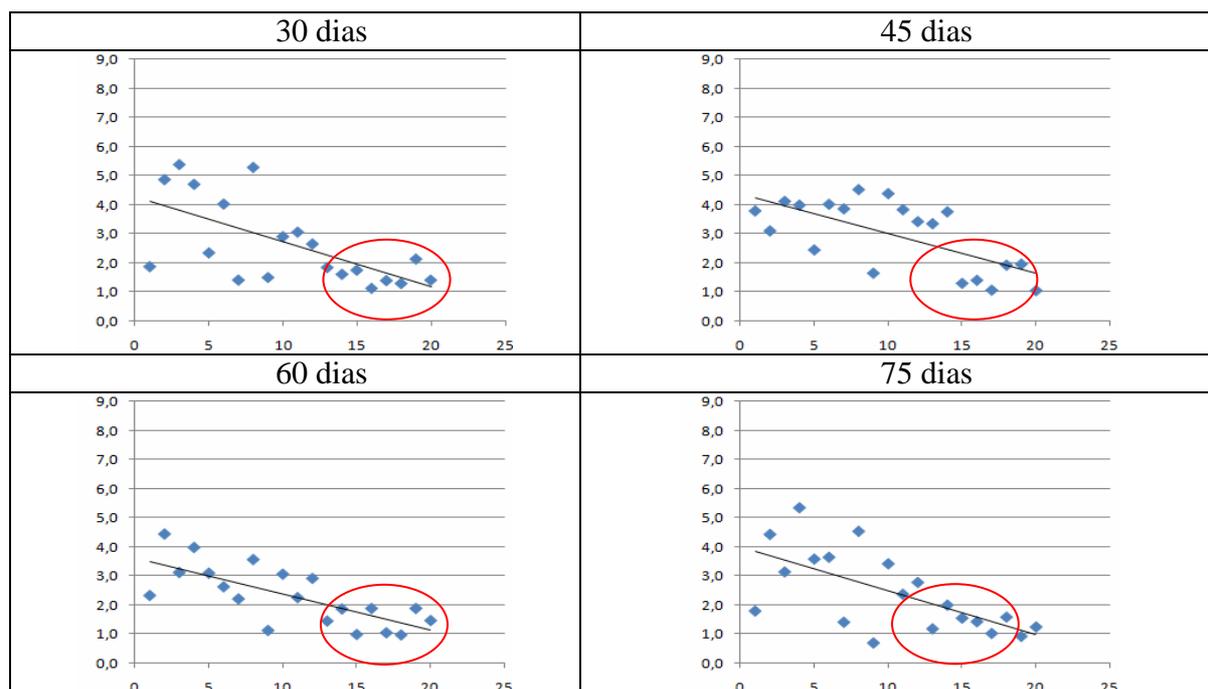


Figura 3: Comportamento das vazões, na entrada do reservatório Cachoeira, do ano de 1986 (ano 1) ao ano de 2005 (ano 20) nos períodos de estiagem (30, 45, 60 e 75 dias).

Os resultados das vazões mínimas para os 4 períodos de estiagem (30, 45, 60 e 75 dias) apresentados na figura 3 indicam que está havendo uma tendência de decréscimo significativo e que os menores valores registrados se iniciam a partir do ano hidrológico de 1999/2000, no qual ocorre uma queda brusca nas vazões mínimas.

A tabela 2 apresenta o comportamento da tendência de queda no regime de vazões a partir da  $\Delta Rel$  no período hidrológico estudado. Os resultados indicam que a bacia do Cachoeira apresentou decréscimo médio de 68% nas suas vazões.

Tabela 2: Apresentação da  $\Delta Rel$  das vazões no período hidrológico de 1986 a 2005.

Períodos de Estiagem	$\Delta Rel$ Cachoeira
30 dias	71%
45 dias	61%
60 dias	67%
75 dias	74%

Os resultados indicaram nítida tendência de queda no regime de vazões nos períodos de estiagem. A conversão de uso das terras para silvicultura e pastagem associadas às práticas agrícolas adotadas que vem ocorrendo nos últimos 20 anos na bacia do Cachoeira apresentam-se como os principais motivos para a queda no regime de vazões durante a estiagem.

A conversão de mata nativa e ou secundária para pastagem e silvicultura, com pastagem em estágio avançado de degradação e baixo potencial de forração e com sistema produtivo intensificado de colheita de madeira, utilizando fogo e aragem em terreno declivoso na silvicultura como já descrito por Pereira (2007) apresentam-se como os principais fatores que podem estar alterando o regime hídrico na bacia do Cachoeira.

Outros estudos também demonstraram a influencia do desmatamento e conversão de uso das terras no regime hidrológico de bacias hidrográficas, tais como os estudos de Wilk (2001), Costa (2003), Hall (1995), Lal (1996), entre outros.

Os resultados deste trabalho apresentam-se coerentes com estudos que associam a conversão de uso das terras com mudanças nas condições de escoamento superficial e capacidade de retenção de água em bacias hidrográficas. De acordo com Bruijnzeel (1990), teoricamente, a conversão de uso das terras de florestas para pastagem causará uma redução

na evapotranspiração, alterando os coeficientes de infiltração, tendo como efeito um aumento nas vazões durante o período de chuvas e uma diminuição nos períodos de estiagem.

No entanto, existe um consenso de que a heterogeneidade de uso das terras, solos, relevo e chuva que não se distribui igualmente no tempo e espaço são os principais fatores que impedem as generalizações dos estudos em bacias de menor porte para as bacias de maior porte. Os resultados de estudos em bacias de médio e grande porte são incipientes e ainda não atingiram um consenso.

Estudos de Qian (1983), Dyhr-Nielsen (1986), Wilk et al (2001), não indicaram alterações significativas nos regimes de chuva e escoamento e vazões em áreas com intenso desmatamento durante o período estudado em bacias de médio porte. Segundo Wilk et al (2001), a explicação é o crescimento de vegetação secundária nas áreas desmatadas, que acaba por reverter o processo de alteração no regime hídrico das bacias em função dos desmatamentos. Lal (1996) em seus estudos na Nigéria demonstrou que os impactos do desmatamento iniciam-se no primeiro ano seguido do desmatamento e tendem a decair conforme o solo se regenera com as novas culturas.

Os estudos de Qian (1983), Dyhr-Nielsen (1986), Wilk et al (2001) vão contra os resultados encontrados na bacia do Cachoeira. Uma das possíveis explicações para tal fato é que a bacia do Cachoeira além de apresentar desmatamento e intensificação do uso agrícola, apresenta práticas de manejo altamente impactantes para seu equilíbrio hidrológico.

Hunzinger (1997) em estudo realizado em floresta de montanha na Argentina, na Serra de San Javier, demonstrou as interferências do desmatamento no regime hidrológico. Os resultados do autor confirmaram que, na região, o desmatamento aumentou os riscos hidrológicos e erosivos durante o verão chuvoso e diminuiu os volumes de água durante o inverno seco.

Pereira et al (2007), em estudo realizado no rio Dourados, região subtropical brasileira, identificou decréscimos nas vazões nos períodos de estiagem de 7 dias de duração durante intervalo de 30 anos. O estudo de Pereira associa os decréscimos nas vazões durante os períodos de estiagem ao crescimento da agricultura irrigada durante os 30 anos analisados. Segundo Pereira et al (2007), a agricultura irrigada está interferindo diretamente nos coeficientes de escoamento das vertentes, causando diminuição nos coeficientes de infiltração, que resultam em diminuição da recarga do lençol freático, responsável pela manutenção do nível dos rios em períodos de estiagem.

Costa et al (2003) analisaram os efeitos da conversão de uso das terras de cerrado para pastagem nas chuvas e vazões do rio Tocantins, região sudeste da Amazônia, com área de 175,360 km<sup>2</sup>. A conclusão do estudo de Costa et al (2003) é de que as chuvas não sofreram alterações durante o intervalo estudado, as taxas de evapotranspiração e infiltração foram reduzidas durante o período de chuvas em áreas que sofreram desmatamento, no entanto, tais reduções não foram suficientes para produzir reduções nas vazões durante a estiagem.

Siriwardena (2006) estudou os impactos das mudanças de uso das terras numa bacia hidrográfica de 16,440km<sup>2</sup> na Austrália no período de pré e pós-desmatamento. Os autores identificaram que no período pos desmatamento, o escoamento aumentou em 78% em relação ao período anterior ao desmate. A área de floresta foi reduzida de 82% da área da bacia para 38%.

Os estudos de Hunzinger (1997), Pereira et al (2007), Costa et al (2003), Siriwardena (2006) parecem comprovar a relação de que há uma modificação significativa no regime hidrológico em função das modificações de uso das terras, principalmente, quando essas modificações estão relacionadas à conversão de mata nativa e ou secundária para fins agrícolas.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os resultados deste trabalho indicaram que a área de estudos sofreu alterações no uso das terras no período de 1986 a 2005 e que as maiores velocidades de desmatamento ocorreram a partir do ano de 1999.

A chuva não apresentou tendência de queda significativa, no entanto, as vazões apresentaram tendência de queda de 70 % em 75 dias de estiagem. A tendência de queda das vazões mínimas foram diretamente proporcionais às velocidades de desmatamento ocorrentes no mesmo período estudado. A partir de 1999, as velocidades de desmatamento aumentam e as vazões apresentam os menores valores em 75 dias de estiagem.

A relação entre a tendência de queda das vazões durante os períodos de estiagem e as velocidades de desmatamento na área pode ser considerada forte indicador de que a conversão de uso das terras de floresta secundária para pastagem e silvicultura, (em áreas declivosas e solos pouco férteis) é a principal causa das alterações hidrológicas.

Assim, ao que tudo indica, as velocidades de desmatamento e as práticas agrícolas adotadas nas novas formas de uso das terras são as principais causas das alterações no regime das vazões em períodos de estiagem, indicando que as políticas públicas devem adotar ações que busquem diminuir o desmatamento na área e adotar práticas de manejo adequadas a sustentabilidade da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andréassian, V. (2004). Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology** 291, (1-27).
- Costa, M. H.; Botta, A.; Cardille, J. A. (2003). Effects of large scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**. 283 206-217.
- Dyhr-Nielsen, M. (1986). Hydrological effect of deforestation in the Chao Phraya basin Thailand. **International symposium on tropical forest hydrology and application**, Chiangmai, Thailand 12p.
- Hall, M J.; Sahin, V. (1996). The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**. 178 293-309.
- Hunzinger, H. (1997). Hydrology of Montane forests in the sierra de San Javier, Tucuman, Argentina. **Mountain Research and Development**, Vol. 17 n.4. 299-308.
- Kunkle, G. R. (1962). The baseflow duration curve, a technique for the study of groundwater discharge from a drainage basin. **Journal of Geophysical Research** 67 (4): 1543-54.
- Lal, R. (1997). Deforestation effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. IV Hydrology and water quality. **Land degradation and development**, vol 8 (95-126).
- Meyboom, P. (1961). Estimating groundwater recharge from streamflow hydrographs. **Journal of Geophysical research** Vol 66 (4), 1203 – 14.
- Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. (1999). **Mapa de Solos do Estado de São Paulo**. Embrapa/IAC.
- Pereira, S. b.; Alves Sobrinho, T.; Fedatto, E.; Peixoto, P.P.P.; Bonacina, R. (2007). Variação Temporal do Comportamento Hidrológico na Bacia do rio Dourados no período de 1973 a 2002. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**. Vol 27. N. 2 560-568.
- Pereira, V. R. (2007). **Identificação de Áreas com Potencial para a Produção de Sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira: os reservatórios de Cachoeira e Atibainha**. Dissertação de mestrado. Universidade estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, 103p.
- Qian, W. C. (1983). Effects of deforestation on flood characteristics with particular reference to Hainan island, China. **International Association of Hydrological Sciences Publication** 140, p. 249-258.
- Siriwardena, L.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. (2006). The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia. **Journal of Hydrology**, 326 (199-214),
- Smakhtin, V.U. (2001) Low flow hydrology: a review. **Journal of Hydrology** 240: 147-186.
- Wilk, J.; Andersson, L; Plermkamon, V. (2001). Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. **Hydrological Process**. Vol 15, 2729-2748.