

METODOLOGIA DE ANÁLISE DA ECONOMIA HÍDRICA EM BACIAS DEGRADADAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO JAGUARI/MG-SP

Arthur Benedicto Ottoni¹, Jacqueline de Souza Botan², Leticia Machado Daniel³

¹*Professor Universidade Federal de Itajubá/MG, e-mail: arthurotoni@unifei.edu.br;*

²*Engenheira Ambiental da Universidade Federal de Itajubá /MG;* ³*Graduanda em Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Itajubá.*

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica; Alterações das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica; Indicadores de Recursos Hídricos em Bacia Hidrográficas; Rio Jaguari/MG-SP.

RESUMO

O presente artigo apresenta uma síntese dos resultados mais relevantes do Trabalho de Fim de Curso (TFG) desenvolvido em nov. / 2011 da aluna Jacqueline de Souza Botan do Curso de Engenharia Ambiental da UNIFEI, cujo título é “Metodologia de Análise da Economia Hídrica em Bacias Degradadas: Estudo de Caso da Bacia do Rio Jaguari- MG-SP”. O objetivo deste trabalho foi caracterizar qualitativamente e quantitativamente a influência da urbanização e ocupação da área da bacia hidrográfica do rio Jaguari sobre seu regime fluviométrico através de Indicadores de Recursos Hídricos-IRH. O rio Jaguari é um rio federal com nascentes em MG e foz em SP no rio Piracicaba, na altura do município de Americana/SP. Este rio se mostra de relevante importância, pois é o contribuinte majoritário do Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento da Grande São Paulo (RMSP), sendo dele transposto cerca 22mil litros por segundo, o equivalente a 66% da demanda do Sistema. Ele é motivo de conflitos entre a SABESP e o Comitê de Bacias PCJ. É abordado sucintamente as características do Sistema Cantareira e a importância do rio Jaguari para o mesmo. São apresentados o Posto Fluviométrico de referência para os estudo e as análises de consistência dos dados hidrológicos. São descritas de forma sucinta as características físicas locais referentes a pedologia, geologia e topografia da bacia. É avaliada a evolução temporal da população no município de Bragança Paulista, considerada como referência para os estudos, tratada como um indicador do nível de urbanização da mesma e ocupação do solo da bacia, com pressão sobre seus os usos da água. Os dados fluviométricos no Posto

Fluviométrico selecionado são estudados no período de 60 anos (1943-2003) e determinado o comportamento das vazões na calha do rio ao longo do período analisado através dos Indicadores qualitativos e quantitativos de Recursos Hídricos -IRH, estes divididos em Indicadores de Degradação Hidrológica-IDH e Indicadores de Economia Hídrica-IEH, sendo os mesmos correlacionados aos dados de ocupação da bacia(população) . Na Conclusão, mostra-se a redução da vazão do rio Jaguari no período de estudo, sendo a mesma relacionada, entre outros fatores (irrigação, usos industriais), à ocupação da bacia, com consequente redução da infiltração e armazenamento da água, e à transposição de vazões para o Sistema Cantareira.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica, ou ecossistema continental, é composta por um conjunto de disponibilidade de recursos naturais, tais como as características de solo, clima, vegetação, minerais e recursos hídricos, os quais notabilizam a mesma como uma “função multiobjetiva”.

Tais ofertas naturais propiciam a exploração pelo Homem, e desta maneira, ao longo do tempo, esta, inicialmente Bacia Natural e Florestada (Δt_0), sofre alterações nos seus espaços físicos: com a retirada da vegetação para o incentivo ao pasto, transformando a mesma em uma Bacia Rural (Δt_1). Para um tempo posterior (Δt_2), intensificam-se o uso e ocupação do solo, com o surgimento de cidades, indústrias e agro indústrias (urbanização), e esta torna-se uma Bacia Rural-Urbana. Ou seja, para um Δt Total= $\Delta t_1 + \Delta t_2$, houve um aumento das condições de impactos ambientais (negativos) da bacia devido ao mal uso/ocupação do seu solo, caracterizado pela falta de planejamento no processo de urbanização da bacia.

Os recursos hídricos (disponibilidades hídricas ou “água útil”) da bacia é um dos recursos naturais mais importantes ao longo do processo de uso e ocupação do solo, dado, também, às suas características “multi-objetivas” de utilização para diversas finalidades dos “processos antrópicos” mal planejados, tais como irrigação, dessedentação de animais, abastecimento público e industrial e geração de energia, alguns destes usos consuntivos, como o abastecimento, a dessedentação e a irrigação.

Desta forma, para o intervalo de tempo total (Δt Total), as disponibilidades hídricas da bacia tendem a ser alteradas, seja por “consumos” mal planejados e/ou por alterações nas suas condições ambientais que afetam o balanço hídrico relacionado aos parâmetros do ciclo hidrológico referentes a Infiltração(I) e ao Escoamento Superficial(ES), ou seja, com o passar

dos anos a degradação da bacia altera o balanço hídrico, e a tendência é que $ES \gg I$ (bacia degradada).

Esta alteração se repercute no regime hidrológico do rio que drena a bacia (degradada), com incremento do escoamento superficial nos períodos chuvosos (aumento das chances de enchente) e a redução do subterrâneo (aumento das chances de carência hídrica) nas estiagens. O presente artigo visa avaliar a evolução das disponibilidades hídricas em uma bacia degradada (rio Jaguari/ MG-SP) a partir da análise dos Indicadores de Recursos Hídricos (IRH) propostos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ciclo hidrológico é a descrição do comportamento da água quanto à sua ocorrência e transformação.

No aspecto de aplicações à engenharia, ele é composto por duas fases (atmosférica e terrestre), e dividido em quatro etapas: evaporação (na superfície de água e solos) e transpiração (de vegetais e animais), precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho), escoamentos superficiais ou *run-off* (rios e lagos) e a infiltração (escoamentos subterrâneos), conforme Figura 1.

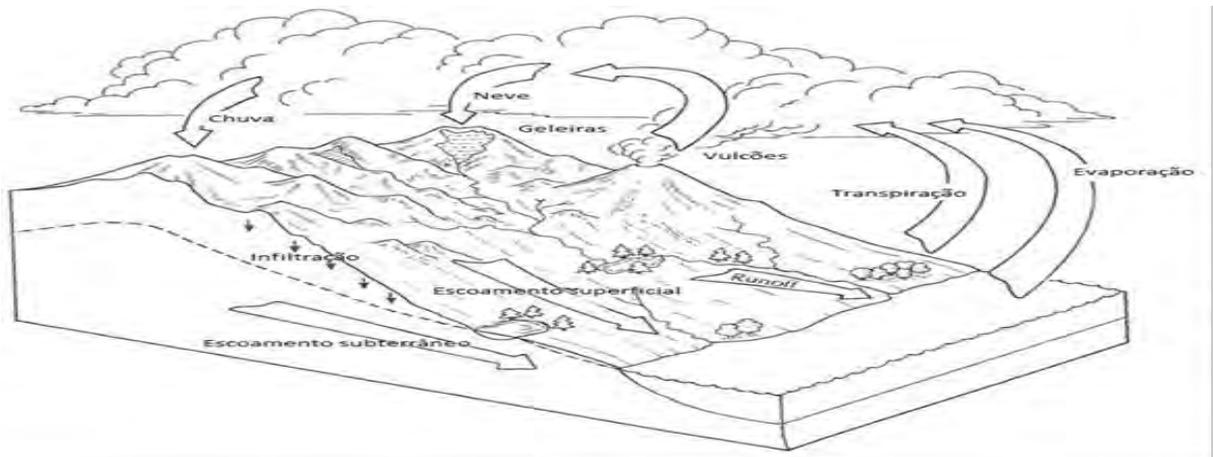


Figura 1: Diagrama do ciclo hidrológico (Adaptado de FETTER, 2001).

Bacia hidrográfica é a área de captação natural de água da precipitação com a convergência desta para um único ponto de saída denominado exutório (TUCCI, 1997). Ou seja, é o conjunto de áreas com declividades no sentido de determinada seção de um curso d'água, sendo delimitada pelos topos de morros, chamados de *divisores d'água ouvertentes* (GARCEZ e ALVAREZ, 1988), conforme Figura 2.

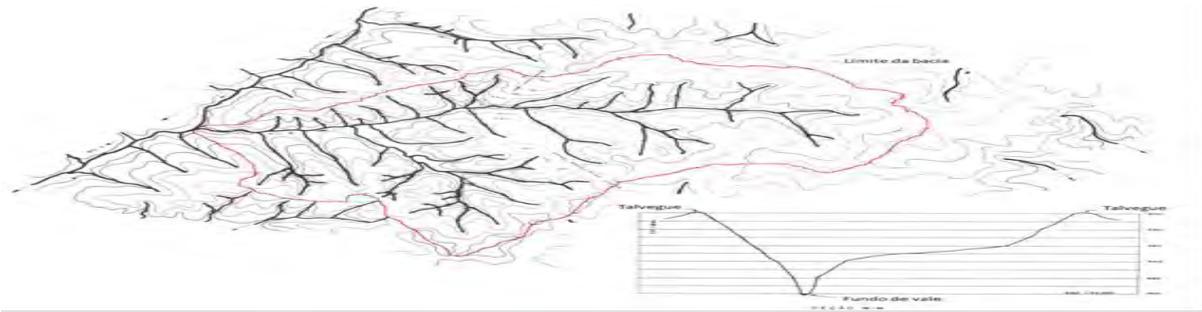


Figura 2: Exemplo de bacia com indicação de sua delimitação e perfil transversal (Adaptado de GARCEZ e ALVAREZ, 1988).

O ciclo hidrológico pode também ser representado pelo Modelo Chuva x Vazão: $I \times B = O$, sendo I o **regime de chuvas** da bacia (deflúvios pluviais), B as **condições intrínsecas** a bacia (variáveis físicas, bióticas e antrópicas), e O representa o **regime das vazões de calha fluvial e subterrâneas** (deflúvios de calha fluvial e de água subterrânea). Analisando-se o Sistema, conclui-se que I da bacia varia em função das mudanças climáticas globais (Efeito Estufa; El-Nino/La Nina e locais) e das condições e localização /latitude da bacia (insolação, evaporação, etc.); que a variável B varia principalmente com o grau de antropismo (urbanização) imposto sobre a bacia (urbanização e usos da água); e O representa o resultado de I sobre B, ou seja, mostra as intensidades das suscetibilidades da bacia para “crises hídricas” (enchentes e carência hídrica), com alterações nas vazões de calha fluvial (Hidrograma de calha fluvial), hoje bastante comum nas bacias hidrográficas (OTTONI, 2010). A Figura 3 mostra as alterações de um Hidrograma de cheia a partir do desenvolvimento ao longo do tempo da bacia.

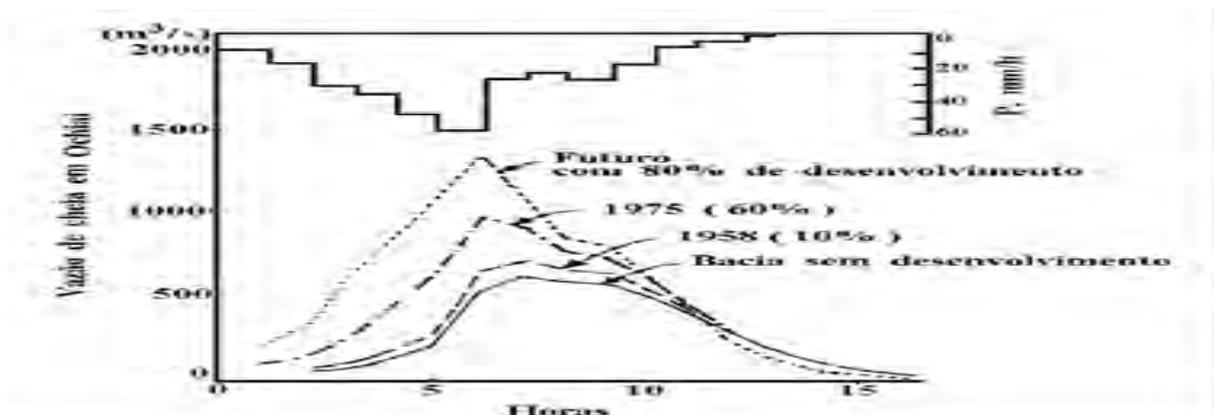


Figura 3: Comparação do Hidrograma em Diferentes Estágios de Urbanização (YOSHIMOTO & SUETSUGI, 1990 *apud* TUCCI, 1997).

Os impactos na variável “O” do Modelo (regime de vazões subterrâneas e superficiais) podem ser mensurados a partir dos Indicadores de Recursos Hídricos-IRH, que retratam qualitativamente (IDH-Indicadores de Degradação Hidrológicos) e quantitativamente (IEH-

Indicadores de Economia Hídrica) as alterações ao longo do tempo no regime hidrológico da bacia.

O IDH compara a estatística das vazões de estiagem (Q95) e enchente(Q5) em relação a vazão média (Qm) de uma série hidrológica , sendo os mesmos representados pelos Coeficientes de Perenidade de Estiagem (p), Enchente (P) e de Amplitude(m) (OTTONI,2010), conforme Equações 1 a 3 :

$$P = Q5/Qm \quad (\text{Equação 1});$$

$$P = Qm/Q95 \quad (\text{Equação 2});$$

$$M = P \times p \quad (\text{Equação 3}).$$

Sendo:

Q5 a vazão (m³/s) de cheia com frequência de 5% obtida na Curva de Permanência de Vazões Decrescente de uma série hidrológica;

Q95 a vazão (m³/s) de estiagem com frequência de 95% obtida na Curva de Permanência de Vazões Decrescente e uma série hidrológica;

Qm a vazão (m³/s) média da série hidrológica.

Para Bacias Naturais tais Indicadores são próximos a unidade (1,000), ou seja, os valores de Q95 e Q5 são mais próximos de Qm (OTTOINI,2010).

Os IEH analisam os regimes das vazões (deflúvios) superficiais e subterrâneos de calha fluvial em um período a partir do Hidrograma (Figura 4), sendo os mesmos representados pelos Rendimentos Hidrológico Superficial (rh_S) e subterrâneo (rh_B) , conforme Equações 4 e 5 (OTTONI, 2010).

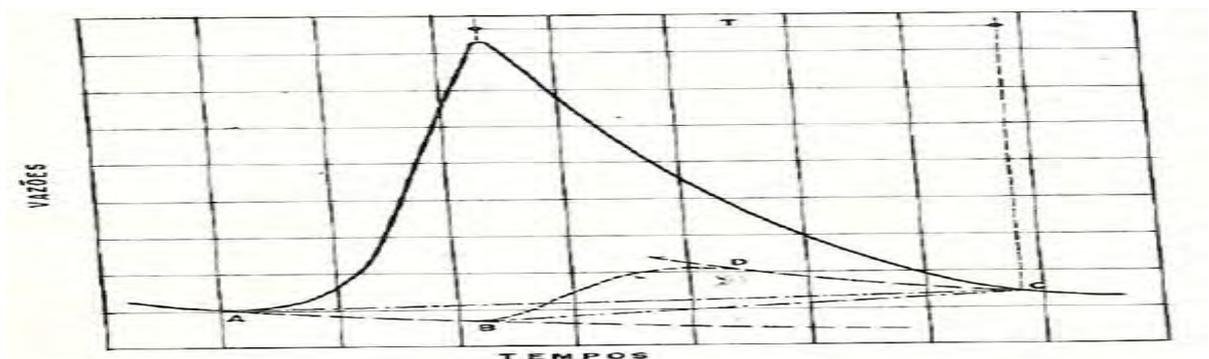


Figura 4: Separação das Contribuição Subterrânea (PINTO,el al,1976).

$$rh_S = DB/DT. \quad (\text{Equação 4});$$

$$rh_B = DS/DT. \quad (\text{Equação 5}).$$

Sendo:

DB o deflúvio de base (em milhões de m³) da Hidrógrafa anual;

DS o deflúvio superficial (em milhões de m³) da Hidrógrafa anual.

Para Bacias Naturais, $0,15 \leq rh_S \leq 0,30$ e $0,70 \leq rh_B \leq 0,85$ (OTTONI,2010)

METODOLOGIA

Inicialmente foi feito um levantamento dos Postos Fluviométricos localizados na bacia do rio de Jaguari através da base de dados do sistema Hidroweb/ANA no site <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Com essa busca, foram selecionados dois Postos Fluviométricos (PFL-1 e PFL-2).

Os dados de vazões médias diárias de PFL-1 passaram por um pré-processamento (análise de consistência dos dados) para o preenchimento das falhas existentes na série. Esta correção das falhas foi feita pela metodologia da média aritmética das vazões do dia anterior e posterior ao dia com falha (falhas pontuais) e por correlação de dados entre os Postos (PFL-1 e PFL-2), seja: $Q_1 = f(Q_2)$ (falhas contínuas).

Com a série de vazões diárias em PFL-1 completa, foram calculadas as vazões médias mensais do Posto para o período global da série (60 anos: 1943-2003). As vazões foram ordenadas por mês no “ano hidrológico da Região Sudeste”, de outubro a setembro.

Com a série de vazões mensais em PFL-1 disponível, agrupou-se as mesmas em intervalos de 5 anos (hidrogramas médios mensais de 5 em 5 anos), totalizando 12 períodos (Δt) de dados para a série global analisada (1943-2003).

As análises das disponibilidades hídricas da bacia do rio Jaguari em relação ao Posto PFL-1 (Bragança Paulista) foram feitas com os dados de vazão dos Hidrogramas médios mensais de 5 em 5 anos para o período da série (períodos Δt).

A partir dos dados ordenados por ano hidrológico e por períodos (Δt), foram determinados os Indicadores de Recursos Hídricos-IRH que retratam qualitativamente e quantitativamente as condições de disponibilidades hídricas (água útil) da bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista. São eles os Indicadores de Degradação Hídrica (IDH) (qualitativos) e os Indicadores de Economia Hídrica (IEH) (quantitativos).

Os Indicadores de Degradação Hídrica-IDH (qualitativos) são representados pelos Indicadores de Enchente (P), de Estiagem (p) e de Amplitude Máxima (m). Para o cálculo dos mesmos por período Δt (12 períodos Δt), foi realizado estudo estatístico das vazões, este baseado nas Curvas de Permanência de Vazões (por período Δt), sendo a partir destas obtidas as vazões características (por período Δt) de enchente (Q5), média (Qm), mediana(Q50) e a de estiagem(Q95) (Figura 5).

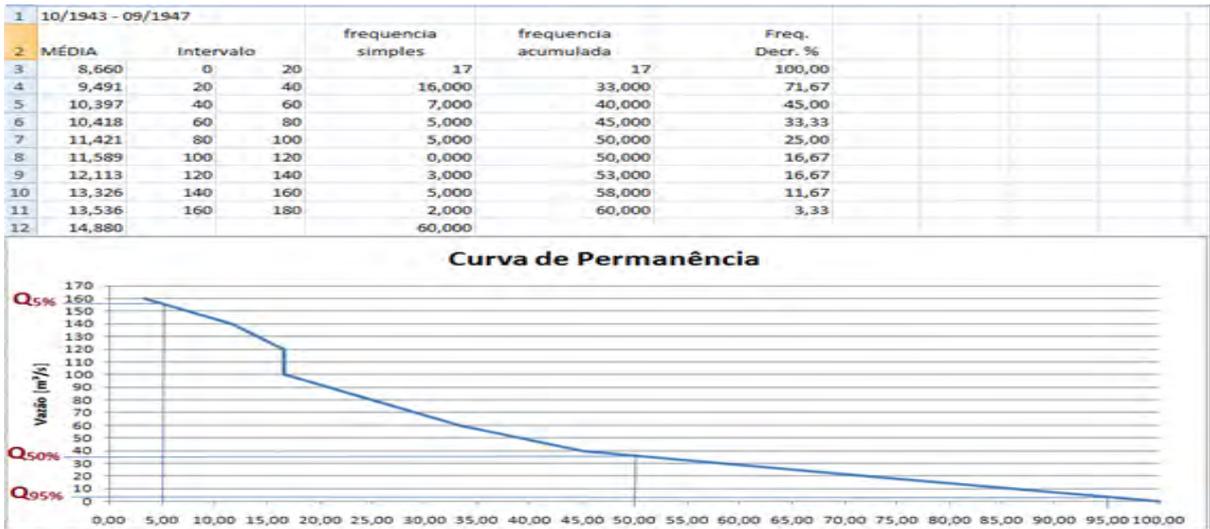


Figura 5: Obtenção de $Q_{5\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{50\%}$ e Q_M .

Com os valores de $Q_{5\%}$, $Q_{95\%}$ e Q_M em cada período Δt , foram obtidos os valores de P , p , m na bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista por período Δt , conforme equações 1 a 3, respectivamente.

Analisou-se a seguir a variação no tempo dos IDH's da série global de 60 anos (12 períodos Δt).

Os Indicadores de Economia Hídrica (IEH's) (quantitativos) são representados pelos Rendimentos Hidrológicos de Base (rh_b) e superficial (rh_s). Para o cálculo destes Indicadores na bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista foram plotados os Hidrogramas por período (Δt). Para separação das vazões superficiais (Q_s) e de base (Q_b) de cada período Δt , utilizou-se a metodologia exemplificada na Figura 4: traçar uma linha reta ("reta de separação dos escoamentos") unindo os meses de outubro a março (estação chuvosa) no Hidrograma (por Δt), sendo as vazões superficiais as que estão acima da reta e as de base ou subterrânea as que estão abaixo da reta, como mostrado na Figura 6.

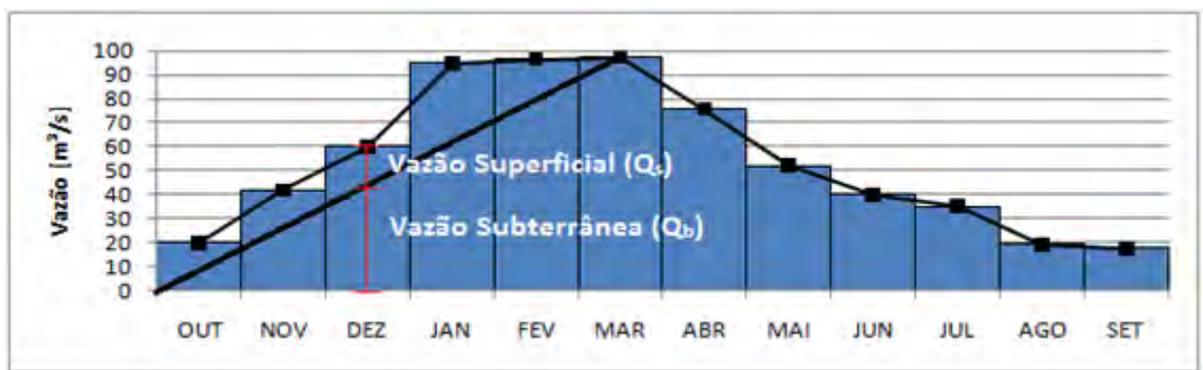


Figura 6: Metodologia para Obtenção das Vazões Totais, Subterrânea e Superficial a partir do Hidrograma das Vazões Médias Mensais de um Período Δt .

Os valores de vazão superficial e de base foram multiplicados pela quantidade de segundos de cada mês para obter-se os deflúvios mensais (DB, DS, DT), em 10^6 m^3

Com os valores dos deflúvios obtidos, foram calculados o Rendimentos Hidrológicos Superficial (rhs) e de Base (rhb) de cada período Δt da bacia do rio Jaguaribe em Bragança Paulista a partir das equações 4 e 5, respectivamente.

Foi também analisada população da bacia para avaliar o impacto desta nas vazões do rio Jaguari. Adotou-se a cidade de Bragança Paulista, por ser a mesma a maior da bacia em estudo, e, portanto, uma referência para as análises comparativas entre os usos da água e as disponibilidades hídricas naturais da bacia.

RESULTADOS

Figura 7: Características dos Postos Fluviométricos.

	Código do posto	Localização		Anos de dados	Cidade
		Latitude	Longitude		
PFI-1	62600000	22°52'59" S	46°38'04" O	1943 - 2007	Bragança Paulista/ SP
PFI-2	62615000	2°42'31" S	46°59'13" O	1971 - 2007	Jaguariuna/ SP

Na Figura 7 é apresentada as características dos Postos Fluviométricos da bacia (PFI-1 e PFI-2).

A delimitação da bacia do Rio Jaguari, do município de Bragança Paulista e a localização do Posto Fluviométrico (PFI-1) utilizados são apresentados na Figura 8. A área total da bacia do rio Jaguari na sua desembocadura no rio Atibaia é de 1033km², e em relação ao Posto Fluviométrico selecionado de 432km². Foi usado o Posto Fluviométrico PFI-1 por apresentar uma série hidrológica maior, com o histórico de 65 anos de dados de vazões diárias. Assim, na bacia do rio Jaguari, representada pela área de drenagem de PFI-1, de 432km², é que foram realizados os estudos hidrológicos com vista à análise das disponibilidades hídricas deste manancial hídrico a partir dos IRH.

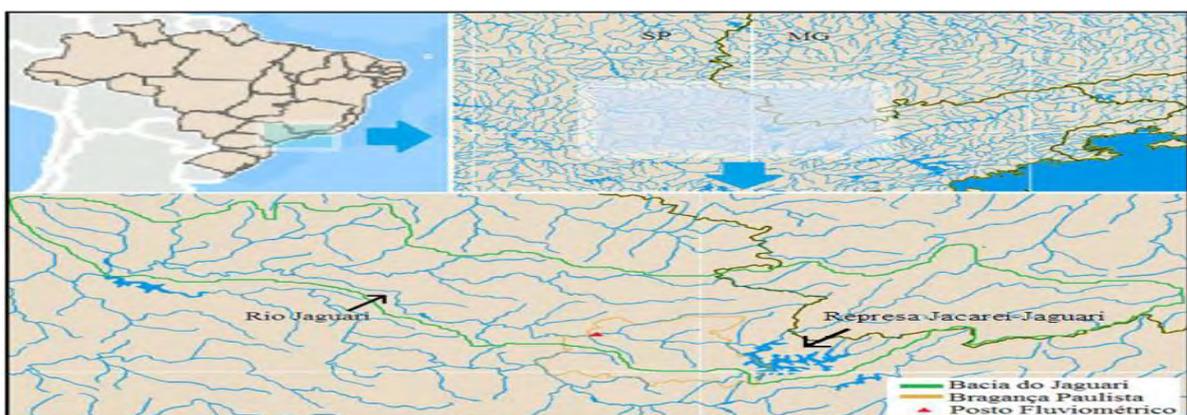


Figura 8: Localização da Seção dos Estudos (PFI-1).

A Figura 9 mostra os períodos em intervalos de 5 anos (Hidrogramas médios mensais de 5 em 5 anos) das vazões agrupadas , totalizando 12 períodos (Δt) de dados para a série global analisada (1943-2003).

Figura 9: Períodos das Análises por Ano Hidrológico			
Período	Anos	Período	Anos
Período 1	10/1943 – 09/1948	Período 7	10/1973 – 09/1978
Período 2	10/1948 – 09/1953	Período 8	10/1978 – 09/1983
Período 3	10/1953 – 09/1958	Período 9	10/1983 – 09/1988
Período 4	10/1958 – 09/1963	Período 10	10/1988 – 09/1993
Período 5	10/1963 – 09/1968	Período 11	10/1993 – 09/1998
Período 6	10/1968 – 09/1973	Período 12	10/1998 – 09/2003

As formações pedológicas, geológicas e tipo de relevo da região da bacia onde está localizada a bacia do rio Jaguari em relação ao Posto PFI-1 são apresentados nas Figuras 10 a 12.

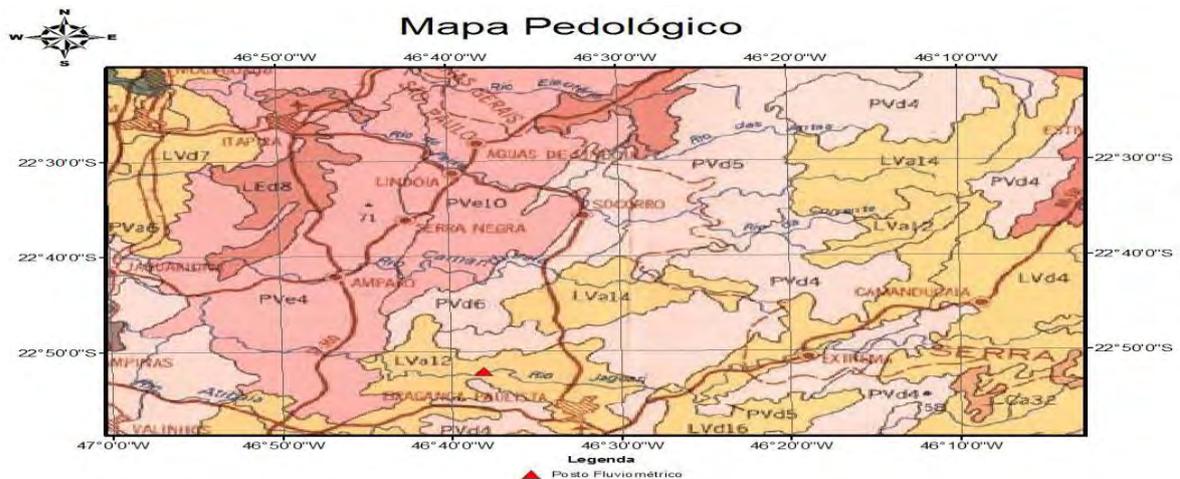


FIGURA 10: Mapa pedológico da localização do posto fluviométrico (Brasil, 1983).

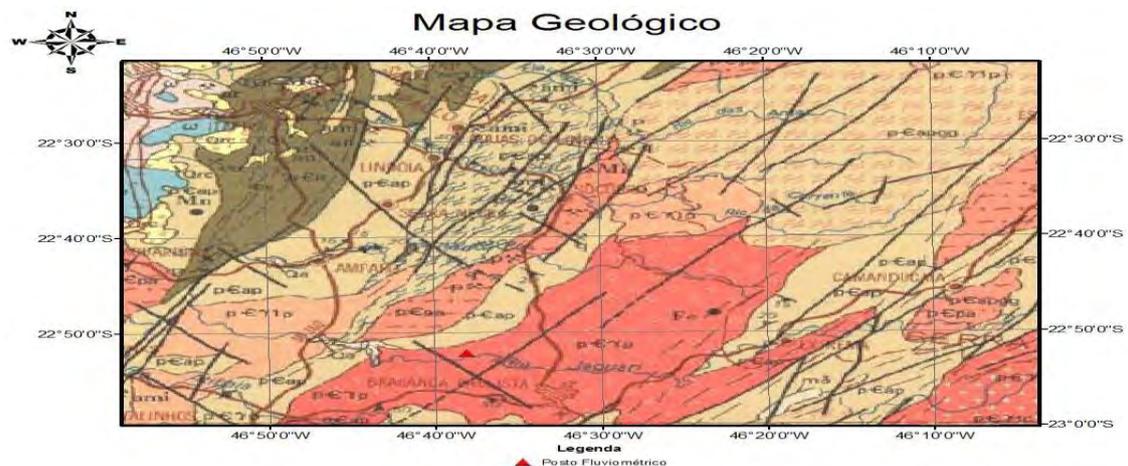


FIGURA 11 : Mapa geológico da localização do posto fluviométrico (Brasil, 1983).

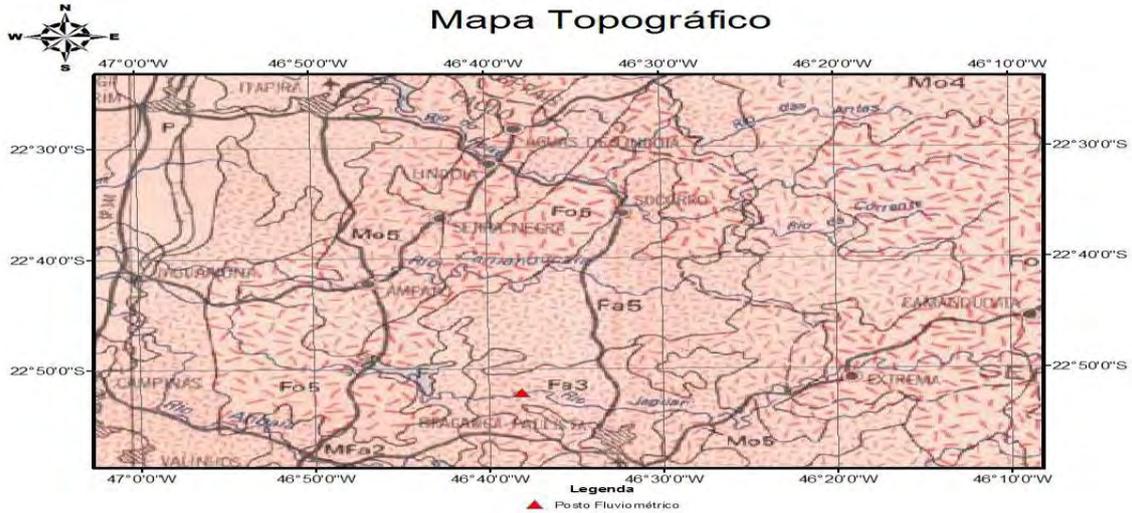


FIGURA 12: Mapa topográfico da localização do posto fluviométrico (Brasil, 1983).

De acordo com Brasil (1983), a área da bacia do rio Jaguari na qual está o Posto PFI-1 apresenta Latossolo Vermelho Amarelo Álico moderadamente argiloso (LVa12), caracterizando um solo profundo com avançado estágio de intemperismo e alto grau de agregação dos colóides, o que torna o solo muito poroso e resistente a erosão. A formação geológica é de granitos pós-tectônicos com variações texturais ($\rho\epsilon\gamma\rho$) e relevos colinosos (declividades de até 15%), com vertentes convexas apresentando equilíbrio entre os processos morfogenéticos e pedogenéticos (Fa3). (BOTAN,2011).

Após definido o ponto de estudo como sendo a seção do rio Jaguari em Bragança Paulista (Seção PFI-1), foram baixados os dados de população da cidade de Bragança Paulista para se avaliar o uso e ocupação do solo da bacia no período global dos estudos. Para esta análise adotou-se a cidade de Bragança Paulista, por ser a mesma a maior da bacia em estudo, e, portanto, uma referência para as análises comparativas entre os usos da água e as disponibilidades hídricas naturais da bacia. Não foram analisados os outros usos consuntivos da água da bacia (irrigação e água de indústria), certamente com elevado impacto/pressão de usos sobre a bacia. O gráfico gerado com esses dados para observações do comportamento da população no tempo é apresentado na Figura 13.

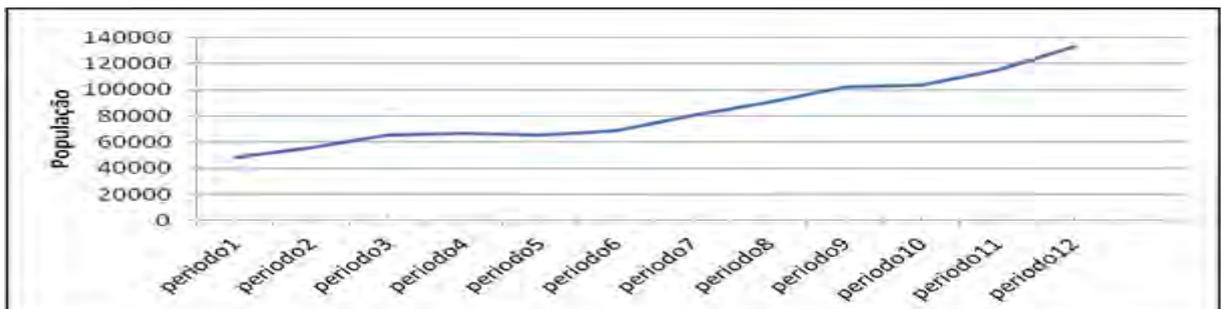


Figura 13: Variação da População de Bragança Paulista no Período de 1943 a 2003.

Está em operação na bacia do rio Jaguari desde 1982 o Sistema Cantareira (Figura 14), o qual transpõe a vazão de 22 m³/s deste manancial para o abastecimento da RMSP, sendo esta captação (usos da água) conflitante com os usos da água do Comitê PCJ.

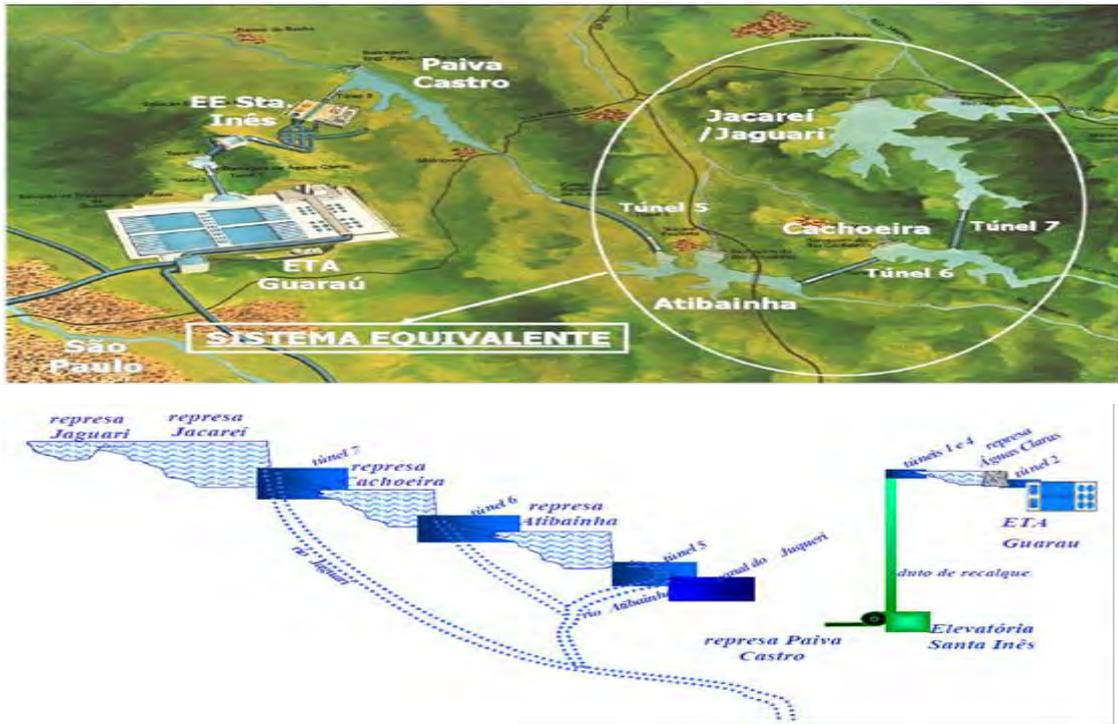


Figura 14: Esquema do Sistema Cantareira (ANA, 2007).

A partir das vazões médias mensais (Q_m) de cada período Δt , foi obtido o Hidrograma da variação das vazões ao longo dos 12 períodos, de modo a avaliar-se a evolução da mesma na bacia ao longo do período global dos estudos (out/1943-set/2003), conforme Figura 15.

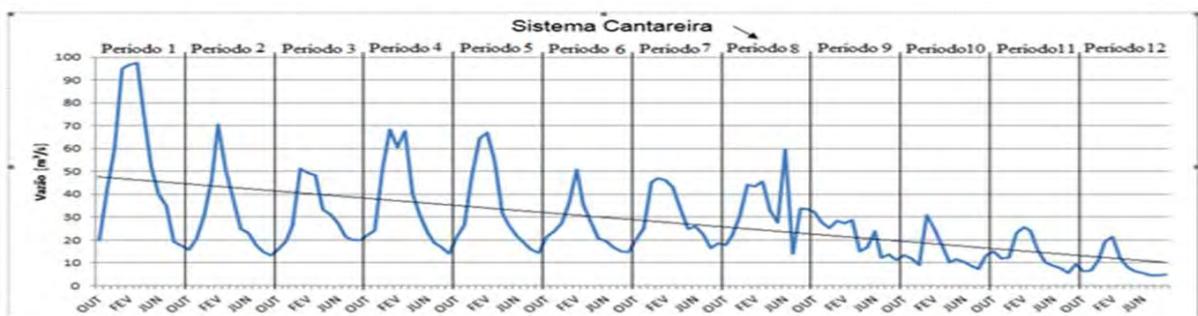


Figura 15: Variação das Vazões de Calha do rio Jaguari no Período OUT./1943-SET./2007.

Para cada período (Δt) foi calculada a vazão média anual (do período Δt) e para o resultado gráfico plotou-se também a evolução da população por período Δt para efeito comparativo entre as disponibilidades hídricas de calha fluvial do rio Jaguari e o uso/ocupação do solo da bacia em relação Bragança Paulista e seus usos de água (de abastecimento) (Figura 16), não sendo analisado no projeto os impactos nos usos da água da bacia devido as indústrias e irrigação em operação .

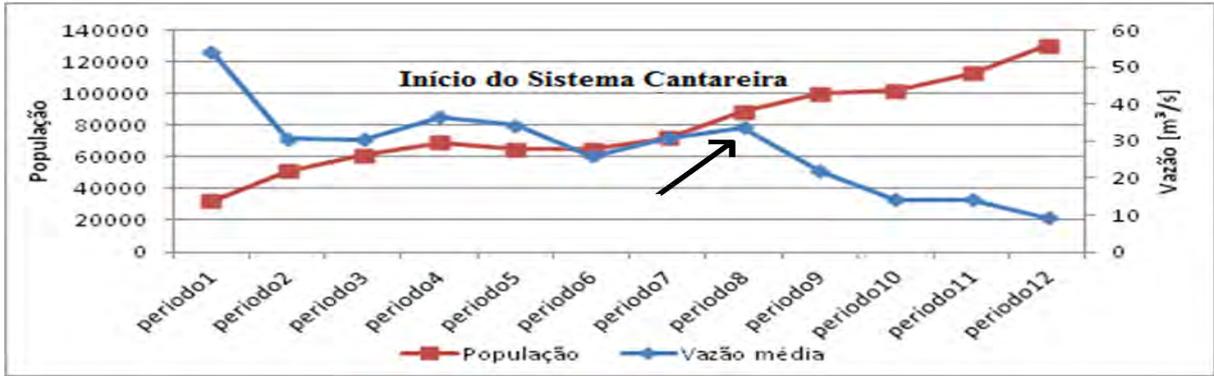


FIGURA 16: Vazão Média Anual por Período Comparado ao Crescimento Populacional.

Na Figura 17 são apresentados os resultados dos deflúvios superficial (DS) e de Base (DB) interpretados dos Hidrogramas no período global analisado (1943-2003).

Figura 17 Valores dos deflúvios anual por período Δt ($\times 10^6 \text{ m}^3$)

Período 1	Dt	1701,7	Período 7	Dt	966,0
	Db	1449,9		Db	745,8
	Ds	251,8		Ds	220,2
Período 2	Dt	957,6	período 8	Dt	1060,3
	Db	784,6		Db	915,5
	Ds	172,9		Ds	144,8
Período 3	Dt	954,3	período 9	Dt	686,8
	Db	821,0		Db	474,8
	Ds	133,3		Ds	212,0
Período 4	Dt	1147,1	Período 10	Dt	444,7
	Db	961,7		Db	319,2
	Ds	185,4		Ds	125,5
Período 5	Dt	1076,9	Período 11	Dt	441,8
	Db	802,0		Db	342,5
	Ds	274,9		Ds	99,3
Período 6	Dt	810,8	Período 12	Dt	290,2
	Db	611,2		Db	186,5
	Ds	199,6		Ds	103,7

A partir das Equações 4 e 5 e dos valores de DB, DS e DT, foram obtidos os resultados dos rhB, rhS (Figura 18)).

Figura 18: Indicadores de economia hídrica da bacia do rio Jaguari em PFI-1(Bragança

Paulista).				
	r_{hb}^*	r_{hs}^{**}	$r_{hb} (\%)$	$r_{hs} (\%)$
período 1	0,85	0,15	85,20	14,80
período 2	0,82	0,18	81,94	18,06
período 3	0,86	0,14	86,03	13,97
período 4	0,84	0,16	83,84	16,16
período 5	0,74	0,26	74,47	25,53
período 6	0,75	0,25	75,39	24,61
período 7	0,77	0,23	77,21	22,79
período 8	0,86	0,14	86,35	13,65
período 9	0,69	0,31	69,14	30,86
período 10	0,72	0,28	71,78	28,22
período 11	0,78	0,22	77,52	22,48
período 12	0,64	0,36	64,26	35,74

$$* r_{hb} = D_b / D_T \quad ** r_{hs} = D_s / D_T$$

A variação temporal dos Indicadores de Economia Hídrica-IEH (r_{hb} , r_{hs}) ao longo do tempo global dos estudos hidrológicos é apresentada na Figura 19..

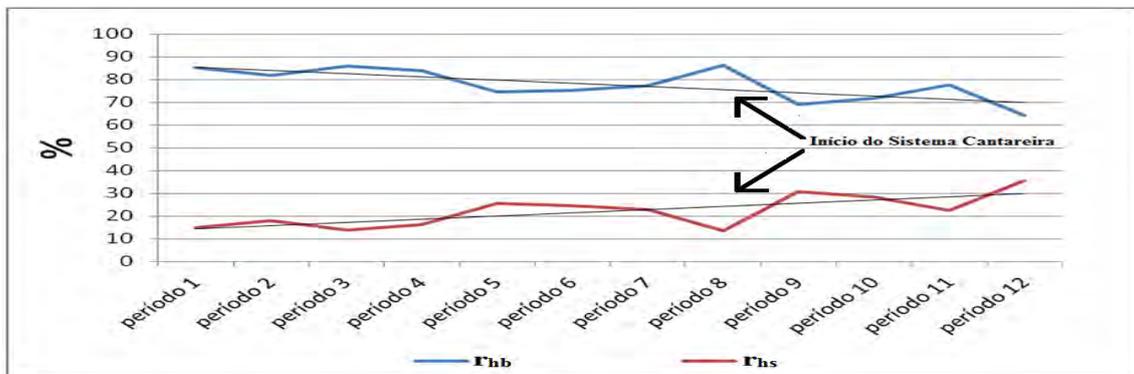


FIGURA 19: Comparação da Evolução dos Indicadores de Economia Hídrica da Bacia do rio Jaguari em PFI-1 (Bragança Paulista) no 12 Períodos de Estudo.

Com os valores das vazões características de cada período Δt obtidos a partir das Curvas de Permanência de Vazões Decrescente foram calculados por período Δt os Indicadores de Degradação Hídrica-IDH relacionados aos Coeficientes de Perenidade de Enchente (P), Coeficiente de Perenidade de Estiagem (p) e Coeficiente de Amplitude entre enchente e estiagem (m), conforme Equações 1 a 3 (Figura 20).

Figura 20 : Valores de $Q_{5\%}$, $Q_{95\%}$, P, p e m por período Δt

Período	Q _m	Q _{5%}	Q _{95%}	P (Q ₅ /Q _m)	p (Q _m /Q ₉₅)	m (Pxp)
Período 1	54,194	155	4	2,86	13,55	38,75
Período 2	30,618	76	3	2,48	10,21	25,33
Período 3	30,360	71	12	2,34	2,53	5,92
Período 4	36,453	90	4	2,47	9,11	22,50
Período 5	34,301	80	3	2,33	11,43	26,67
Período 6	25,868	70	10	2,71	2,59	7,00
Período 7	30,705	60	10	1,95	3,07	6,00
Período 8	33,737	118	2	3,50	16,87	59,00
Período 9	21,796	60	3	2,75	7,27	20,00
Período 10	14,160	46	2	3,25	7,08	23,00
Período 11	14,074	38	5	2,70	2,81	7,60
Período 12	9,271	27	2	2,91	4,64	13,50

Na Figura 21 é apresentado a variação dos IDH no período global analisado.

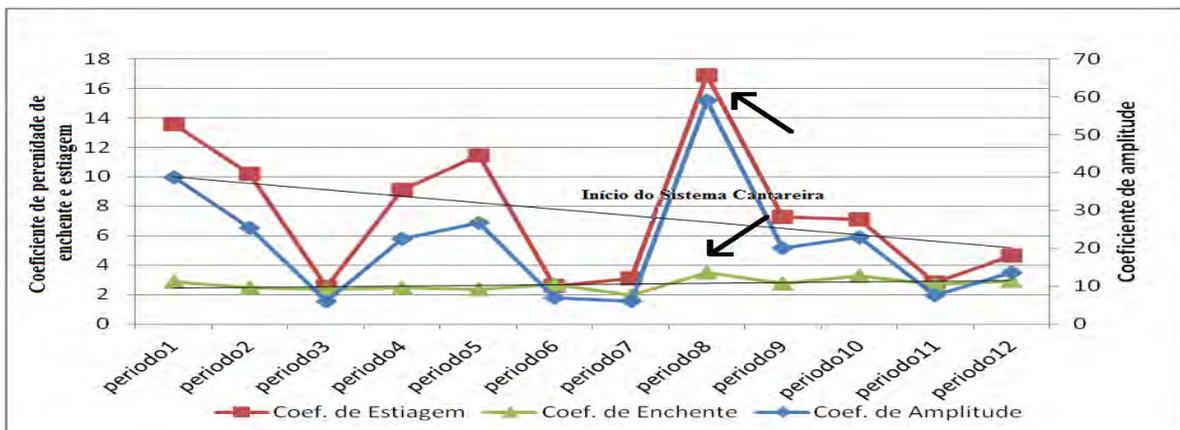


FIGURA 21: Comparação da Evolução dos Indicadores de Economia Hídrica da Bacia do rio Jaguari em PFI-1 (Bragança Paulista) no 12 Períodos de Estudo.

CONCLUSÕES

A partir de análise dos dados e resultados no período global dos estudos (60 anos:1943 a 2003) na bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista, conclui-se:

- As vazões médias mensais em PFI-1 apresentaram uma tendência de redução para todos os meses do ano, em cerca de $40\text{m}^3\text{s}^{-1}$ e $15\text{m}^3\text{s}^{-1}$ para os meses de verão e inverno, respectivamente;

- b) A Figura 15 indica uma redução das vazões de calha fluvial em todo período analisado, com catalização da mesma a partir do período 8 (início de operação do Sistema Cantareira);
- c) A Figura 16 mostra um crescimento da população da bacia, em contraponto com redução das vazões de calha do rio Jaguari, conforme descrito em (a), a mesma catalizada pelo Sistema Canteira, como referido em (b), com impactos nos usos da água da bacia, afora as vazões de calha captadas pela irrigação e indústrias, não analisadas;
- d) Pela Figura 17, até o período 7 (antes do início de operação do Sistema Cantareira que ocorreu em 1982- Período 8, exclusive) a variação dos deflúvios no período (em milhões de m³) foi de cerca 1450 para 746 (DB), de 252 para 220 (DS) e de 1702 para 966 (DT);
- e) Também pela Figura 17, depois do início de operação do Sistema Cantareira (série depois do Período 8, inclusive) e até 2003 (período 12), a variação dos deflúvios no período (em milhões de m³) foi de cerca de 916 para 187 (DB), 145 para 104 (DS) e 1060 para 290(DT);
- f) Também analisando a Figura 17, independente do Sistema Cantareira, verifica-se uma maior variação do DB em relação ao DS, portanto mostrando que a bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista está sujeita a uma forte tendência para exaustão do escoamento subterrâneo (este responsável pela manutenção do regime hidrológico de perenidade hídrica da bacia);
- g) A Figura 19 (Indicadores de Economia Hídrica-IEH) mostra para o período global uma “linha de tendência” de redução do escoamento de base (r_{hb} em %) de 85 para 64 e um aumento do escoamento superficial de calha fluvial (r_{hs} em %) de 15 para 36, o que caracteriza uma tendência da bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista, no período chuvoso-TC, ao incremento do escoamento superficial (ES) em relação a infiltração (I), seja: $ES \geq I$, típico de bacia em estado de degradação;
- h) As Figura 20 e 21 mostram a variação dos Indicadores de Degradação Hidrológica-IDH, com os Coeficientes de Perenidade de Estiagem(p) variando de 2,5 a 16,9, os de Enchente (P) variaram de 2,00 a 3,50, e os de Amplitude (m) de 6 a 39;
- i) Pelo descrito em (h), e comparando com o padrão de IRH de Bacias Naturais (P, $p \approx 1,000$), e também devido as bruscas variações de vazões retratadas no Coeficientes de Amplitude (m), estas diretamente relacionadas as vazões de estiagem(Q_{95}), verifica-se que estas vazões (de estiagem) tendem gradativamente a serem mais intensas(críticas) na bacia, notadamente nas estiagens ou nas secas extremas ;

- j) Como conclusão final, os Indicadores de Recursos Hídricos-IRH analisados retrataram que a bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista está bastante vulnerável para “crises hídricas” relacionadas a carência hídrica (seca), independente da transposição de vazões do Sistema Cantareira, que tendeu , a partir do início da sua operação em 1982 , a catalisar os conflitos pelos usos da água da bacia;
- k) A crise hídrica ocorrida no período 2014-2016 na bacia do rio Jaguari em Bragança Paulista e em toda Região Sudeste , amplamente divulgada na mídia, mostrou este cenário hidrológico (carência hídrica), o qual deverá ser mais crítico na bacia, como ocorre nos fenômenos de secas/enchente(crises hídricas), que têm demonstrado serem mais críticos para os eventos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. **Boletim de monitoramento dos reservatórios do sistema cantareira**, v.2, n.2, fev. 2007. Disponível em < http://www.comitepej.sp.gov.br/download/Cantareira/Boletim_Monitoramento_Reservatorios_Cantareira_2007_02.pdf >. Acesso 23/08/2011
- BOTAN, J. S. **Metodologia de Análise da Economia Hídrica em Bacias Degradadas: Estudo de Caso da Bacia do Rio Jaguari- MG-SP**. TFG do Curso de Engenharia Ambiental da UNIFEI.Itajubá/MG,2011.
- GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVARES, G. Acosta. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 291 p.”
- OTTONI, A.B. **Curso de otimização operacional de reservatórios – COORE**. Instituto de Recursos Naturais, Unifei. Itajubá/MG, 2010.
- PINTO, N.L.S; et al. **Hidrologia Básica**. Editora Edgard Blucher. São Paulo/SP,1976).
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. [S.l.]: UFRGS, 1997. 943 p.