

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DA SAZONALIDADE DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA DO RIO PARAGUAÇU - BA

Felipe Maciel Paulo Mamédio¹ ; Andrea Sousa Fontes²

RESUMO – O presente trabalho tem o intuito de apresentar as características de sazonalidade e magnitude das vazões mínimas de referência do rio Paraguaçu para subsídios de entendimento da vazão remanescente que contribua com o equilíbrio ambiental após o barramento de Pedra do Cavalo. Para alcançar tal fim, foram realizadas análises hidrológicas com métodos consagrados, adaptados ao presente estudo para estabelecer um comportamento variável no tempo, empregando os dados secundários disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA), para os postos fluviométricos da bacia. Com os resultados foi possível caracterizar as vazões mínimas de referência demonstrando a variação da sazonalidade e da magnitude ao longo do ano, que devem ser consideradas para subsidiar regras de operação do reservatório que visem a manutenção da qualidade ambiental.

ABSTRACT– This paper aims to present the characteristics of seasonality and magnitude of minimum reference flows of the river Paraguaçu to subsidies understanding of the remaining flow that contributes to the environmental balance after Pedra do Cavalo Dam. To achieve this aim, hydrologic analyzes were performed with established and adapted methods to this study to establish a time-varying behavior, using the data provided by the National Water Agency (ANA), related to fluviometric stations located in the basin. With the results, it was possible to characterize the minimum flow reference showing the variation of the magnitude and seasonality throughout the year, which should be considered to support reservoir operation rules aimed at maintaining environmental quality.

Palavras-Chave – Vazão mínima, sazonalidade, rio Paraguaçu.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do processo de evolução da humanidade a água sempre se fez presente, tendo papel fundamental tanto para a sobrevivência do homem quanto para dos demais seres vivos. Os mananciais, por sua vez, apresentam sazonalidades em suas vazões, que proporcionam os períodos de cheia e estiagem. Esses períodos é que definem as características ecológicas ao longo dos rios, proporcionando que os serviços ambientais sejam mantidos.

1) Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS, E-mail: fmp_mamedio@hotmail.com

2) Professora Doutora do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, CETEC/UFRB, E-mail: andreafontes@ufrb.edu.br

Por apresentar-se no ambiente em grande quantidade, a água acabou sendo explorada, consumida e degradada ao longo dos séculos. A crescente demanda pela água contribui com as divergências entre os múltiplos usuários dos recursos hídricos, referente tanto aos aspectos qualitativos quanto quantitativos. Buscando reverter esse quadro, nos últimos anos a questão ambiental vem sendo cada vez mais discutida nos meios acadêmicos, políticos e sociais, sendo definido o conceito de vazão mínima, que tem por objetivo garantir a vida dos mananciais bem como de todos os seres vivos que nele estão inclusos. Porém, segundo LANNA & BENETTI (apud PAULO, 2007), essa definição não é suficiente, uma vez que outros fatores além da vazão mínima devem ser considerados na determinação do fluxo de água a ser mantido, tais como: características da fauna, da flora, e da sazonalidade do manancial.

As principais funções hidrológicas utilizadas para definir vazões de referência para outorga de recursos hídricos no Brasil são a Q_{90} , e a $Q_{7,10}$. Dessas, a Q_{90} caracteriza uma situação de permanência, enquanto, a $Q_{7,10}$ indica uma situação de estado mínimo (BENETTI et al, 2003, apud GENZ et al, 2008).

Os métodos hidrológicos, no contexto atual da abordagem da vazão ambiental, são usados para caracterização do comportamento do rio. O regime hidrológico possui grande importância no funcionamento de um rio, embora a natureza de sua influência seja distinta para diferentes componentes dos ambientes abióticos e bióticos. O regime descreve todos os aspectos hidrológicos do rio, podendo ser visualizado em várias escalas de tempo. Na escala anual, o regime reflete a variabilidade anual dos fluxos, apresentando uma variabilidade cíclica. Na escala mensal, o regime reflete a distribuição sazonal de fluxos bem como a sua consistência nos períodos secos e úmidos. Nesta escala também é possível verificar a perenidade ou intermitência do rio. Na escala diária o regime reflete a taxa de aumento de fluxo no início de uma inundação e a taxa de recessão no final, assim como o número de eventos esperados durante o ano e seu tamanho, isto é, volume de pico e a duração do evento. O tempo, a frequência e a duração das secas e das inundações extremas também são características hidrológicas importantes do regime de fluxo (KING et al., 2008).

Para a água continuar ofertando bons serviços tanto para o homem quanto para o ambiente, é de fundamental importância que a variabilidade espaço-temporal de sua ocorrência e suas características químicas sejam mantidas as mais naturais possíveis. Sendo assim, o homem assume um papel muito importante, na medida em que é o grande responsável pela modificação das características ambientais e com conhecimento para reverter os danos causados ao ambiente.

Neste contexto se insere o presente trabalho, na tentativa de contribuir com o conhecimento da sazonalidade e magnitude das vazões mínimas características do comportamento natural do rio visando a manutenção dos serviços ambientais promovidos pela água. Assim o objetivo consiste na

avaliação da sazonalidade da vazão mínima utilizando métodos hidrológicos de definição de vazão remanescente para o entendimento da sazonalidade da vazão mínima a ser conservada no rio Paraguaçu.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área em Estudo

O Rio Paraguaçu, como todo manancial, apresenta uma sazonalidade, ou seja, apresenta épocas de cheia e estiagem ao longo do ano. Essa sazonalidade define o ciclo de vida ao longo do rio, que no caso do referido manancial, foi modificado com a implantação de diversos reservatórios no seu curso, sendo o maior deles o de Pedra do Cavalo.

Outra característica importante da bacia é sua precipitação. Em seus estudos, GENZ (2006), descreve a importância de adotar o ano hidrológico segundo a sazonalidade climática, que no caso da Bacia do Rio Paraguaçu começa em outubro, mês no qual tem início o período de chuvas, e termina em setembro.

A seguir, no **Quadro 1**, podem ser observados os barramentos existentes no rio Paraguaçu e em seu principal tributário o rio Jacuípe, bem como o ano de implantação desses empreendimentos, representando assim as modificações que o Paraguaçu vem sofrendo ao longo do tempo.

Quadro 1- Barragens mais representativas da bacia do rio Paraguaçu

Nome	<i>APERTADO</i>	<i>BANDEIRA DE MELO</i>	<i>FRANÇA</i>	<i>SÃO JOSÉ DO JACUIPE</i>	<i>PEDRA DO CAVALO</i>
Município	<u>Mucugê</u>	<u>Itaetê</u>	Pirituba /Miguel Calmon	São José do Jacuípe	Cachoeira
Rio	Paraguaçu	Paraguaçu	Jacuípe	Jacuípe	Paraguaçu
Ano de Implantação	1998	2006	1996	1985	1985

Observa-se então cinco grandes barramentos na bacia do Paraguaçu. Esses barramentos amortizam o fluxo natural do rio e o liberam de forma controlada para jusante, minimizando a intermitência das vazões e uniformizando as mesmas, desequilibrando o ciclo de vida das espécies a jusante dos reservatórios.

O reservatório de Pedra do Cavalo armazena as águas do rio Paraguaçu, tido como um rio de grande porte do Estado da Bahia. Analisando a história desse manancial, bem como questionamentos de habitantes dos municípios de São Felix, Cachoeira e São Francisco do Paraguaçu, localizados na área de influência direta do manancial percebe-se uma constatação feita por ALBER (2002, apud GENZ et al, 2008), que explica que as variações das vazões interferem no estabelecimento do habitat estuarino e no padrão de distribuição temporal e espacial da salinidade.

Conclui-se então, baseado em conversas informais com pessoas desses municípios e na afirmação de ALBER, (2002, apud GENZ et al, 2008) , que após o barramento de Pedra do Cavalo algumas espécies animais podem ter desaparecido ou foram reduzidas a poucos exemplares e outras espécies exóticas acabaram surgindo, devido a elevação da salinidade da água, interferindo assim, tanto na economia e cultura de algumas comunidades quanto no equilíbrio dessa região.

Segundo HATJE et al. (2009), a vazão máxima de operação do reservatório é 1600 m³/s, contudo, em dezembro de 1989 foi registrada uma cheia excepcional, na qual, uma descarga liberada de 5726 m³/s atingiu as cidades de São Felix, Cachoeira e cidades a jusante do reservatório, causando a maior inundação já registrada nas cidades. Além disso, no ano de 1993 aconteceu outro evento histórico, em um processo inverso ao de 1989, o nordeste do Brasil passou por um período de seca hidrológica acarretando falência de lavouras e esgotamento de reservas hídricas, de forma que a região em estudo também foi afetada. Surge assim o interesse de se analisar de que forma a operação de liberação de água da barragem vem afetando o ambiente receptor dessas águas.

De acordo com GENZ, LESSA & CIRANO (2008), no ano de 1997 foi adotada a vazão de 11 m³/s, como a vazão a ser liberada para o ponto a jusante do barramento. Passados 14 anos a liberação da vazão mínima para jusante continua sendo feita seguindo a proposta calculada em 1997, de 11 m³/s.

No ano de 2002, o GRUPO VOTORANTIM ganhou a concessão para operar a hidroelétrica durante um prazo de 35 anos e de explorar as disponibilidades hídricas do reservatório, de acordo com os seguintes parâmetros técnicos: N. A. máximo maximorum do reservatório igual a 124 m; N.A. médio histórico igual a 114,5 m; N.A. mínimo operacional em 106m (ANDRADE, 2010). ANDRADE (2007) em estudos referentes a operação do reservatório de Pedra do Cavalo, define, que para preservar a segurança operacional dos sistemas de abastecimento a cota mínima de nível d'água de 113 metros, abaixo da qual não é permitida a turbinagem para geração de energia elétrica.

Neste contexto a vazão afluente ao estuário passou a depender da operação das turbinas, podendo liberar de 40 a 80 m³/s por turbina ou chegar próximo de 160 m³/s no caso de 2 turbinas em operação. No período de estiagem, pulsos de vazão constante são liberados por uma turbina durante algumas horas do dia para chegar à vazão média diária de 11 m³/s, adotada como vazão sanitária (GENZ, et al., 2008).

2.2 Métodos Hidrológicos

Para contemplar a sazonalidade característica das vazões do rio Paraguaçu, os métodos hidrológicos para determinação da vazão remanescente sofreram algumas adaptações para aplicação mês a mês, analisando o comportamento das vazões ao longo do ano e apresentando os

condicionantes de vazão mínima remanescente do hidrograma ambiental. Os estudos hidrológicos foram realizados com base em dados secundários fornecidos pelos órgãos responsáveis pelo monitoramento da vazão e precipitação na região.

Diante da importância relatada para estudos de vazão ambiental, do conhecimento do comportamento hidrológico do rio e necessidades de valores mínimos garantidos na calha do rio que representem a dinâmica fluvial de um manancial, seja na aplicação de métodos simples ou complexos, são a seguir detalhados os métodos hidrológicos, aplicados no presente trabalho.

Método das vazões anuais mínimas de 7 dias

Originalmente, para definição da vazão através desse método, são encontradas as vazões mínimas das médias móveis das vazões diárias com janela de 7 dias ao longo do ano hidrológico. O valor adotado como vazão mínima é a média dos valores mínimos encontrados.

Esse método possui a desvantagem de não garantir a variabilidade de vazões do curso hídrico, uma vez que determina um único valor para todos os meses do ano.

Visando obter o comportamento sazonal através desse método, foram encontradas as mínimas médias móveis das vazões diárias com janela de 7 dias ao longo da série histórica para cada mês em particular. O valor adotado como vazão mínima mês a mês, foi a média dos valores mínimos encontrados de cada mês em separado.

A média móvel foi calculada através da média de dias anteriores e posteriores ao dia estudado, os 3 primeiros dias de cada mês levam em consideração o mês anterior e os 3 últimos dias do mês levam em consideração o mês subsequente. Sendo assim foi retida a mínima média móvel para cada mês de cada ano e ao final foi feita a média das mínimas móveis de 7 dias para cada mês.

Método da curva permanência de vazões

A curva permanência de vazões é calculada através dos dados históricos de vazão. A permanência de cada vazão é o percentual de vezes em que ela foi igualada ou superada (TUCCI, 1984 apud GENZ et al, 2008). Esse método considera os meses de estiagem e cheia, não sendo descartadas as vazões extremas.

Conforme descrito por CRUZ (2005), AMORIM (2009) E FARIAS JÚNIOR (2006), a elaboração de uma curva de permanência mensal com base nos registros históricos diários representa melhor a dinâmica fluvial tanto com relação a magnitude como em sazonalidade. As características da curva de permanência representa o comportamento do manancial, ou seja uma curva achatada é resultado de um rio regularizado ou com forte influência do escoamento subterrâneo que proporciona um aumento das vazões mínimas inclusive na época seca. Para curvas

mais inclinadas tem-se rios com grande variabilidade nas vazões e que não configura rio com armazenamentos na sua calha.

A metodologia da curva de permanência consiste em estabelecer a porcentagem do tempo em que a vazão foi igualada ou superada. Para o presente estudo é utilizado dado diário de vazão de acordo com as recomendações de definição da outorga para o estado da Bahia.

Atribuindo a frequência acumulada no sentido da maior vazão para a menor obtém-se os valores de permanência correspondente, calculando a probabilidade em percentual de uma vazão ser maior ou igual a vazão analisada.

Método de Tennant ou Método Montanna

Segundo ARTHINGTON et al (1998), o biólogo Tennant desenvolveu o método nos Estados Unidos da América – EUA devido a preocupação com os efeitos das construções de grande barragens, sendo realizados estudos em 11 cursos d'água distribuídos em 3 estados dos EUA. Nesses estudos, foram realizadas análises físicas, químicas e biológicas de forma a padronizar a vazão de acordo com o percentual da média para manter as características desejadas.

Esse método baseia-se em simples variáveis hidrológicas. Tennant definiu o ecossistema fluvial em função da vazão, expressa em porcentagem, com relação à vazão média anual do rio calculada para o local do aproveitamento hidráulico, recorrendo-se a diferentes percentagens para os períodos Secos (Outubro a Março) e Úmidos (Abril a Setembro), sendo que a região em estudo apresenta-se no hemisfério norte. Por exemplo, 10% da vazão média anual representa o fluxo mínimo instantâneo recomendado para sustentar em curto prazo a sobrevivência do habitat para a maior parte da biota aquática. Já 30% garantem boas condições de vida e 60% fornecem excelentes condições para a maioria das formas de vida aquática, inclusive durante seu período de crescimento (ARTHINGTON e ZALUCKI, 1998). Segundo MORHARDT (1986, apud REIS, 2007), para 30% a redução de habitat não é tão considerável, os parâmetros físico-químicos são mantidos em níveis satisfatórios para a maioria das espécies, a população de macro invertebrados é levemente afetada, mas não põe em risco a produção de peixes, e a vegetação ripícola não é afetada.

O problema da aplicação desse método é que os estudos não estão seguindo as recomendações do autor, sendo as aplicações do método realizadas diretamente no valor dos percentuais, sem um registro de campo do manancial. Outra desvantagem é a abrangência de aplicação do método que foi desenvolvido e validado para um cenário característico de rio, muitas vezes divergente do cenário presente no manancial em estudo.

Em seus estudos para comparar aplicação e definição de metodologias na determinação da vazão ecológica do Rio Pará, REIS (2007) aplicou o método de Tennant utilizando os dados da

estação fluviométrica 40150000 no período de 1936 a 2005, adaptando o método para o período úmido e seco no hemisfério sul.

Segundo SARMENTO (2007), a aplicação desse método consiste nas seguintes etapas:

- 1) Determinação da vazão média anual no local do aproveitamento hidráulico;
- 2) Observação do curso d'água durante os períodos em que a vazão no mesmo é aproximadamente 10%, 30% e 60% da vazão média anual, documentando-o com fotografias dos vários tipos de habitats característicos;
- 3) Utilização da informação obtida para elaborar recomendações de vazões ecológicas conforme o

Quadro 2.

Quadro 2 - Regime de Vazões Recomendado Pelo Método de Tennant

Vazão Ecológica	Vazão Recomendada (percentagem em relação à vazão média anual)	
	Abril – Setembro	Outubro – Março
Lavagem ou máxima	200%	
Ótima	60 – 100%	
Excelente	60%	40%
Muito bom	50%	30%
Bom	40%	20%
Fraco ou degradante	30%	10%
Pobre ou mínima	10%	10%
Degradação elevada	0 – 10%	

Fonte: SARMENTO (2007)

Contudo, na prática, a aplicação do Método Tennant raramente envolve o reconhecimento de campo, sendo a recomendação de vazões baseada unicamente na tabela desenvolvida por Tennant (SARMENTO, 2007).

Para efeito de cálculo nesse trabalho foram feitas as seguintes considerações: cálculo da média mensal da série histórica para cada mês do ano; definição do período úmido e seco para cada posto a ser analisado; aplicação das percentagens propostas por Tennant com base nas análises dos dados de vazão do rio Paraguaçu correspondentes aos períodos secos e chuvosos; e não foram observadas as condições em campo conforme recomenda o método.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Identificação dos Postos a serem Analisados

Buscando alcançar os objetivos a que se propõe esse trabalho, inicialmente foram identificados todos os postos fluviométricos na bacia do Paraguaçu, os quais estão apresentados detalhadamente no **Quadro 3**, assim é possível verificar suas localizações, no intuito de selecionar os postos para aplicar os métodos hidrológicos.

Quadro 3 - Descrição dos postos fluviométricos presentes na bacia do rio Paraguaçu

Estação	Código	Série de dados	Sub-bacia	Rio	Estado	Município	Responsável	Operadora	Latitude Decimais	Longitude Decimais
USINA MUCUGÊ	51108000	(01/1999 - 12/1999)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	MUCUGÊ	ANA	CPRM	-13.00	-41.39
ANDARAÍ	51120000	(04/1940 - 12/2005)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	ANDARAÍ	ANA	CPRM	-12.84	-41.32
COCHÓ DOS MALHEIROS	51135000	(05/1969 - 12/2005)	51	RIO COCHÓ	BAHIA	SEABRA	ANA	CPRM	-12.44	-41.64
PORTO	51140000	(01/1966 - 12/2005)	51	RIO SANTO ANTÔNIO	BAHIA	LENÇÓIS	ANA	CPRM	-12.49	-41.33
WAGNER	51158000	(08/2009 - 04/2011)	51	RIO UTINGA	BAHIA	WAGNER	ANA	CPRM	-12.26	-41.16
BONITO	51166000	(10/1991 - 12/2005)	51	RIO BONITO	BAHIA	BONITO	ANA	CPRM	-12.38	-41.17
UTINGA	51170000	(05/1949 - 12/2005)	51	RIO UTINGA	BAHIA	UTINGA	ANA	CPRM	-12.50	-41.21
FERTÉM	51190000	(09/1947 - 12/2005)	51	RIO SANTO ANTÔNIO	BAHIA	ANDARAÍ	ANA	CPRM	-12.76	-41.33
FAZENDA IGUAÇU	51230000	(01/1940 - 12/2005)	51	RIO DE UNA	BAHIA	ITAETÉ	ANA	CPRM	-12.94	-41.06
ITAETÉ	51240000	(01/1935 - 12/2005)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	ITAETÉ	ANA	CPRM	-12.99	-40.96
IAÇU	51280000	(01/1930 - 12/2006)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	IAÇU	ANA	CPRM	-12.76	-40.21
MACAJUBA	51310000	(05/1969 - 01/1977)	51	RIO CAPIVARI	BAHIA	MACAJUBA	ANA	DESATIVADA	-12.18	-40.41
FAZENDA SANTA FÉ	51330000	(03/1966 - 12/2005)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	RAFAEL JAMBEIRO	ANA	CPRM	-12.52	-39.85
FAZENDA JUREMA	51345000	(06/1984 - 12/2005)	51	RIO DO PEIXE	BAHIA	RAFAEL JAMBEIRO	ANA	CPRM	-12.49	-39.70
ARGOIM	51350000	(01/1950 - 12/2005)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	RAFAEL JAMBEIRO	ANA	CPRM	-12.59	-39.52
FRANÇA	51410000	(03/1965 - 12/2003)	51	RIO JACUIPE	BAHIA	PIRITIBA	ANA	DESATIVADA	-11.55	-40.59
GAVIÃO II	51430000	(01/1973 - 12/2005)	51	RIO JACUIPE	BAHIA	GAVIÃO	ANA	CPRM	-11.47	-39.79
RIACHÃO DO JACUIPE	51440000	(05/1965 - 12/2005)	51	RIO JACUIPE	BAHIA	RIACHÃO DO JACUIPE	ANA	CPRM	-11.81	-39.39
PONTE RIO BRANCO	51460000	(11/1929 - 12/2005)	51	RIO JACUIPE	BAHIA	FEIRA DE SANTANA	ANA	CPRM	-12.23	-39.05
PEDRA DO CAVALO	51490000	(01/1964 - 12/1978)	51	RIO PARAGUAÇU	BAHIA	GOVERNADOR MANGABEIRA	ANA	DESATIVADA	-12.60	-38.98

Fonte: ANA (2011)

Como neste trabalho, o interesse baseia-se na vazão remanescente a ser mantida a jusante da barragem de Pedra do Cavalo, julgou-se conveniente a análise dos postos de Argoim (51350000), Ponte Rio Branco (51460000) e Pedra do Cavalo (51490000). Sendo este último apenas para efeito de comparação de sazonalidade encontrada para o período anterior á barragem de Pedra do Cavalo. Os postos escolhidos estão apresentados na **Figura 1**.

Como se observa na Figura 1, o posto de Argoim (51350000) coleta os dados de vazão gerados em boa parte do oeste, sul e norte da bacia. Já o posto de Ponte do Rio Branco (51460000) coleta parte dos dados de vazão que vem da porção norte da bacia - referente a contribuição do maior afluente do rio Paraguaçu, o rio Jacuípe. O posto de Pedra do Cavalo informa todas as contribuições que chegam ao barramento, incluindo a área de drenagem do rio Paratigi.

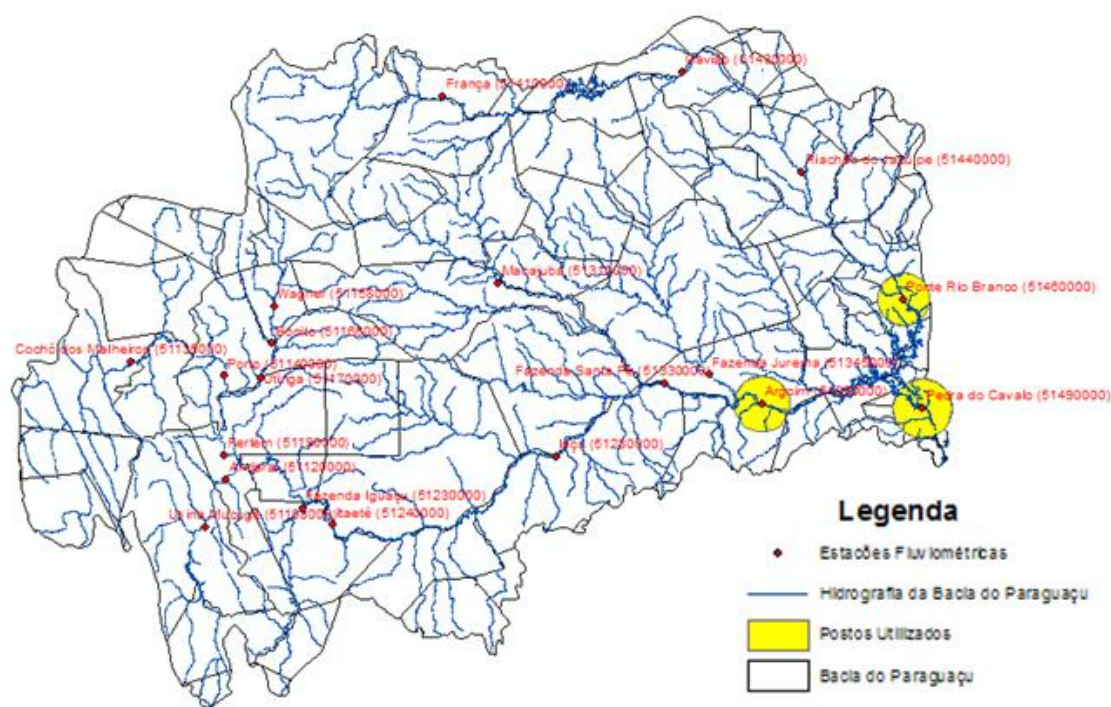


Figura 1 - Postos selecionados para estudo

Além das características estratégicas, já vistas, os postos de Argoim e Ponte do Rio Branco têm o diferencial de proporcionar uma longa série histórica, haja visto que o primeiro apresenta uma série histórica de 55 anos e o segundo contempla 76 anos de dados, contudo apresenta um maior período de falhas. Já o posto de Pedra do Cavalo informa os registros de 14 anos da vazão, sendo desativado antes da construção do empreendimento. Com a análise desses três postos, é possível obter uma análise mais representativa do comportamento do manancial mês a mês.

O posto Argoim responde por cerca de 90% das vazões que chegam ao reservatório de Pedra do Cavalo. Neste posto, o mês de setembro registra a vazão mínima média mensal de $22,8\text{m}^3/\text{s}$ e o mês de dezembro a vazão máxima média mensal de $157\text{m}^3/\text{s}$. Responsável por captar todos os dados fluviométricos referentes ao rio Jacuípe, o posto 51460000 (Ponte Rio Branco) apresenta-se como referência na porção norte da bacia do rio Paraguaçu, respondendo por cerca de 9% das vazões que chegam ao reservatório de Pedra do Cavalo. A vazão mínima mensal apresenta-se no mês de setembro com $0,725\text{m}^3/\text{s}$ e a vazão máxima mensal em dezembro, alcançando $26,7\text{m}^3/\text{s}$.

3.2 Determinação da Vazão Mínima de Referência: Aplicação dos Métodos Hidrológicos

Método das Vazões Anuais Mínimas de 7 Dias

No intuito de conhecer o comportamento das vazões mínimas de 7 dias mês a mês, foi calculada a média móvel de cada mês para cada ano da série, sendo que a menor delas foi retida. Como a proposta do trabalho consiste em obter um hidrograma que apresente as variações das

sazonalidades, no cálculo foram feitas algumas considerações, descritas na metodologia deste texto, proporcionando os seguintes resultados:

Para o posto de Argoim (51350000), a **Figura 2** ilustra o comportamento médio das vazões mínimas de 7 dias. Como se pode observar de dezembro a abril são observados valores maiores de vazão enquanto que de maio a novembro são observadas vazões menores. A modificação realizada nesse método parece informar uma distribuição mais condizente com a realidade quando comparado ao método original, que adota como vazão mínima a média das mínimas vazões moveis anuais de 7 dias.

Para o posto de Ponte Rio Branco (51460000), a **Figura 3** apresenta que adotando as modificações no método original as contribuições maiores de vazão ocorrem de dezembro a maio, chegando a ser aproximadamente 35 vezes maior para o mês de fevereiro quando comparado a aplicação do método original.

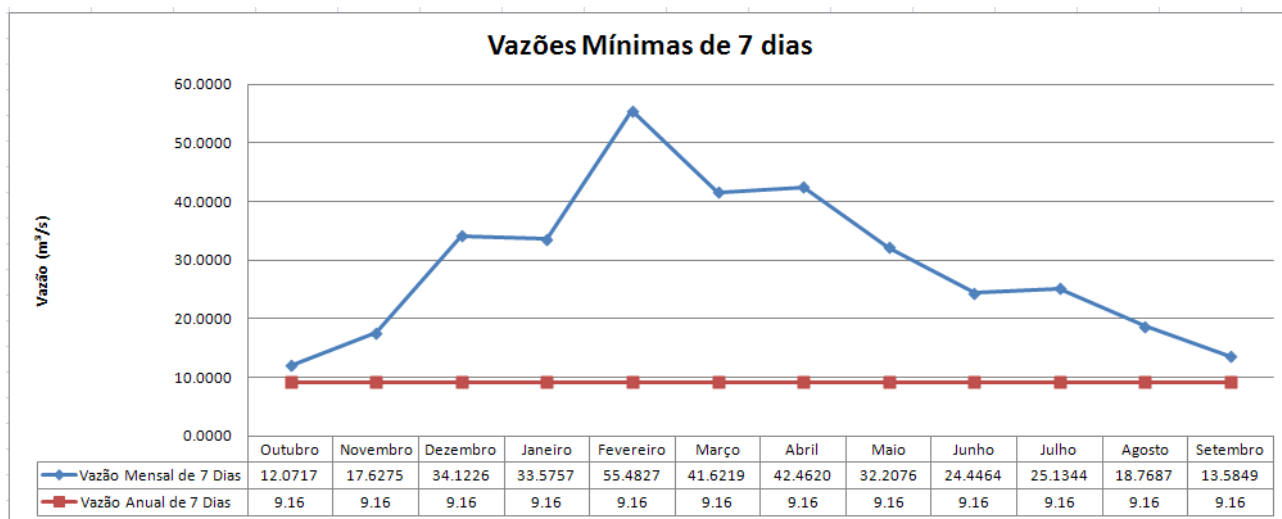


Figura 2 - Análise comparativa entre o método original e a proposta mensal para o método das vazões mínimas de 7 dias para o posto Argoim

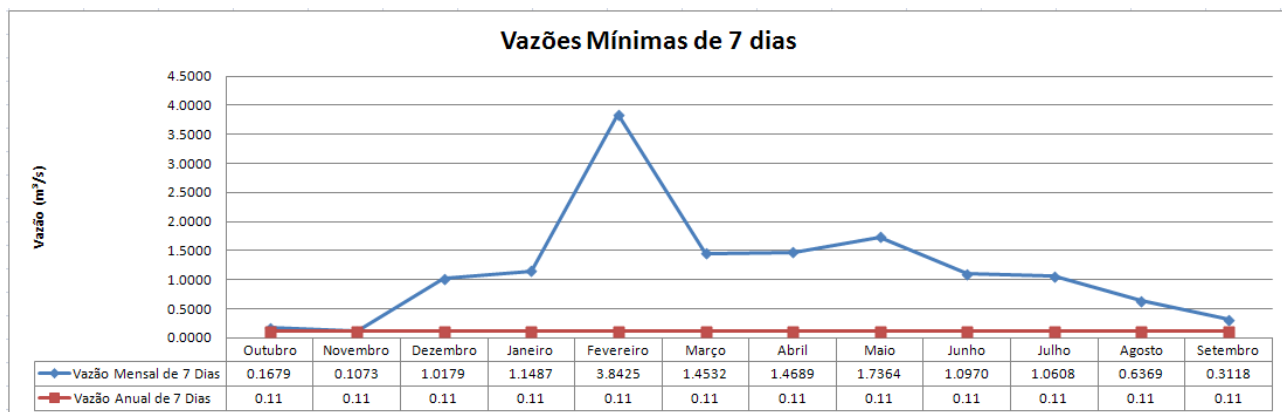


Figura 3 - Análise comparativa entre o método original e a proposta mensal para o método das vazões mínimas de 7 dias para o posto Ponte Rio Branco

A análise do posto de Pedra do Cavalo (51490000), apresentada na **Figura 4**, vem a confirmar o que já vem sendo observado nos postos de Argoim e Ponte Rio Branco. No período de dezembro a abril foram registradas maiores vazões, sendo necessária uma adequação da vazão mínima de forma a atender as características naturais do manancial.

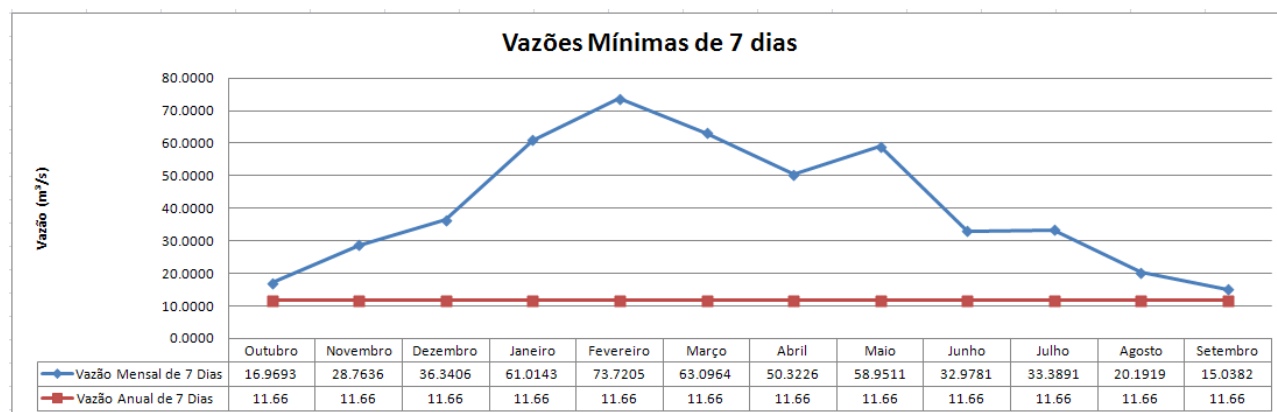


Figura 4 - Análise comparativa entre o método original e a proposta mensal para o método das vazões mínimas de 7 dias para o posto Pedra do Cavalo

Método da Curva de Permanência de Vazões

Analisando o comportamento da vazão que chega ao posto de Argoim e permanece durante 90% do tempo é possível obter as vazões que remanesceria caso fosse utilizado o limite de 80% da Q_{90} . Na **Figura 5** as colunas em vermelho representam as vazões mensais que permanecem em 90% do tempo no manancial. Considerando o limite de 80% da Q_{90} , foi identificada através da linha em azul clara, a quantidade de água que permaneceria no rio. Já a linha azul escura representa a quantidade de água que pode ser requisitada para atender usos diversos, sendo o abastecimento de água o uso prioritário.

Analisando a série completa, chega-se a um valor constante de 8,89 m^3/s como a vazão garantida em 90% do tempo durante todo o ano, representada pela linha verde. Ao aplicar os critérios de outorga para essa vazão, resulta que a vazão a ser mantida no manancial seria de 1,78 m^3/s , ilustrada através da linha roxa. Observando a **Figura 5** é possível identificar o problema de assumir um valor constante.

O posto de Ponte do Rio Branco 51460000, apresenta todas as vazões com 90% de permanência iguais a 0. Essa situação ocorre, pois o rio Jacuípe é intermitente, ou seja, seu fluxo não é contínuo durante todo o ano. Além disso, os barramentos a montante do posto passam alguns períodos sem liberar água para jusante. Nesse caso observa-se ainda, a intermitência mensal, de forma que não há um aquífero que mantenha o fluxo do manancial contínuo ao longo do ano.

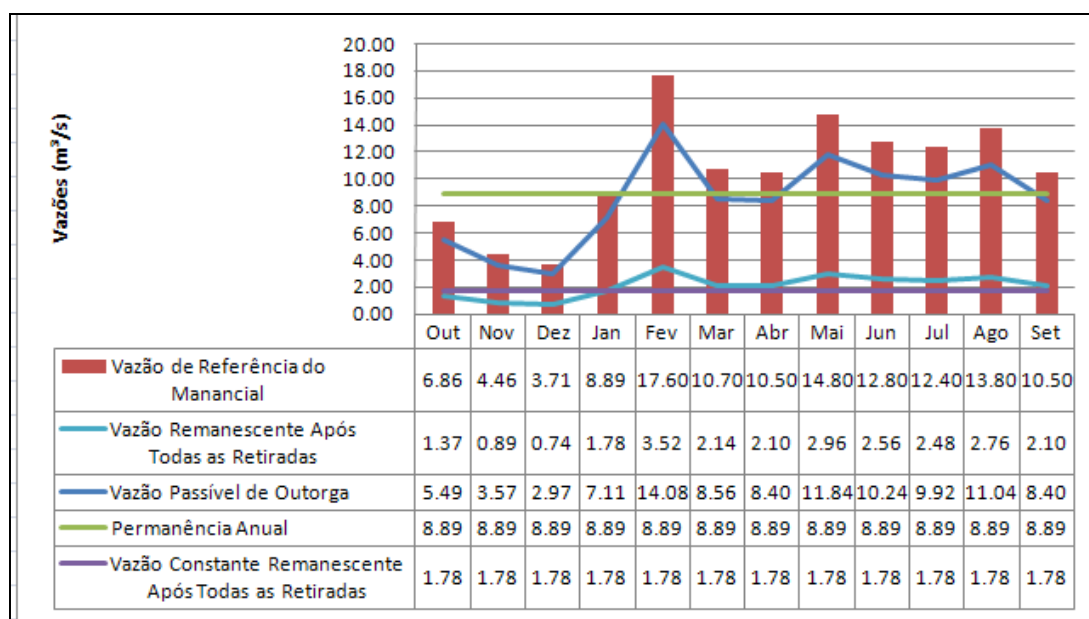


Figura 5 - Análise da Q₉₀ do posto de Argoim

Já no caso do posto de Pedra do Cavalo (51490000), representado pela **Figura 6**, observa-se uma elevação da curva de permanência no mês de dezembro.

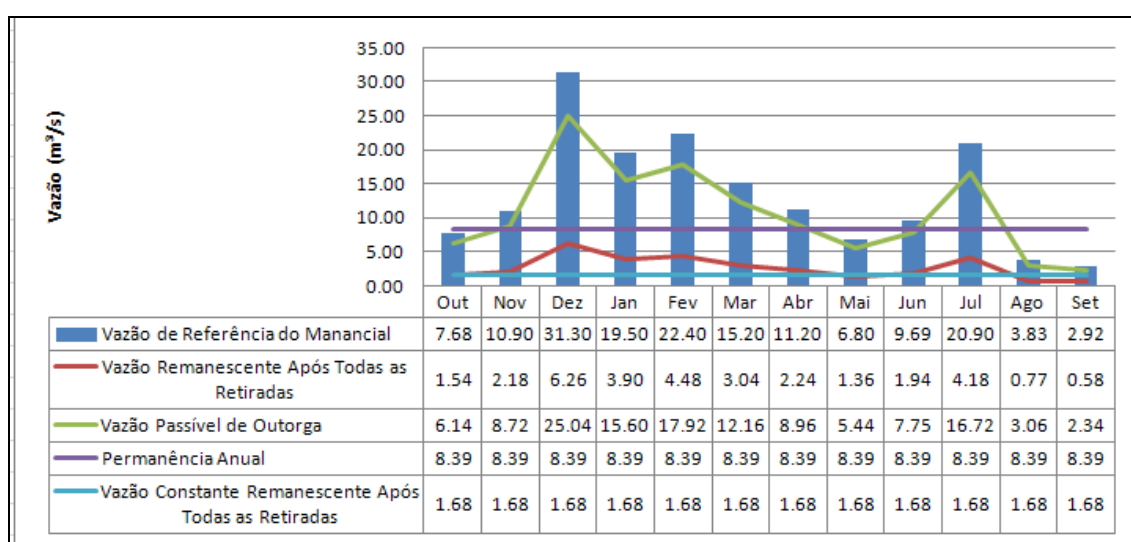


Figura 6 - Análise da Q₉₀ do posto de Pedra do Cavalo

A análise da curva de permanência também pode ser utilizada para uma avaliação sazonal. Apesar disso, sua aplicação indica um valor mínimo que remanesce em uma determinada porcentagem em relação ao tempo. Sendo assim, para efeito de análise, essa vazão poderia representar a mínima vazão necessária a ser mantida em cada mês.

Método de Tennant ou Método de Montanna

Nesse estudo o presente trabalho sugere a adaptação para os meses mais representativos da região em estudo. Para aplicar o método de Tennant mês a mês foram calculadas as médias para cada mês e ao final foi calculada a média das vazões médias para cada mês e aplicado o regime de vazões sugerido por Tennant para análise qualitativa da vazão. Contudo, os meses de aplicação da porcentagem foram definidos pelo período de cheia e estiagem através da análise da curva de permanência e das vazões médias dos postos localizados na bacia do Paraguaçu.

Para efeito de análise esse trabalho aplicou o método proposto por Tennant, para o período úmido e seco da região em estudo e de forma sazonal, levando em consideração todos os meses do ano. Buscou-se ilustrar graficamente apenas os dados que atendem a uma condição boa do regime de vazões, pois, FÁRIAS JUNIOR (2006), entende que a vazão correspondente a 30% da vazão média satisfaz as condições de largura, profundidade e velocidade do manancial, e Tennat propõe a vazão boa variando entre 20% e 40% a depender do período do ano, aproximando-se assim mais das condições naturais, sem degradar o corpo receptor dessas águas.

A **Figura 7** ilustra o comportamento sazonal do manancial, no posto fluviométrico 51350000, atendendo desde as condições boas do manancial até o limite da vazão degradante. Buscou-se representar graficamente essas condições, pois, de acordo com a literatura pesquisada, o intervalo correspondente a 20% e 40% da vazão média, a depender do período do ano, atenderiam as necessidades do manancial, e as porcentagens inferiores foram elencadas a título de comparação.

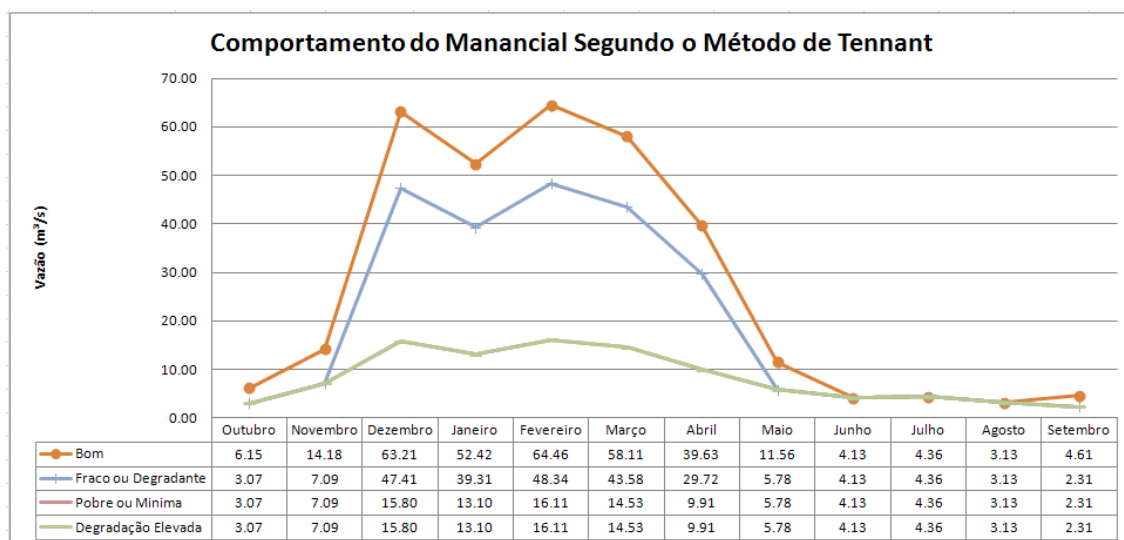


Figura 7 - Variação sazonal do posto de Argoim para condições tidas como boas pelo método de Tennant

Sendo assim, a **Figura 8** ilustra o comportamento do rio Jacuípe, no posto de Rio Branco, para condições tidas como boas pelo método de Tennant.

Já o posto Pedra do Cavalo (51490000) apresenta-se semelhante ao de Argoim, o que já era esperado, devido ao posto de Argoim responder por cerca de 90% da vazão que chega a Pedra do

Cavalo. Ainda assim, apesar da série de dados do posto 51490000 ser bastante reduzida quando comparado ao posto 51350000, observa-se um indício de que para condições tidas como boas pelo método, nem no período seco, de junho a setembro, vem sendo atendido pela proposta atual de 11m³/s, como vazão ecológica a ser mantida no manancial.

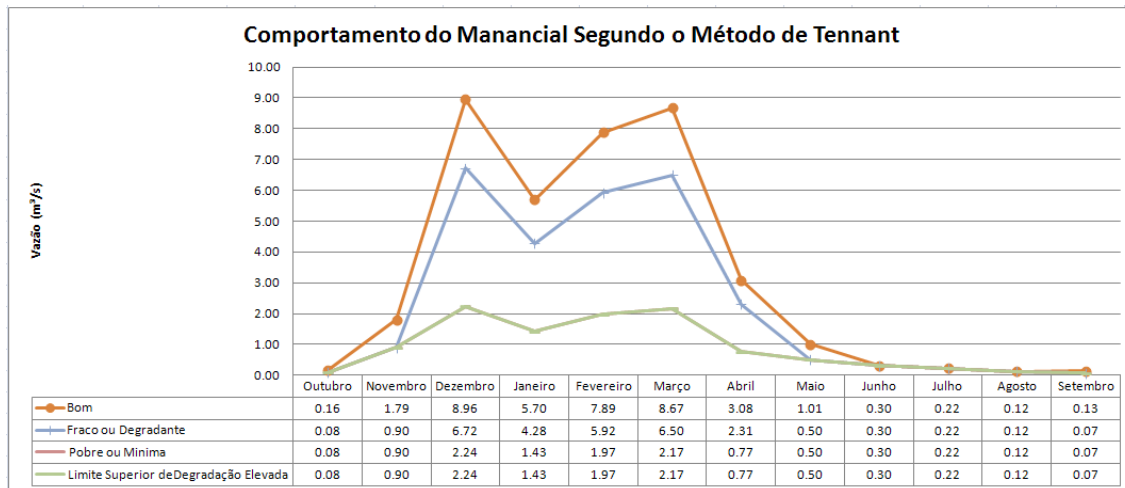


Figura 8 - Variação sazonal do posto de Ponte Rio Branco para condições tidas como boas pelo método de Tennant

Sendo assim, a **Figura 9** ilustra a situação tida como boa, e os níveis tidos como degradantes pelo método de forma a proporcionar a comparação.

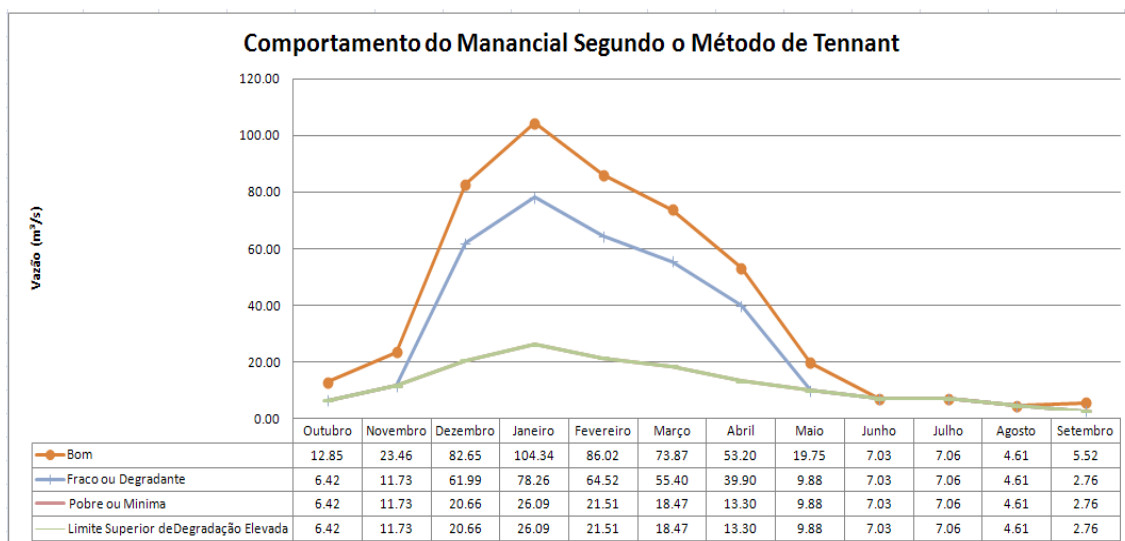


Figura 9 - Variação sazonal do posto de Pedra do Cavalo para condições tidas como boas pelo método de Tennant

4. CONCLUSÕES

As vazões mínimas de 7 dias aplicadas mês a mês, aparecem como método eficaz na descrição da sazonalidade do manancial. Nesse método o presente trabalho elaborou uma modificação de forma a adaptar o método para uma situação mensal. A diferença para o original consiste que ao invés de ter uma única vazão mínima anual representando o manancial durante todos os meses do ano, foram retidas as mínimas vazões mensais de 7 dias para cada mês em particular da série histórica. Em sua aplicação, observa-se a sazonalidade mínima das vazões a serem mantidas de forma a proporcionar boas condições para o ambiente aquático, em comparação com a proposta do método original, a qual não atende as necessidades mensais do corpo hídrico.

Utilizando as séries históricas de vazão diária disponíveis a montante do barramento, foi possível obter as curvas de permanência para todos os postos localizados no rio Paraguaçu e no rio Jacuípe a nível mensal. No geral, o método corresponde as expectativas para definição da vazão mínima indicando a sazonalidade inerente ao manancial.

Buscando avaliar a sazonalidade do rio Paraguaçu através do método de Tennant foram feitas algumas modificações mencionadas ao longo do estudo. Sendo as porcentagens aplicadas a média das vazões mensais da série histórica para cada mês em particular e alterados os meses correspondentes ao período úmido e seco de acordo com o hemisfério sul. Fica a observação para futuros trabalhos utilizarem a título de comparação. Ao comparar os resultados obtidos com esse método aos descritos anteriormente na revisão bibliográfica desse texto, verifica-se uma particularidade, como as porcentagens foram aplicadas mês a mês seguindo os critérios propostos por Tennant para definição dos limites de vazão, os resultados aparentemente se ajustaram melhor ao comportamento do curso natural.

Os métodos analisados indicam que a vazão constante pode estar impactando o ecossistema aquático para boa parte do ano, sendo necessária a avaliação de especialistas sobre a fauna e a flora para chegar a uma solução.

BIBLIOGRAFIA

ARTHINGTON, A.H.; J.M. ZALUCKI (Eds) (1998). **Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods**. (Authors – Arthington, A.H., Brizga, S.O., Pusey, B.J., McCosker, R.O., Bunn, S.E., Loneragan, N., Growns, I.O. & Yeates, M.). LWRRDC Occasional Paper 27/98. ISBN 0 642 26746 4.

ANDRADE, P. R. G. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C. **Índices de sustentabilidade na simulação da operação do reservatório de Pedra do Cavalo – Ba: Um estudo para compatibilização entre**

diversos usos da água e a hidroeletricidade. In: 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007, São Paulo – SP. 8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 2007

ANDRADE, P. R. G. S. **A complexa conexão entre sustentabilidade, conflitos e gestão de recursos hídricos: evidências de um estudo de caso.** X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2010.

GENZ, F. **Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo Sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape.** Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia (UFBA). Salvador, Bahia. Abril de 2006.

GENZ,F.; LESSA, G.C.; CIRANO, M. **Vazão Mínima para Estuários: Um Estudo de Caso no Rio Paraguaçu/BA.** RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.3 Jul/Set 2008, p. 73-82.

HATJE, V.; ANDRADE, J.B. **Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos.** In: LESSA, G.C.; GENZ, F.; CIRANO. Oceanografia Física. EDUFBA, Salvador, 2009. Cap. 3, p. 67-119.

KING, J.M.; THARME, R.E.; VILLIERS, M.S. **Enviromental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology.** Agosto, 2008

PAULO, R.G.F. **Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: Destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de Capim Branco I.** Belo Horizonte, 2007.

REIS, A.A. **Estudo Comparativo , Aplicação e Definição de Metodologias Apropriadas para a Determinação da Vazão Ecológica na Bacia do rio Pará, em Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 2007.

SARMENTO, R. **Estado da Arte da Vazão Ecológica no Brasil e no Mundo.** Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Junho de 2007.