

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CURVAS DE PERMANÊNCIA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE – GO**

*José Alexandre Pinto Coelho Filho<sup>1</sup>; Matheus Fonseca Durães<sup>2</sup>; Davi Nascimento Souza<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O conhecimento das vazões em uma bacia hidrográfica pode viabilizar diversos projetos relacionados aos recursos hídricos. A curva de permanência é uma ferramenta que sintetiza o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, e pode subsidiar processos de outorga de recursos hídricos superficiais. A curva de permanência pode ser obtida segundo duas abordagens: (i) para cada ano civil ou hidrológico, denotada AFDC (do inglês *annual flow-duration curves*), ou (ii) para todo o período de observação (curva de permanência de longo termo), denominada FDC (do inglês *flow-duration curves*). No presente estudo foram elaboradas as curvas de permanência anuais (AFDCs) e de longo termo (FDC), para a comparação entre os respectivos valores de vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  na bacia do rio Meia Ponte, no estado de Goiás, para o período de 1985 a 2014. Na sequência, foi calculada a variação das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  das AFDCs em relação àquelas obtidas pela FDC. Os resultados sugerem que na bacia do rio Meia Ponte, as vazões  $Q_{90}$  anuais são, em média, 15% superiores em relação à  $Q_{90}$  de longo termo. O mesmo comportamento é verificado para as vazões  $Q_{95}$ , entretanto o desvio médio é de 26%.

**ABSTRACT** – The knowledge of flows in a basin can enable several projects related to water resources. The flow duration curve is a graph that summarizes the hydrological regime of a watershed. The flow duration curve can be obtained from two approaches: (i) for each calendar or hydrological year, denoted AFDC (annual flow-duration curves), or (ii) for the entire observation period, which is known as FDC (flow-duration curves). In the present study, annual (AFDCs) and long-term (FDC) curves were drawn, for the comparison between the respective values of flows  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$  in the Meia Ponte river basin, in the state of Goiás, for the period from 1985 to 2014. Subsequently, the variation in flow rates  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$  of the AFDCs was calculated in relation to those obtained by the FDC. The results suggest that in the Meia Ponte river basin, the annual  $Q_{90}$  flows were, on average, 15% higher than those of the long-term  $Q_{90}$ . The same behavior was verified for flow rates  $Q_{95}$ , however the average deviation was 26%.

**Palavras-Chave** – Vazões de referência  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , Disponibilidade hídrica, vazões mínimas.

### **INTRODUÇÃO**

O conhecimento das vazões em uma bacia hidrográfica resulta em diversas aplicações no campo da engenharia de recursos hídricos, tais como o dimensionamento de obras hidráulicas de infraestrutura hídrica, por exemplo. Desta forma, a obtenção dessas variáveis não tem apenas

1) Engenheiro Civil, MSc., Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Avenida Brasil, 1731, Funcionários, Belo Horizonte – MG, 30140-002. (31) 3878-0307. alexandre.coelho@cprm.gov.br

2) Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Av. João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38400-902. duraes@ufu.br

3) Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Pesquisador em Geociências, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Avenida Ulysses Guimarães, 2862, Sussuarana, Salvador – BA, 41213-000. (71) 2101-7330. davi.souza@cprm.gov.br

importância acadêmica, mas também prática, uma vez que pode viabilizar diversos projetos relacionados aos recursos hídricos.

As curvas de permanência, em sua interpretação de longo termo, constituem uma ferramenta gráfica que pode indicar o comportamento hidrológico de uma determinada bacia hidrográfica delimitada a partir de uma seção fluvial de referência. Dessa maneira, as curvas de permanência representam um procedimento metodológico para a análise do regime hidrológico em cursos de água, além de constituir em uma ferramenta gráfica para a comparação do comportamento de bacias hidrográficas distintas (Searcy, 1959).

Neste contexto, a curva de permanência pode sugerir o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, conforme pesquisado por Franchini e Ferraresi (1988), onde os autores analisaram as informações sobre as características de cursos d'água por meio da curva de permanência.

Diversas são as aplicações das curvas de permanência de vazões na engenharia de recursos hídricos. Dentre elas, destacam-se estudos relacionados à disponibilidade hídrica, avaliações de aproveitamento hidrelétrico, operação de reservatórios, projetos de irrigação e estudos de qualidade das águas (Pinheiro e Naghettini, 2010).

A curva de permanência de vazões indica, ao longo de um período de observação, a porcentagem do tempo em que dada descarga foi igualada ou superada durante o histórico registrado em dada seção fluvial, pois mostra graficamente a relação entre a magnitude e a frequência da variável em questão (VOGEL e FENNESSEY, 1994).

Em hidrologia, é frequente a utilização da curva de permanência de vazões para o planejamento e projeto de sistemas de recursos hídricos e, também, como instrumento de outorga de direito de uso da água em alguns estados brasileiros (inclusive no estado de Goiás), servindo como ferramenta para o cálculo das vazões de referência (vazões mínimas).

As curvas de permanência construídas com base em todo o período histórico disponível são denominadas de curvas de permanência de longo termo, cuja sigla em inglês é FDC – *flow-duration curves*. Já as curvas de permanência anuais, ou AFDCs (*annual flow-duration curves*), são elaboradas para cada ano civil ou hidrológico.

De acordo com Hughes e Smakhtin (1996), as FDCs podem ser aplicadas para preenchimento de falhas e geração de séries de vazão em bacias desprovidas de monitoramento. Nesse sentido, pode-se citar o trabalho elaborado por Castellarin (2007), que apresenta um método para a regionalização de curvas de permanência, o qual foi estendido no estudo realizado por Pinheiro e Naghettini (2010) para a calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento, utilizando curvas de permanência sintéticas.

O presente trabalho visa quantificar a variação das vazões de permanência temporal de 90% e 95% na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, no estado de Goiás, por meio da elaboração das curvas de permanência anuais (AFDCs) para o período de 1985 a 2014.

Em seguida, os valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , ou seja, a vazão que é excedida em 328,5 dias do ano (90% dos dias do ano) e 346,7 dias do ano (95% dos dias do ano), respectivamente, serão comparados em relação àqueles obtidos pela elaboração da curva de permanência de longo termo (FDC) considerando todo o registro temporal de vazões observadas entre os anos de 1985 e 2014.

As vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  podem contribuir para a estimativa de disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas (Coelho Filho *et al.* 2015), além de servir de informação fundamental para a instrução de processos de gestão de recursos hídricos relativos ao enquadramento e à outorga pelo uso da água, conforme apresentado por Cruz e Tucci (2008).

## OBJETIVOS

O presente estudo tem por objetivo a análise comparativa entre curvas de permanência (anual e de longo termo) na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, no estado de Goiás, e quantificar as respectivas vazões de permanência de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) do tempo.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

De acordo com a Associação Ambiental Pró-Águas do Cerrado - AAPAC (2020), a bacia do rio Meia Ponte (Figura 1) possui suas nascentes no município de Itauçu/GO, desaguando no rio Paranaíba, no município de Cachoeira Dourada/GO, o qual fica à aproximadamente 234 km de Goiânia, capital do Estado de Goiás, abrangendo uma área de drenagem de 12.180 km<sup>2</sup>. De acordo com Cunha (2007), a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte é a mais densamente povoada do Estado de Goiás, abrangendo 39 municípios.

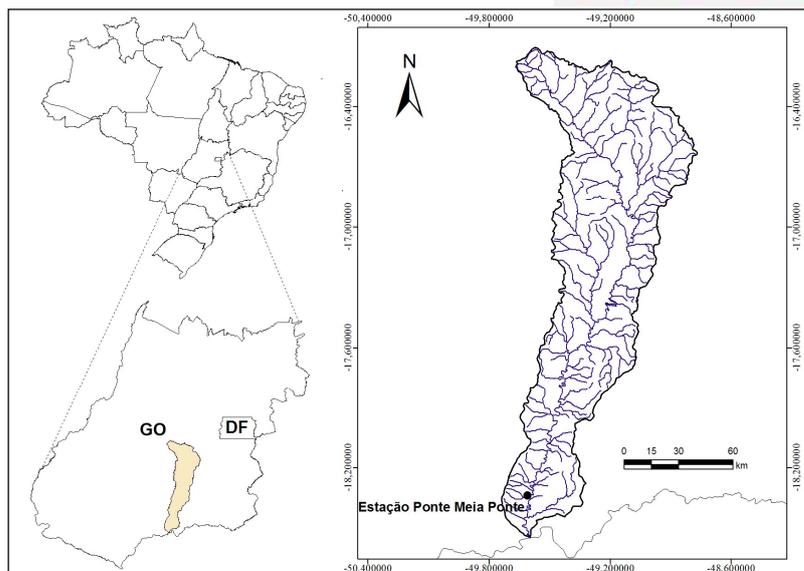


Figura 1 –Bacia hidrográfica do rio Ponte Meia Ponte e estação Ponte Meia Ponte (60680000).

### Elaboração das curvas de permanência

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), a curva de permanência pode ser elaborada de acordo com os seguintes passos:

- (1) Ordenar as vazões  $Q$  em ordem decrescente;
- (2) Atribuir a cada vazão ordenada  $Q_m$ , a sua respectiva ordem de classificação  $m$ ;
- (3) Associar a cada vazão ordenada  $Q_m$  a sua respectiva frequência ou probabilidade empírica de ser igualada ou superada  $P(Q \geq Q_m)$ , a qual pode ser estimada pela razão  $(m/N)$ , onde  $N$  corresponde o número de registros fluviométricos;
- (4) Lançar em um gráfico as vazões ordenadas e suas respectivas porcentagens  $100(m/N)$  de serem igualadas ou superadas no intervalo de tempo considerado.

O regime hidrológico de uma bacia hidrográfica pode ser caracterizado por uma série de vazões, as quais podem ser esquematizadas graficamente por um fluviograma. A Figura 2 ilustra uma curva de permanência genérica, sem predileção temporal (se anual - AFDC ou de longo termo - FDC), a qual mostra a permanência das vazões relacionadas pelo fluviograma.

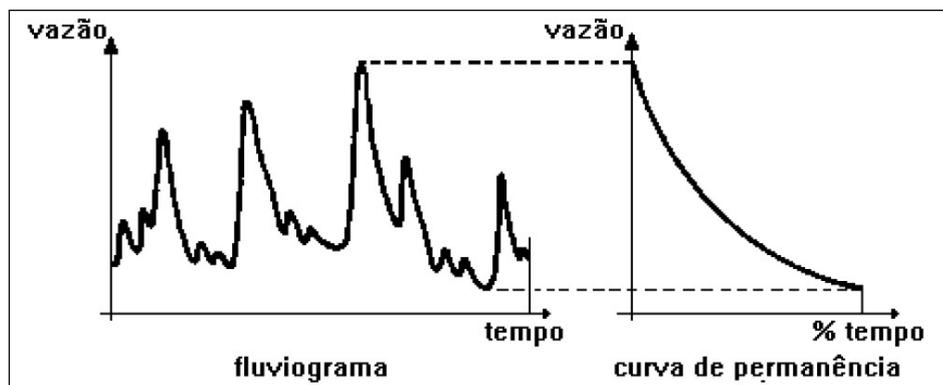


Figura 2 – Representação de um fluviograma e suas vazões relacionadas em uma curva de permanência.

Fonte: Adaptado de Quimpo e McNally (1983).

No presente estudo foram elaboradas as curvas de permanência anuais (AFDCs) e de longo termo (FDC), para a comparação entre os respectivos valores de vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , ou seja, as vazões com permanência temporal de 90% e 95% na bacia do rio Meia Ponte.

Para a elaboração das curvas de permanência serão utilizados os dados de séries históricas de monitoramento de vazão (vazões médias mensais) entre os anos de 1985 e 2014, os quais foram registrados pela estação fluviométrica Ponte Meia Ponte (60680000), operada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, e pertencente à rede Hidrometeorológica Nacional gerenciada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Essa estação foi considerada como ponto de controle em função da sua localização na bacia em análise (Figura 1), cuja área de drenagem é de 11.500 km<sup>2</sup>, ou seja, 94% da área da bacia do Meia Ponte, que é de 12.180 km<sup>2</sup>. Em função da parcela significativa de área controlada pela estação em análise, considera-se nesse estudo os resultados dessa estação sendo a disponibilidade hídrica superficial para toda a bacia do Meia Ponte.

Embora a estação apresente registros fluviométricos datando desde o ano de 1951, as AFDCs foram elaboradas para os anos de 1985 a 2014, abrangendo um conjunto de 30 anos para obtenção dos respectivos valores de vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ . Considera-se a premissa de que esses 30 anos de monitoramento possam indicar a variação da permanência dos dados de vazão na bacia do rio Meia Ponte.

Os dados de vazão registrados a partir do ano de 2015 ainda possuem algumas falhas na série histórica de monitoramento, motivo pelo qual não foram utilizados na presente aplicação. De acordo com Yevjevich (1972), as falhas nas observações que compõem a série histórica podem resultar na possibilidade de grandes incertezas quanto às estimativas de parâmetros estatísticos. Dessa forma, também adotou-se como critério a não utilização de anos que apresentaram meses com mais de 10 falhas de registro de observação de dados de vazão.

Com os registros de vazões médias mensais entre os anos de 1985 a 2014, foram elaboradas as AFDCs e a FDC, e conseqüentemente obtidas suas respectivas vazões de permanência temporal de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ). Em última etapa, foram calculados os percentuais de variação entre os valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  obtidos para as AFDCs, em relação àqueles obtidos pela FDC.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta a curva de permanência de longo termo (FDC), juntamente com as curvas de permanência anuais (AFDCs), elaboradas para a bacia do rio Meia Ponte.

Pode-se observar que a vazão  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , ou seja, a vazão que é excedida em 328,5 dias do ano (90% dos dias do ano) e 346,7 dias do ano (95% dos dias do ano), respectivamente, são da ordem de 54,87 e 46,41  $m^3 \cdot s^{-1}$ . Os valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  obtidas pela elaboração das AFDCs são relacionados na Tabela 1.

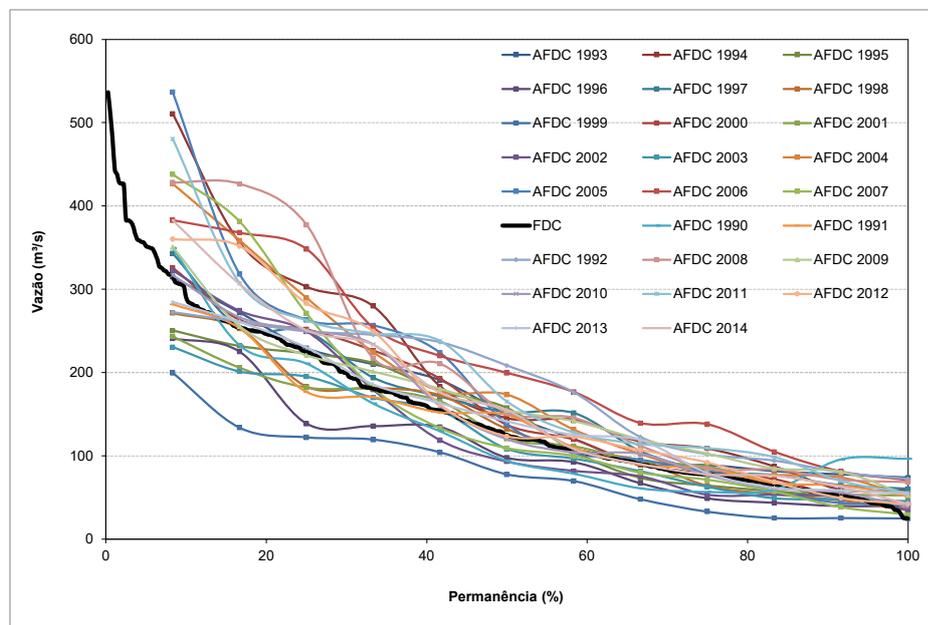


Figura 3 – Curvas de permanência anual (AFDCs) e curva de permanência de longo termo (FDC) elaborada para a bacia do rio Meia Ponte.

Tabela 1 – Valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  anuais.

Ano	$Q_{90}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	$Q_{95}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Ano	$Q_{90}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	$Q_{95}$ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
1985	75,42	70,25	2000	54,62	47,36
1986	58,75	55,86	2001	56,97	53,62
1987	76,86	73,24	2002	50,99	44,33
1988	88,98	81,10	2003	48,41	47,16
1989	62,60	61,70	2004	74,64	65,19
1990	88,53	96,16	2005	46,04	42,97
1991	64,80	59,26	2006	85,85	76,99
1992	82,96	77,07	2007	42,13	34,78
1993	78,53	76,23	2008	73,68	70,15
1994	64,75	59,10	2009	81,46	69,44
1995	52,00	46,74	2010	56,93	49,17
1996	40,52	39,70	2011	75,48	64,00
1997	67,16	63,00	2012	53,21	46,58
1998	47,95	41,77	2013	59,45	57,26
1999	25,30	25,13	2014	65,40	54,48

A comparação entre as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  obtidas pelas AFDCs em relação aos valores obtidos pela FDC pode ser visualizada em formato gráfico, tal como apresentado nas Figuras 4 e 5.

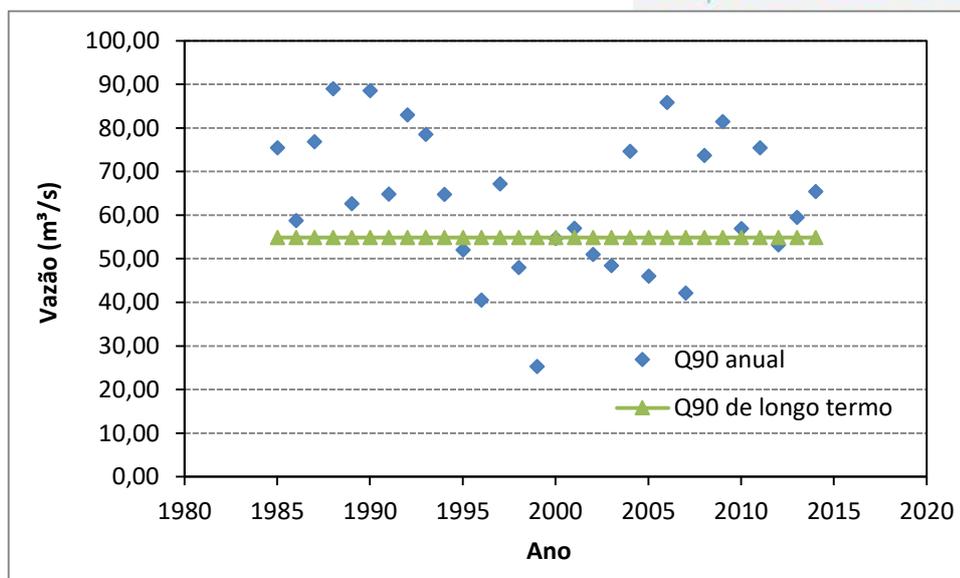


Figura 4 – Comparação dos valores das vazões Q<sub>90</sub> anuais em relação à de longo termo.

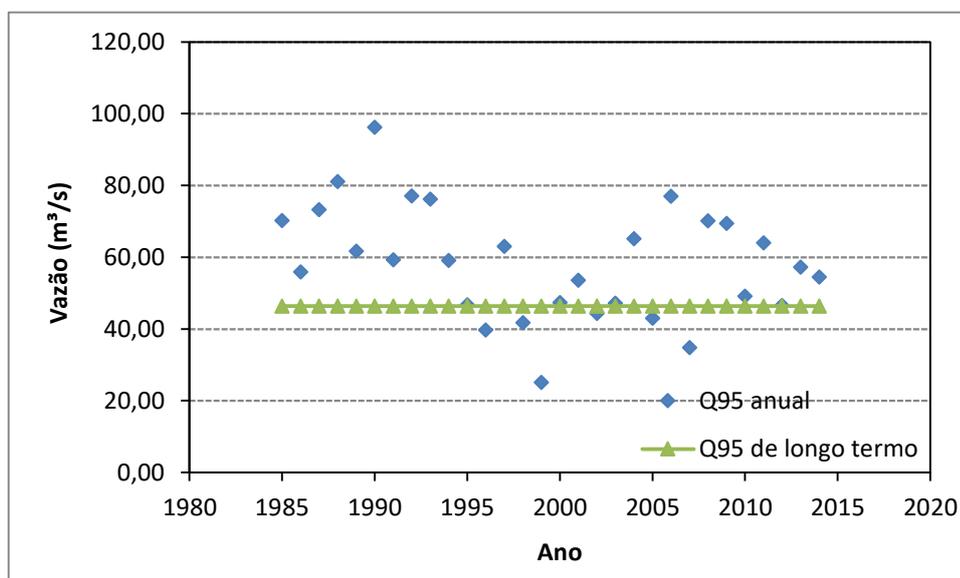


Figura 5 – Comparação dos valores das vazões Q<sub>95</sub> anuais em relação à de longo termo.

A análise das Figuras 4 e 5 indica que os valores das vazões Q<sub>90</sub> anuais são superiores em relação às vazões de longo termo para a maior parte dos anos considerados (1985 a 1994, 1997, 2000, 2001, 2004, 2006, 2008 a 2011, 2013 e 2014), enquanto os demais anos apresentaram vazões anuais com permanência de 90% do tempo inferior às de longo termo.

As vazões Q<sub>95</sub> anuais são superiores em relação às vazões de longo termo para a maior parte dos anos considerados (1985 a 1995, 1997, 2000 e 2001, 2003 e 2004, 2006, 2008 a 2014), enquanto os demais anos apresentaram vazões anuais com permanência de 95% do tempo inferior às de longo termo.

O cálculo dos percentuais de variação entre a Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub> anual e de longo termo são relacionados na Tabela 2, a qual pode ser visualizada em formato gráfico na Figura 6.

Tabela 2 – Desvios percentuais entre as vazões Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub> anuais e de longo termo.

Ano	Desvio % (Q <sub>90</sub> )	Desvio % (Q <sub>95</sub> )	Ano	Desvio % (Q <sub>90</sub> )	Desvio % (Q <sub>95</sub> )
1985	0,37	0,51	2000	0,00	0,02
1986	0,07	0,20	2001	0,04	0,16
1987	0,40	0,58	2002	-0,07	-0,04
1988	0,62	0,75	2003	-0,12	0,02
1989	0,14	0,33	2004	0,36	0,40
1990	0,61	1,07	2005	-0,16	-0,07
1991	0,18	0,28	2006	0,56	0,66
1992	0,51	0,66	2007	-0,23	-0,25
1993	0,43	0,64	2008	0,34	0,51
1994	0,18	0,27	2009	0,48	0,50
1995	-0,05	0,01	2010	0,04	0,06
1996	-0,26	-0,14	2011	0,38	0,38
1997	0,22	0,36	2012	-0,03	0,00
1998	-0,13	-0,10	2013	0,08	0,23
1999	-0,54	-0,46	2014	0,19	0,17

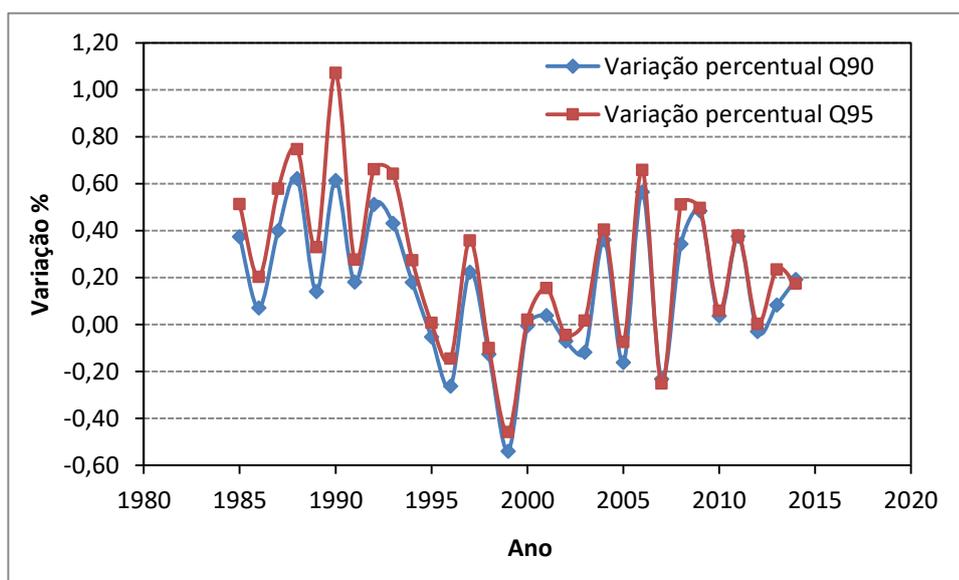


Figura 6 –Variação percentual das vazões anuais Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub> em relação às de longo termo.

Observa-se que a maior variação da Q<sub>90</sub> anual ocorreu no ano de 1988, sendo 62% superior em relação à Q<sub>90</sub> de longo termo. A mesma análise vale para a Q<sub>95</sub>, entretanto a variação foi 107% (ano de 1990) superior em relação à vazão de longo termo.

Considerando-se desvios calculados, observa-se que a Q<sub>90</sub> anual é, em média, 15% superior em relação à Q<sub>90</sub> de longo termo. O mesmo comportamento é verificado para a Q<sub>95</sub>, entretanto o desvio médio é de 26%.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo do presente artigo foi quantificar a variação das vazões de permanência temporal de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, por meio da elaboração das curvas de permanência anuais (AFDCs) para o período de 1985 a 2014.

Em seguida, foi calculada a variação das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  pela elaboração das AFDCs em relação àqueles obtidos pela elaboração da curva de permanência de longo termo (FDC) para o mesmo período.

A FDC resultou em valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , da ordem de 54,87 e 46,11  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Considerando-se as AFDCs, os valores das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  são superiores em relação aos da FDC para a maioria dos anos considerados. As vazões  $Q_{90}$  anuais são superiores em relação às vazões de longo termo nos anos de 1985 a 1994, 1997, 2000, 2001, 2004, 2006, 2008 a 2011, 2013 e 2014, enquanto os demais anos apresentaram vazões anuais com permanência de 90% do tempo inferior às de longo termo.

As vazões  $Q_{95}$  anuais são superiores em relação às vazões de longo termo nos anos de 1985 a 1995, 1997, 2000 e 2001, 2003 e 2004, 2006, 2008 a 2014, enquanto os demais anos apresentaram vazões anuais com permanência de 95% do tempo inferior às de longo termo.

As maiores variações entre as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para as AFDCs e FDC foram, pela ordem, de 62% e 107%, nos anos de 1988 e 1990.

Os resultados sugerem que na bacia do rio Meia Ponte, a vazão  $Q_{90}$  anual é, em média, 15% superior em relação à  $Q_{90}$  de longo termo. O mesmo comportamento é verificado para a vazão  $Q_{95}$ , entretanto o desvio médio é de 26%.

Diante do exposto, sugere-se a elaboração de futuros estudos com a inclusão de novos registros de dados de vazão para verificar a permanência das vazões no rio Meia Ponte, e também a análise de outras variáveis hidrológicas, tais como dados de precipitação, que possam contribuir no entendimento do regime das vazões nessa bacia.

Neste contexto, o presente estudo buscou contribuir para a quantificação das vazões de referência (vazões mínimas) na bacia do rio Meia Ponte (onde localiza-se a cidade de Goiânia, capital de Goiás), por meio da metodologia da curva de permanência (anual e de longo termo), a qual é utilizada em processos de outorga de recursos hídricos superficiais no estado de Goiás.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a Universidade Federal de Uberlândia – UFU pela oportunidade da elaboração desse estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO AMBIENTAL PRÓ-ÁGUAS DO CERRADO (AAPAC). Caracterização da Bacia do Meia Ponte. Disponível em: < <http://www.proaguasdocerrado.org.br>>. Acesso em 27 de agosto de 2020.

CASTELLARIN, A.; CAMORANI, G.; BRATH, A. *Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins*. Advances in Water Resources, 30, p. 937-953, 2007.

COELHO FILHO, J. A. P.; CARDOSO, A. T.; SOUZA, D. N. ; VEIGA, A. M. *Disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte - GO, pelos métodos  $Q_{7,10}$  e Curva de Permanência*. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília, DF. Anais da ABRH. Porto Alegre, RS: ABRH, 2015.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. *Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, n. 1, p.111-124, 2008.

CUNHA, M. A. C.; *Evolução das Vazões do Rio Meia Ponte Jusante de Goiânia*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo-SP. Anais da ABRH. Porto Alegre-SP: ABRH, 2007. v. 1. p. 17.

FRANCHINI, M.; FERRARESI, M. *Analisi regionale dei deflussi di magra tramite le curve de durata*. Proc. XXI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, L' áquila, Maggioli Editore, Setembro, 1988. Col.1, 139-149.

HUGHES, D. A.; SMAKHTIN, V. Y. *Daily flow data time series patching or extension: a spatial interpolation based on flow duration curves*. Hydrological Sciences Journal, 41 (6), p. 851-871, 1996.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. 1a ed. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007, 561p.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. *Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, n. 2, p.143-156, 2010.

QUIMPO, R. G.; McNALLY, T.A. (1983). *Regionalized flow duration for Philippines*. In: Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 109, nº 4, p. 320-330. Oct. 1983.

SEARCY, J. K. Flow duration curves. In: USGS – U.S. Geological Survey. *Manual of Hydrology*, part. 2. Low – flow techniques. USGS Supply Paper 1542A. Washington: U.S. Government Printing Office, 1959. 33 p.

VOGEL, R.M.; FENNESSEY, N.M. *Flow-duration curves I: new interpretation and confidence intervals*. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 120, nº 4, p. 485-504, 1994.

YEVJEVICH, V. M. *Probability and Statistics in Hydrology*. Fort Collins (CO): Water Resources Publications, 1972.