

## **Avaliação integrada da curva de permanência da vazão fluvial e da carga de fósforo em bacia hidrográfica rural**

### **Integrated evaluation of the cumulative frequency curve of the flow and phosphorus load in a watershed basin**

DOI: 10.34188/bjaerv6n3-061

Recebimento dos originais: 05/05/2023

Aceitação para publicação: 30/06/2023

#### **Gerson Conceição**

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) / Centro Tecnológico / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Instituição: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC (Epagri) / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (CIRAM)

Endereço: , Rodovia Admar Gonzaga, 1347 - Bairro Itacorubi, Florianópolis - SC, Brasil

E-mail: gconceicao@epagri.sc.gov.br

#### **Guilherme Xavier de Miranda Jr**

Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) / Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) / Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Instituição: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC (Epagri) / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (CIRAM)

Endereço: Rodovia Admar Gonzaga, 1347 - Bairro Itacorubi, Florianópolis - SC, Brasil

E-mail: gmiranda@epagri.sc.gov.br

#### **José Luiz Rocha Oliveira**

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) / Centro Tecnológico / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Instituição: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC (Epagri) / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de SC (CIRAM)

Endereço: Rodovia Admar Gonzaga, 1347 - Bairro Itacorubi, Florianópolis - SC, Brasil

E-mail: joseoliveira@epagri.sc.gov.br

#### **RESUMO**

A análise conjunta da curva de permanência de qualidade e quantidade da água são importantes ferramentas de auxílio ao gerenciamento de recursos hídricos, pois mostra em quanto um determinado parâmetro é igualado ou superado frente ao enquadramento proposto, facilitando assim a verificação do cumprimento da legislação ambiental. Neste estudo é apresentada uma abordagem das curvas de permanência de dados de vazões (2010 a 2018) e de fósforo total (2004 a 2018) no rio Rio Frágoso. Através das curvas de permanência de fósforo e de vazão fluvial constatou-se que em diversos momentos do monitoramento a concentração de fósforo permitida fica acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, para o referido rio em estudo.

**Palavras-chave:** fósforo total, vazão fluvial, curvas de permanência.

## ABSTRACT

The joint analysis of the water quality and quantity cumulative frequency curve are important tools to aid the management of water resources, as it shows to what extent a given parameter is equaled or surpassed against the proposed framework, thus facilitating the verification of compliance with environmental legislation. This study presents an approach to the permanence curves of river flow data (2010 to 2018) and total phosphorus (2004 to 2018) in the Rio Frágoso river. Through the phosphorus and flow cumulative frequency curve, it was found that at various times of monitoring the concentration of phosphorus allowed is above the limit established by Conama legislation 357/2005, for the referred river under study.

**Keywords:** total phosphorus, river flow, cumulative frequency curves.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Fitz (2008) o uso das unidades hidrológicas, bacia e sub-bacia ajustam-se perfeitamente à sistemática de gestão dos recursos naturais. A integração existente entre o ambiente terrestre e todo o percurso de captação e drenagem da água remete a importância de utilização de unidades hidrológicas como unidade de gestão do ecossistema (ODUM & BARRETT, 2007).

A Bacia Hidrográfica do Rio Frágoso (BHRF) vem, desde o início do ano 2000, sendo monitorada com diferentes abordagens e finalidades. Projetos conduzidos pela Epagri, Embrapa Suínos e Aves, e a Universidade do Contestado vêm realizando campanhas para análise da qualidade da água do Rio Frágoso e seus afluentes. Por sua vez a Usina Hidrelétrica Itá (UHE Itá), cumprindo o que prevê as exigências do seu licenciamento de operação junto ao IBAMA, também realiza campanhas mensais desde o ano de 2004, monitorando vários aspectos do seu reservatório e tributários, como é o caso da BHRF. Os monitoramentos realizados apresentam informações que permitem melhor avaliar as alterações na qualidade da água e os seus impactos sobre o ecossistema aquático, bem como estabelecer uma relação entre a pressão decorrente das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia e as alterações no regime hídrico e da qualidade da água (OLIVEIRA *et al*, 2016).

A escolha da BHRF para a realização do estudo deve-se ao fato da mesma ser representativa do meio ambiente rural da região oeste catarinense, ou seja, território de topografia montanhosa, predomínio de pequenas propriedades rurais familiares e grande concentração de criações de suínos, frangos de corte e bovinos.

Neste estudo as curvas de permanência dos dados de monitoramento de Fósforo e vazão fluvial da BHRF foram analisadas conjuntamente e, assim, foi verificado o comportamento deste parâmetro de qualidade da água para diferentes vazões. Entre os principais resultados de obtenção da curva de permanência da vazão é o aprofundamento do entendimento da dinâmica do Fósforo no

âmbito da BHRF, informações que se revelam essenciais para a gestão mais sustentável desse ecossistema.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido na BHRF, localizada no município de Concórdia, no Oeste do estado de Santa Catarina, Brasil, entre as coordenadas geográficas 27° 15' 41,86" e 27° 12' 31,95" S e 52° 12' 23,48" e 52° 1' 47,79" W. A área de drenagem é de aproximadamente 59 km<sup>2</sup>. O comprimento do rio principal é de 25,65 km com uma variação de altitude em relação ao nível do mar entre 862 e 332 m, apresentando uma declividade média de 23%. Na foz da bacia há a conexão direta com o reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá (UHIT).

A BHRF é uma bacia representativa da região oeste do Estado, com significativa concentração de suínos e com práticas de aplicação de dejetos no solo para ciclagem de nutrientes, por anos consecutivos.

Foram utilizados dados hidrológicos da Epagri, Embrapa e Usina Hidrelétrica Itá (UHE Itá), obtidos através das campanhas mensais diárias de monitoramento dos parâmetros físico-químico da qualidade e quantidade da água, realizadas desde o ano de 2004, para avaliar a vazão fluvial e a poluição difusa de fósforo que são carregados para a rede de drenagem.

A partir das medições dos perfis de velocidade na seção de monitoramento na foz da BHRF, totalizando vinte e uma medições de vazão fluvial (Q) com equipamento acústico, determinou-se as descargas líquidas. Após a determinação das vazões por meio das medições, juntamente com o monitoramento diário de cotas (h), por meio de estação automática fluviométricas instaladas na margem direita da sessão, obteve-se a curva-chave (equação 1) que auxiliou na determinação das vazões diárias.

$$Q \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{)} = 18,173 \cdot h^2 - 5,379 \cdot h + 3,5961 \quad (1)$$

Para a construção da curva de permanência da vazão fluvial do Rio Frágoso utilizou-se a estimativa de posição de plotagem de Weibull, que expressa as permanências de acordo com a equação 2.

$$P = i / (n+1) \quad (2)$$

Em que:

P = Probabilidade;

I = número de ordem das vazões;

N = número total de dados utilizados.

A elaboração das curvas de permanência de quantidade da água (vazão fluvial) atrelada à de qualidade (nutrientes) foi similar à abordagem feita por Cunha et al. (2012), tendo servido de referência para avaliação da qualidade da água, considerando-se a Resolução CNRH 91/ 2008, em seu artigo 15, segundo a qual nos corpos de água superficiais ainda não enquadrados pode ser adotada a classe 2 como referência.

As curvas de permanência foram elaboradas a partir da carga de fósforo, pois se identificou que a concentração para este nutriente ficou superior ao valor permitido, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para o Rio Frágoso. Para isso foi preciso multiplicar a concentração do parâmetro (C) pela sua vazão ( $Q_{med}$ ), número de dias do mês (D) e por um fator para mudança de unidade, para se obter a carga observada ( $C_{obs}$ ) segundo a equação 3.

Como a vazão ( $Q_{med}$ ) é monitorada por dia, foi utilizada a sua média do mês analisado para que possamos ter a dimensão da carga mensal exportada na bacia.

$$C_{obs} \text{ (kg} \cdot \text{mês}^{-1}\text{)} = Q_{med} \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)} * C_{enq} \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)} * 86,4 * D \quad (3)$$

A carga permitida ( $C_{per}$ ), segundo o enquadramento da Resolução CONAMA 357/2005, foi calculada pela equação 4, sendo utilizada a concentração estabelecida pelo enquadramento ( $C_{enq}$ ) ao fósforo.

$$C_{per} \text{ (kg} \cdot \text{mês}^{-1}\text{)} = Q_{med} \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)} * C_{enq} \text{ (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)} * 86,4 * D \quad (4)$$

Calculadas as cargas de nutrientes, foram elaboradas as curvas de permanência da seguinte forma: as vazões e suas cargas correspondentes foram ordenadas de forma decrescente em relação à vazão. Para cada vazão foram relacionados um valor “m” de ordem de posição de plotagem empírica, e a probabilidade de excedência ( $F_{exc}$ ) de cada vazão foi calculada pela equação 5, sendo n o número total da série.

$$F_{exc} = m/(n+1) \quad (5)$$

A curva de permanência de vazão para carga de fósforo, foi elaborada ordenando os valores de vazão de forma decrescente mantendo suas cargas correspondentes associadas a frequência de excedência.

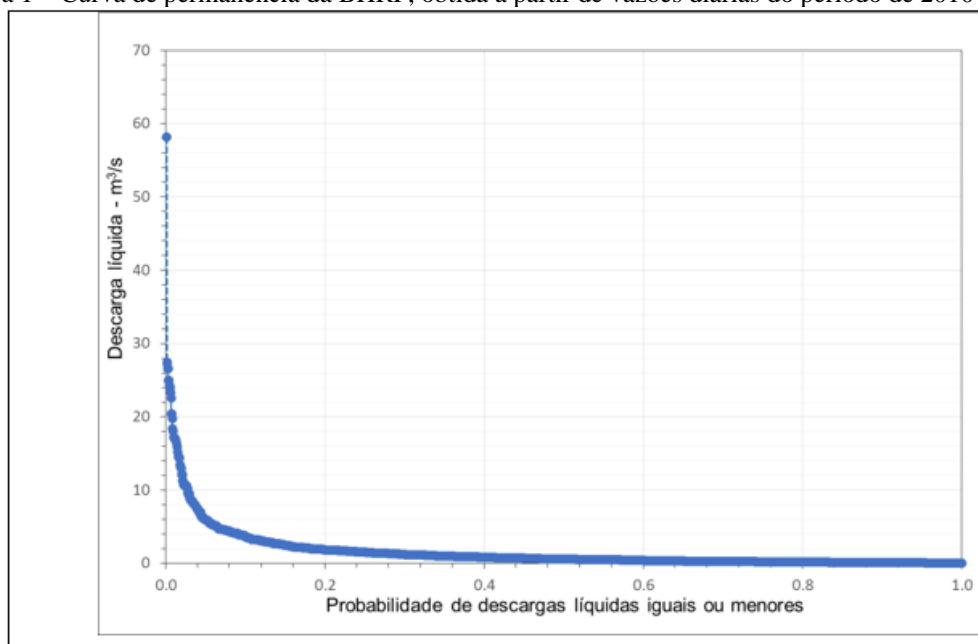
### 3 RESULTADOS

A curva de permanência da BHRF (Figura 1) foi elaborada a partir das descargas líquidas diárias obtidas do período de 2010 a 2018. Para este período de monitoramento das vazões fluviais os valores encontrados na BHRF com permanência de 5%, 10%, 50%, 90% e 95%, são respectivamente:  $Q_5 = 5,976 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{10} = 3,620 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{50} = 0,640 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{90} = 0,156 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $Q_{95} = 0,114 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

De acordo com Searcy (1963), a presença de declividades fortes nas curvas de permanência denota o fluxo altamente variável, com predominância de escoamento direto, enquanto declividades menores revelam a presença de armazenamento de água na superfície ou no aquífero da bacia, que tende a equalizar as vazões. A declividade da parte inferior da curva de permanência fornece informações quanto às características hidrogeológicas do aquífero da bacia, em relação a sua capacidade de armazenamento. Uma declividade mais plana indica maior capacidade de armazenamento e uma declividade íngreme indica menor capacidade de armazenamento da bacia.

Franchini e Ferraresi (1988) analisaram as informações sobre as características de cursos d'água, por meio da curva de permanência, definindo-as que a sua forma pode caracterizar o comportamento de um curso d'água como: regime pluvial breve com período de seca, regime pluvial perene, e regime fortemente torrencial perene. Conforme a classificação destes autores a forma da curva de permanência da BHRF possui um regime fortemente torrencial perene.

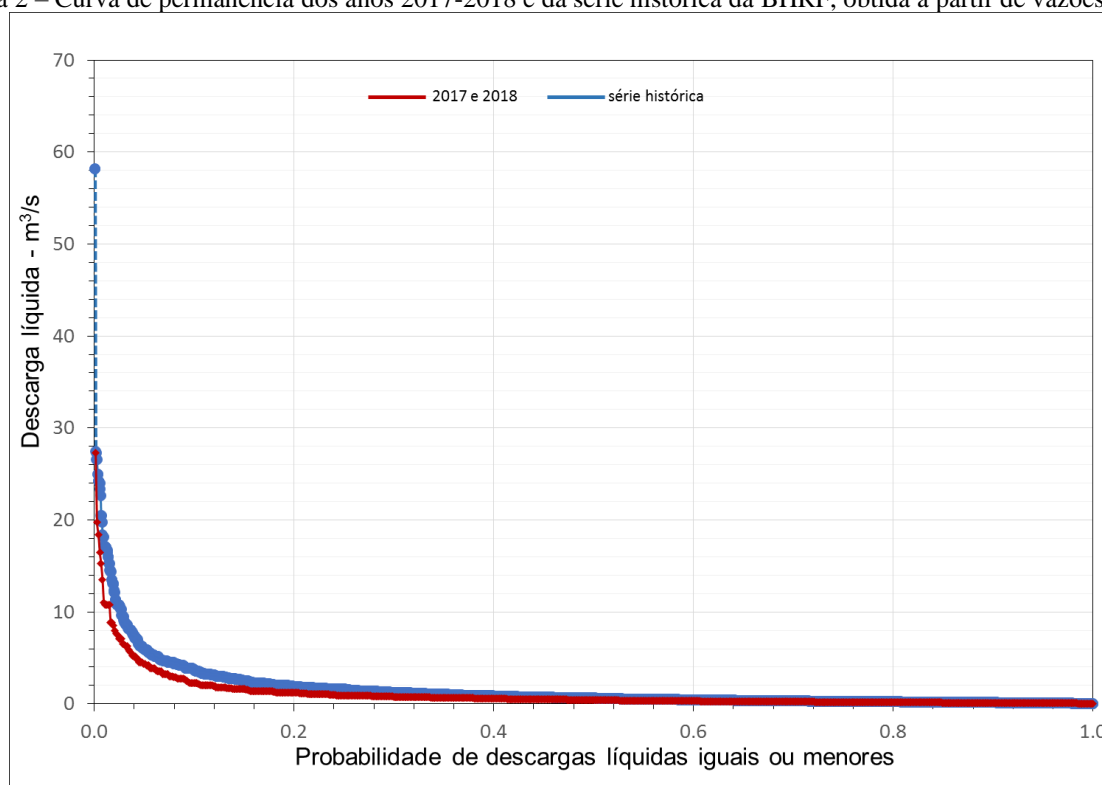
Figura 1 – Curva de permanência da BHRF, obtida a partir de vazões diárias do período de 2010 a 2018.



Na Figura 2 são apresentadas as vazões de permanência ocorridas para os anos de 2017-2018 e a curva de permanência da série histórica do Rio Frágoso. Observa-se que entre os anos de 2017 e 2018 a curva de permanência de vazões ficaram abaixo da série histórica, com a ocorrência de vazões menores para estes dois últimos anos de monitoramento, indicando que estes anos foram menos chuvosos, tendo ocorrido o predomínio de períodos de estiagens.

Os valores das descargas líquidas que comumente são utilizadas em projetos hidráulicos e em projetos ambientais, para os anos de 2017-2018 apresentaram-se:  $Q_{95}=0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_{90}=0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_{50}=0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $Q_{10}=2,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Figura 2 – Curva de permanência dos anos 2017-2018 e da série histórica da BHRF, obtida a partir de vazões diárias.



O ano de 2017 apresentou sete ondas de cheias que ultrapassaram  $5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , enquanto que o ano de 2018 apresentou 6 ondas de cheias.

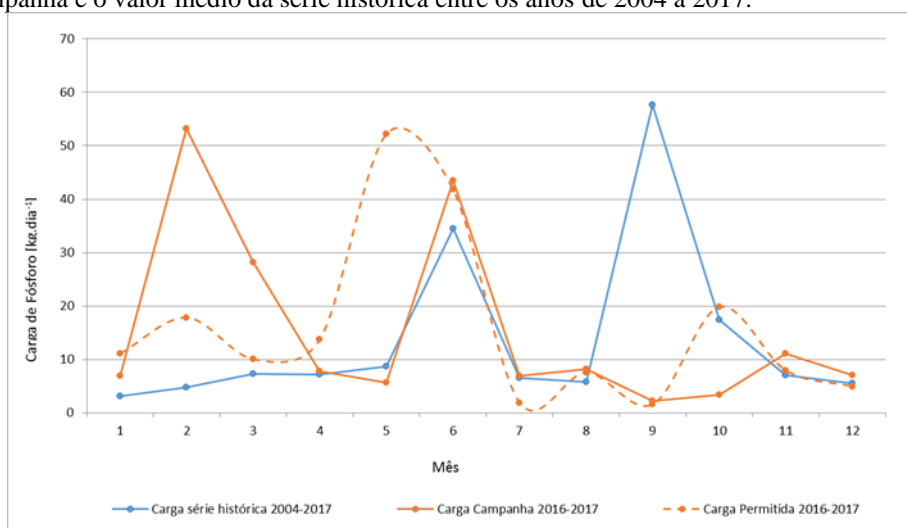
No ano de 2017, o período em que as vazões atingiram os maiores valores foram em maio ( $27,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e outubro ( $18,41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Já em 2018 ocorreram nos meses de setembro ( $11,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e em outubro ( $8,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

A análise da carga diária de fósforo obtida na campanha de 2016-2017 na Figura 3, permite identificar que em 8 amostragens nos diferentes meses de informações as cargas ficaram acima da carga permitida. Entretanto quando analisamos em termos de médias mensais verificamos que são 10 meses os que ficam acima da carga permitida.

Quando comparamos os dados da campanha de 2016-2017 com a série histórica mensal na Figura 3, verificamos que a maioria dos meses coletados os valores ficaram acima da série histórica com exceção de maio, setembro e outubro, que ficaram abaixo.

Também se verifica através da Figura 3 que os meses mais preocupantes foram fevereiro e março que apresentam valores de carga bem acima da série histórica. Já para os meses de setembro e outubro as cargas ficaram abaixo da série histórica. Isto pode estar associado aos valores significativos de precipitações elevando as vazões e a produção de sedimentos carreados nos meses de fevereiro e março da campanha de 2016-2017. Conceição (2013, aponta que os meses de setembro e outubro são os períodos em que a região apresenta as maiores intensidades de precipitação o que provoca as ondas de cheias carreando nutrientes para os rios, que pode ser atribuído à passagem de frentes frias e sistemas convectivos de mesoescala que provocam chuvas mais intensas na região de Concórdia-SC.

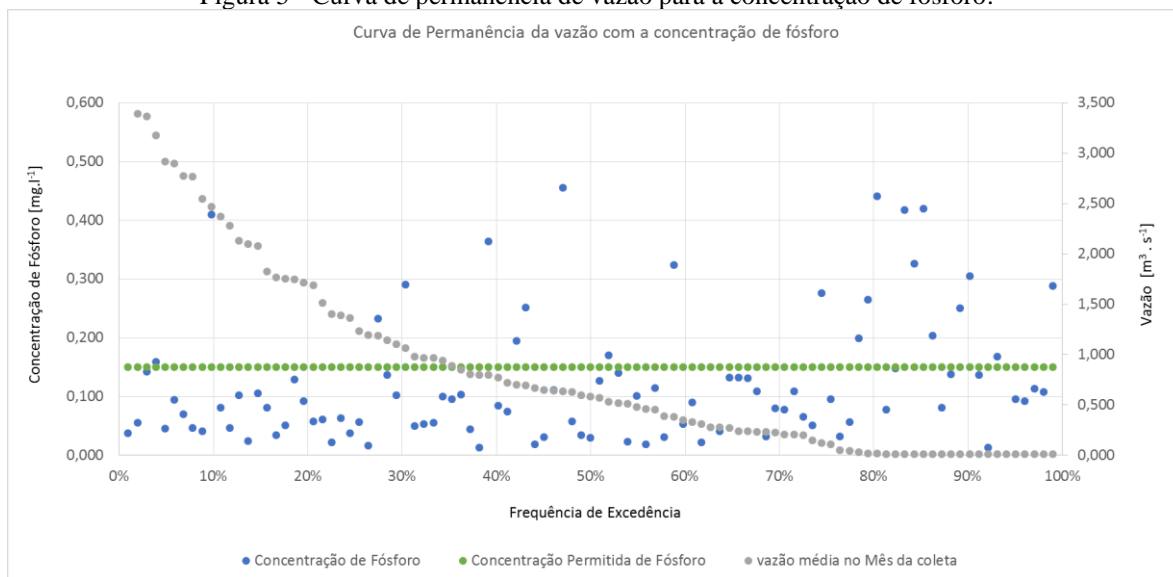
Figura 3 – Carga de fósforo para o dia da campanha no Rio Fragosos em 2016-2017 com a respectiva carga permitida para aquela campanha e o valor médio da série histórica entre os anos de 2004 a 2017.



Na Figura 4 é mostrado que o enquadramento não foi cumprido em 09 vezes durante o período avaliado. Esperava-se que a carga observada mantivesse a mesma distribuição, tanto da vazão ordenada quanto da carga permitida, no entanto várias vezes foi superada.

A curva de permanência da Figura 5 representa um retrato da condição do rio, pois se constata que em diversos momentos a concentração de fósforo permitida fica acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios Classe 2.

Figura 5 - Curva de permanência de vazão para a concentração de fósforo.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A BHRF

O monitoramento conjunto da precipitação e descarga líquida em intervalo de tempo de 15 minutos permitiu identificar a resposta da vazão em termos do volume de chuva precipitado, cuja dinâmica temporal da bacia em termos do tempo de concentração foi em torno de 3,8 h na BHRF. Estes resultados permitem realizar a calibração de modelos hidrológicos chuva-vazão, para estudos de cenários através desta série de dados.

As informações sobre as características do curso d'água, por meio da curva de permanência, permitiu caracterizar que o comportamento do Rio Frágoso apresenta um regime fortemente torrencial perene.

Os meses de setembro e outubro são considerados meses críticos para o transporte de carga de fósforo, pois são períodos em que a região apresenta as maiores vazões, devido às intensidades elevadas de precipitação, que pode ser atribuído a passagem de frentes frias e sistemas convectivos de mesoescala que provocam chuvas mais intensas na região de Concórdia-SC.

A curva de permanência da vazão para analisar a carga de fósforo exportada mostrou que pode ser uma boa ferramenta para avaliar o excedente de fósforo que está sendo exportado pela BHRF, principalmente durante as ondas de cheias.



## REFERÊNCIAS

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – Conama. Resolução n°. 357 de 17 de março de 2005. Publicação Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, n.87, p.44, 2005.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005 Publicada no DOU n° 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em 12 set. 2019.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneo. **Resolução n° 91/2008**, de 05 de novembro de 2008. A publicar. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CNRH%20n%C2%BA%2091.pdf>. Acesso em 12 set. 2019

CONCEIÇÃO, G. Risco de degradação de águas superficiais em bacias hidrográficas com suinocultura intensiva. 212f. Tese (Doutorado) – Curso Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2013.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; MENDIONDO, E. M.. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p.369-376, Out/Dez. 2012

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

FITZ, Paulo Roberto, Geoprocessamento sem Complicação, São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008a.

ODUM, E. and BARRETT, GW., 2007. Ecologia da Paisagem. In ODUM, E. and BARRETT, GW. Fundamentos de ecologia. São Paulo: Thomson Learning, p. 374-411.

OLIVEIRA, R. de; MAGRI, J. L.; COLLET, D.; SOUZA, S.L. de; CADORE, A. G. de S.; SOARES, F. S.; LONCECK, C.; MINELLA, G.; MARTINS, A.; AMARAL, D. de S.; LUZ, C. C. S. da; CARDOSO, G. F. M. (coord.). **Usina Hidrelétrica Itá: relatório para processo renovação da LO n° 68/99 (2° renovação)**. Itá: Consórcio Itá, 2016. 264 p. Disponível em: [http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Ita/Usina\\_Hidreletrica\\_Ita\\_Relatorio.pdf](http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Ita/Usina_Hidreletrica_Ita_Relatorio.pdf). Acesso em: 19 set. 2019.

SEARCY, J. K. Flow duration curves-manual of hydrology: Part 2. Low flow techniques, 1963.