

REGRA OPERATIVA DA BACIA DO RIO TOCANTINS

Jordana Ghisleni ¹ Carlos Barreira Martinez ² Adinele Gomes Guimarães ³

RESUMO – Este artigo apresenta um levantamento da regra operativa de regularização dinâmica que é realizada na operação de uma importante bacia do cenário hidrográfico brasileiro, bacia do rio Tocantins. O setor elétrico brasileiro possui grande destaque devido a grandiosidade de recursos hídricos disponíveis e diante do atual cenário energético, há uma preocupação existente no que tange fatores climáticos e usos múltiplos dos reservatórios. Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições, como modelos de previsão de vazões para definir regras operativas em cada reservatório do sistema uma vez que está bastante associada à sazonalidade hidrológica. No período úmido de 2021/2022, a operação se mostrou bastante consolidada visto que com os elevados volumes de água verificados, as usinas absorveram esse impacto garantindo a segurança do empreendimento e seu entorno.

ABSTRACT– This article presents a survey of the dynamic regularization operative rule that is carried out in the operation of an important basin in the Brazilian hydrographic scenario, the Tocantins River basin. The Brazilian electric sector has great prominence due to the greatness of available water resources and given the current energy scenario, there is an existing concern regarding climatic factors and multiple uses of reservoirs. In order to guarantee the necessary safety conditions for dams throughout their useful life, measures to prevent and control these conditions must be adopted, such as flow forecast models to define operating rules in each reservoir of the system, since it is closely associated with seasonality. hydrological. In the wet period of 2021/2022, the operation proved to be quite consolidated since with the high volumes of water verified, the plants absorbed this impact, ensuring the safety of the enterprise and its surroundings.

Palavras-Chave – Operação; Reservatórios; Segurança.

1. OPERAÇÃO RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Em atendimento ao Sistema Interligado Nacional (SIN), se torna fundamental o planejamento e programação da operação das usinas instaladas e operantes no país. Para auxiliar nessa tarefa, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que centraliza a operação, realiza um plano de operação, para cada instante, determinando a geração para cada unidade geradora de tal forma que a demanda seja atendida a um custo mínimo.

A operação hidráulica de reservatórios de usinas hidrelétricas deve seguir os seguintes princípios fundamentais: (1) garantir a segurança da barragem; (2) não causar eventos mais críticos na área de influência do que aqueles que seriam observados em condições naturais; e (3) mitigar efeitos danosos na área de influência (Buba *et al.*, 2011).

1) Jordana Ghisleni. Rua Delminda Silveira, nº 729. Florianópolis/SC. (49) 99995-6373 jordanaghisleni@gmail.com

2) Carlos Barreira Martinez. (31) 99991-5275 cmartinez@unifei.edu.br

3) Adinele Gomes Guimarães. (35) 98472-9100 adinele@unifei.edu.br

A fim de se obter o melhor cenário para o planejamento da operação do sistema, a previsão de vazões naturais afluentes aos reservatórios das usinas hidrelétricas se torna fundamental durante todo esse processo, permitindo que seja realizada tomada de decisões de forma a explorar a capacidade hidrológica e aumentado a confiabilidade.

O ajuste da operação individual para a operação coordenada depende das características da bacia, do projeto de inundação e das cheias históricas. Em um sistema de reservatórios, geralmente, a regra de operação é desenvolvida a partir de cada empreendimento operado como unidade separada (USACE, 1987).

A regulação ótima do reservatório depende de requisitos de montante e de jusante. As defluências dependem das restrições hidráulicas em determinados pontos. O controle da cheia depende do tempo de propagação causada pelo armazenamento no rio e das vazões incrementais entre os reservatórios e os pontos de controle. A simulação do escoamento e das regras de operação do reservatório facilita a procura da melhor maneira de operar cada reservatório (YEH, 1985).

Para garantir uma operação controlada e segura existe uma série de limitações, ou restrições operativas, que devem ser atendidas pelas hidrelétricas para evitar impactos na instalação, na sociedade e/ou no meio ambiente.

2. REGIME OPERACIONAL E CONTROLE DE CHEIAS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

A variação do nível ou de vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica, caracterizando-a como um fenômeno aleatório, que apresenta, para cada magnitude, um determinado risco de ser igualado ou superado.

De acordo com Mees (2020), o efeito que a vario amortecimento de um reservatório causa no hidrograma em um curso é o de restringir a vazão a jusante do barramento, e como consequência do ingresso de uma vazão maior que a de saída ocorre o enchimento do volume disponível do reservatório para amortecimento da cheia (volume de espera). Com isto, o pico de vazão é reduzido em detrimento de um aumento do tempo de escoamento do mesmo volume de água que passaria naturalmente pela seção do barramento, conforme Figura 1.

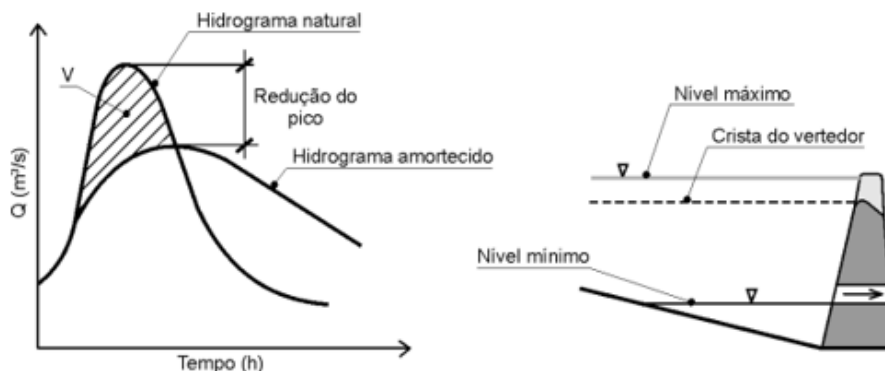


Figura 1 – Efeito do Reservatório no Amortecimento de Cheia. Fonte: Tucci, 2009.

Os reservatórios para controle de cheias podem ser operados, ou seja, pode-se controlar o volume de água armazenada por meio de abertura ou fechamento de comportas dos vertedouros.

Em relação às regras de operação dos reservatórios, existem diversas delas e as mais usadas são aquelas que incluem a divisão do volume útil do reservatório em várias “zonas” que possuem políticas de descargas específicas. A distribuição do volume útil do reservatório nessas zonas pode ser constante ao longo do ano, ou pode variar de forma sazonal. A Figura 2 apresenta um esquema particular de subdivisão em zonas, de um reservatório com dois usos predominantes: a geração de energia e o controle de cheias. Essas regras de operação são chamadas de curvas-guia e definem as vazões efluentes, ao longo do ano, em função do volume do reservatório (BRAVO, 2010).



Figura 2 – Curvas-Guia de Reservatório de Múltiplos Usos. Fonte: Bravo, 2010.

Segundo Bravo (2010), se o nível da água do reservatório se encontra acima da “curva-guia para controle de cheias”, são atendidas as demandas de geração de energia em 100% do tempo, podendo existir um excedente de energia que deve ser exportado. Ainda, são necessários vertimentos para levar o armazenamento ao nível definido por essa curva-guia. Dessa forma, é assegurado o

chamado volume de espera para amortecer futuras cheias. Caso o nível da água esteja na Zona 1, a demanda de energia é atendida e os vertimentos não são necessários.

Quando se encontrar na Zona 2, a demanda de energia não pode ser atendida, exclusivamente, com geração hidrelétrica e, em consequência, são necessárias fontes complementares de geração de energia. Já na Zona 3, a utilização conjunta de geração hidrelétrica e de geração térmica não é suficiente para o atendimento da demanda, necessitando da importação de energia de outros sistemas.

Finalmente, se o armazenamento estiver na Zona 4, não existe geração hidrelétrica e o atendimento da demanda dependerá da capacidade de geração das usinas térmicas e da disponibilidade de energia para importação desde outros sistemas, podendo ocorrer racionamento de energia.

Diante do exposto anteriormente, ressalta-se que diferentes modelos de otimização e simulação tem sido utilizado para definir as regras de operação de reservatórios.

3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO TOCANTINS

A Bacia do Rio Tocantins – Araguaia está localizada na região centro-norte brasileiro. Essa bacia se estende pelos seguintes estados do Brasil: Tocantins; Goiás; Mato Grosso; Pará; Maranhão e Distrito Federal, sendo composta pelos seus principais afluentes, o rio Tocantins e o rio Araguaia.

O rio Tocantins nasce no estado de Goiás e percorre aproximadamente 1.900 quilômetros até alcançar o rio Araguaia, onde deságua. O rio Araguaia percorre cerca de 2.600 quilômetros até atingir a foz que fica no Oceano Atlântico.

O clima possui característica específicas de uma precipitação média anual que gira em torno de 1.600 milímetros. O período em que ocorrem mais chuvas fica entre os meses de outubro e abril. O mês de maio é a fase de transição para o período seco que se estabelece entre os meses de junho e setembro.

Na bacia do rio Tocantins estão instaladas sete usinas hidroelétricas de grande porte, dispostas em cascata, a saber: usina hidrelétrica UHE Serra da Mesa (FURNAS), UHE Cana Brava (ENGIE), UHE São Salvador (ENGIE), UHE Peixe Angical (EDP), UHE Lajeado (EDP), UHE Estreito (ENGIE) e UHE Tucuruí (ELETRONORTE). Conforme a Figura 3, dessas sete usinas apenas as UHEs Serra da Mesa e Tucuruí possuem capacidade de regularização das vazões.

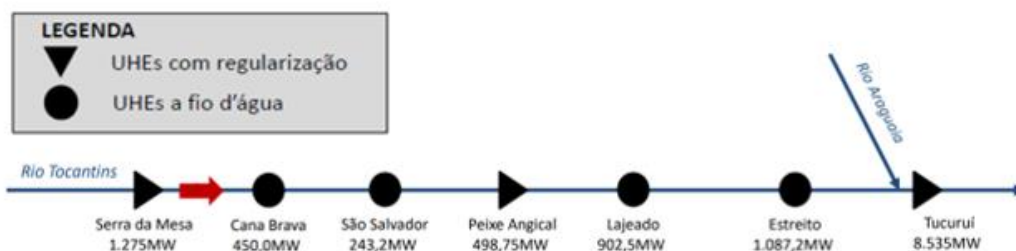


Figura 3 – Usinas Cascata Bacia do Rio Tocantins. Fonte: Adaptado de ONS, 2022.

Na Figura 4 estão destacadas as principais informações referentes às usinas da bacia do rio Tocantins.

Nome	Nível (m)					Área de Drenagem (km²)		Distâncias e Tempos de Viagens entre Aproveitamentos		
	Mínimo Operativo	Máximo Operativo	Máximo Maximorum	Coroamento	Canal de Fuga (média)	Total até o reservatório	Própria do reservatório	Aproveitamentos	(km)	(h)
Serra da Mesa	417,30	460,00	461,50	464,00	334,10	51.233	1.782	Serra da Mesa a Cana Brava	NI	3
Cana Brava	330,00	333,00	334,04	336,00	287,40	58.022	149,2	Cana Brava a São Salvador	NI	3
São Salvador	286,50	287,00	287,30	290,00	263,45	63.704	106,5	São Salvador a Peixe Angical	NI	3
Peixe Angical	261,00	263,00	263,20	266,00	234,83	125.884	313,13	Peixe Angical a Praia da Tartaruga	30	6
								Praia da Tartaruga a Lajeado	NI	34
Lajeado	211,50	212,30	212,60	215,00	175,80	183.718	630	Lajeado a Praia do Sono	100	18
								Praia do Sono a Estreito	364	50
Estreito	155,50	156,00	158,00	160,00	133,40	285.491	700	Estreito a Tucuruí	NI	61
Tucuruí	51,60	74,00	75,30	77,50	8,60	757.577	2.840	NE	NE	NE

Figura 4 – Informações Reservatórios Usinas Cascata Bacia do Rio Tocantins. Fonte: ONS, 2022.

De acordo com a Resolução ANA nº 70, de 19 de abril de 2021, para fins de operação do Sistema Hídrico do Rio Tocantins, ficam definidos os seguintes períodos:

- período úmido: de dezembro a maio; e
- período seco: de junho a novembro.

Ficam estabelecidos os seguintes limites para as vazões mínimas médias diárias a serem liberadas pelos reservatórios do Sistema Hídrico do Rio Tocantins:

- UHE Serra da Mesa: 100 m³/s no período úmido e 300 m³/s no período seco; e
- UHE Estreito: 744 m³/s.

3.1 REGRA OPERATIVA DA UHE SERRA DA MESA

Como a UHE Serra da Mesa é uma usina de regularização, sua programação interfere na operação de toda a cascata. Em atendimento a Resolução ANA nº 70, de 19 de abril de 2021, foram estabelecidas faixas de operação para o reservatório de Serra da Mesa.

Durante o período de operação especial do reservatório de Serra da Mesa, a vazão defluente deverá ser mantida constante, mesmo que haja alteração de faixa de operação e a operação do aproveitamento hidrelétrico das usinas a jusante deverá ocorrer de forma a minimizar as flutuações provocadas por eventuais vazões incrementais entre os reservatórios da cascata.

Em atendimento a Resolução ANA nº 376, de 6 de junho de 2011, durante a temporada de praias do rio Tocantins no período de 10 de junho a 20 de agosto, a vazão defluente da UHE Serra da Mesa deverá ser mantida constante no valor de determinado, bem como a operação dos aproveitamentos hidrelétricos a jusante deverá ocorrer de forma a minimizar as flutuações provocadas por eventuais vazões incrementais entre os aproveitamentos.

3.2 REGRA OPERATIVA DA UHE ESTREITO

A operação da Usina Hidrelétrica de Estreito é realizada seguindo regras de operação aprovadas e estabelecidas por diversos órgãos reguladores: Agência Nacional de Águas (ANA), Operador Nacional do Sistema (ONS) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

As previsões de vazões afluentes, durante o período úmido que é compreendido entre 01 de dezembro e 31 de maio, deverão ser fornecidas pelo Agente de Geração da UHE Estreito, com uma frequência mínima diária.

3.2.1 OPERAÇÃO DE REBAIXAMENTO DA UHE ESTREITO

A operação de rebaixamento do reservatório da UHE Estreito tem início a partir da previsão de vazões afluentes acima de $8.000 \text{ m}^3/\text{s}$ e deve estar finalizada antes da eventual ocorrência de aflúências superiores ao tempo de recorrência de dois anos, cujo valor de vazão é $14.350 \text{ m}^3/\text{s}$. Em tempo real, durante a operação de rebaixamento, a geração da UHE Estreito deve seguir a política de otimização, o vertimento é precedido pela maximização da geração, desde que atendidos os requisitos de segurança do SIN.

Observa-se também as condições à jusante da UHE Estreito, procurando respeitar a variação natural das vazões observadas no rio Tocantins, a fim de evitar a produção de oscilações bruscas na vazão defluente da usina.

A duração da operação de rebaixamento deve ser condizente com o horizonte da previsão e a intensidade do evento de cheia. A regra operativa da UHE Estreito deverá atender as seguintes condicionantes de considerar o horizonte de previsão de no mínimo sete dias, manter a proteção a montante (remanso), respeitar as taxas máximas de variação diária de defluência e adotar o valor referencial de vazão de $14.350 \text{ m}^3/\text{s}$, definido pelo tempo de recorrência de dois anos, a partir da qual a operação de rebaixamento deverá estar completa. Vazões afluentes acima deste valor serão repassadas a jusante naturalmente por meio da operação à fio d'água.

Para orientar a operação da UHE Estreito diante de uma previsão de vazões que supere valores estabelecidos pelo estudo de remanso, dentro de um horizonte de sete dias, foi estabelecido um diagrama de referência para operação conforme Figura 5.

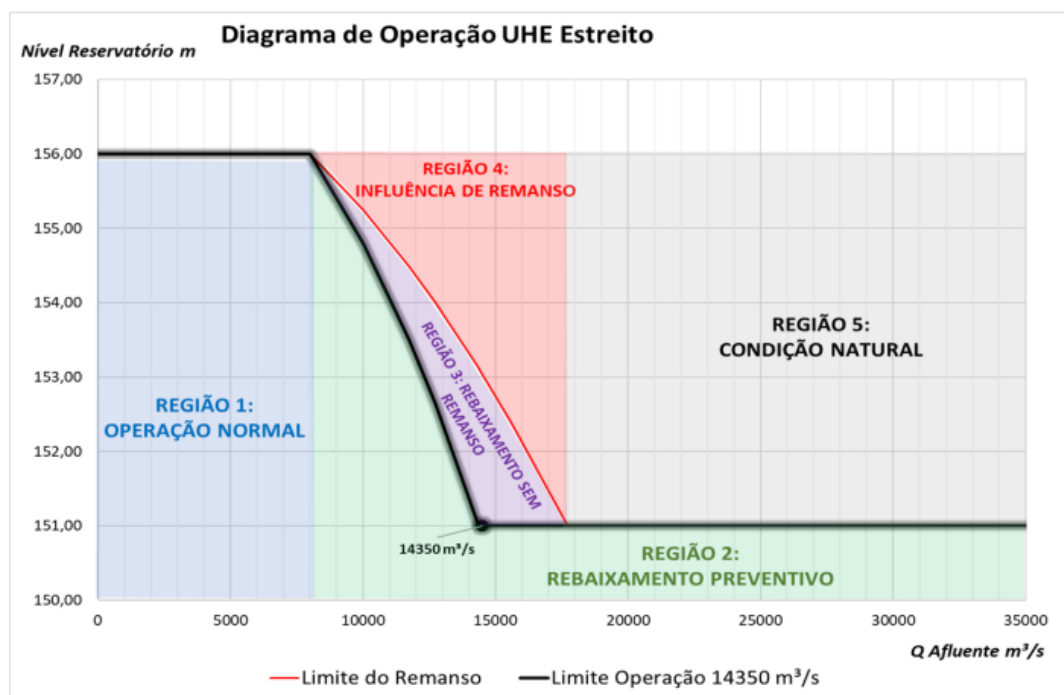


Figura 5 – Diagrama de referência para operação do rebaixamento do reservatório, em função das vazões afluentes previstas. Fonte: ONS, 2022.

Estas regras visam posicionar o nível operacional do reservatório em faixas de níveis máximos de referência, que promovem uma proteção equivalente ou até maior do que ocorreria em condições naturais no rio Tocantins.

4. OPERAÇÃO DA BACIA DO RIO TOCANTINS NO PERÍODO ÚMIDO DE 2021 E 2022

O período úmido de 2022 comparado ao de 2021 na bacia do rio Tocantins sofreu forte influência do evento climático natural La Niña, com chuvas acima da média na região Norte/Nordeste.

Conforme mostra a Figura 6, nesse período houve grande concentração de vazão em toda a bacia e, caso não houvesse os reservatórios ao longo do trecho da bacia do Tocantins, a vazão natural em janeiro de 2022 chegaria a valores superiores a 20.000 m³/s no período destacado em vermelho.

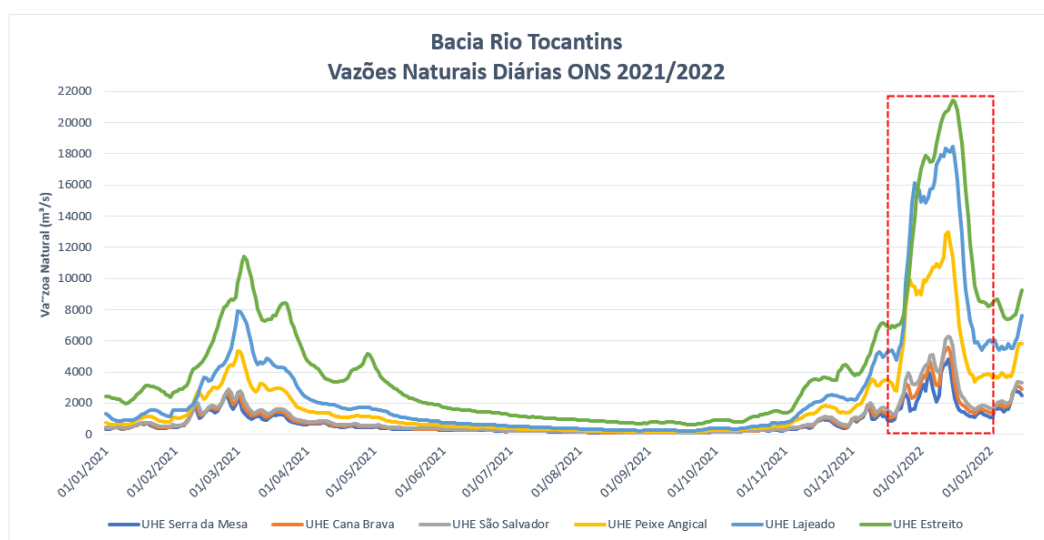


Figura 6 – Vazões Naturais Diárias ONS 2021/2022. Fonte: Próprio Autor, 2022.

Nas Figuras 7 e 8 estão representadas a operação dos reservatórios no período úmido de 2021 e 2022 em valores de vazão afluente (m³/s) e vazão defluente (m³/s) (vazão turbinada + vazão vertida), respectivamente.

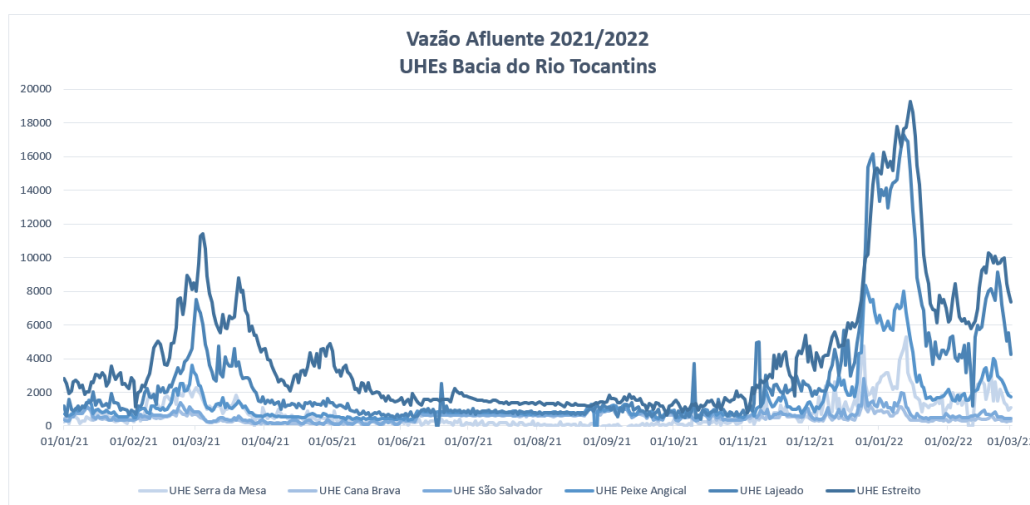


Figura 7 – Vazões Afluentes Verificadas 2021/2022. Fonte: Próprio Autor, 2022.

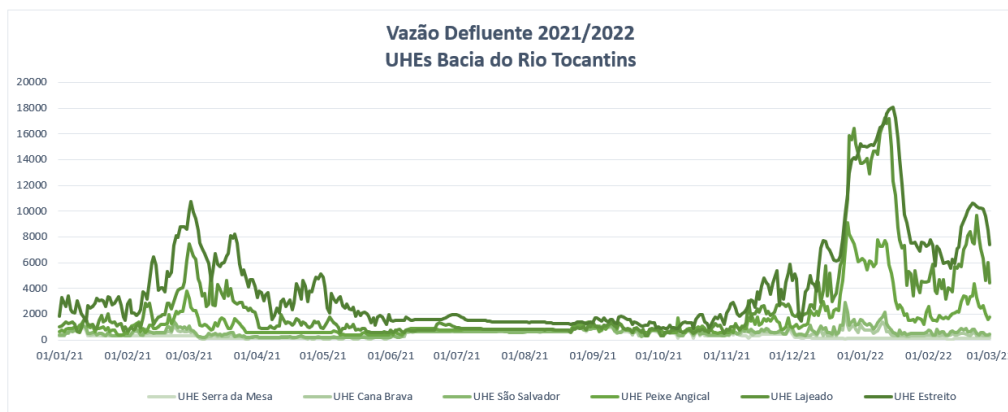


Figura 8 – Vazões Defluentes Verificadas 2021/2022. Fonte: Próprio Autor, 2022.

É possível observar que os picos de vazões afluentes foram amortecidos pela operação das usinas e que esse montante foi absorvido e não repassado a jusante a partir da vazão defluente de forma a preservar o entorno dos empreendimentos.

Os dados são representados pela média diária e um dos pontos de destaque é o pico da vazão afluente no período úmido de 2022 da UHE Estreito que chegou a valores aproximados de 20.000 m³/s. Nessa operação, a regra operativa de rebaixamento dinâmico foi aplicada preservando a operação dentro dos limites operativos da usina.

5. CONCLUSÃO

A sazonalidade da região se mostra bem definida nos períodos que compreendem dezembro a maio de cada ano e a operação das usinas sucedeu-se de forma coordenada em toda a cascata garantindo a segurança dos empreendimentos.

No período úmido de 2021 e 2022 a operação foi estabelecida de acordo com as variações de vazão afluente e vazão defluente relacionada as regras operativas de cada usina que se mostraram essenciais em épocas de cheia visto que há grande volatilidade de um período para outro.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. *Resolução nº 70*, de 19 de abril de 2021.

BRAVO, J. M., *Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas*. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

BUBA, H.; ARAUJO, A. N.; OLIVEIRA, A. G. de. *Avanços no monitoramento da operação de reservatórios da Copel*. Revista Técnica do Instituto de Engenharia do Paraná. Ano I – número 3, 2011.

MEES, Alexandre. *Unidade 1: Reservatórios. Qualidade de Água em Reservatórios*, 2020.
Disponível: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2205/1/Unidade_1.pdf>.
Acesso em: 10 maio 2022.

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Manual de Procedimentos da Operação*. Módulo 5 – Submódulo 5.12: Controle dos Reservatórios da Região Hidrográfica Tocantins – Araguaia. Rio de Janeiro, RJ: ONS, 2022.

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Manual de Procedimentos da Operação*. Módulo 10 – Submódulo 10.18: Cadastro de Informações Operacionais Hidráulicas da Bacia do rio Tocantins. Rio de Janeiro, RJ: ONS, 2022.

TUCCI, C. E. M., *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

USACE. EM 1110-2-3600: *Management of Water Control Systems*. [S.l.], p. 184. 1987.

YEH, W. W. G. *Reservoir management and operation models: a state-of-the-art review*. *Water Resour. Res.*, v. 21, p. 1797 - 1818, 1985.