

EVAPORAÇÃO LÍQUIDA EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

¹*Catilena Silva Pereira; ²Marcelo Santos Targa; ²Ana Aparecida da Silva Almeida

¹Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UNITAU, Taubaté, SP – Brasil

;

²Docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais UNITAU, Taubaté, SP – Brasil

cati_lena@hotmail.com; targa.marcelo@gmail.com; anaparecida.almeida@gmail.com

*Autor correspondente

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo discutir os aspectos da adoção da evaporação líquida de represas como uso consuntivo em reservatórios artificiais, principalmente do setor elétrico. Realizou-se busca ativa na internet através dos seguintes descritores: Evaporação Líquida, Evapotranspiração, Reservatórios Artificiais. Foram levantados os aspectos e elementos significativos como: velocidade do vento, umidade relativa do ar e do solo, temperatura do ar, radiação solar, diversidades regionais, e globais sobre os resultados da evaporação líquida em reservatórios artificiais, bem como os impactos ocasionados por eles.

Palavras-Chaves: ciências ambientais, uso da água, hidrelétricas.

NET EVAPORATION IN ARTIFICIAL RESERVOIRS

ABSTRACT: This work aims to discuss the aspects of the adoption of the net evaporation of dams as consumptive use in artificial reservoirs, mainly in the electric sector. The active search was made on the Internet through the following descriptors: Liquid Evaporation, Evapotranspiration, Artificial Reservoirs. Significant aspects and elements such as: wind velocity, relative air and soil humidity, air temperature, solar radiation, regional and global diversities on the results of liquid evaporation in artificial reservoirs, as well as the impacts caused by them.

Keywords: environmental sciences, water use, hydroelectric power plant.

1. INTRODUÇÃO

Evaporação é o processo físico onde um líquido passa para o estado gasoso, de maneira lenta e gradual, sob pressão constante. Perda por evaporação é a quantidade de água evaporada por unidade de área horizontal, durante certo intervalo de tempo (OLIVEIRA apud PINTO et al., 2017).

A evaporação da água de reservatórios artificiais, principalmente os reservatórios a céu aberto, é de grande interesse para a sociedade, pois afeta a confiabilidade do atendimento do abastecimento humano, além da geração de energia, pecuária, agricultura e indústria que dependem de água para seus processos (OLIVEIRA, 2017).

Diversos fatores influenciam ou afetam de forma positiva ou negativa a evaporação de água, tais como: concentração da substância evaporante, concentração de outras substâncias no ar, temperatura, vazão de ar, umidade relativa do ar, forças intermoleculares, pressão barométrica, além de outros elementos significativos como: velocidade do vento, umidade relativa do ar e do solo, temperatura do ar, radiação solar (COSTA, MELO e FERREIRA, 2006).

Para Curtarelli et al. (2013) entretanto, a quantidade de água evaporada na superfície livre de um reservatório varia principalmente em função de forças meteorológicas, tais como radiação solar incidente, velocidade do vento, umidade relativa, temperatura do ar e pressão atmosférica. Secundariamente, varia em função de parâmetros de qualidade da água e características físicas do reservatório, bem como profundidade.

A construção de um reservatório artificial tem a finalidade de aumentar ou regularizar a disponibilidade de água e energia nos períodos de escassez e assim atender às demandas de uma população em uma determinada região, obedecendo as Áreas de Preservação Permanente – APP (Lei nº 12.651/2012), reduzindo assim os impactos ambientais naquela área.

Um fator de grande importância na análise da vazão máxima permissível para a concessão de outorga se refere às perdas de água por evaporação nos reservatórios de regularização. A obtenção dos valores de evaporação permite avaliar a quantidade de água que se perde ou se ganha com a construção de um reservatório, portanto, estimativas confiáveis de evaporação nos reservatórios são essenciais, tanto no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos como em estudos de impacto ambiental (PEREIRA et al., 2018).

A evaporação está associada aos balanços de massa e de energia dentro de um volume de controle, que pode ser uma bacia hidrográfica inteira (evapotranspiração da bacia), ou evaporação do lago no caso de reservatórios (DIAS e KAN, 2008)

O cálculo da Evaporação Líquida em Superfícies Artificiais, segundo Oliveira (2017) é dada pela equação 1.

$$E = 0,03523 \cdot R_s \cdot (0,014 \cdot T_a - 0,37) \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

E = taxa de evaporação diária (mm/dia);

R_s = radiação solar ($W \cdot m^{-2}$);

T_a = temperatura do ar (F°)

Embora a evapotranspiração seja um cálculo relevante da evaporação reservatórios artificiais, com aplicação de que a evapotranspiração de referência (ETO), originalmente introduzida sob o termo evapotranspiração potencial (ETp), é um importante parâmetro agrometeorológico, principalmente para planejamento e manejo de irrigação, mas, também, é considerada elemento climático de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos (CARVALHO et al., 2011).

O conhecimento das perdas por evaporação em reservatórios tem grande influência na determinação do volume de água disponível para os múltiplos usos e na

garantia de atendimento das demandas de água. Percebe-se, então, a relevância de se entender melhor o processo de evaporação de reservatórios localizados em regiões com diferentes comportamentos climáticos e a necessidade de estimativas mais atualizadas e precisas da evaporação em reservatórios hidrelétricos brasileiros, visando o gerenciamento dos recursos hídricos, de grande valor econômico, social, político e ambiental no cenário nacional (COELHO, 2016).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Procedimentos Metodológicos

Com o objetivo de avaliar os impactos ocorridos nas construções da hidrelétrica, para o desenvolvimento desse estudo, foram analisados os métodos e as bases de dados utilizadas em trabalhos anteriores, incorporando os procedimentos considerados relevantes e propondo avanços consequentes da disponibilidade de novas bases de dados e de progressos tecnológicos para o processamento de informações (ANA, 2019).

Para tanto foi realizada a revisão bibliográfica nas plataformas Google Acadêmico, Scielo (SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE) e Revista Ambiente & Água utilizando os descritores: Evaporação Líquida, Compensação Financeira, Reservatórios Artificiais. Deste levantamento foram excluídos os artigos que não apresentaram em seu título, pelo menos um dos descritores, publicados fora do período de 2000 a 2019 e publicados em outras línguas que não fosse à língua portuguesa do Brasil.

Após a realização do levantamento bibliográfico e seleção dos artigos, foram desenvolvidas leituras prévias, seguidas de leituras mais minuciosas e analíticas, no sentido de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa. A análise dos dados coletados fundamentou-se nos estudos sobre as análise e discussão no que concerne o uso consultivo das hidrelétricas.

2.2. Caracterização da Hidrelétrica

A Usina Hidrelétrica Ilha Solteira é a maior usina da CESP (Figura 1) e do Estado de São Paulo e a terceira maior usina hidrelétrica do Brasil. Está localizada no Rio Paraná, entre os municípios de Ilha Solteira (SP) e Selvíria (MS). Em conjunto com a UHE Engenheiro Souza Dias (Jupiá), compõe o sexto maior complexo hidrelétrico do mundo. Sua potência instalada é de 3.444,0 MW e tem 20 unidades geradoras com turbinas tipo Francis. A usina foi concluída em 1978. É uma usina com alto desempenho operacional que, além da produção de energia elétrica, é de fundamental importância para o controle da tensão e frequência do Sistema Interligado Nacional. Sua barragem tem 5.605 m de comprimento e seu reservatório tem 1.195 km² (CESP, 2019).



Fonte: CESP

Figura 1: Usina Hidrelétrica Ilha Solteira

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O setor hidrelétrico é responsável por aproximadamente 16% do fornecimento mundial de energia. Tem sido muito debatido se o uso da água nesta atividade é simplesmente não consuntivo ou se existe consumo, no sentido de efetiva remoção de água do curso d'água (COELHO apud COOLEY et al., 2016).

Na Constituição Federal do Brasil 1988 Compensação Financeira, instituída pela Constituição Federal de 1988, em seu artigo 20, § 1o, e regulamentada pela Lei nº 7.990/1989, corresponde à indenização aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, pelo resultado da exploração de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica.

A Compensação Financeira é um pagamento pelo uso do bem ambiental para o desenvolvimento de uma atividade econômica. Além disso, a Compensação Financeira cumpre o papel de compensar os estados e municípios pelas externalidades provocadas pela instalação de uma usina hidrelétrica. Por essas características é que a Compensação Financeira é reconhecida como um instrumento econômico de gestão do meio ambiente (SANTOS, 2007).

A vazão total de retirada/consumo de evaporação líquida foi de 669,1 m³/s em 2017, posicionando esse uso como o segundo maior do País (ANA, 2019). A Figura 2 mostra a retirada percentual de evaporação líquida dos reservatórios artificiais por diferentes regiões do Brasil (ANA, 2019).



Figura 2. Retirada percentual de evaporação líquida dos reservatórios artificiais em diferentes regiões do Brasil.

Fonte: ANA, (2019).

No Brasil a Lei 13.661/18 altera as parcelas do produto da Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH) distribuídas a estados e municípios com áreas alagadas pela construção de usinas hidrelétricas (ANA, 2019). O A nova lei reduz de 45% para 25% o percentual da arrecadação da CFURH a ser destinado a estados que possuem municípios com áreas alagadas e aumenta de 25% para 65% a parcela destinada diretamente a municípios com áreas alagadas. Em 2017, 22 estados e 727 municípios se enquadravam nas condições para receber esses recursos. Não houve alteração nos 10% que são destinados à União.

De acordo com levantamento da ANA, a mudança significa uma redução de cerca de R\$ 450 milhões/ano de arrecadação para os estados, transferindo esses recursos para os municípios com áreas alagadas por reservatórios de usinas hidrelétricas.

Alguns dos impactos gerados devido à construção de reservatórios são relacionados abaixo (FERREIRA, 2004):

Com relação aos Recursos hídricos: Modificação do regime hidrológico, redução dos níveis de água e incremento do tempo de residência de água nos reservatórios; Modificação do fluxo de água a jusante durante o enchimento do reservatório e/ou o desvio do rio; Assoreamento do reservatório e erosão das rampas a jusante e a montante; Interferência com os usos múltiplos dos recursos hídricos: navegação, irrigação, abastecimento de água, turismo, lazer, controle de enchentes; Aumento do nível das águas superficiais.

Com relação ao Clima: Interferência com o clima local (mudanças do microclima); Emissões de gases de efeito estufa: dióxido de carbono-CO₂ e metano-CH₄;

Com relação a Sismicidade : Indução de terremotos/abalos sísmicos.

Com relação ao Solo e recursos minerais: Interferência com atividades minerais; Perda de potencial mineral; Erosão das margens de rios; Degradação das áreas usadas para exploração de material de construção e para obras temporárias (canteiros de obras); Interferência com o uso do solo.

Com relação a Qualidade das águas: Modificação das características físico-química e biológica do meio ambiente; Deterioração da qualidade de água; Criação de condições favoráveis para o desenvolvimento e difusão de agentes de moléstias; Modificação ambiental das águas de lóxicas (rio) para lênticas (lagos); Contribuição de sedimentos, agrotóxicos químicos e fertilizantes devido à ocupação da bacia do rio; Concentração de substâncias tóxicas produzidas por atividades de mineração próximas (exemplo: mercúrio).

Com relação a Fauna/flora aquática: Interferência com a composição qualitativa e quantitativa da flora aquática com perda de material genético e comprometimento da fauna ameaçada de extinção; Interferência com a reprodução das espécies (interrupção na migração, extinção do local de reprodução); Interferência nas condições necessárias à sobrevivência da fauna.

Com relação a Fauna/flora terrestre e alada: Interferência com a composição qualitativa e quantitativa da flora terrestre e alada com perda de material genético e comprometimento da fauna ameaçada de extinção; Migração causada por inundação com o incremento da população em áreas sem capacidade de suportar o crescimento; Crescimento da ameaça no restante da fauna devido à ação de predadores.

Com relação a Vegetação: Inundação de áreas de vegetação com perdas de espécies; Redução do número de espécies, com perda de material genético e comprometimento da flora em perigo de extinção; Interferência com o potencial das matas (perda de potencial madeireiro); Perda de habitats naturais e da disponibilidade de

alimentos para a fauna; Interferência com a conservação; Interferência com a vegetação além do reservatório devido ao aumento dos níveis de lençóis freáticos e outros fenômenos.

Com relação a População urbana: Inundação / interferência com cidades, vilas (habitações, organizações industriais e comerciais, melhorias sociais); deslocamento compulsório da população; Interferência com a organização política, sociocultural, territorial, atividades econômicas; Aumento dos movimentos populacionais (imigração, emigração); Aparecimento de aglomerados populacionais; Mudanças demográficas nos povoados próximos à represa; Sobrecarga de serviços e problemas sociais (saúde, saneamento, educação e segurança).

Com relação a População rural: Inundação / interferência com terras, equipamentos rurais e na população; Deslocamento compulsório da população; Interferência com a organização política, sociocultural, territorial, atividades econômicas; Aumento dos movimentos populacionais (imigração, emigração).

Com relação ao Setor agrícola: Perda de terras cultiváveis; Perda de florestas e recursos minerais; Alteração da estrutura agrária; Perda / redução da coleta de impostos.

Outros impactos possíveis: Alteração das atividades econômicas (agricultura, pesca, mineração, extração vegetal); Fechamento de indústrias e/ou redução da produção do material de suprimento; Alteração da demanda para saúde e serviços sanitários; Disseminação de moléstias endêmicas; Transporte de resíduos orgânicos e industriais e agrotóxicos para o reservatório; Ocorrência de acidentes para os trabalhadores e população; Alteração na demanda por educação e habitação; Perda de sítios arqueológicos e de locais espeleológicos; Perda de sítios turísticos (exemplos: Sete Quedas, Canal de São Simão); Perda de construções com valor cultural; Alteração do potencial turístico; Interferência com povos indígenas e outros grupos étnicos; Desbalanceamento nas condições de saúde e alimentares; Interrupção de sistemas de comunicação, estradas, ferrovias, portos, aeroportos, sistemas de transmissão e distribuição, sistemas de transporte.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de reservatórios para a geração de energia elétrica provoca impactos nos meios físico, biológico e social que causam alterações na economia das regiões afetadas pelas usinas hidrelétricas.

Observa-se que os projetos de hidrelétricos têm sido analisados de forma imparcial, torna-se claro que os benefícios das grandes represas têm sido geralmente muito exagerados, enquanto que os custos esperados econômicos, sociais e ambientais, muitas vezes são subestimados ou completamente ignorados.

Além da Evaporação da Superfície em Reservatórios Artificiais, foi finalmente entendida como uso consuntivo pela ANA e como se pode observar é o segundo maior consumo de água considerando todos os outros usos.

Assim, torna-se necessário a mudança de discurso de que as hidrelétricas não devem pagar pelo uso da água, simplesmente por que já pagam a compensação de áreas inundadas. Juridicamente isso é como pagamento como seção de direito de uso do solo e não de uso da água. O uso da água é a evaporação líquida passível de cobrança.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, LEI Nº 12.651, 25 de maio de 2012; 191º da Independência e 124º da República. Brasília-DF, 2012.
- BRASIL. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.
- CARVALHO, L. G. et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesq. Agropec. Trop**, Goiania, p.456-465, jun. 2011.
- COELHO, C. D. Estimativas da evaporação e da pegada hídrica dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Tucuruí -PA e Lajeado -TO / Clívia Dias Coelho. – Viçosa, MG, 2016.
- COSTA, D. M. A.; MELO, H. N. S.; FERREIRA, S. R. Influência da salinidade na taxa de evaporação da água. **Holos**, Natal, p.1-7, dez. 2006.
- CURTARELLI, M. P.; ALCÂNTARA, E. H.; ARAÚJO, C. A. S.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. *Amби-Água*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambiagua.1083>).
- DIAS, N. L.; KAN, A. Evaporação Líquida no Reservatório de Foz do Areia, PR: Estimativas dos Modelos de Relação Complementar Versus Balanço Hídrico Sazonal e Balanço de Energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Curitiba, v. 13, n. 2, p.31-43, jun. 2008.
- FERREIRA, V. V. M. Avaliação de externalidades do setor hidrelétrico no estado de Minas Gerais. **Universidade Federal de Minas Gerais Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, p.1-192, 2004.
- OLIVEIRA, R. R. V. de M. Perda de água por evaporação em um pequeno reservatório do semiárido - 2017. 15 f.: il.
- PEREIRA, Silvio B. et al. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, p.346-352, ago. 2009.
- SANTOS, G. A. G. et al. Por que as tarifas foram para os céus? Proposta para o setor elétrico brasileiro. **Revista do Bndes**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 29, p.435-474, jun. 2008.
- SILVA, L. L. A compensação financeira das usinas hidrelétricas como instrumento social, econômico e ambiental. **Universidade de Brasília Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação – Face Departamento de Economia**, Brasília, p.1-157, ago. 2007.