

AMPLIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DA UHE ITAIPU DEVIDO À IMPLANTAÇÃO DA UHE PORTO PRIMAVERA

Anderson Braga Mendes¹

ABSTRACT – Itaipu Hydroelectric Power Plant has 14,000 MW of installed capacity and is located on the Paraná River. It counts on more than 100 other hydraulic undertakings already built upstream, either on the Paraná River or on its tributaries, being the closest one the Porto Primavera Power Plant. It is notorious that the latter, since the beginning of its operation in 1999, has enlarged the lifespan of the former. However, specific studies on how significant such enlargement could be had never been made hitherto. The aim of this study was to quantify how many additional years the Porto Primavera Dam increases to the lifespan estimate of Itaipu Power Plant owing to its sediment trapping. For such computation softwares on sediment deposition in reservoirs were used to run two different scenarios: 1) by taking into account the existence of Porto Primavera dam upstream Itaipu since 1999 and; 2) by regarding that Porto Primavera dam has never been built. As several input data concerning the sediment transport and silting for the undertakings upstream Porto Primavera Power Plant are out of the reach of the topic analysis, some assumptions needed to be taken, such as the increasing rate of the sediment yield in the whole watershed. In order to confer more precision to the results, the modeling was carried on in a synergic annually basis by considering the output data of Porto Primavera simulations as the input for those related to Itaipu. The continuous change of the bed morphology in Itaipu reservoir at each time step of the modeling was also taken into account so as to yield better results. Ultimately, it was identified that Porto Primavera dam is responsible for increasing the lifespan of Itaipu Power Plant in 40 years, thus enlarging its operational life from 149 to 189 years. It was also possible to notice that sediment deposits at Itaipu dam toe will only be observed more intensely 40 years after its impoundment, by 2022, speeding up thereafter.

Palavras-Chave – Itaipu, vida útil, cascata.

1) ITAIPU Binacional, Av. Presidente Tancredo Neves, 6702, Jardim Itaipu, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. CEP 85856-970. E-mail: abragam@itaipu.gov.br. Tel.: (45) 3520-6949.

1 - INTRODUÇÃO

A usina hidrelétrica de Itaipu, doravante denominada UHE Itaipu, está situada no rio Paraná e possui área de drenagem total de 835.398,46 km², o que corresponde a cerca de 10% de todo o território brasileiro. Trata-se de um empreendimento binacional criado e regido pelas Repúblicas Federativas do Brasil e do Paraguai. Possui 20 turbinas do tipo Francis que totalizam 14.000 MW de potência instalada. É responsável por abastecer com energia limpa cerca de 12% do território brasileiro e 88% do paraguaio, segundo ITAIPU Binacional (2020).

Por estar situada em um ponto privilegiado da cascata de empreendimentos hidrelétricos no rio Paraná, é sabido que a UHE Itaipu, no que concerne sua vida útil operacional, é favorecida pela retenção dos sedimentos nas dezenas de outros reservatórios artificiais à sua montante, sejam aqueles instalados no rio Paraná ou em seus afluentes. O Diagrama Esquemático de Usinas Hidrelétricas do SIN (Sistema Interligado Nacional) elaborado por ONS (2020) para o horizonte 2020-2024 aponta que existem, dentre usinas já existentes e aquelas que virão a ser instaladas nesse intervalo, um total de 61 empreendimentos hidrelétricos dos mais diversos portes e regimes operacionais a montante da UHE Itaipu. Ao se considerar outros reservatórios artificiais que não para geração hidrelétricas (ex.: açudes, represas para abastecimento de água, etc.) e aqueles não-integrados ao SIN, esse número sobe para 156, conforme apresentado em ANEEL (2002).

Como resultado de sua posição nessa cascata de empreendimentos, a descarga sólida total média anual medida para o intervalo 2001-2017 correspondeu, conforme apontam dados de arquivo, a cerca de 50% do valor registrado para o período pré-instalação da UHE Eng. Sérgio Motta (mais conhecida como Porto Primavera), ocorrida em 1999. Essa usina é de grande porte e também está situada no rio Paraná, sendo a primeira localizada imediatamente a montante da UHE Itaipu. Deve-se destacar a também existência da UHE Rosana, no rio Paranapanema – que aflui ao rio Paraná poucos quilômetros a jusante da UHE Porto Primavera –, porém ela não será alvo deste estudo por possuir um reservatório de menores proporções e, por isso, impactar menos na ampliação da vida útil da UHE Itaipu, além de sua inclusão nos cálculos sinérgicos adicionar uma complexibilidade desnecessária a este trabalho.

2 - DADOS DISPONÍVEIS

Para a realização do presente estudo foram empregados dados disponíveis tanto em relatórios internos da ITAIPU Binacional, oriundos de seu monitoramento sedimentométrico, quanto em artigo científico disponível na internet.

Os dados referentes à UHE Porto Primavera foram obtidos do trabalho científico elaborado por Celeri *et al.* (2005). Deve-se destacar que, como todas as informações apresentadas no

referido estudo são já consolidadas devido às limitações de formatação impostas à época de sua divulgação, optou-se por adotá-las quase que na integralidade sem qualquer análise crítica, uma vez que não se dispõe dos dados brutos, os quais viabilizariam a realização de análises mais refinadas e em consonância às necessidades específicas deste trabalho.

Todas as informações pertinentes à UHE Itaipu foram extraídas dos estudos desenvolvidos pela própria Entidade, a qual conta com uma rede de 15 postos de monitoramento, sendo 14 deles utilizados nos estudos de vida útil do empreendimento. Por meio dessa rede, a qual teve início em 2001 e desde então tem operado em regime horário de monitoramento por meio de equipamentos automáticos associado a medições de campo clássicas para ajuste matemático das curvas de correlação, foi possível determinar as grandezas necessárias para a calibração do modelo sedimentológico sinérgico. Segundo Mendes e Gossen (2018), a rede cobre 91% de toda a área de drenagem incremental da UHE Itaipu (147.065 km²), tendo sido os demais 9% inferidos com base na taxa de produção de sedimentos das bacias monitoradas.

A Figura 1 exibe tanto a rede de monitoramento sedimentométrico da ITAIPU Binacional quanto a localização das UHEs abordadas no presente estudo.

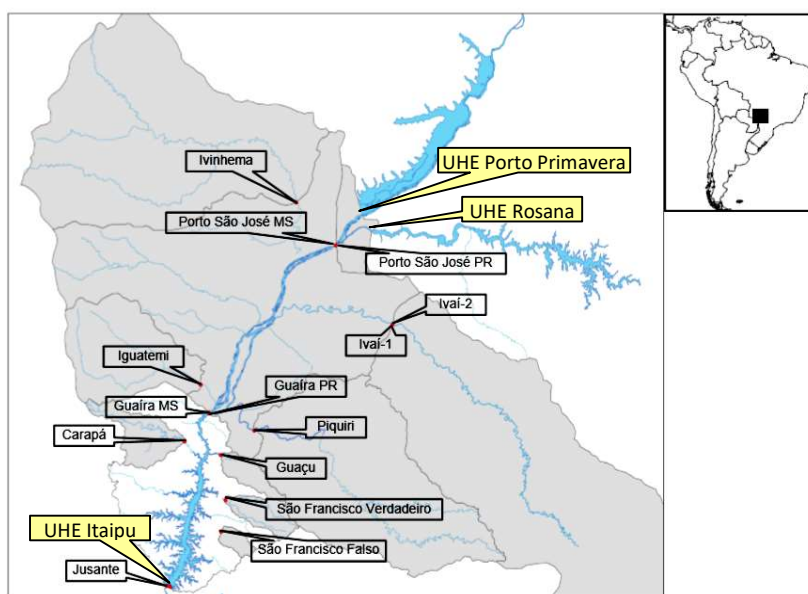


Figura 1 – Mapa de localização das UHEs abordadas neste estudo, bem como dos postos de monitoramento sedimentométrico instalados na área de drenagem incremental da UHE Itaipu (Mendes e Gossen (2018)).

É importante citar que, apesar da ITAIPU Binacional contar com histórico de dados já consolidado até o ano 2019, preferiu-se empregar para este estudo os registros até 2017 de forma a poder ser possível comparar a presente análise de vida útil da UHE Itaipu (mais refinada) com aquela desenvolvida em 2018, a qual contou com dados do histórico 2001-2017.

Quanto à taxa de aumento do transporte sólido ao longo do tempo, adotou-se (com base nos estudos internos já desenvolvidos) 0,5% ao ano para a área de drenagem total da UHE Itaipu até o ano 1998 e 1,1% ao ano para a área drenagem incremental da UHE Itaipu de 1999 até 2100, a partir de quando passará a vigorar a taxa de 1,2% ao ano de forma a considerar uma intensificação do uso do solo tanto em território brasileiro quanto paraguaio. Já para a área de drenagem a montante da UHE Porto Primavera, o estudo disponível indicou aumento de 1% em sua área de drenagem incremental (entre a UHE Porto Primavera e a UHE Jupuíá). Entretanto, como será necessário também considerar que a afluência sólida em Porto Primavera aumentará não somente por decorrência do uso do solo, mas principalmente pela perda da capacidade de retenção de sedimentos dos vários reservatórios da cascata a montante devido ao assoreamento, arbitrou-se o aumento de 1,75% ao ano entre 2040 e 2080, subindo a 2% ao ano a partir de então.

A Tabela 1 exibe o conjunto de dados de entrada empregados nas simulações realizadas.

Tabela 1 – Dados de entrada empregados nas simulações realizadas, com indicação do ano inicial de vigência

Variável	UHE Porto Primavera	UHE Itaipu
Q (m ³ .s ⁻¹)	7.143,5 (1999)	9.945,5 (1982); 11.663 (2017)
Qst afluyente (t.ano ⁻¹)	12.300.000 (1999)	23.515.184 (1982); 17.500.000 (2009)
Variação de Q (%.ano ⁻¹)	0,23 (1999)	0,44 (1982)
Variação de Qst afluyente (%.ano ⁻¹)	1,00 (1999); 1,75 (2080); 2,00 (2081)	0,5 (1982); 1,1 (1999); 1,2 (2100)
Qst efluente (t.ano ⁻¹)	1.500.000	6.300.000 (1982); 4.702.831 (2009)
Tipo de reservatório (conforme relevo submerso)	2: de zonas de inundação a colinas	Variável no tempo, iniciando em 3: relevo montanhoso
Cota do N.A. máx normal (m)	257,00	220,00
Vol. reserv. no N.A. máx normal (hm ³)	15.707	29.000
Cota da soleira da tomada d'água (m)	229,00	176,00
Cota de volume nulo (m)	227,00	50,00
Argila afluyente (%)	46,00 (1999)	47,71 (1982); 28,35* (2009)
Silte afluyente (%)	25,00 (1999)	23,39 (1982); 56,68* (2009)
Areia afluyente (%)	29,00 (1999)	28,90 (1982); 14,97* (2009)
Eficiência de retenção de sedimentos inicial (Er) (%)	87,80	73,20 (1982); 73,13* (2009)

*Valor adotado a partir de 1999 (ano inicial da influência da UHE Porto Primavera)

Deve-se enfatizar que, durante o processo de calibração, observaram-se algumas inconsistências relevantes. Segundo Celeri *et al.* (2005), a descarga sólida efluente à UHE Porto Primavera corresponde a cerca de 3,6 milhões de toneladas por ano, enquanto que de acordo com o monitoramento realizado pela ITAIPU Binacional desde 2001, o aporte sólido total médio anual no posto Porto São José – MS equivale a aproximadamente 1,5 milhões de toneladas por ano. Considerando que a descarga sólida total efluente apresentada em Celeri *et al.* (2005) inclui também a efluência da UHE Rosana, e que o histórico de dados utilizado foi muito curto (agosto de 2002 a outubro de 2003), concluiu-se que o valor poderia ser impreciso para estudos de longo prazo. Desse modo, como o histórico levantado pela ITAIPU Binacional conta com dados horários de 2001 a 2017, bem como abarca separadamente as frações paranaense e matogrossense do sul do rio Paraná, optou-se por essa fonte por julgá-la mais apropriada.

Pelo mesmo motivo acima apresentado, escolheu-se não adotar a eficiência de retenção inicial de sedimentos (E_r) de Celeri *et al.* (2005): 70%. Com o uso do histórico gerido pela ITAIPU Binacional, a E_r inicial adotada para a UHE Porto Primavera foi de 87,8%.

Outra inconsistência observada diz respeito à afluência sólida total à UHE Itaipu, determinada pela própria Empresa. De acordo com o histórico 2001-2017, o valor médio da descarga sólida total (e atribuído ao ano 2009 por ele ser a mediana do histórico) corresponde a 13,5 milhões de toneladas por ano, conforme apresentado em Mendes e Gossen (2018). Contudo, para garantir o balanço de massa entre as efluências das UHEs Porto Primavera e Itaipu e as afluências da UHE Itaipu a descarga sólida total média anual deveria ser da ordem de 17,5 milhões de toneladas por ano. Considerando que a descarga sólida em suspensão possui monitoramento horário desde 2001, pode-se excluir a influência de eventuais imprecisões dessa variável no valor total final, restando dúvida quanto à participação do sedimento do leito, o qual começou a ser mais bem quantificado e qualificado a partir de 2018 por meio de amostragens diretas da descarga do leito em campo. Até 2017 a descarga do leito era determinada pelo uso de fórmulas de transporte de sedimentos atreladas à descarga em suspensão afluente, a qual teve seu valor médio reduzido a partir do início operacional da UHE Porto Primavera. Por esse motivo, nos últimos anos tem-se intensificado as campanhas de campo para obter o máximo de informações referentes ao transporte do leito em cada rio monitorado de maneira a obter um histórico mais preciso. Caso não se atinja o valor médio de 17,5 milhões de toneladas por ano, dever-se-á investigar eventuais alterações temporais nos valores apresentados em Celeri *et al.* (2005).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

De forma a otimizar as simulações, foram empregados os softwares *Sediment* e *Dposit*, elaborados pelo autor deste trabalho, disponíveis em Mendes (2005) e Carvalho (2008). O uso dos

modelos matemáticos foi fundamental por permitir um processo de calibragem mais preciso, haja vista que foi necessário, no ambiente de modelagem, conciliar todas as variáveis de forma que os dados de saída da simulação da UHE Porto Primavera pudessem ser empregados como dados de entrada da UHE Itaipu, e de maneira que resultados simulados coincidisse com os dados medidos em campo.

A Figura 2 apresenta a evolução observada (entre 1982 e 2017) e prevista (a partir de 2018) das descargas sólidas afluentes e efluentes à UHE Itaipu. Nota-se que a calibragem se mostrou satisfatória pelo fato dos valores medidos (dados de entrada) coincidirem com os simulados (empreendimento em cascata). Destaca-se a queda imediata do aporte sólido na UHE Itaipu em 1999, quando do início operacional da UHE Porto Primavera.

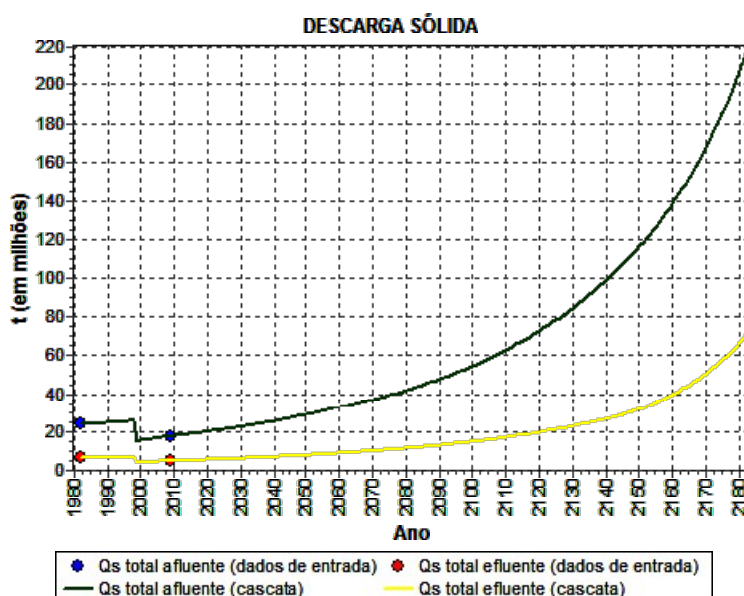


Figura 2 – Evolução das descargas sólidas totais médias anuais afluentes e efluentes à UHE Itaipu (dados simulados de 1982 a 2182), com indicação dos valores medidos (dados de entrada) e considerando o cenário “cascata”, ou seja, com a existência da UHE Porto Primavera a montante da UHE Itaipu

À primeira vista, simular um aporte sólido total de quase 220 milhões de toneladas por ano em 2182 pode soar exagerado, porém deve-se atentar para o fato de que, conforme dito anteriormente, há cerca de 156 barramentos a montante da UHE Itaipu, sendo que cada um deles é responsável pela retenção de uma parcela do sedimento que, caso não existisse, chegaria ao lago de Itaipu tanto como descarga em suspensão quanto do leito. Só o início operacional da UHE Porto Primavera em 1999 respondeu pela redução imediata de cerca de 10,5 milhões de toneladas por ano na descarga sólida afluente à UHE Itaipu. Apenas ilustrativamente e de forma muito simplificada, já que cada reservatório possui porte e regime operacional próprios, dividindo-se os 192 milhões de $t \cdot ano^{-1}$ restantes pelos demais 154 barramentos, tem-se uma retenção de

sedimentos média por barragem de menos de 1,24 milhões de toneladas por ano (aproximadamente 1 hm³ submerso ao ano). Obviamente esse cálculo só se mostra válido se todos os empreendimentos de montante já tiverem atingido sua vida útil até o ano 2182, o que não é um cenário tão irreal pelo fato de dezenas deles serem de pequeno e médio portes, além de se situarem em bacias onde é forte a pressão do uso do solo para fins agropastoris.

Para calcular a evolução temporal da altura dos depósitos de sedimentos no pé da barragem, culminando na determinação da vida útil do empreendimento e das novas curvas cota x área x volume (CxAxV) do reservatório da UHE Itaipu, empregou-se a metodologia desenvolvida por Borland e Miller (1958) e exemplificada em Carvalho (2008), denominada Método Empírico de Redução de Área, a qual é a base matemática dos dois softwares utilizados para a elaboração deste trabalho.

Um diferencial em relação aos estudos anteriormente realizados foi considerar a mudança contínua do tipo de relevo submerso da UHE Itaipu em decorrência de seu gradual assoreamento, conferindo mais precisão aos resultados finais.

A Figura 3 exibe a altura dos depósitos de sedimento no pé da barragem da UHE Itaipu e sua vida útil segundo dois cenários: 1) considerado a existência da UHE Porto Primavera (“em cascata”) e; 2) considerando a inexistência da UHE Porto Primavera a montante da UHE Itaipu (“independente”). Nota-se que o refinamento da modelagem matemática permitiu identificar que os sedimentos afluentes só alcançarão o pé da barragem da UHE Itaipu a partir do 40º ano operacional (2022), tornando-se esse fenômeno mais acelerado a partir do 90º (ano 2072).

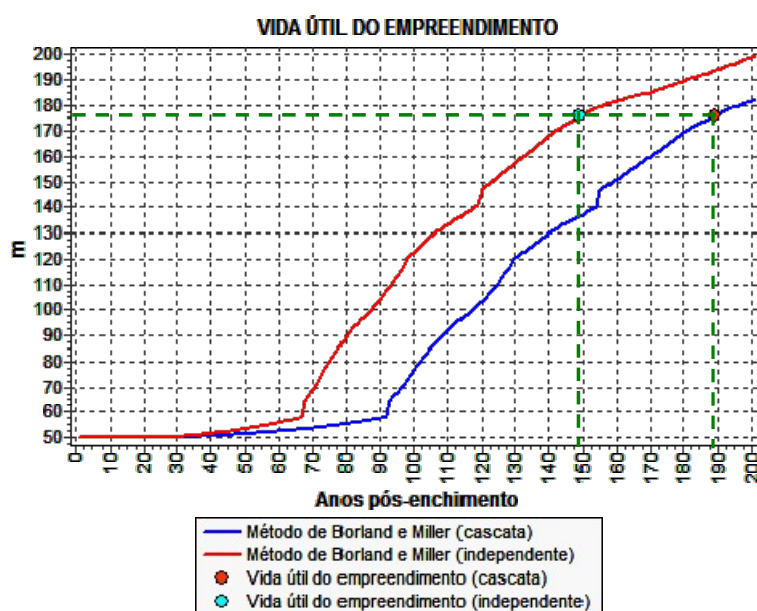


Figura 3 – Altura dos depósitos de sedimento no pé da barragem da UHE Itaipu ao longo do tempo, com indicação da vida útil do empreendimento para os cenários “cascata” (189 anos, considerando a existência da UHE Porto Primavera) e “independente” (149 anos, excluindo-se a UHE Porto Primavera)

4 - CONCLUSÕES

Deve-se atentar para o fato de que a existência da UHE Porto Primavera incrementou a vida útil da UHE Itaipu em 40 anos: de 149 para 189 anos. Esse resultado está compatível com o estudo até então mais recentemente desenvolvido para esse fim, elaborado por Mendes e Gossen (2018), no qual a vida útil fora estimada em 184 anos.

Conforme dito anteriormente, para verificar se os dados de entrada aqui empregados estão adequados para simular intervalos de tempo tão distantes no futuro é necessário obter mais informações relativas à descarga de leito afluente à UHE Itaipu, bem como investigar uma eventual necessidade de atualização do estudo desenvolvido para a UHE Porto Primavera, dessa vez com uma série histórica que cubra vários ciclos hidrológicos.

Outra grande fonte de incerteza em um estudo dessa natureza é o desconhecimento da eficiência de retenção de sedimentos nas dezenas de reservatórios não contemplados neste trabalho, cujo final antecipado da vida útil reduzirá a expectativa operacional da UHE Itaipu.

5 - BIBLIOGRAFIA

ANEEL (2002). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília/DF, 153 p.

BORLAND, W. M.; MILLER, C. R. (1958). *Distribution of sediment in large reservoirs*. Journal of Hydraulics Division, ASCE, Reston/VA, 84 p.

CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª ed. Interciência, Rio de Janeiro/RJ, 599 p.

CELERI, A.; ALVES, C. F. C.; CARVALHO, N. O. (2005). "Reassessment of Porto Primavera Reservoir sedimentation in view of updated sediment measurements" in Anais do VII IAHS, Foz do Iguaçu/PR, Abr 2005, pp. 308 - 314.

ITAIPU BINACIONAL (2020). *Geração*. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em: 7 de jun. de 2020.

MENDES, A. B. (2005). *Análise Sinérgica da Vida Útil de um Complexo Hidrelétrico: o Caso do Rio Araguaia, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Ciências. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.

MENDES, A. B.; GOSSSEN, A. C. (2018). *Relatório para a Reunião do Board de Consultores Cívicos*. ITAIPU Binacional. Foz do Iguaçu/PR.

ONS (2020). *Diagrama Esquemático das Usinas Hidrelétricas do SIN*. Arquivo em pdf. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: 6 de jun. de 2020.