

ANÁLISE DA OPERAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS DAS BACIAS DOS RIOS MADEIRA E TOCANTINS E SUA RELAÇÃO COM CLIMA ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS

Lucas Chilelli da Silva¹

Rita de Cássia Silva von Randow²

Daniel Andres Rodrigues³

RESUMO

O setor energético brasileiro passa por um momento de contínua expansão e a maior fonte de energia renovável do país é a hidroelétrica, que corresponde a cerca de 88% da matriz renovável do Brasil. Em relação ao aproveitamento energético as bacias estudadas ocupam lados opostos, a do rio Tocantins já possui grande parte de seu potencial aproveitado, enquanto que o rio Madeira constitui um grande potencial promissor para investimento. O objetivo desse trabalho foi montar um banco de dados de vazões obtidos nas agências reguladoras de água e energia do Brasil e a partir desses dados inferir os planos de operação das hidroelétricas dos rios Tocantins e Madeira através de equações que relacionam a vazão afluente com a vazão defluente dos reservatórios nas duas bacias. As simulações hidrológicas mostraram que as usinas de fio d'água não afetam as vazões dos rios de forma significativa, porém são muito mais susceptíveis as alterações no ciclo hidrológico e às variações de vazão nos rios, assim a geração de energia desses empreendimentos pode ser seriamente comprometida caso ocorram severas mudanças climáticas.

Palavras-chave: reservatórios, vazões, climatologia

ABSTRACT

The Brazilian power sector is going through a time of continued expansion and the largest source of renewable energy in the country is exactly hydropower, which accounts for about 88% of renewable energies matrix of Brazil. Regarding energy use the studied basins occupy opposite sides, the Tocantins river already has most of its potential tapped while the Madeira River is a major promising potential for investment. The aim of this work was to assemble a database of flows obtained from regulatory agencies for water and energy in Brazil and from these data to infer the plans of operation of the hydropower plants in Tocantins and Madeira basins. Equations that relate the inflow with

¹Universidade Federal de Itajubá, chilelli.unifei@gmail.com, (011) 47144196.

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, rita.vonrandow@inpe.br, (012) 31868465.

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, daniel.andres@inpe.br, (012) 31868465.

the outflow of the reservoirs in both basins were generated. The hydrological simulations showed that the run of the river plants not affect river flows significantly, but are much more susceptible to changes in the hydrological cycle and variations in flow of the rivers, thus generating electricity from these projects can be seriously compromised if severe climate changes occur.

Keywords: reservoirs, flow, climatology.

1. INTRODUÇÃO

Reservatórios de água são resultados de intervenções antrópicas no ambiente, seja pela construção de um barramento, seja pela formação artificial de um lago para as mais diversas finalidades (TUC-CI, 2005). As vazões defluentes destes reservatórios são controladas e por isso causam um impacto no regime normal do curso d'água principal que abastece tal reservatório.

Frente às alterações climáticas globais nas últimas décadas, não é possível prever com clareza que os regimes naturais continuarão a seguir o padrão que seguiam há cem anos (TUC-CI et al, 1993). Por isso é preciso conhecer melhor as características dos sistemas dos quais a operação de empreendimentos hidráulicos dependem, e não só isso, também é preciso avaliar a viabilidade das atuais políticas de operação de cada reservatório e da implantação de novas políticas que impliquem em benefícios para todos frente a essas mudanças.

As bacias hidrográficas estudadas encontram-se em posições opostas no tocante a sua exploração e aproveitamento, de um lado está a bacia do rio Madeira, explorada desde recentemente, do outro a bacia rio Tocantins, com aproximadamente 90% do potencial já explorado. A bacia do Tocantins constitui um importante pólo de geração hidroelétrica no país devido à sua localização geográfica, e já está quase em seu limite de exploração legal (EPE, 2007). Levando em consideração as restrições de caráter ambiental e terras indígenas, a bacia do Tocantins-Araguaia possui apenas mais 10% de seu potencial inventariado passível de aproveitamento. As bacias hidrográficas estudadas estão identificadas na Figura 1-1.

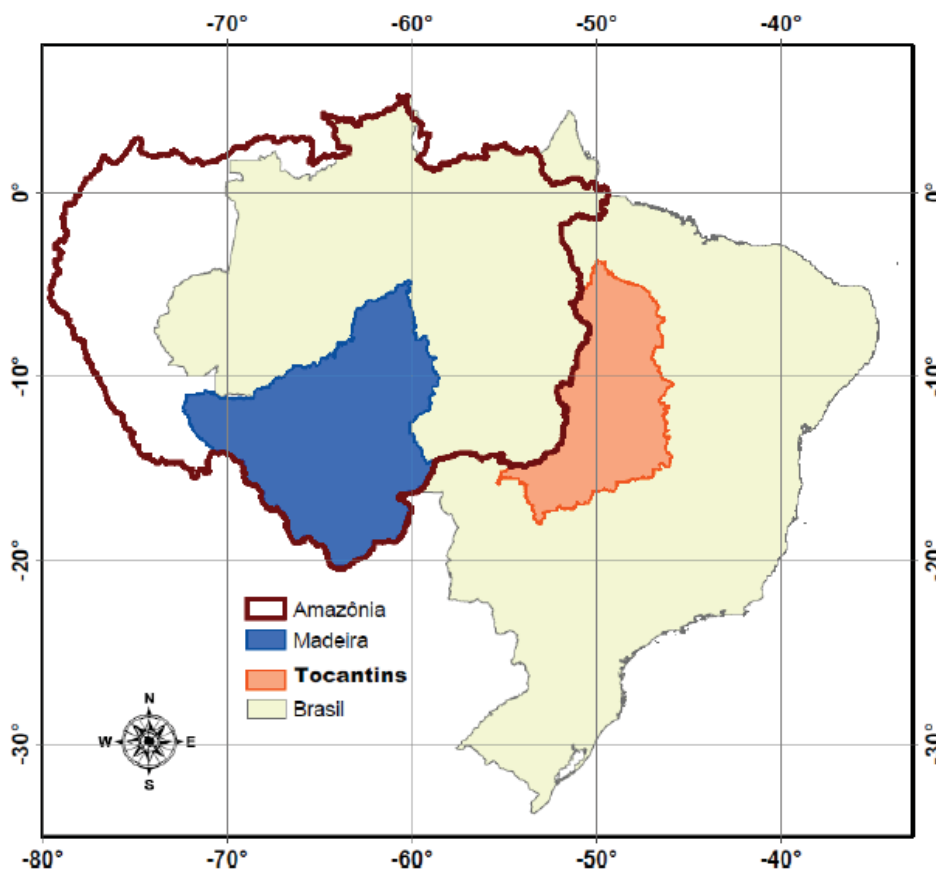


Figura 1-1 - Localização das duas bacias hidrográficas estudadas.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Madeira está localizada na margem esquerda do rio Amazonas, banhando, no Brasil, os estados de Rondônia e do Amazonas. Abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 1.324.727 km² (MMA, 2006a). O clima da região da bacia do Rio Madeira, no Brasil, é classificado como variando de úmido a super-úmido, isso devido ao fato de a região receber uma intensidade média anual de chuvas da ordem de 2.460mm.

A bacia do Rio Tocantins-Araguaia, localizada na região Centro-Norte é uma das mais importantes do Brasil. Com uma área superficial de cerca de 918.237 km² (aproximadamente 11% do território nacional) constitui um ponto de interligação das redes de distribuição do Centro-Norte com o Sudeste do país. Apresentando clima tropical, com temperaturas médias anuais de 26° C e dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso, entre Outubro e Abril, e o seco, de Maio a Setembro. A precipitação média anual na bacia é da ordem de 1869 mm, com máximo de 2.565 mm no litoral do Pará (MMA, 2006b).

As bacias estudadas e a localização dos empreendimentos hidroelétricos presentes no curso principal de ambas são apresentados na figura 2-1.

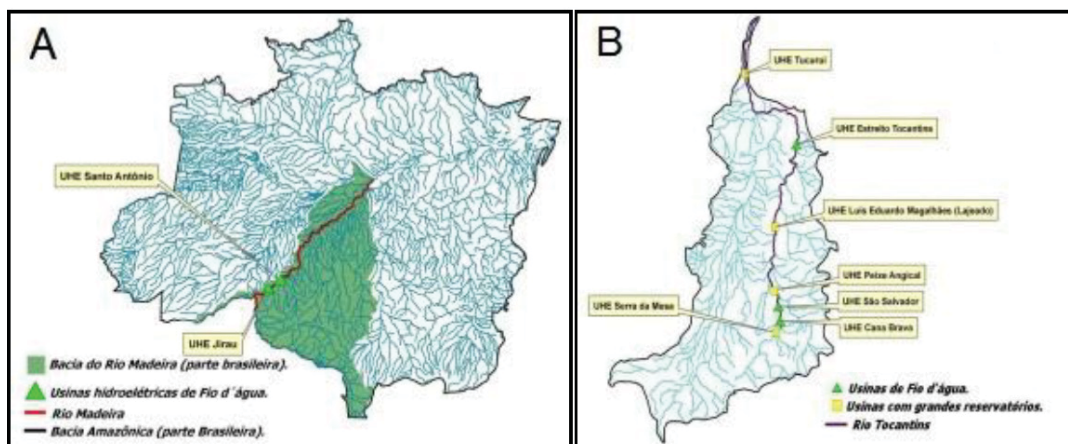


Figura 2-1 - Bacia do rio Madeira (A) e do rio Tocantins (B) e localização dos empreendimentos hidroelétricos ao longo do curso principal.

3. O MODELO HIDROLÓGICO DISTRÍBUÍDO (MHD)

O modelo hidrológico distribuído é um modelo de simulação hidrológica desenvolvido através da integração entre diversas metodologias de cálculo de parâmetros como evapotranspiração, escoamento no solo, balanço de água no solo, entre outros. De acordo com COLLISCHONN (2001) o modelo é composto pelos seguintes módulos:

- Balanço de água no solo;
- Evapotranspiração;
- Escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula;
- Escoamento na rede de drenagem.

A bacia hidrográfica na qual o modelo é aplicado é dividida em células ligadas entre si por canais de drenagem. Toda a bacia é classificada segundo grupos que contêm as combinações mais frequentes de uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo.

O tamanho das células é suficientemente grande para se considerar que o escoamento entre elas se faça apenas através da rede de drenagem, ou seja, pelos principais rios. A precipitação e os dados climatológicos em uma célula são obtidas por interpolação dos dados dos postos de chuva e dos postos climatológicos mais próximos. O balanço hídrico no solo é realizado de maneira independente para cada bloco de uso, utilizando as características e os parâmetros do bloco, a bacia é discretizada através de células quadradas ligadas entre si apenas pelos canais de drenagem.

Na rede de drenagem o escoamento é propagado e somado, conforme as características dos rios e das confluências, chegando ao exutório da bacia. Os hidrogramas de vazão podem ser avaliados no exutório da bacia bem como em qualquer outro ponto ao longo da rede de drenagem representada. O modelo divide a bacia hidrográfica em células quadradas. Cada célula, por sua vez, é dividida em blocos, definidos pela cobertura e pela capacidade de armazenamento do solo, como mostra a figura 3-1.

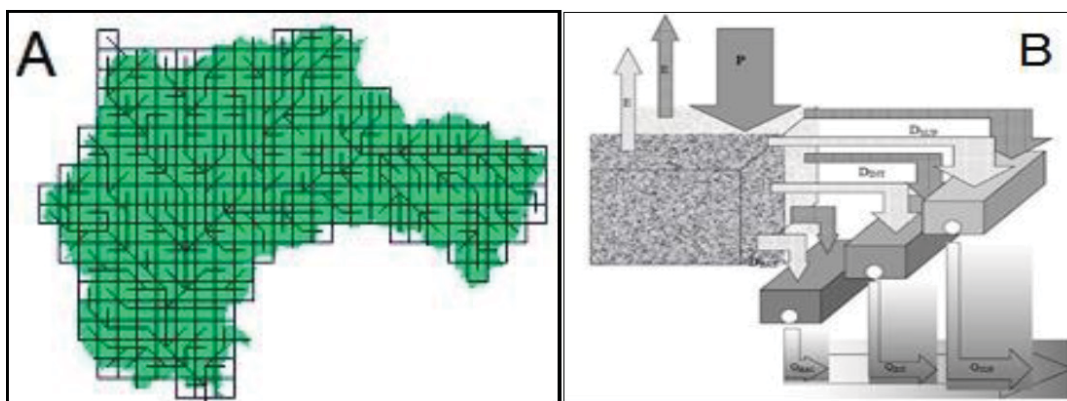


Figura 3-1 – Bacia discretizada em células ligadas entre si por canais de drenagem (A) e esquema de cálculo de uma célula com dois blocos de uso do solo (B). Fonte: COLLISCHON, 2002.

O balanço de armazenamento no solo é realizado de maneira independente para cada um destes blocos. O quadro B da figura 3-1 mostra o esquema de cálculo do escoamento e evaporação em uma célula que contém dois blocos de uso do solo.

4. METODOLOGIA

Para entender o efeito das mudanças climáticas no regime de vazões é preciso primeiro estudar o comportamento dessas vazões ao longo do tempo. Para isso foram obtidas as séries históricas de vazões naturais (aquelas que deveriam existir se não houvesse intervenção antrópica na bacia) e as vazões observadas (medidas diretamente in situ) das duas bacias hidrográficas estudadas. Essas séries têm início no ano de 1970 e vão até o ano de 2010, totalizando 40 anos de dados organizados de forma a fornecer o perfil de vazões.

A operação dos reservatórios obtida através de dados fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) foi utilizado para estimar a série de vazões de operação de cada reservatório das bacias estudadas, de forma que fosse possível estabelecer relações de vazões afluentes (a montante do reservatório) versus vazões de-fluentes (vazões a jusante do reservatório), essas vazões são utilizadas

pelo MHD para simular as vazões de saída das células que contém algum reservatório.

Os aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Madeira estão em fase final de construção e, por isso, não se dispõem de séries de operação dos mesmos. Portanto para estimar sua operação foram feitas análises de semelhanças entre os empreendimentos de fio d'água presentes na bacia do rio Tocantins. Essas análises levaram em consideração a altura da queda de água, o número e tipo das turbinas e o regime de vazão do trecho do rio. Através de uma extrapolação do perfil de vazões do rio Tocantins para os volumes do rio Madeira, assumindo um regime de estacionaridade, foram obtidas as vazões de operação dos reservatório desta bacia. A Usina hidroelétrica de Lajeado foi escolhida para representar os dois aproveitamentos da bacia do rio Madeira.

Com base nos dados de operação da Usina hidroelétrica de Lajeado, foram feitas as devidas adaptações para as usinas do rio Madeira, como por exemplo, número de turbinas utilizadas. Para o estudo da operação dos reservatórios das bacias do Tocantins-Araguaia e do rio Madeira, foram obtidas as políticas de operação desses reservatórios, que estabelecem as vazões mínimas por período e as vazões máximas para determinadas épocas do ano.

4.1. Simulação da Operação dos Reservatórios no Modelo Hidrológico Distribuído.

A partir das relações de vazões afluentes versus vazões defluentes, foi possível estabelecer polinômios de primeira ordem que representam a vazão defluente de cada reservatório nas bacias estudadas. Essas equações foram incorporadas ao MHD junto com uma rotina de leitura dos dados de entrada e simulações dos reservatórios.

As rotinas inseridas no MHD tem a função de a cada iteração nas células que contém reservatório calcular a vazão de saída dessa célula em função do polinômio que representa a vazão do respectivo reservatório. A linguagem de programação utilizada foi o FORTRAN 90.

As simulações efetuadas no MHD compreendem o período iniciando no ano de 1970 até o ano de 1990. Esse período foi escolhido para a calibração do modelo em futuras utilizações na análise de mudanças climáticas.

5. RESULTADOS

Com o banco de dados de vazões formado, o primeiro resultado obtido foi o perfil médio de vazões ao longo do ano. A figura 5-1 mostra o regime de vazões para os trechos dos dois aproveitamentos

hidroelétricos no rio Madeira. A bacia do rio Madeira apresenta as mínimas vazões usualmente no mês de setembro, enquanto as máximas vazões ocorrem no mês de Março. A figura mostra as vazões observadas em duas estações próximas aos locais dos aproveitamentos.

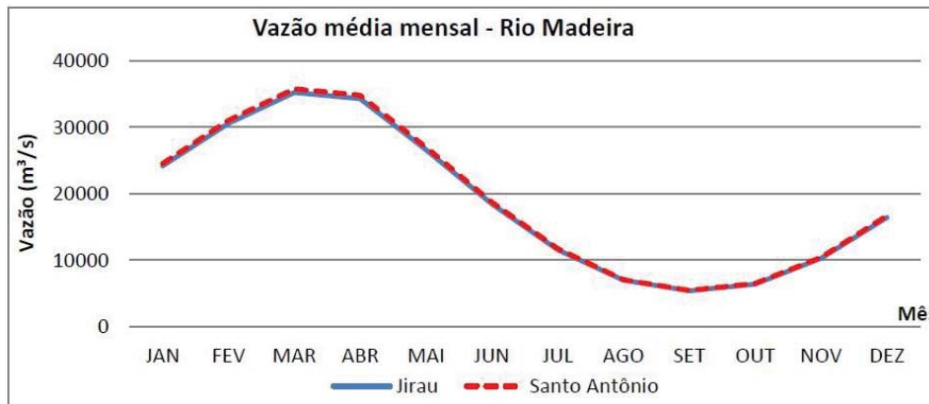


Figura 5-1 - Vazão média mensal para os trechos dos aproveitamentos hidroelétricos da bacia do Rio Madeira.

As vazões máximas na bacia do Tocantins ocorrem no mês de fevereiro para todos os trechos exceto Tucuruí, onde as máximas ocorrem em março, enquanto as mínimas vazões ocorrem no mês de outubro. O perfil de vazões do rio Tocantins está apresentado na figura 5-2.

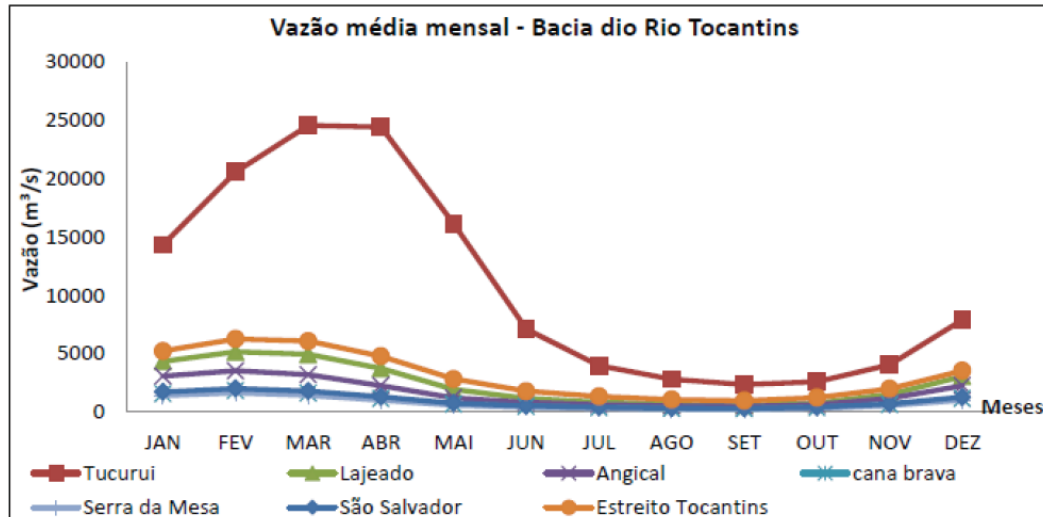


Figura 5-2 - Vazão média mensal no trecho de cada aproveitamento da bacia do Rio Tocantins.

Os volumes médios mensais calculados a partir dos relatórios de operação dos respectivos reservatórios, fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) são apresentados na figura 5-3. A partir desta figura fica claro que o volume mais afetado pelo regime do rio é exatamente o de Tucuruí, que é constituído por reservatório de acumulação, enquanto que o volume referente às usinas de fio d'água não é consideravelmente afetado em um período longo de tempo.

O período de dados é de 2002 até 2011.

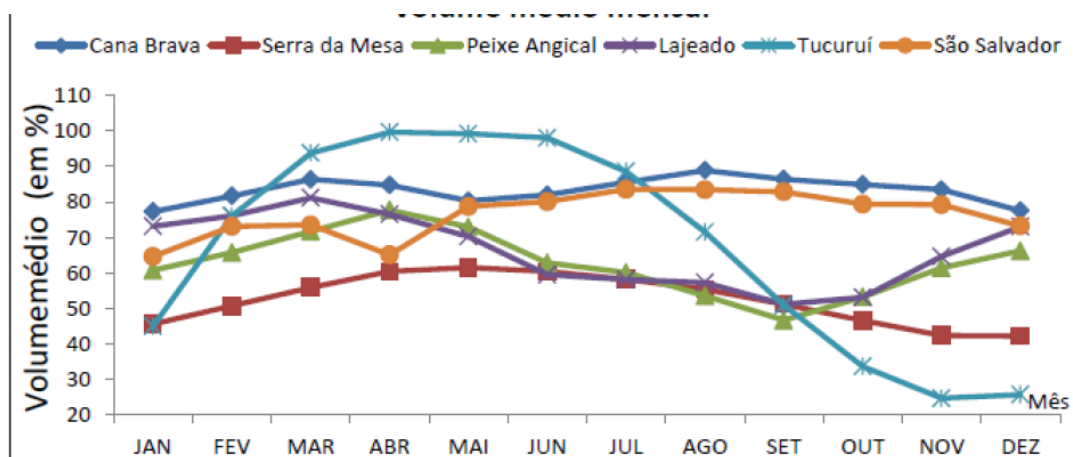


Figura 5-3 - Volume médio dos reservatórios da bacia do Rio Tocantins.

As simulações do modelo hidrológico distribuído mostraram que durante a operação das usinas de fio d'água não ocorrem variações significativas nas vazões do rio no qual elas operam. As figuras 5-4 e 5-5 mostram as vazões simuladas através do MHD e as vazões observadas in situ de dois pontos a jusante dos empreendimentos hidrelétricos Jirau e Santo Antônio na bacia do rio Madeira. As simulações foram feitas supondo a Usina hidroelétrica Jirau operando desde o ano de 1976 até 1990 e a Usina hidroelétrica Santo Antônio operando de 1980 a 1990 para testar a operação desses empreendimentos em relação a um dado real de vazão. Essa operação pode ser feita sem prejuízos aos resultados pois os mapas de uso do solo utilizados pelo MHD levam em consideração as alterações na bacia até o ano de 1990.

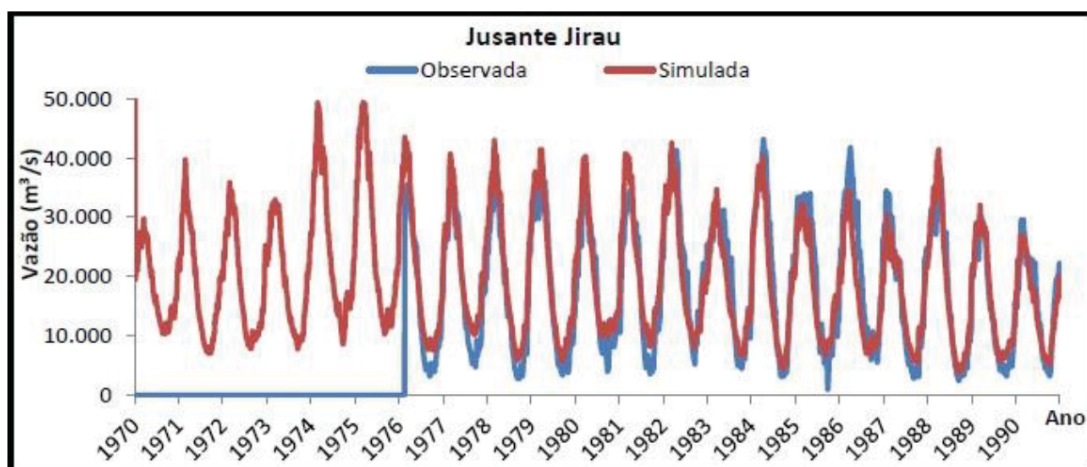


Figura 5-4 - Comparação entre vazões observadas e simuladas a jusante da UHE Jirau.

As vazões do trecho a jusante da UHE Santo Antônio também não sofrem variações significativas ao longo da operação simulada, isso já

era esperado pela forma de operação das usinas de fio d'água onde a razão vazão afluente/vazão defluente tende a ser sempre próxima a 1.

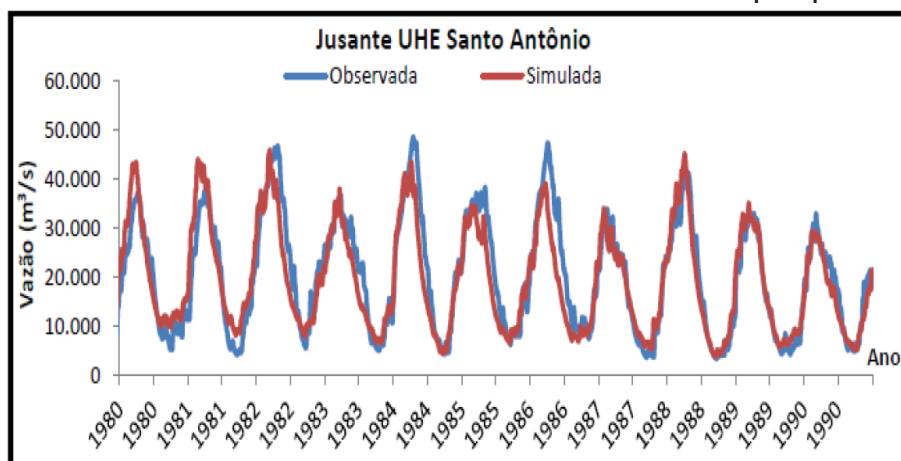


Figura 5-5 - Comparação entre vazões observadas e simuladas para o trecho a jusante da UHE Santo Antônio.

Como a principal característica das usinas de fio d'água é a utilização do próprio curso d'água como reservatório, grande parte do volume é representado pela área alagada naturalmente pelo rio. De acordo com dados da ANEEL (2012) a área representativa de alagamento do rio Madeira referente aos trechos de Jirau e Santo Antônio representam cerca de 65% da área total do reservatório planejado para os dois aproveitamentos, sendo os 35% restantes a área alagada também naturalmente pelo rio durante as cheias (janeiro a abril), cuja vazão em parte poderá ser extravasada pelos vertedouros.

As simulações mostraram que os volumes dos reservatórios destes dois aproveitamentos variam pouco durante o ano, tendo um leve incremento em seus respectivos volumes durante, exatamente, o período de cheias. Isso pode ser comprovado pela figura 5-6 que mostra o volume médio dos reservatórios para as simulações feitas para operação do aproveitamento entre o ano de 1970 e 1990.



Figura 5-6 – Volume médio dos reservatórios do complexo do Rio Madeira para o período simulado no MHD.

6. CONCLUSÃO

Os perfis de vazões de ambas as bacias são consideravelmente semelhantes, diferindo apenas nos volumes máximos. As ocorrências das vazões máximas e mínimas possuem um atraso de apenas um mês entre uma bacia e outra.

A bacia do Rio Tocantins, hoje está próxima ao seu máximo aproveitamento, porém devido à operação de diversos empreendimentos na forma de reservatórios de acumulação, tem-se uma maior segurança da geração de energia hidrelétrica por meio da regularização das vazões desses reservatórios, enquanto que os aproveitamentos de fio d'água dependem do regime de vazão do rio. Assim sendo a energia produzida por esses empreendimentos pode sofrer um declínio considerável durante os períodos de seca hidrológica. Portanto, durante o período de secas espera-se que os volumes acumulados durante os períodos de cheia nos reservatórios de acumulação de em outras bacias hidrográficas, como a do Tocantins, seja utilizado suprimindo o déficit deixado pelas usinas de fio d'água.

As usinas de fio d'água podem não suprir a demanda energética para a qual foram projetados caso ocorram eventos críticos como longos períodos de seca hidrológica. A ocorrência de tal evento pode contribuir para um agravamento da situação energética no país. Os aproveitamentos na bacia do rio Madeira, por exemplo, no período de seca possuem a geração firme de 10% a 20% do valor total de potência instalada desses empreendimentos. Ainda são necessários mais estudos referentes ao comportamento da bacia hidrográfica do rio Amazonas e suas sub-bacias para entender plenamente qual o impacto do aumento do aproveitamento hidroelétrico na região sobre as vazões. Isso se deve ao fato de que a amplitude das vazões máximas e mínimas na bacia do rio Madeira, por exemplo, é muito alta.

As simulações e as vazões observadas em relação à bacia do rio Madeira mostraram que as vazões a jusante dos aproveitamentos não é seriamente afetada durante sua operação, dessa forma, os impactos na geração hidrelétrica nessa bacia serão exclusivamente dependentes dos efeitos das mudanças climáticas sobre o regime hidrológico da região.

Com a ocorrência das mudanças climáticas, os regimes de vazões serão seriamente afetados e a operação dessas usinas que inicialmente foram planejadas para complementar a geração de energia em períodos de cheia e garantir o abastecimento dos reservatórios de acumulação para utilização nos períodos de seca, serão seriamente afetados, podendo causar novos períodos de racionamento, além de colapsar parte da estrutura de geração de energia no país.

A inserção de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira vem sendo uma das prioridades dos órgãos reguladores e das políticas públicas nos últimos anos. Isso se deve principalmente à grande oferta deste tipo de energia que o Brasil possui, devido à sua extensão e posição geográfica. No cenário ambiental este é um fato bastante animador, já que a geração através de fontes renováveis além de diminuir os impactos no clima causados pelas emissões de gases estufa, também proporciona uma diversidade na matriz energética. Tal fato colabora para que a oferta no país seja mais estável e sempre atenda à demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Blg - Banco de Informações de Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=1&fase=3>>. Acesso em: 31 nov. 2012.

COLLISCHON, W. Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

EPE. Plano Nacional de Energia 2030: Geração Hidrelétrica. Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2007.

MMA. Caderno da Região Hidrográfica Amazônica. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 124. 2006a. (85-7738-066-1).

MMA. Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 132. 2006b. (85-7738-066-1).

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M. et al. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v. 4, 1993.