

4. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA

A caracterização fisiográfica da bacia do rio Jucu Braço Norte, contribuinte para o local do aproveitamento, foi realizada com base nos seguintes documentos:

- Folhas Cartográficas, elaboradas pela Superintendência de Cartografia do IBGE na escala 1:50.000, com curvas de nível a cada 20 m:
 - SF-24-V-A-II-2 – Afonso Claudio;
 - SF-24-V-A-II-4 - Conceição do Castelo;
 - SF-24-V-A-III-1 – Garrafão;
 - SF-24-V-A-III-2 – Santa Leopoldina;
 - SF-24-V-A-III-3 – Araguaia;
 - SF-24-V-A-III-4 – Domingos Martins;
 - SF-24-V-A-V-2 – Castelo;
 - SF-24-V-A-VI-1 – Matilde;
 - SF-24-V-A-VI-2 – Alfredo Chaves;
 - SF-24-V-B-I-4 – Vitória.
- Estudos de Revisão do Inventário Hidrelétrico do Rio Jucu Braço Norte, no trecho entre o Canal de Fuga da PCH São Pedro (El. 228,70) até sua foz no Oceano, e o Rio Jucu Braço Sul no trecho entre o Canal de Fuga da PCH Jucu até sua foz no rio Jucu Braço Norte, elaborado pela Spec Planejamento, Engenharia Consultoria Ltda, abril de 2009.
- Programa de Gestão Integrada de Águas e da Paisagem - Relatório de Avaliação Ambiental e Social – RAAS e Arcabouço para o Gerenciamento Ambiental e Social do Programa. Elaborado por MMT Planejamento e Consultoria Ltda., maio de 2013.

4.1.1. Localização e Caracterização Geral

A bacia hidrográfica do rio Jucu, se insere no quadrilátero formado pelos meridianos com longitude 40°15' e 41°10' Oeste e entre os paralelos com latitude 20°10' e 20°40' Sul. Em termos setoriais, a bacia do rio Jucu encontra-se enquadrada em nível estadual na Bacia do Atlântico Trecho Leste, Sub-bacia 56. Totalmente contida no estado do Espírito Santo, na região Sudeste do Brasil.

Limita-se, a norte com as bacias do rio Santa Maria da Vitória e rio Doce-Suruaca; a nordeste pela bacia do rio Formate-Marinho; ao sul com as bacias dos rios Benevente e Guarapari; a oeste pela bacia do rio Itapemirim e a leste com o Oceano Atlântico.

O rio Jucu tem uma extensão aproximada de 170 km até a sua foz no Oceano Atlântico, com uma área de drenagem de aproximadamente 2.000 km². Da sua nascente até a confluência com o rio Jucu Braço Sul, seu principal afluente, é denominado rio Jucu Braço Norte, a partir de onde passa a denominar-se apenas rio Jucu.

Destacam-se ainda alguns tributários pela margem esquerda, como o rio Barcelos, o ribeirão Tijuco Preto, os rios Ponte, Melgaço, do Chapéu e Galo e o córrego Biriricas e, pela margem direita, o ribeirão D'Antas e o rio Jacarandá. Com as obras realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, na década de 50, o rio Formate, outrora um dos principais afluentes do rio Jucu, foi desviado, passando a constituir uma bacia independente, desaguardo no rio Marinho, e posteriormente na Baía de Vitória.

Os municípios Domingos Martins, Marechal Floriano e Viana estão integralmente contidos na bacia do rio Jucu, e também são as principais áreas urbanas da bacia. Já os municípios Guarapari, Cariacica e Vila Velha estão parcialmente contidos na bacia.

O rio Jucu Braço Norte, com extensão de 122 km, nasce na serra do Castelo, ramo da serra da Pedra Azul, segue a direção sul-norte até as proximidades do paralelo 20°18' S, e daí toma a direção oeste até a confluência com o Braço Sul. Suas cabeceiras se situam em altitude superior a 1.200 m, vencendo um desnível de mais de 1.150 m, neste trecho, com cerca de 1.150 km² de área de drenagem, até se unir, junto com o Braço Sul, ao rio Jucu.

O rio Jucu Braço Sul nasce no interior do Parque Estadual da Pedra Azul, seu desenvolvimento apresenta-se com 73 km de extensão e área de drenagem de 395 km².

O trecho do rio Jucu desde a confluência dos braços até desaguar no Oceano Atlântico tem uma extensão estimada em 46 km, com direção predominantemente Leste-Oeste. Devido às inundações constantes na zona da planície aluvial do baixo curso, o DNOS promoveu a retificação e a dragagem da calha natural e construiu um conjunto de canais artificiais para facilitar o escoamento das águas. Com a retificação e dragagem a capacidade do rio em arrastar sedimentos aumentou, acarretando um aprofundamento do leito, o que aliado à extração e exploração de areia em cava conduz ao assoreamento e modificações profundas no regime pluvial próximo à foz.

O local do eixo da Barragem, com 1.146 km² de área de drenagem está situado no rio Jucu Braço Norte aproximadamente 3 km a montante de sua confluência com o Braço Sul.

As principais vias de acesso à região são as rodovias federais BR-101 e BR-262, conforme ilustrado no desenho A-062-000-00-0-XX-0001 de localização e acessos.

4.1.2. Parâmetros Fisiográficos

A delimitação da bacia hidrográfica do rio Jucu e rio Jucu Braço Norte, contribuinte ao local da Barragem, foi realizada com base nas Folhas Cartográficas do IBGE na escala 1:50.000, com curvas de nível a cada 20 m, conforme apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1
Cartas do IBGE na Escala 1:50.000



As principais características físicas correspondentes à bacia do rio Jucu Braço Norte, até o local do Eixo da Barragem, são relacionadas a seguir:

- Área de drenagem: 1.146 km²
- Perímetro: 219 km
- Comprimento axial: 122 km
- Largura média: 9,4 km
- Cota da nascente: 1220 m
- Cota da seção de fechamento: 73 m
- Declividade bruta: 9,37 m/km
- Coeficiente de compacidade (kc): 1,81
- Fator de forma (kf): 0,08
- Comprimento dos canais de drenagem (rio Jucu Braço Norte) 431 km
- Densidade de drenagem 0,48 km/km²

A área de drenagem foi medida pela projeção em planta da região delimitada pelo respectivo divisor de águas. O perímetro é determinado pela extensão do limite topográfico da bacia. O comprimento axial corresponde ao trecho do rio Jucu entre o sítio do aproveitamento e a nascente, e a largura média corresponde à razão entre a área e o comprimento axial. A declividade bruta equivale à razão entre a diferença de cotas da seção de fechamento e da nascente e o comprimento axial.

O coeficiente de compacidade é um índice que corresponde à relação entre o perímetro da bacia e o da circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o valor obtido. Considerando-se bacias com as demais características semelhantes, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente, o que não ocorre para o caso em estudo.

O fator de forma é a relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial ou comprimento total do principal curso d'água na bacia, e constitui outro índice indicativo da tendência para enchentes da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra do mesmo tamanho, porém, com maior fator de forma. Isto se deve ao fato de que quanto mais o valor do índice se aproxima de zero, maior a extensão da bacia e assim, menor a possibilidade de chuvas abrangerem toda a bacia simultaneamente. Além disso, a bacia se distancia da forma circular perfeita, na qual as embocaduras de seus tributários se concentram numa mesma região. Portanto, se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente, o que não se verifica para a bacia em estudo.

A densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento da rede hidrográfica. Expressa a relação entre a extensão total dos cursos d'água e a área da bacia. De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui baixa capacidade de drenagem.

O tempo de concentração (definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com vazão na seção de controle) foi calculado com base na fórmula do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (US Soil Conservation), seguindo as Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (Eletrobrás, 2000). A seguir, são apresentadas as características e índices necessários ao cálculo do tempo de concentração.

- H – Diferença entre cotas _____ 1.147 m
- Comprimento do curso d'água principal _____ 122 km
- $t_c = 0,95 (L^3/H)^{0,385}$ _____ 16,2 h

4.1.3. Uso e Ocupação

O Estado do Espírito Santo está inserido no Bioma da Mata Atlântica, caracterizada como floresta sempre verde que se apresenta em elevações montanhosas com variações fisionômicas, o que lhe permite alta riqueza e diversidade.

De acordo com o Mapa de Uso dos Solos do Espírito Santo do IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), na área da bacia do rio Jucu Braço Norte predominam os seguintes usos: floresta natural primária ou secundária (em estágio inicial,

médio ou avançado de crescimento); culturas agrícolas; pastagem e muçununga; e silvicultura.

Os principais usos da água na bacia são: abastecimento urbano, industrial, doméstico rural, geração de energia, dessedentação de animais domésticos, diluição de despejos, irrigação e recreação.

O rio Jucu é um dos principais mananciais de abastecimento de água da Região da Grande Vitória, junto com a bacia do rio Santa Maria abastece cerca de 60% da população do estado. Por esse motivo, o Governo do Estado vem testando formas de estimular a conservação e recuperação da cobertura florestal nessas áreas, bem como o uso de práticas sustentáveis de uso das terras. Com destaque cita-se o “Projeto Florestas para Vida” (2015) que, com recursos de doação do *Global Environment Facility* (GEF) e tendo o Banco Mundial como agente implementador, desenvolveu metodologia de aplicação de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para os municípios localizados nas cabeceiras das bacias do Jucu e Santa Maria da Vitória.

Os trechos médio e superior da bacia estão relacionados com a agropecuária, enquanto as principais concentrações urbanas estão localizadas nas cidades de Domingos Martins e Marechal Floriano. Os esgotos sanitários são lançados nos cursos d’água sem tratamento. A indústria mais expressiva na parte alta da bacia do Rio Jucu é a Refrigerantes Coroa, no Braço Norte, que além de produzir refrigerantes e engarrafar água mineral produz cerveja.

As maiores fontes de poluição dos rios Jucu Braço Norte e Sul correspondem à erosão, lançamentos de esgotos sanitários, fertilizantes, e efluentes de pocilgas e currais.

A bacia sofreu desmatamento, o que contribui para o aumento das cargas de sedimentos transportadas pelos cursos d’água, o processo de assoreamento é mais acentuado próximo à foz do rio Jucu.

De acordo com a delimitação georreferenciada de terras indígenas da FUNAI, constata-se a ausência de terras indígenas na Bacia do Rio Jucu.

A principal barragem na região é a PCH São Pedro, localizada no rio Jucu Braço Norte, a fio d’água e com uma área de reservatório de 0,11 km². E no rio Jucu Braço Sul a PCH rio Jucu, com área de reservatório de 0,007 km².

4.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA

A caracterização climática da bacia do rio Jucu Braço Norte, contribuinte para o local do barramento, foi realizada com base nos mesmos estudos utilizados na caracterização fisiográfica da bacia, acrescentando informações das Normais Climatológicas do Brasil, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados da estação pluviométrica Córrego do Galo, disponibilizados pelo Hidroweb/ANA (Agência Nacional de Águas).

A análise da distribuição da temperatura, umidade relativa e evaporação foram realizadas com base nos dados da estação meteorológica Vitória, das Normais Climatológicas do

Brasil, referentes ao período de janeiro de 1961 a 1990. A estação Vitória situa-se nas coordenadas de latitude 20°19'S e longitude 40°20'O, no estado do Espírito Santo, a uma altitude de 37 m e cerca de 25 km do local do aproveitamento, em linha reta.

4.2.1. Aspectos Gerais

A Bacia do rio Jucu está inserida em uma zona climática tropical e apresenta grande diversidade climática devido à diversidade orográfica, influência marítima e continental sendo, entretanto, influenciada mais pelo relevo acidentado. Apresenta duas estações distintas: a seca e a chuvosa, sendo esta segunda marcada por fortes precipitações e condicionada por fatores meteorológicos e topográficos.

A Região Sudeste, onde localiza a bacia do rio Jucu, em termos de precipitação, é a que, juntamente com a Região Norte, apresenta os maiores índices pluviométricos anuais do Brasil. A precipitação local está condicionada ao relevo, devido às linhas de serra que interceptam a umidade proveniente do oceano. Nas regiões altas a precipitação varia entre 1500 a 2000 mm, enquanto que na área de confluência dos dois braços aproxima-se dos 1500 mm. Na região do baixo rio Jucu a precipitação varia entre 1000 a 1250 mm de chuva por ano.

A posição marítima da Região Sudeste, aliada à sua urbanização, determina uma forte e constante concentração de núcleos de condensação (cristais de gelo das nuvens, os íons e as partículas em suspensão) nas camadas inferiores da estratosfera, contribuindo assim, para o acréscimo de chuvas em seu território, sempre que essa região é atingida por frentes frias e outros fenômenos de ascendência dinâmica.

Essa posição da região na borda oriental do continente sul-americano expõe a mesma ao fluxo meridional de ar frio oriundo do Polo Sul sobre as águas quentes do oceano, assegurando maior frequência de invasão de Frentes Frias (KF) e de Linhas de Instabilidade Tropical (IT), uma vez que ela está sob a trajetória preferida por tais correntes perturbadas.

Na região das cabeceiras do Braço Norte do rio Jucu, as altas superfícies cristalinas e sedimentares da região serrana do estado do Espírito Santo, com altitudes superiores a 1.000 m, contribuem para que na região haja o favorecimento de ocorrência das precipitações, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, notadamente durante a passagem de correntes conturbadas que correspondem às KF e IT.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região onde se encontra o trecho em estudo está inserido em uma zona de clima Cwb, caracterizado como temperado brando, com uma estação seca bem definida.

A vegetação é de floresta tropical de menor porte e mais aberta do que a equatorial, associada às gramíneas altas e, usualmente, tipificada pelo cerrado.

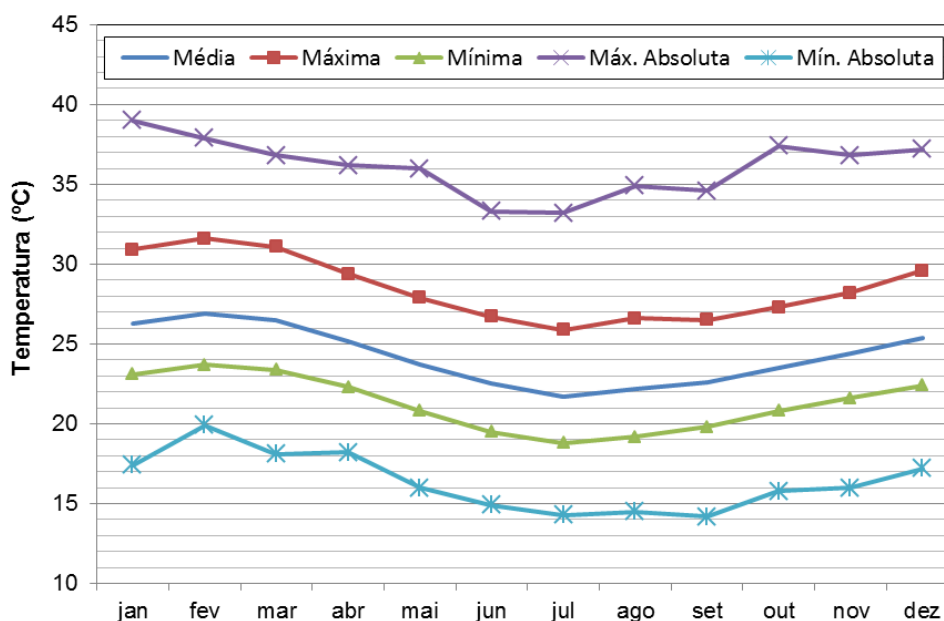
Na sequência, analisam-se os principais índices climáticos com base nas Normais Climatológicas da estação meteorológica Vitória (número 83648), publicadas pelo Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET) em 1992. Os principais gráficos resultantes dessas análises estão disponíveis no desenho A-062-000-00-0-XX-0008.

4.2.2. Temperatura

A variação das temperaturas médias ao longo do ano, bem como as médias das temperaturas máximas e mínimas, e os extremos observados no período 1961 a 1990, para a estação de Vitória (INMET, 1992), são apresentados na Figura 4.2.

Figura 4.2
Distribuição Anual da Temperatura na Estação Vitória – Período: 1961 a 1990



Por essa figura, verifica-se que os quatro meses mais frios são de junho a setembro, onde a temperatura mínima média é da ordem de 14,5°C. O período mais quente, em média, ocorre no primeiro trimestre do ano, com uma temperatura média máxima de cerca de 31,2°C.

A temperatura média anual na região é estimada em 24,2°C, com média extrema mínima de 14,2°C e temperatura máxima observada atingindo o valor de 39°C em 04/01/1962.

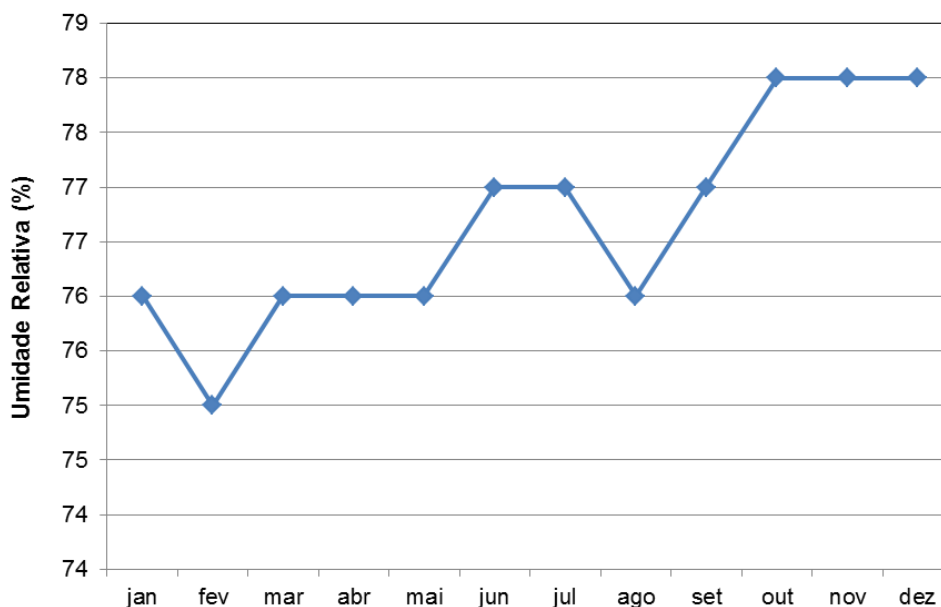
Pela diferença de altitude entre a cidade de Vitória e o local do estudo, em torno de 35m de diferença, espera-se que nesse último ocorram temperaturas mais amenas, em suas médias, e extremas mínimas inferiores às observadas em Vitória.

4.2.3. Umidade Relativa

A sazonalidade da umidade relativa na estação de Vitória se observa na Figura 4.3. A análise do gráfico indica que a umidade relativa média anual nesse local é de 76,7%,

sendo fevereiro o mês em que ocorreu o valor mínimo de 75% e o trimestre outubro - dezembro quando ocorreu o máximo de 78%.

Figura 4.3
Distribuição Anual da Umidade Relativa na Estação Vitória (%)
Período: 1961 a 1990



4.2.4. Evaporação

Para a caracterização da evaporação na bacia do rio Jucu foram utilizados os dados de Evaporímetro de Piché da estação climatológica de Vitória. Os valores médios mensais da evaporação, para o período 1961-1990, estão apresentados na Tabela 4.1 e graficamente, na Figura 4.4.

Observa-se que a evaporação anual é de 931,6 mm, com um máximo de 88,3 mm em janeiro e um mínimo de 68,8 mm em junho. As maiores evaporações ocorrem no primeiro trimestre do ano, quando ocorrem as maiores temperaturas na região. Por outro lado, as menores evaporações incidem nos meses de junho e julho.

Tabela 4.1
Evaporação Total Média Mensal na Estação Vitória / Evaporímetro de Piché
Período: 1961 a 1990

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
88,3	83,3	85,4	80,4	74,7	68,8	70,6	78,7	75,4	72,2	74,0	79,8	931,6

Para se ter uma ideia das perdas de água na região, mostra-se na Figura 4.5, os valores médios mensais da evapotranspiração potencial obtida por Hargreave & Samani (*apud* SPEC, 2009) Da análise dos dados apresentados neste trabalho, pode-se concluir que as perdas de água média anual na estação de Vitória são da ordem de 1.300 mm, com máximos ocorrendo entre dezembro e março e mínimos entre maio e agosto.

Figura 4.4
Distribuição Anual da Evaporação Total na Estação Vitória / Evaporímetro de Piché
Período: 1961 a 1990

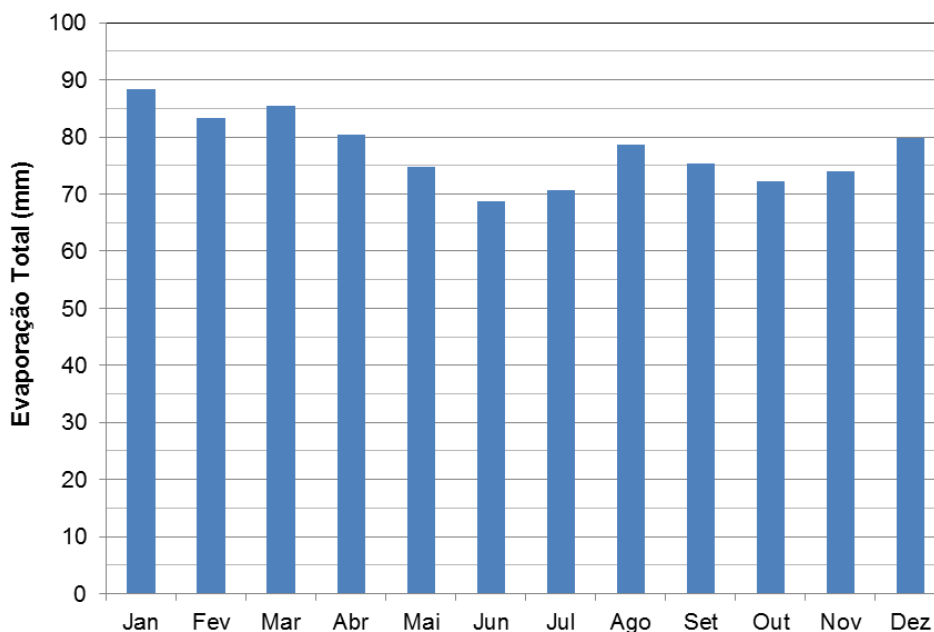
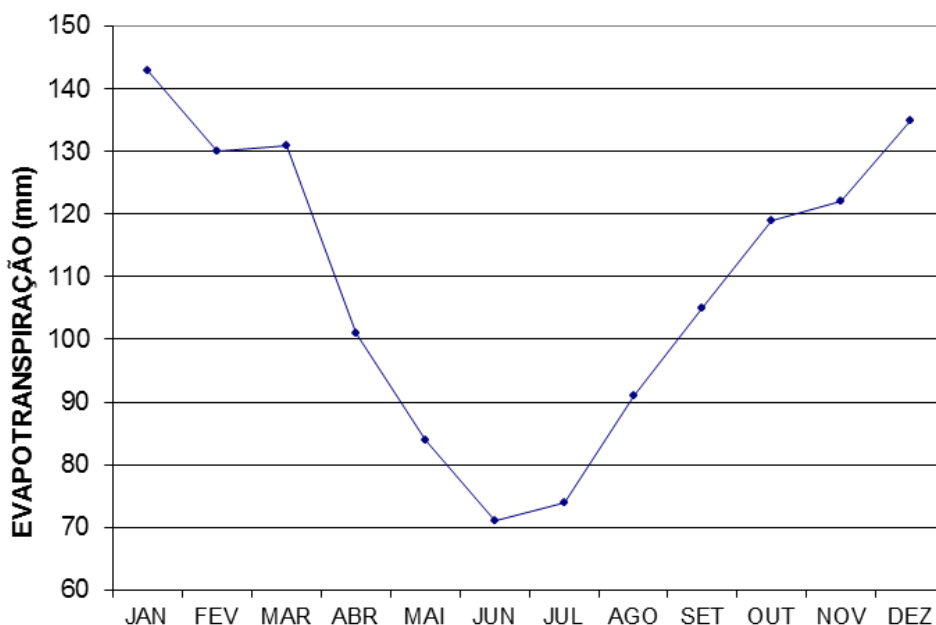


Figura 4.5
Distribuição Anual da Evapotranspiração Potencial na estação Vitória
(segundo Hargreave & Samani 1985)



4.2.5. Precipitação

Devido à sua proximidade com o local do aproveitamento, a caracterização da precipitação foi realizada utilizando-se dados da estação pluviométrica Córrego do Galo (Código: 02040045), operada pela CPRM. As informações empregadas, obtidas através do Hidroweb/ANA, correspondem ao período de agosto de 1999 a 2015.

A precipitação total anual na estação Córrego do Galo varia entre 960 mm e 2.017 mm, apresentando uma média de 1.507 mm, para o período de dados observado. A distribuição da precipitação média mensal dessa estação se observa na Figura 4.6.

O período chuvoso ocorre entre os meses de novembro a março, sendo os meses mais chuvosos em novembro e dezembro, com precipitação média total acima de 200 mm e em média 15 dias com chuva no mês. As maiores precipitações registradas neste local ocorreram em 05/03/2010 e 06/12/2013, com precipitação de 120 mm e 121 mm, respectivamente.

Nota-se que, tipicamente, a estiagem inicia-se em maio e estende-se até setembro, com médias abaixo de 80 mm de precipitação e 10 dias com chuva no mês.

O número de dias de chuva médios, em cada mês, é observado na Figura 4.7. A análise da mesma permite concluir que ocorrem, em média, 137 dias com chuva, por ano, o que corresponde a cerca de 40% do tempo. Além disso, as maiores incidências de dias chuvosos ocorrem, em novembro e dezembro.

Figura 4.6
Distribuição Anual da Precipitação Média na Estação Córrego do Galo
Período: ago/1999 a dez/2015

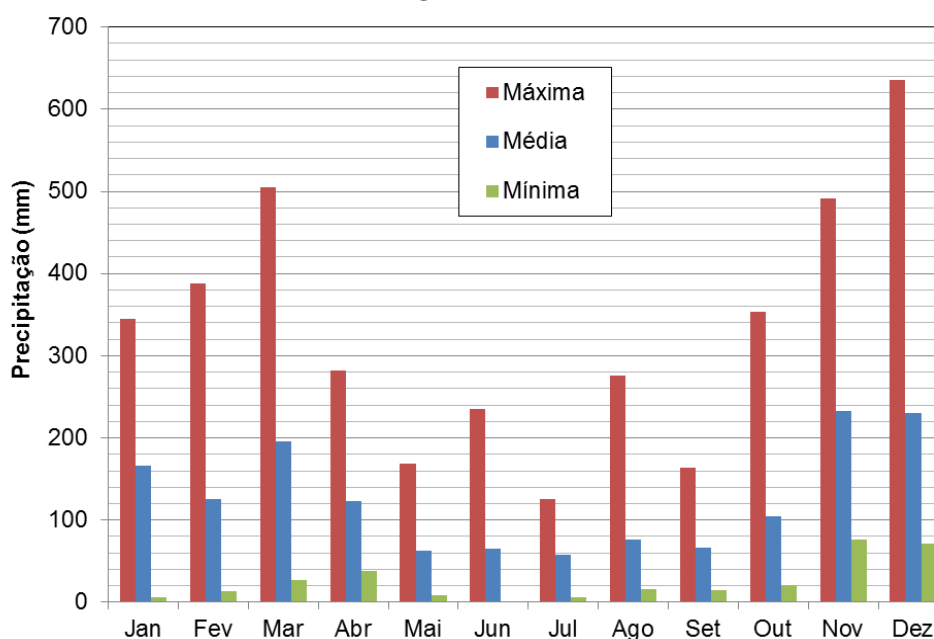
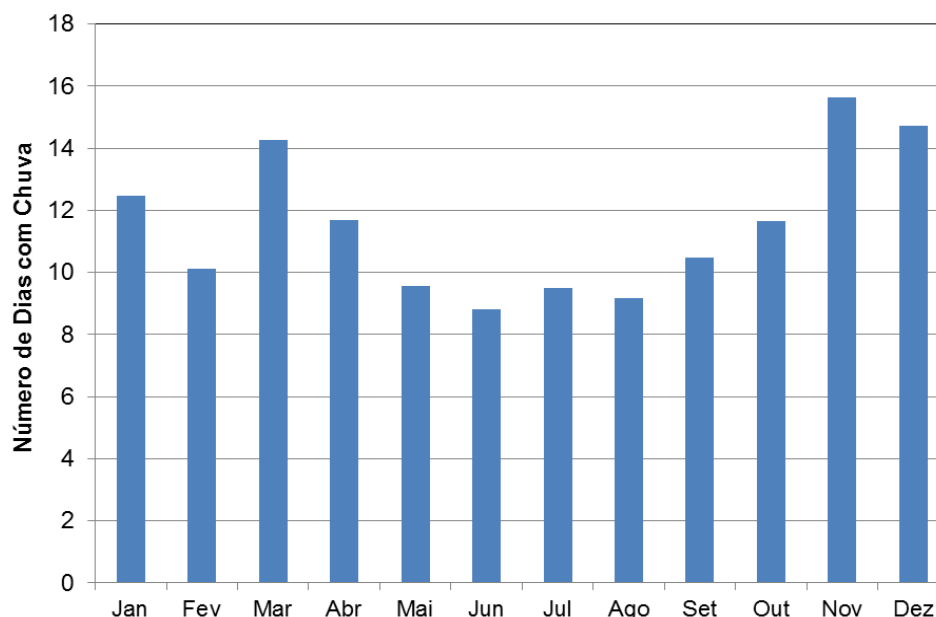


Figura 4.7
Número Médio de Dias de Chuva na Estação Córrego do Galo
Período: ago/1999 a dez/2015



4.3. REGIME FLUVIAL

4.3.1. Análise de Consistência de Dados Fluviométricos

A análise do regime fluvial contemplou o processamento dos dados das estações fluviométricas localizadas na bacia do rio Jucu, conforme consta no desenho A-062-000-00-0-XX-0007. Adicionalmente, a disponibilidade de dados fluviométricos na bacia é apresentada no Anexo I, deste Relatório.

Os principais dados das estações, incluindo o resumo de descargas líquidas, perfil transversal da seção de medição, série histórica de cotas médias diárias e vazões médias diárias das estações de interesse foram obtidos no Hidroweb, sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), no site <http://hidroweb.ana.gov.br/>, disponíveis em junho de 2016.

De posse dos dados fluviométricos, quando disponíveis, foi realizado o processamento e análise de consistência dos mesmos, avaliando possíveis erros grosseiros e verificando-se a homogeneidade do regime fluvial, conforme descrito a seguir:

- Plotagem das medições de descarga líquida das estações, a fim de validar a curva chave da ANA ou ajustar uma nova curva chave;
- Definição de uma curva chave adequada para interpolar os dados acima;
- Análise de consistência do cotagrama e fluviograma da estação, utilizando como referência os dados fluviométricos da estação situada no mesmo curso d'água, instalada a montante ou a jusante da estação em questão;

- d) Geração de vazões médias diárias a partir dos dados de cotas consistidos no item (c), e da curva chave definida no item (b);
- e) Comparação da série de vazões calculadas com a série de vazões do Hidroweb, quando existente. Caso não tenham sido verificadas grandes diferenças entre as duas séries, optou-se pela adoção da série consistida do Hidroweb/ANA, complementada pela série da PCE apenas para os últimos anos;
- f) Preenchimento de lacunas da série de vazões médias diárias da estação base, utilizando correlações feitas com a estação de referência;
- g) Plotagem dos fluviogramas das estações objeto da análise e verificação da consistência entre eles.

A seguir são descritas as análises realizadas nas curvas chave, nas cotas e vazões médias diárias, além do preenchimento da série de vazões médias diárias da estação fluviométrica base, Córrego do Galo.

4.3.2. Curva Chave na Estação Córrego do Galo

Em virtude da localização estratégica e disponibilidade de dados, a estação Córrego do Galo (Código: 57170000) foi privilegiada no estudo do regime fluvial do rio Jucu Braço Norte e posterior obtenção da série de vazões médias diárias no local do aproveitamento.

A estação fluviométrica Córrego do Galo, operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), situa-se no município de Domingos Martins e controla uma área de drenagem de 976 km² do rio Jucu Braço Norte. Sua operação teve início em 1955, apenas com leituras de cotas limnimétricas até 1968, sendo que neste período não foram realizadas medições de descarga líquida, necessárias para a definição das vazões médias diárias. Em maio de 1969 começaram as medições de descarga líquida neste local, sendo que até novembro de 2015 foram realizadas 208 medições.

A Figura 4.8 apresenta essas medições junto com a curva chave definida no Estudo de Revisão do Inventário (SPEC, 2009) e a curva chave ajustada pela PCE, a partir dos resultados dessas medições.

Observa-se que não houve alteração na relação cota vazão durante todo o período de operação. Porém no processamento cota-vazão e em comparação com as vazões veiculadas no Hidroweb, no período de 1969 a 2005 (período que corresponde as vazões já consistidas no Hidroweb), constata-se que foram utilizadas diferentes curvas chave neste período. As maiores diferenças entre as vazões disponíveis no Hidroweb e as calculadas pela curva chave ajustada para o período de 1969 a 2015 foram encontradas nos anos 2000 e 2001 ou para cotas abaixo de 0,6 m.

De forma a manter o critério utilizado, foi validada a série consistida pela ANA e ajustada uma nova curva chave apenas para o período recente (e não para o período completo de operação).

No período recente, que dispõe apenas de dados brutos, e se estende de outubro de 2006 a novembro de 2015, foram realizadas 25 medições de descarga líquida na estação.

Como todas estas medições foram realizadas com cotas relativamente baixas (abaixo de 1,0 m), foram também utilizadas as duas únicas medições com cota acima de 2,0 m, ambas realizadas em 24/03/1973, com o objetivo de obter um melhor ajuste da curva chave para cotas altas. Conforme metodologia da ANA, a curva foi definida de modo a melhor interpolar essas medições, e as medições com desvios maiores que 10%, com relação ao valor calculado pela curva estabelecida, foram descartadas.

A curva chave ajustada pela PCE para o período de out/2006 a nov/2015, utilizando 27 medições de descarga líquida, é apresentada na Figura 4.9. Cabe destacar, que a curva chave ajustada para o período recente ficou bem próxima da curva chave ajustada para todo o período de operação, apresentando entre elas diferenças de apenas 1%.

Figura 4.8
Medições de Descarga Líquida do Rio Jucu na Estação Córrego do Galo
Período: Mai/1969 a Nov/2015

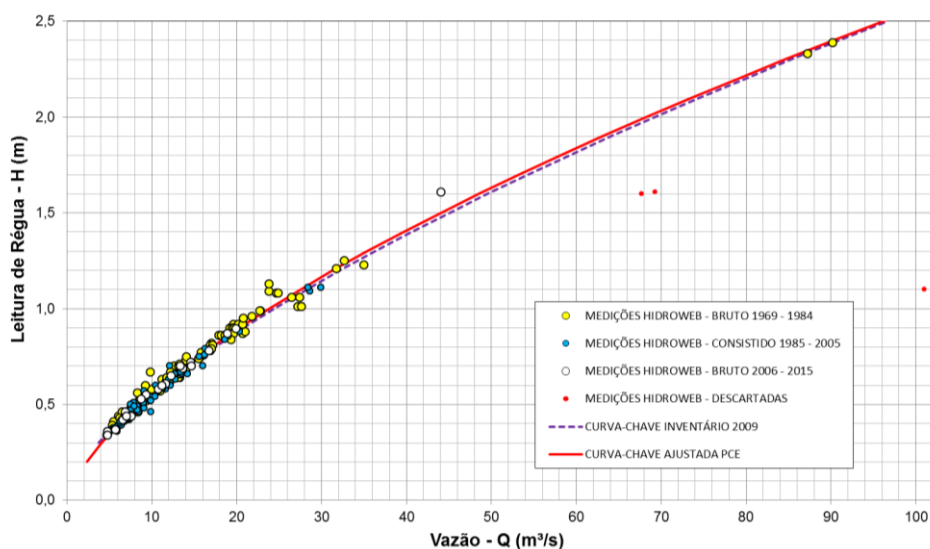
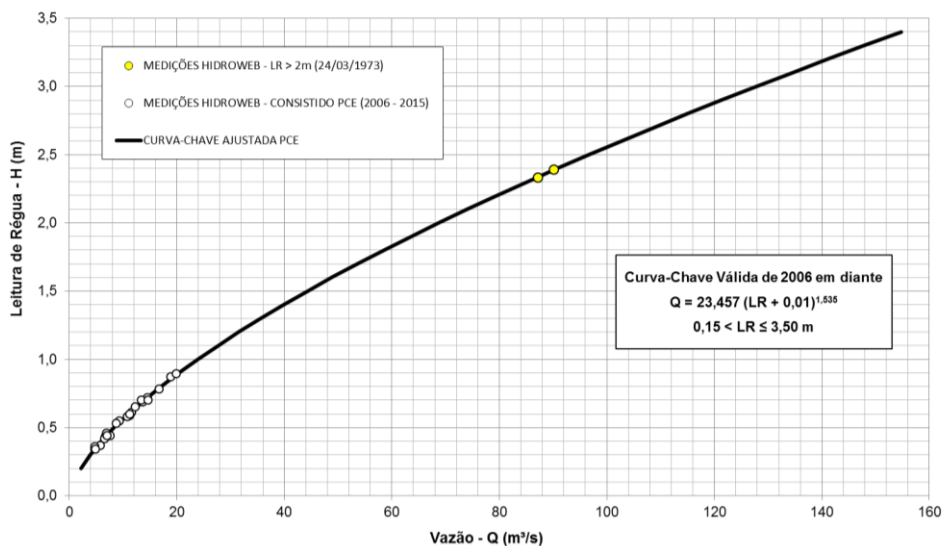


Figura 4.9
Curva-Chave do Rio Jucu Braço Norte na Estação Córrego do Galo
Período: Out/2006 a Nov/2015



4.3.3. Curva Chave na Estação Fazenda Jucuruaba

A estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba (Código: 57230000), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), situa-se no município de Viana, no rio Jucu aproximadamente 8 km a jusante da confluência dos Braços Norte e Sul, controlando uma área de drenagem de 1.625 km².

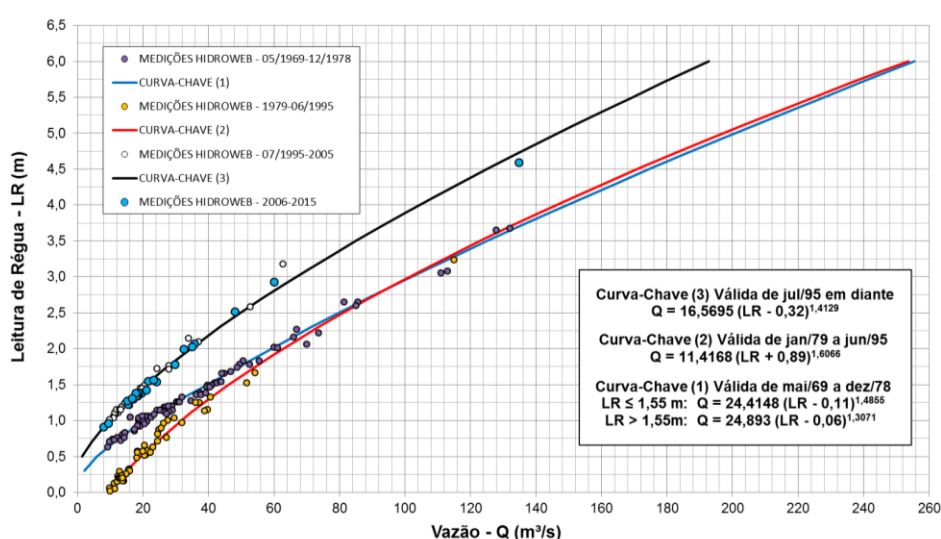
Desde o início da operação da estação, em 1968, até 2015, foram realizadas 216 medições de descarga líquida neste local, disponibilizadas através do Hidroweb/ANA.

A Figura 4.10 mostra as medições de descarga líquida consistidas, até 2005, as medições posteriores com destaque em azul, de outubro de 2006 a dezembro de 2015, e as curvas chave apresentadas no Estudo de Inventário (2009) ajustadas a partir das medições consistidas.

Verifica-se claramente que não é possível ajustar uma única curva para todo o período de medições, sendo a primeira curva válida de 1969 a 1978, a segunda de 1979 a junho de 1995 e a terceira de julho de 1995 em diante. Nota-se que as últimas medições realizadas se ajustam bem com a curva chave mais recente, validando esta curva para o período de julho de 1995 a dezembro de 2015.

Essas curvas conduziram a obtenção de vazões semelhantes às vazões disponibilizadas no Hidroweb, no período consistido, de 1971 a 2005. Dessa forma, optou-se pela validação da série consistida pela ANA promovendo a sua complementação, no período de 2006 a 2015, através das vazões geradas pela curva chave (3) validada pela PCE para este período.

Figura 4.10
Curva-Chave do Rio Jucu na Estação Fazenda Jucuruaba
Período: Mai/1969 a Dez/2015



4.3.4. Análise de Consistência de Cotas e Vazões Médias Diárias

Como dito, a estação fluviométrica Córrego do Galo foi selecionada como estação base para obtenção da série de vazões médias diárias no local do barramento, também localizado no rio Jucu Braço Norte.

A consistência dos dados de cota e vazão da estação Córrego do Galo foi realizada com auxílio da estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, no rio Jucu. Analisando em conjunto seus cotagramas e fluviogramas, avaliando possíveis erros grosseiros e verificando-se a homogeneidade do regime fluvial.

Não foram observadas inconsistências na série de cotas e vazões na estação Córrego do Galo, apenas algumas falhas diárias. Já na estação Fazenda Jucuruaba, além de falhas no histórico, foi verificada uma descontinuidade, tanto no cotagrama como no fluviograma, de julho para agosto de 1971. A soma de 1,0 m nas cotas médias diárias, de janeiro de 1969 a julho de 1971, corrige esta descontinuidade, neste período os valores de vazão diária do Hidroweb foram descartados e substituídos pelo valor calculado pela respectiva curva chave apresentada anteriormente.

Utilizando-se os dados consistidos realizou-se a correlação entre as vazões médias diárias das estações Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba, referentes ao período comum de observação, conforme se observa na Figura 4.11. Adicionalmente, para o preenchimento do mês de novembro de 1977, realizou-se a correlação das vazões médias diárias dos meses de novembro de série histórica observada (Figura 4.12).

As séries consistidas de vazões médias diárias das estações fluviométricas utilizadas, para o período de 1969 a 2015, são apresentadas no Anexo II (anexo digital), no arquivo “SerieQdia_Est.FLU_R.Jucu_1969-2015.xlsx”.

Figura 4.11
Correlação das Vazões Médias Diárias na Estação Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba – Período: 1969 a 2015

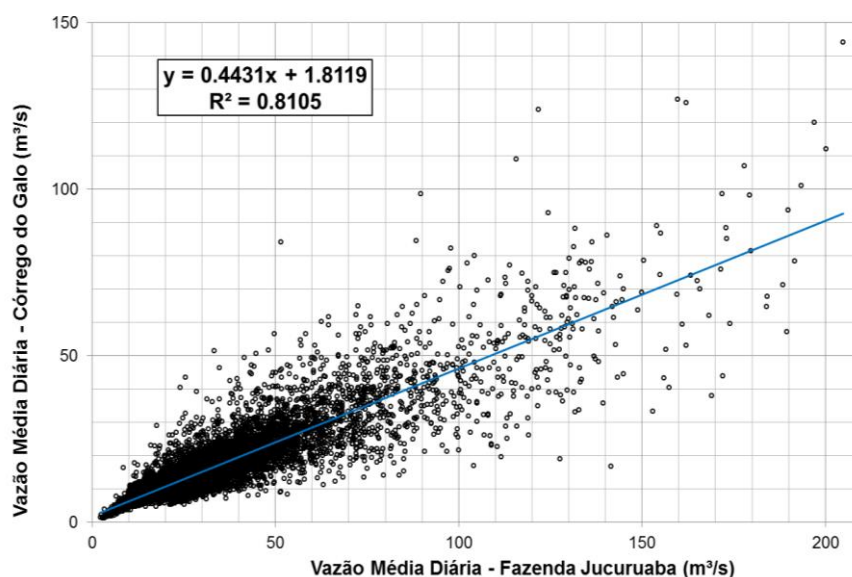
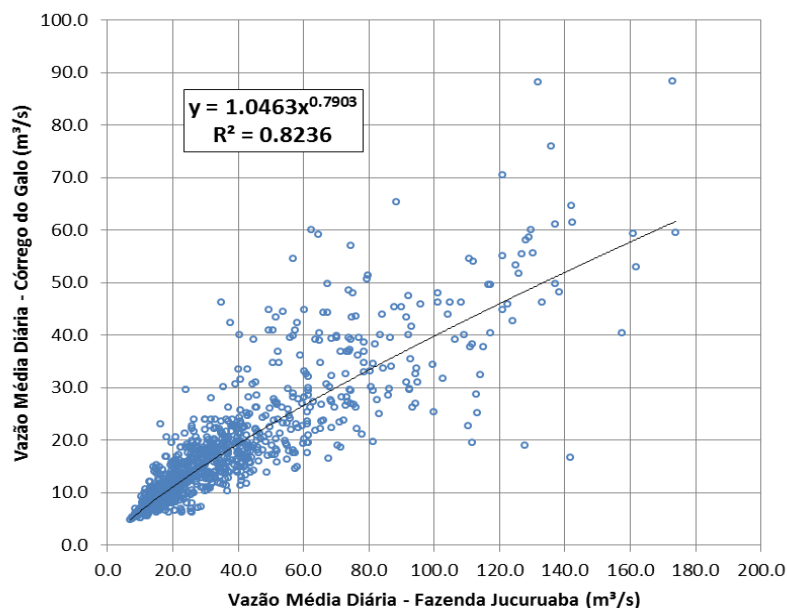
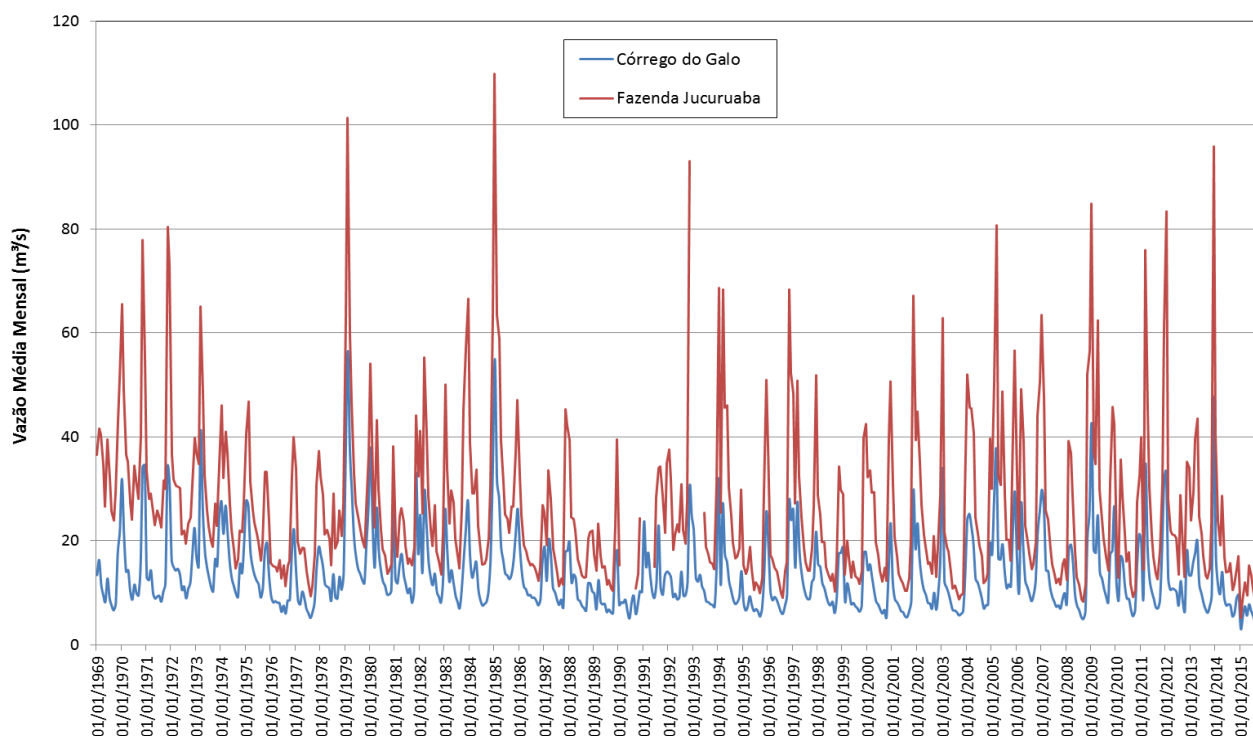


Figura 4.12
Correlação das Vazões Médias Diárias de Novembro – Período: 1969 a 2005



Os hidrogramas da vazão média mensal, correspondentes às estações objeto de análise do presente estudo, encontram-se representados na Figura 4.13. Sua inspeção permite constatar a consistência e homogeneidade tanto das vazões veiculadas no Hidroweb quanto das vazões geradas pelas curvas chave definidas ou validadas pela PCE.

Figura 4.13
Hidrogramas da Vazão Média Mensal das Estações Fluviométricas do Rio Jucu
Período: 1969 - 2015



4.3.5. Série Vazões Médias Diárias no Local do Aproveitamento

A série de vazões no local do eixo da barragem foi obtida a partir da transferência da série de vazões médias diárias da estação Córrego do Galo, pela relação de suas áreas de drenagem, 1.146 km² e 976 km², respectivamente. Assim empregou-se o coeficiente multiplicador de 1,1742 para determinação da série de vazões médias diárias no local do aproveitamento, para o período de 1969 a 2015.

A série de vazões médias diárias na barragem do rio Jucu Braço Norte é apresentada no arquivo “SerieQdia_Eixo_R.JucuBN_1969-2015.xlsx” do Anexo II (anexo digital).

4.4. SÉRIE DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

4.4.1. Série de Vazões Médias Mensais nas Estações Fluviométricas

Conforme descrito nos itens anteriores, as séries de vazões médias diárias nas estações fluviométricas foram obtidas a partir dos dados diários de vazão da ANA, dados diários de leitura de régua, através de processamentos cota x vazão, e correlações de vazões diárias, para o período de 1969 a 2015.

Posteriormente, a partir das séries de vazões médias diárias foi possível determinar as séries de vazões médias mensais, conforme se observa na Tabela 4.2 e Tabela 4.3, que apresentam, respectivamente, a série de vazões médias mensais de 1969 a 2015 para a estação fluviométrica Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba.

Tabela 4.2
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu Braço Norte (m³/s)
Estação Córrego do Galo / AD = 976 km² - Período: 1969 - 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1969	13,5	16,3	11,5	9,6	8,3	12,8	9,1	7,6	6,7	7,9	17,8	22,0	11,9
1970	31,9	21,1	14,1	14,4	10,4	8,7	11,6	9,9	9,5	15,3	34,2	34,6	18,0
1971	13,0	12,5	14,3	10,0	8,9	9,3	9,5	8,3	10,3	11,9	34,1	30,8	14,4
1972	16,3	14,9	14,3	14,6	13,5	10,6	11,3	9,0	10,8	12,0	17,4	22,5	13,9
1973	16,7	15,1	41,2	26,4	18,3	15,1	13,0	11,2	10,3	16,6	15,2	25,0	18,7
1974	27,6	21,4	26,8	21,6	16,0	12,8	11,4	9,9	9,2	15,6	13,9	19,9	17,2
1975	27,8	26,7	18,1	15,1	13,4	12,4	11,6	9,1	10,9	18,2	19,6	13,3	16,4
1976	9,4	8,2	8,4	8,1	8,1	6,4	7,6	6,0	8,6	8,6	17,8	22,2	9,9
1977	14,5	8,5	7,8	10,2	9,1	7,0	6,1	5,2	6,4	8,3	15,1	18,9	9,8
1978	17,3	15,1	11,7	11,2	10,9	8,5	13,6	9,3	8,9	13,1	10,6	13,8	12,0
1979	36,9	56,5	37,8	29,3	20,8	16,9	14,6	13,7	12,5	11,9	19,3	26,8	24,8
1980	38,0	23,3	14,9	26,4	18,0	14,3	12,2	11,4	9,7	9,7	10,5	26,9	17,9
1981	12,6	11,8	15,5	17,5	13,6	11,6	9,9	10,9	8,1	10,4	33,1	17,6	14,4
1982	25,0	13,8	29,6	23,1	16,1	13,0	11,5	13,7	10,2	9,2	8,2	12,6	15,5
1983	26,1	18,2	12,2	14,4	12,1	9,6	8,2	7,1	10,8	16,7	22,4	27,8	15,5
1984	17,1	13,0	14,4	16,0	10,8	8,7	7,6	7,9	8,4	10,7	17,6	34,9	13,9
1985	55,0	31,8	28,3	18,9	16,3	13,8	13,4	12,6	13,5	16,2	21,1	26,2	22,3
1986	19,1	14,0	11,2	10,7	9,6	9,6	9,1	9,1	8,5	7,6	8,9	16,4	11,1
1987	18,8	12,3	20,3	17,4	11,1	10,2	8,7	7,7	8,7	7,2	17,9	18,1	13,2
1988	19,8	12,0	13,6	12,8	8,8	8,5	7,5	7,1	6,6	11,9	11,9	10,3	10,9
1989	9,9	6,9	12,5	8,3	7,8	7,9	6,3	6,8	6,3	6,1	16,0	18,1	9,4
1990	7,7	8,2	8,1	8,7	6,4	5,1	8,2	9,5	5,9	7,8	10,4	10,2	8,0
1991	23,7	15,1	17,8	13,3	10,1	9,1	12,2	23,0	11,0	9,6	13,2	14,1	14,3
1992	13,8	12,9	9,2	9,9	8,8	9,1	14,1	9,5	9,6	12,2	30,4	24,8	13,7

Tabela 4.2 (Continuação)
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu Braço Norte (m³/s)
Estação Córrego do Galo / AD = 976 km² - Período: 1969 - 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1993	21,8	12,9	12,2	13,5	11,2	10,4	8,4	8,3	7,8	7,7	7,3	14,8	11,4
1994	32,1	11,6	27,2	17,5	16,1	12,3	10,5	8,8	7,9	8,2	9,3	14,2	14,6
1995	8,2	6,6	7,4	9,4	7,7	6,5	6,9	6,4	5,5	7,2	13,9	25,6	9,3
1996	19,4	10,2	8,6	9,2	8,7	7,6	6,4	6,0	7,5	9,7	27,7	24,0	12,1
1997	26,0	14,9	27,6	18,1	13,9	11,3	9,6	8,8	8,9	12,1	13,0	21,8	15,5
1998	15,5	15,1	11,9	11,0	9,3	8,0	7,6	8,3	6,1	9,2	17,6	17,7	11,5
1999	18,8	8,4	11,9	10,1	7,8	8,1	7,5	7,0	6,4	7,4	17,7	18,0	10,8
2000	14,4	15,5	13,1	10,5	8,4	7,8	6,8	6,0	6,8	5,3	13,9	23,4	11,0
2001	12,4	8,9	8,3	7,5	6,6	6,3	5,5	5,4	6,6	8,6	29,8	18,5	10,4
2002	23,4	16,5	12,8	10,7	9,6	8,1	8,0	7,0	10,1	6,8	10,1	16,7	11,6
2003	34,0	12,1	11,1	9,9	8,2	6,7	6,6	6,3	5,7	6,0	6,5	13,6	10,6
2004	24,1	25,2	22,7	19,3	12,7	12,0	10,7	9,0	7,0	7,7	7,7	19,6	14,8
2005	17,4	28,4	37,6	16,6	16,4	19,4	14,3	11,0	11,7	11,2	22,1	29,4	19,6
2006	16,7	10,2	27,3	18,9	12,3	11,2	9,8	8,4	9,6	12,3	21,6	25,7	15,3
2007	29,9	26,3	14,4	14,3	11,1	9,3	8,3	7,3	7,6	7,0	8,9	10,0	12,8
2008	7,9	18,5	19,3	15,9	9,7	7,5	6,7	5,4	5,0	6,4	20,6	26,0	12,4
2009	42,6	18,3	17,7	24,9	13,9	12,8	10,8	9,3	8,2	17,5	18,1	26,6	18,4
2010	11,9	8,5	17,0	16,4	11,6	8,9	8,9	6,8	5,5	6,7	15,8	21,3	11,6
2011	19,6	8,9	34,8	18,9	12,6	10,3	8,9	7,2	7,1	8,7	18,3	31,6	15,6
2012	33,3	12,7	10,6	10,9	10,7	10,2	7,6	12,3	8,4	6,5	18,1	13,5	12,9
2013	13,4	15,9	17,7	20,0	11,6	10,0	8,1	6,9	6,2	7,4	9,8	47,7	14,5
2014	17,2	11,5	9,8	14,1	9,1	7,6	7,8	7,6	5,5	6,2	9,1	9,6	9,6
2015	3,1	5,5	7,4	5,6	7,8	6,6	5,5	4,3	3,3	2,2	3,4	6,5	5,1
Mínima	3,1	5,5	7,4	5,6	6,4	5,1	5,5	4,3	3,3	2,2	3,4	6,5	2,2
Média	20,7	15,6	17,1	14,7	11,4	10,0	9,4	8,7	8,2	9,8	16,5	20,9	13,6
Máxima	55,0	56,5	41,2	29,3	20,8	19,4	14,6	23,0	13,5	18,2	34,2	47,7	56,5

Legenda:

	Vazões consistidas ANA.
xx.x	Correlação de vazões médias diárias do mês de novembro com a estação Fazenda Jucuruaba.
xx.x	Vazões geradas pela curva chave PCE (2006 - 2015).

Tabela 4.3
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu - Estação Fazenda Jucuruaba (m³/s)
AD = 1.625 km² / Período: 1969 – 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1969	36,6	41,7	40,4	34,6	26,6	39,5	32,0	25,6	23,9	29,2	43,1	51,1	35,4
1970	65,5	49,0	36,5	35,2	27,4	24,1	34,4	30,5	28,1	40,1	77,9	54,9	42,0
1971	33,6	28,1	29,2	25,5	23,1	25,8	24,9	22,6	31,7	30,0	80,5	73,0	35,7
1972	36,6	31,8	30,6	30,4	30,1	21,2	22,1	19,5	23,3	24,6	30,8	39,9	28,4
1973	36,9	34,8	65,1	48,2	32,7	25,9	22,8	19,9	18,8	27,2	22,8	34,6	32,5
1974	46,1	32,1	41,0	36,9	27,1	22,1	18,2	14,8	16,5	22,0	21,7	27,5	27,2
1975	40,5	46,8	31,4	26,0	23,5	21,4	19,8	16,2	19,8	33,3	33,3	23,7	28,0
1976	15,8	15,1	14,9	14,1	16,3	12,8	15,3	11,3	15,4	16,1	32,6	40,0	18,3
1977	33,9	19,9	17,5	18,8	18,6	14,1	12,0	9,4	11,2	17,5	30,7	37,3	20,1
1978	32,3	28,9	21,3	22,1	20,3	15,3	29,2	18,6	19,9	25,9	20,9	27,2	23,5
1979	63,1	101,4	59,6	46,9	33,0	27,1	24,7	22,0	20,4	18,7	26,2	36,7	40,0
1980	54,1	32,7	22,6	43,2	29,8	22,1	18,4	17,2	13,7	14,2	15,5	38,1	26,8
1981	20,9	16,9	24,9	26,3	23,7	19,0	15,7	16,7	15,3	18,9	44,1	32,4	22,9
1982	41,2	25,3	55,2	40,6	28,6	22,1	19,0	26,9	18,0	16,0	13,5	21,6	27,3
1983	50,1	33,8	23,3	29,7	27,4	20,5	17,1	14,7	26,1	45,1	57,1	66,6	34,3
1984	38,7	29,2	29,1	33,8	22,9	18,1	15,4	15,6	16,5	20,7	30,5	63,6	27,9
1985	109,9	63,4	58,9	39,3	31,2	25,1	24,2	21,5	26,6	26,6	37,0	47,1	42,6
1986	32,7	24,9	19,2	18,0	16,4	15,3	15,6	15,0	14,1	12,3	15,0	26,9	18,8
1987	25,5	19,1	33,6	28,0	18,5	16,6	13,7	11,3	12,7	11,6	45,4	42,2	23,2

Tabela 4.3 (Continuação)
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu - Estação Fazenda Jucuruaba (m³/s)
AD = 1.625 km² / Período: 1969 – 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1988	39,4	24,5	24,2	21,9	16,6	14,8	13,3	13,0	13,1	20,5	21,7	22,0	20,4
1989	17,4	14,3	23,4	17,1	14,9	15,1	11,5	12,4	10,8	10,4	23,0	39,5	17,5
1990	15,4	-	13,3	-	-	-	-	-	10,9	13,7	24,3	-	-
1991	-	-	-	-	-	14,9	28,4	34,1	34,4	28,7	21,5	34,9	-
1992	37,5	31,8	18,2	21,1	23,1	21,7	30,9	22,1	19,4	27,7	93,1	-	-
1993	-	-	-	36,1	-	25,5	18,9	17,3	15,8	15,6	14,6	30,8	-
1994	68,6	25,5	68,4	45,6	46,0	30,3	24,8	19,6	16,7	17,0	18,6	29,9	34,2
1995	15,4	13,7	14,6	18,8	14,5	10,6	12,0	11,3	9,9	12,9	29,3	50,9	17,8
1996	38,0	17,2	16,7	14,9	14,1	12,4	10,0	9,0	14,3	15,9	68,4	52,3	23,6
1997	48,4	27,1	50,9	32,4	24,5	18,8	15,9	14,3	14,2	18,7	26,6	51,9	28,6
1998	28,8	25,0	19,8	19,7	15,1	13,5	12,4	13,7	10,3	15,9	34,3	29,9	19,9
1999	29,0	13,5	20,1	16,8	12,9	16,0	13,2	12,8	11,8	14,3	39,8	42,4	20,2
2000	32,2	33,6	29,3	29,5	19,7	17,3	14,3	12,2	14,9	12,4	39,7	50,7	25,5
2001	30,8	20,8	17,1	13,7	12,5	11,9	10,4	10,4	12,9	20,6	67,2	39,4	22,3
2002	44,9	35,0	26,9	21,2	18,9	15,6	15,9	13,6	20,9	13,1	18,8	28,8	22,8
2003	62,9	21,7	18,9	18,0	14,0	10,9	11,4	10,3	8,8	9,5	10,0	28,7	18,8
2004	52,1	45,7	45,5	40,7	24,6	21,4	19,0	17,1	11,9	12,5	13,9	39,7	28,7
2005	30,0	50,5	80,7	32,5	30,7	48,8	29,0	20,1	20,2	16,3	40,7	56,6	38,0
2006	32,5	18,4	49,2	39,2	22,9	19,9	17,5	14,5	15,6	19,8	44,2	50,7	28,7
2007	63,5	47,4	25,8	24,0	18,5	15,5	13,5	11,9	12,8	11,6	15,6	16,5	23,1
2008	12,5	39,3	36,9	28,7	18,0	13,1	11,5	8,8	8,3	11,7	52,1	56,6	24,8
2009	84,9	37,2	34,8	62,5	29,8	24,0	20,4	16,9	14,3	31,4	45,8	42,5	37,0
2010	19,0	13,0	35,6	28,9	21,2	16,0	17,8	11,8	9,3	10,6	27,5	32,5	20,3
2011	40,0	14,4	75,9	45,0	30,3	21,0	16,8	13,7	12,7	18,1	30,9	61,0	31,6
2012	83,4	28,0	22,0	21,3	21,2	20,6	13,4	28,9	18,9	13,1	35,3	34,1	28,3
2013	23,9	29,4	39,5	43,6	24,7	21,4	17,1	13,4	12,7	14,8	23,3	95,9	30,0
2014	40,2	23,8	19,1	28,7	16,8	13,9	14,2	15,8	10,5	11,5	14,8	17,2	18,9
2015	5,2	8,4	12,1	9,5	15,3	13,3	10,7	8,4	7,7	4,8	7,5	15,8	9,9
Mínima	5,2	8,4	12,1	9,5	12,5	10,6	10,0	8,4	7,7	4,8	7,5	15,8	4,8
Média	40,2	30,3	33,2	29,5	22,7	19,7	18,2	16,5	16,3	19,0	33,6	40,8	26,7
Máxima	109,9	101,4	80,7	62,5	46,0	48,8	34,4	34,1	34,4	45,1	93,1	95,9	109,9

Legenda:

	Vazões consistidas ANA.
XX.X	Correção de 1m nas cotas médias diárias e vazões calculadas pela curva chave (1) do Inventário (2009).
XX.X	Vazões geradas pela curva chave (3), validada pela PCE.

4.4.2. Série de Vazões Médias Mensais no Local do Aproveitamento

A série de vazões médias mensais no local da Barragem do rio Jucu Braço Norte foi obtida a partir da série de vazões médias diárias determinada para este local, conforme descrito anteriormente, a partir da série de vazões médias diárias da estação Córrego do Galo. A Figura 4.14 mostra o histograma da série de vazões médias mensais no local do aproveitamento (também disponível no desenho A-062-000-00-0-XX-0009), e os valores mensais são apresentados na Tabela 4.4.

Figura 4.14
Histograma de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu Braço Norte
Eixo da Barragem (AD = 1.146 km²) / Período: 1969 – 2015

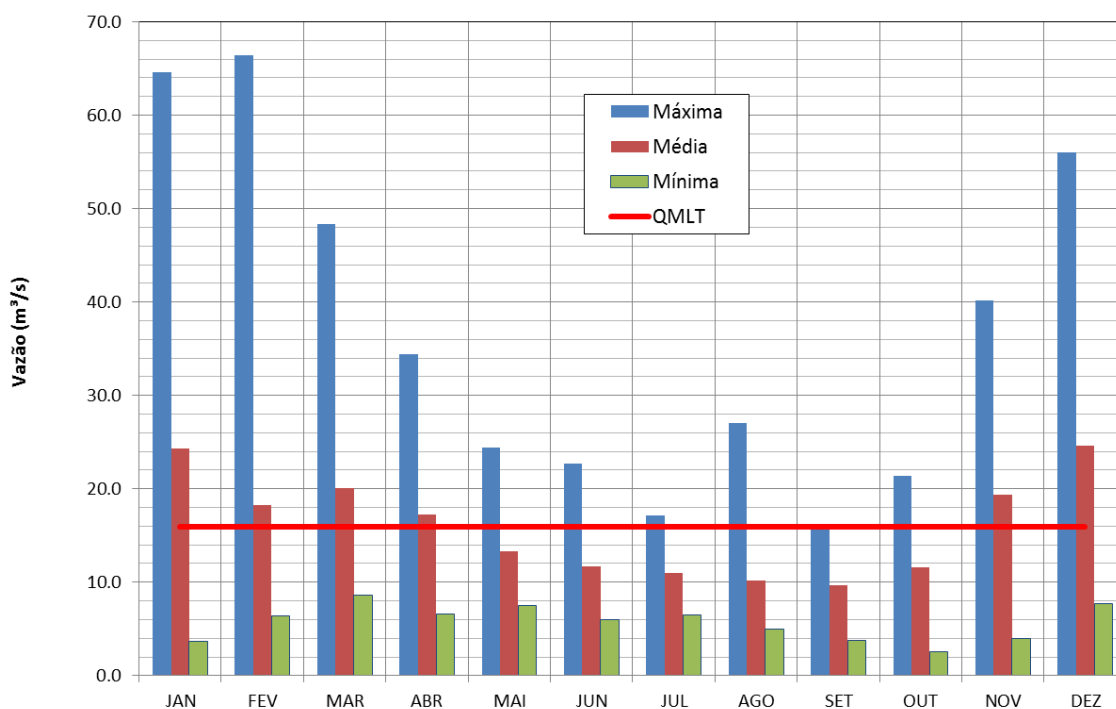


Tabela 4.4
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu Braço Norte (m³/s)
Eixo da Barragem (AD = 1.146 km²) / Período: 1969 – 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1969	15,8	19,2	13,6	11,2	9,8	15,0	10,7	8,9	7,8	9,3	20,9	25,9	14,0
1970	37,5	24,8	16,6	16,9	12,2	10,2	13,6	11,6	11,2	17,9	40,2	40,6	21,1
1971	15,2	14,6	16,8	11,8	10,5	10,9	11,1	9,8	12,1	14,0	40,1	36,2	16,9
1972	19,1	17,5	16,8	17,2	15,9	12,4	13,2	10,5	12,7	14,1	20,4	26,4	16,4
1973	19,6	17,7	48,3	31,0	21,4	17,7	15,2	13,1	12,1	19,4	17,9	29,4	21,9
1974	32,5	25,1	31,5	25,3	18,8	15,1	13,3	11,6	10,8	18,3	16,3	23,3	20,1
1975	32,6	31,4	21,2	17,8	15,8	14,5	13,6	10,7	12,9	21,4	23,1	15,7	19,2
1976	11,0	9,6	9,9	9,5	9,5	7,5	8,9	7,1	10,1	10,1	20,9	26,1	11,7
1977	17,0	10,0	9,1	12,0	10,7	8,2	7,2	6,1	7,5	9,8	17,8	22,2	11,5
1978	20,3	17,7	13,7	13,2	12,7	10,0	16,0	10,9	10,5	15,4	12,5	16,2	14,1
1979	43,3	66,4	44,4	34,4	24,4	19,9	17,2	16,1	14,6	13,9	22,7	31,5	29,1
1980	44,6	27,4	17,5	31,0	21,1	16,8	14,3	13,3	11,4	11,4	12,3	31,6	21,1
1981	14,8	13,9	18,1	20,5	15,9	13,6	11,7	12,8	9,5	12,2	38,8	20,6	16,9
1982	29,4	16,2	34,8	27,2	18,9	15,3	13,5	16,1	12,0	10,9	9,7	14,8	18,2
1983	30,7	21,4	14,3	16,9	14,2	11,2	9,7	8,3	12,7	19,6	26,3	32,6	18,2
1984	20,1	15,3	16,9	18,7	12,6	10,2	8,9	9,3	9,8	12,6	20,7	40,9	16,3
1985	64,6	37,3	33,3	22,2	19,2	16,1	15,7	14,9	15,9	19,0	24,8	30,8	26,1
1986	22,4	16,5	13,2	12,6	11,2	11,3	10,6	10,7	10,0	8,9	10,4	19,3	13,1
1987	22,1	14,5	23,8	20,4	13,0	11,9	10,2	9,0	10,2	8,5	21,1	21,2	15,5
1988	23,2	14,1	15,9	15,1	10,4	10,0	8,9	8,3	7,7	14,0	13,9	12,1	12,8
1989	11,6	8,1	14,7	9,8	9,1	9,3	7,4	8,0	7,3	7,1	18,8	21,3	11,0
1990	9,0	9,7	9,5	10,2	7,6	6,0	9,6	11,1	7,0	9,2	12,2	12,0	9,4
1991	27,9	17,7	20,9	15,6	11,8	10,6	14,3	27,0	12,9	11,3	15,6	16,6	16,8

Tabela 4.4 (Continuação)
Série de Vazões Médias Mensais no Rio Jucu Braço Norte (m³/s)
Eixo da Barragem (AD = 1.146 km²) / Período: 1969 – 2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1992	16,2	15,2	10,9	11,6	10,3	10,7	16,6	11,1	11,2	14,3	35,7	29,1	16,1
1993	25,6	15,1	14,3	15,9	13,2	12,2	9,9	9,7	9,2	9,1	8,6	17,4	13,3
1994	37,7	13,6	32,0	20,5	18,9	14,4	12,4	10,3	9,3	9,7	10,9	16,7	17,2
1995	9,7	7,8	8,6	11,0	9,0	7,7	8,1	7,6	6,4	8,5	16,4	30,1	10,9
1996	22,8	12,0	10,1	10,9	10,2	8,9	7,5	7,0	8,8	11,4	32,6	28,2	14,2
1997	30,6	17,4	32,4	21,2	16,3	13,3	11,3	10,3	10,4	14,2	15,2	25,6	18,2
1998	18,2	17,7	14,0	12,9	11,0	9,4	9,0	9,8	7,2	10,8	20,7	20,8	13,4
1999	22,0	9,8	13,9	11,9	9,2	9,5	8,8	8,3	7,5	8,7	20,8	21,1	12,6
2000	16,9	18,2	15,4	12,3	9,8	9,1	8,0	7,1	7,9	6,2	16,4	27,5	12,9
2001	14,6	10,4	9,7	8,9	7,7	7,4	6,5	6,3	7,7	10,1	35,0	21,7	12,2
2002	27,5	19,4	15,0	12,5	11,3	9,5	9,4	8,2	11,8	8,0	11,9	19,6	13,7
2003	40,0	14,3	13,0	11,6	9,6	7,9	7,8	7,4	6,7	7,0	7,6	16,0	12,4
2004	28,3	29,6	26,6	22,7	15,0	14,1	12,5	10,5	8,2	9,0	9,1	23,0	17,4
2005	20,5	33,4	44,1	19,5	19,3	22,7	16,8	12,9	13,7	13,2	26,0	34,6	23,1
2006	19,6	11,9	32,1	22,2	14,5	13,1	11,5	9,9	11,3	14,5	25,4	30,2	18,0
2007	35,1	30,8	16,9	16,8	13,0	10,9	9,7	8,6	9,0	8,2	10,4	11,7	15,1
2008	9,3	21,7	22,7	18,6	11,4	8,8	7,9	6,3	5,9	7,5	24,2	30,5	14,6
2009	50,0	21,5	20,8	29,3	16,3	15,0	12,7	11,0	9,6	20,5	21,3	31,2	21,6
2010	14,0	10,0	20,0	19,2	13,6	10,5	10,4	7,9	6,5	7,9	18,6	25,0	13,6
2011	23,0	10,5	40,8	22,1	14,8	12,1	10,5	8,5	8,3	10,2	21,5	37,1	18,3
2012	39,1	14,9	12,5	12,8	12,5	11,9	8,9	14,4	9,8	7,6	21,3	15,8	15,1
2013	15,7	18,6	20,8	23,5	13,6	11,7	9,5	8,1	7,3	8,7	11,5	56,0	17,1
2014	20,3	13,5	11,5	16,5	10,7	8,9	9,2	9,0	6,4	7,3	10,6	11,3	11,3
2015	3,7	6,4	8,7	6,6	9,2	7,7	6,5	5,0	3,8	2,6	4,0	7,7	6,0
Mínima	3,7	6,4	8,6	6,6	7,6	6,0	6,5	5,0	3,8	2,6	4,0	7,7	2,6
Média	24,3	18,3	20,0	17,3	13,3	11,7	11,0	10,2	9,6	11,6	19,4	24,6	16,0
Máxima	64,6	66,4	48,3	34,4	24,4	22,7	17,2	27,0	15,9	21,4	40,2	56,0	66,4

4.4.3. Vazões Médias Mensais de Usos Consuntivos no Local do Aproveitamento

A abordagem acerca dos Usos Consuntivos, exposta a seguir, incorpora dados e critérios apresentados nos seguintes estudos:

- Elaboração de Projeto Executivo para Enquadramento dos Corpos de Água em Classes e Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu. RELATÓRIO TÉCNICO 2 - Volume II, IEMA/Consórcio NIP & Profill, novembro de 2015.
- Enquadramento de Corpos de Água e Plano de Bacia para os rios Santa Maria da Vitória e Jucu, IEMA/Consórcio NIP & Profill, 2014.
- Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil, ANA e MMA, maio de 2005.
- Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Amazônica – Afluentes da Margem Direita (PERH-MDA), ANA, 2011.
- Resolução Nº096, ANA, 09 de abril de 2007.

BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

No Plano de Bacia para os Rios Santa Maria da Vitória e Jucu (IEMA, 2015) são apresentadas as demandas hídricas e usos consuntivos para os cenários *Atual* e *2034* divididos por Unidade de Planejamento (UP). No caso do rio Jucu, a soma das áreas de drenagem das UP Alto Jucu e Médio Jucu é aproximadamente a mesma do local da Barragem. Assim, pode-se considerar que a soma dos usos consuntivos dessas UP's correspondem aos usos a montante do aproveitamento (AD=1146 km²).

Para estimar as vazões de retorno e de consumo de usos consuntivos da água para cada atividade foram utilizados os mesmos coeficientes de retorno adotados em ANA (2005): abastecimento urbano – 0,8; abastecimento rural – 0,5; abastecimento industrial – 0,8; irrigação – 0,2; criação de animais – 0,2. Para a atividade de aquicultura foram utilizados os dados de captação e lançamento outorgados por UP na bacia do rio Jucu, apresentados em IEMA (2015).

Na Tabela 4.5 são resumidos os valores das demandas hídricas de usos consuntivos na bacia do rio Jucu por UP, correspondente ao cenário atual. A demanda até o local do aproveitamento resultou em 0,092 m³/s com um consumo estimado de 0,060 m³/s.

Tabela 4.5
Demandas Hídricas e Usos Consuntivos (Cenário Atual)

UP Bacia do rio Jucu	Criação Animal	Abastecimento Público	Indústria	Irrigação	Aquicultura	Total
Demanda AJ (m ³ /dia)*	1120	371	0	811	179	2481
Demanda MJ (m ³ /dia)*	1973	224	510	1106	1667	5480
Demanda AJ+MJ (m ³ /dia)	3093	595	510	1917	1846	7961
Demanda AJ+MJ (m³/s)	0,036	0,007	0,006	0,022	0,021	0,092
<i>Consumo (%)**</i>	80	20	20	80	50	-
Consumo (m³/s)	0,029	0,001	0,001	0,018	0,011	0,060

* IEMA (2015).

** ANA (2005).

O estudo do IEMA/Consórcio NIP & Profill (2014) apresenta também um prognóstico de tendência para 2034, analisando cenários futuros. O cenário de tendências com as intervenções previstas foi construído a partir do Cenário Atual (diagnóstico) e das projeções das demandas, baseado no levantamento dos programas, ações, projetos e intervenções previstas na bacia, bem como em possíveis acordos posteriores já estabelecidos pelo Comitê. Foram avaliadas as tendências futuras na bacia e as facilidades, ou não, no cumprimento dos objetivos de qualidade exigidos pelo enquadramento, em um horizonte de 20 anos considerando a efetiva implantação das intervenções atualmente previstas. Foram evidenciadas as relações entre disponibilidades e demandas hídricas, tanto em termos quantitativos, como qualitativos, comentando as situações resultantes: normal, excesso ou escassez hídrica.

Considerando o prognóstico da tendência para 2034, IEMA (2014), o percentual máximo outorgável (Demanda/Q_{90%}) pode chegar até 5% no Alto e Médio Jucu, resultando em uma demanda de 0,38 m³/s.

Com vistas a caracterizar a disponibilidade hídrica na bacia do rio Jucu Braço Norte foi calculado o Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH_{idr}), conforme consta no PERH–MDA

(ANA, 2011). O estudo considera que há disponibilidade de água suficiente para atender todas as necessidades hídricas da bacia se o IDH_{idr} for menor ou igual a 1.

O IDH_{idr} corresponde à razão entre a Demanda Hídrica Total e 30% da Disponibilidade Hídrica, sendo esta igual à Vazão de Referência da bacia, que no rio Jucu é a vazão com 90% de permanência da série de vazões médias observadas ($Q_{90\%} = 7,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

A Tabela 4.6 apresenta o IDH_{idr} na bacia da Barragem do rio Jucu, as razões entre a demanda e vazão de referência e entre o uso consuntivo e a vazão de referência, para os dois cenários *Atual* e 2034.

Tabela 4.6
Índice de Disponibilidade Hídrica (IDH_{idr}), Demanda Hídrica e Vazão de Referência

Vazão de Referência	Cenário	Demandas Hídricas		Uso Consuntivo		IDH_{idr}
		Vazão (m^3/s)	Percentual (%)	Vazão (m^3/s)	Percentual (%)	
$Q_{90} = 7,6 \text{ m}^3/\text{s}$	Atual	0,092	1,21	0,060	0,78	0,04
	2034	0,380	5,00	0,248	3,26	0,17

O IDH_{idr} menor que 1 em ambos os cenários verificados (*Atual* e 2034) mostra que há disponibilidade de água suficiente para atender todas as necessidades hídricas da bacia contribuinte ao aproveitamento.

Essa constatação vai ao encontro do que era esperado, ou seja, que a utilização da água na bacia do rio Jucu Braço Norte é relativamente pequena. Consequentemente, podem ser consideradas nulas as vazões de usos consuntivos para o presente estudo.

A modo de exemplo, foi analisada também a transferência da série de vazões de usos consuntivos da UHE Rosal, localizada no rio Itabapoana que divide os estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, para o sítio da Barragem. A série de vazões de usos consuntivos da UHE Rosal ($AD = 1792 \text{ km}^2$), definida na Resolução nº096 (ANA, 2007), foi transferida pela relação de suas áreas de drenagem no período comum entre elas, de 1969 a 2010. A vazão média de uso consuntivo assim obtida para a bacia contribuinte ao aproveitamento ($0,097 \text{ m}^3/\text{s}$) mostrou-se desprezível em relação a vazão média no local, representando menos de 1% da vazão média de longo termo.

4.5. CURVAS DE PERMANÊNCIA

A Tabela 4.7 apresenta a curva de permanência das vazões médias diárias e das vazões médias mensais no local da Barragem do rio Jucu Braço Norte, assim como as principais características dessas séries.

As Figuras 4.15 e 4.16 mostram, respectivamente, a curva de permanência de vazões médias diárias e a curva de permanência de vazões médias mensais na Barragem, as quais também estão disponíveis no desenho A-062-000-00-0-XX-0009.

Tabela 4.7
Permanência das Vazões Médias na Barragem do Rio Jucu Braço Norte
Período: 1969 a 2015

VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS		VAZÕES MÉDIAS MENSAIS	
Permanência (%)	Vazão (m³/s)	Permanência (%)	Vazão (m³/s)
0,01	179	0	66,4
5	37,0	5	34,2
10	27,6	10	28,8
15	23,1	15	23,1
20	20,2	20	21,1
25	18,3	25	19,5
30	16,6	30	17,7
35	15,3	35	16,3
40	14,2	40	15,2
45	13,3	45	14,3
50	12,5	50	13,3
55	11,7	55	12,5
60	11,1	60	11,7
65	10,4	65	11,0
70	10,0	70	10,4
75	9,4	75	9,8
80	8,9	80	9,3
85	8,3	85	8,9
90	7,6	90	8,0
95	6,6	95	7,3
100	1,4	100	2,6
Máxima Diária (m³/s)	179,3	Máxima Mensal (m³/s)	66,4
Média Diária (m³/s)	16,0	Média Mensal (m³/s)	16,0
Mínima Diária (m³/s)	1,4 (*)	Mínima Mensal (m³/s)	2,6
q (l/s,km²)	13,9	q (l/s,km²)	13,9

* Segundo dados, ainda não consistidos, registrados na estação telemétrica Córrego do Galo, da ANA, a vazão mínima média diária em 2016, teria ocorrido em 16 de setembro. Essa vazão, transposta para o local do aproveitamento, seria de 1,33 m³/s.

* Segundo dados, ainda não consistidos, registrados na estação telemétrica Córrego do Galo, da ANA, a vazão mínima média diária em 2016, teria ocorrido em 16 de setembro. Essa vazão, transposta para o local do aproveitamento, seria de 1,33 m³/s.

Figura 4.15
Curva de Permanência das Vazões Médias Diárias
Barragem do Rio Jucu Braço Norte – Período: 1969 a 2015

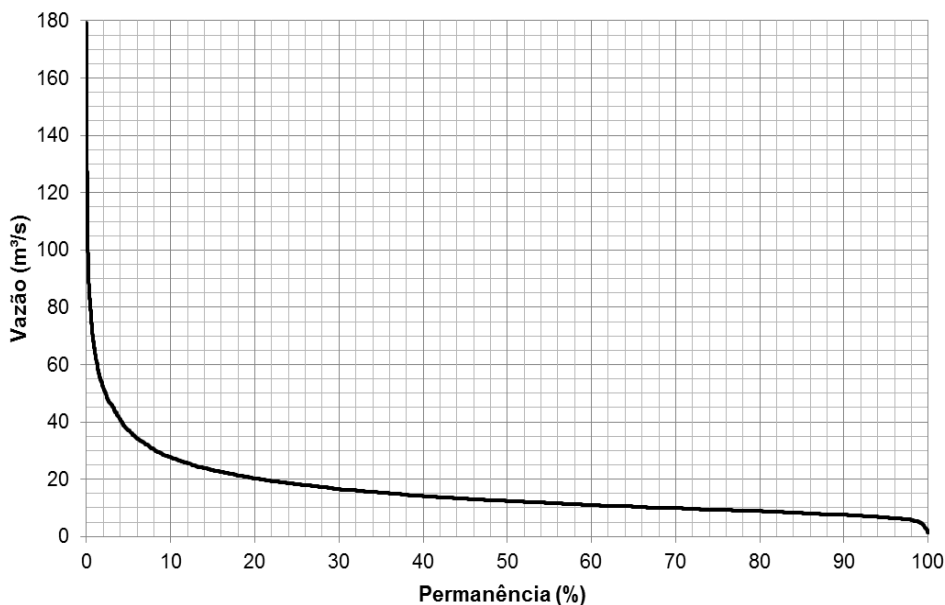
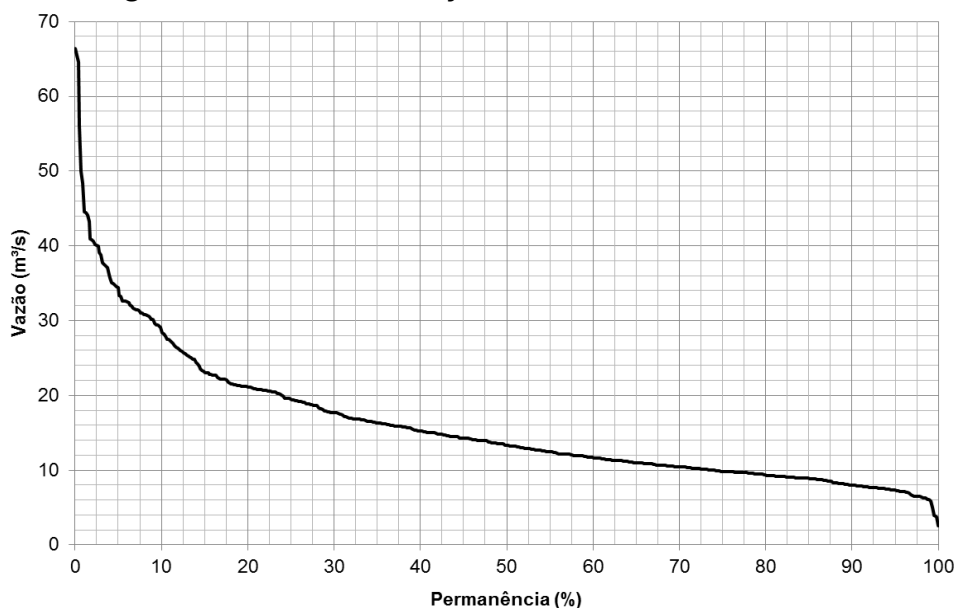


Figura 4.16
Curva de Permanência das Vazões Médias Mensais
Barragem do Rio Jucu Braço Norte – Período: 1969 a 2015



4.6. ESTUDO DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES

4.6.1. Curva de Regularização das Vazões Afluentes ao Aproveitamento

O estudo de regularização de vazões permite a identificar o volume necessário no reservatório para garantir uma determinada vazão regularizada. Tal volume pode ser determinado pelo Método do Máximo Déficit Acumulado ou pelo Diagrama de Massa ou Rippl.

O método do máximo déficit acumulado, utilizado no presente estudo, transforma a diferença entre a vazão afluente (Q_{af}) e a vazão regularizada (Q_{reg}) em volume, acumulando as diferenças sempre que a Q_{af} for menor que a Q_{reg} e até que o valor acumulado volte ao volume inicial. Esse procedimento se repete em todo o período da série analisada. O maior déficit hídrico do período avaliado é considerado o volume útil no reservatório, ou seja, o volume necessário para garantir a vazão regularizada em questão. Neste cálculo é possível considerar a evaporação na superfície do reservatório, que deve ser subtraída da vazão regularizada.

A curva de regularização pode ser gerada reproduzindo-se esse cálculo para diferentes valores de vazão regularizada, até o valor máximo da vazão média de longo termo.

O estudo de regularização de vazões no local da Barragem Rio Jucu Braço Norte considerou os seguintes critérios:

- ✓ Série de vazões médias diárias no local do aproveitamento;
- ✓ Período: 1969 – 2015;
- ✓ QMLT = 16,0 m³/s;
- ✓ Perdas por evaporação nula.

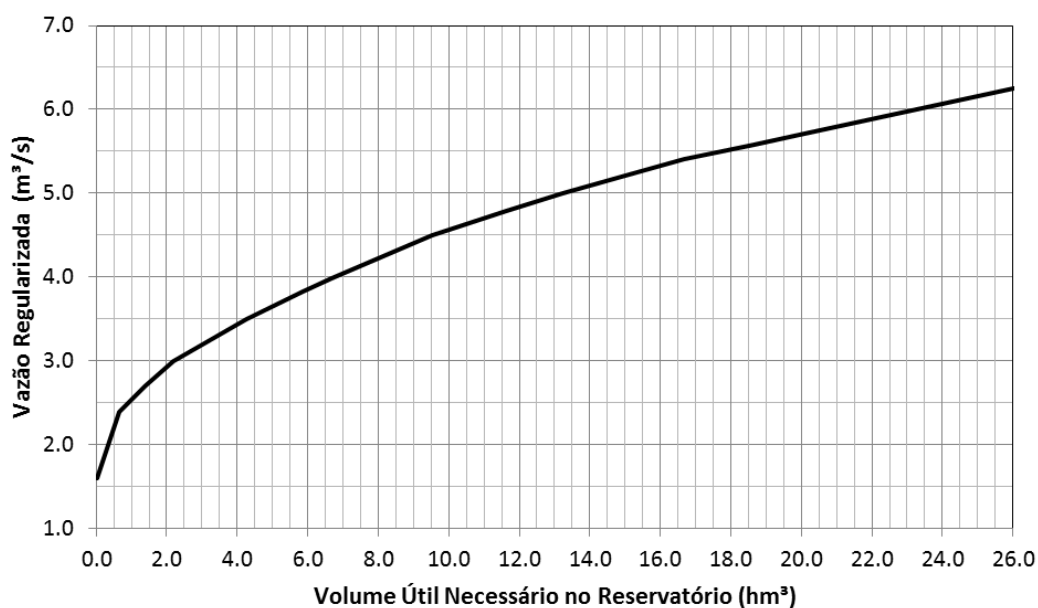
A Tabela 4.8 apresenta os resultados obtidos a partir da série de vazões médias diárias afluentes ao aproveitamento, para diferentes vazões regularizadas. Sendo o tempo crítico, o período da série histórica associado ao volume útil, ou seja, o maior déficit hídrico encontrado na série de vazões afluentes.

Considerando as informações das curvas cota x área x volume, as vazões regularizadas com volume útil maior que o volume correspondente ao N.A. Máximo Normal (em nosso caso, El. 120,0 m) são apenas representativas do estudo de regularização. A curva de possibilidades de regularização das vazões médias no local da barragem em função do volume útil necessário no reservatório é apresentada na Figura 4.17.

Tabela 4.8
Regularização das Vazões Médias Diárias Afluentes ao Aproveitamento
AD = 1.146 km² / Período: 1969 a 2015

Vazão Regularizada (m ³ /s)	Grau de Regularização (Q _{reg} / QMLT)	Tempo Crítico		Volume Útil Necessário (hm ³)	Observação
		Dias	Mês		
3,2	20%	73	2,4	2,8	
3,8	24%	77	2,6	5,7	50%Q ₉₀ diária
4,5	28%	109	3,6	9,5	
5,0	31%	131	4,4	13,2	
5,2	33%	132	4,4	14,9	
5,4	34%	135	4,5	16,7	
5,6	35%	155	5,2	18,8	
5,7	36%	155	5,2	20,2	Volume útil máximo do reservatório (NA Mín.=90,0m)
5,9	37%	157	5,2	22,1	
6,0	38%	157	5,2	23,2	
6,1	38%	157	5,2	24,3	
6,5	41%	175	5,8	28,9	
7,6	48%	373	12,4	52,3	Q ₉₀ diária
10,0	63%	590	19,7	145,6	
14,0	88%	6194	206,5	356,0	
16,0	100%	10908	363,6	1324,4	QMLT

Figura 4.17
Curva de Regularização na Barragem no Rio Jucu Braço Norte
Período: 1969 a 2015



BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

Foi avaliada, para cada vazão regularizada, a quantidade de períodos com déficit hídrico e a sua duração, considerando a série histórica de vazões médias diárias no local da barragem (Tabela 4.9). Nesta tabela é possível observar, por exemplo, que para a vazão regularizada de 4,5 m³/s aconteceram 6 (seis) períodos com déficit hídrico, sendo 2 com mais de 30 dias. Subtraindo-se o período crítico, com 109 dias de duração, concluímos que houve um período com duração entre 31 e 40 dias, e que os outros 4 períodos com déficit tiveram menos de 15 dias de duração, para esta vazão regularizada.

Tabela 4.9
Períodos com Déficit Hídrico na Série Histórica da Barragem
Período: 1969 a 2015

Qreg. (m³/s)	Vol. Útil Necessário (hm³)	Tempo Crítico (dias)	Nº de Períodos com Déficit	Nº de Períodos com mais de N dias												
				5	15	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
3,2	2,8	73	4	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3,8	5,7	77	5	4	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4,5	9,5	109	6	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
5,0	13,2	131	6	5	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5,2	14,9	132	10	5	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5,4	16,7	135	13	7	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
5,6	18,8	155	22	13	4	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
5,75	20,5	155	29	14	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
5,9	22,1	157	28	17	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1
6,0	23,2	157	28	17	6	4	4	2	2	2	2	1	1	1	1	1
6,1	24,3	157	48	21	8	4	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1

4.6.2. Efeitos da Regularização a Jusante da Barragem

A Barragem Rio Jucu Braço Norte possibilita a regularização das vazões afluentes, permitindo um acréscimo de vazão à jusante desta. De forma a representar este efeito são apresentadas, a seguir, algumas simulações de regularização de vazões na barragem. Para tanto foram utilizados os seguintes dados:

- ✓ Série de vazões médias na barragem (AD=1146 km²);
- ✓ Série de vazões médias na estação Fazenda Jucuruaba (AD=1625 km²);
- ✓ Série de vazões médias a jusante da barragem, aproximadamente no local de captação de água da CESAN (AD=1750 km²);
- ✓ Volume útil do reservatório igual a 20,5 hm³ (para NA Mín. Normal = 90,0m).

Na série de vazões médias mensais da barragem são identificados oito (8) anos em que a vazão média dos quatro meses mais secos, de julho a outubro, ficou abaixo da Q90% (8,0m³/s), utilizada aqui como referência. Para estes 8 anos mais secos, foi simulado o que mudaria com a regularização de vazões na barragem, considerando a utilização de todo o volume útil do reservatório durante alguns meses de estiagem.

BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

Com volume de 20,5 hm³ é possível aumentar a vazão média mensal em 2,0 m³/s, regularizando a vazão por 4 meses, ou em 2,6 m³/s, regularizando a vazão por 3 meses.

A Tabela 4.10 mostra a vazão média ocorrida nos meses de estiagem, a vazão mínima desse período e a respectiva vazão média se houvesse o reservatório para regularização da vazão por 4 meses, de julho a outubro, ou por três meses, de agosto a outubro.

Tabela 4.10

Incremento de Vazão com a Regularização Completa do Volume Útil nos Anos Mais Secos do Período Histórico (1969 - 2015)

Vazão Média Mensal (m ³ /s)					Q _{méd.} jul - out (m ³ /s)	Q _{mín.} diária (m ³ /s)	Regularização por 4 meses (m ³ /s)		Q _{méd.} 3 meses (m ³ /s)	Regularização por 3 meses (m ³ /s)	
Ano	Jul	Ago	Set	Out			ΔQ	Q _{méd.} = Q _{mín.}		ΔQ	Q _{méd.} = Q _{mín.}
2015	6,5	5,0	3,8	2,6	4,5	1,5	2,0	6,5	3,8	2,6	6,4
2008	7,9	6,3	5,9	7,5	6,9	4,6	2,0	8,9	6,6	2,6	9,2
2003	7,8	7,4	6,7	7,0	7,2	5,3	2,0	9,2	7,0	2,6	9,6
2000	8,0	7,1	7,9	6,2	7,3	5,2	2,0	9,3	7,1	2,6	9,7
1989	7,4	8,0	7,3	7,1	7,5	6,4	2,0	9,5	7,5	2,6	10,1
1995	8,1	7,6	6,4	8,5	7,6	5,7	2,0	9,6	7,4	2,6	10,0
1977	7,2	6,1	7,5	9,8	7,6	6,0	2,0	9,6	6,9	2,6	9,5
2001	6,5	6,3	7,7	10,1	7,7	5,4	2,0	9,6	6,8	2,6	9,4

Nota-se que com o volume útil utilizado por 4 meses, ou ainda por 3 meses, seria possível garantir uma vazão de pelo menos 9,0 m³/s no período, com exceção do ano 2015, o qual apresentou uma estiagem histórica, inclusive no período de cheias.

O ano de 2015, responsável pelos 8 meses mais secos da série histórica de vazões no rio Jucu, foi utilizado para exemplificar os efeitos da regularização da barragem no local da captação da CESAN no rio Jucu.

Inicialmente foi analisado o regime fluvial do rio Jucu nos locais de interesse. A série de vazões médias diárias no local da captação foi estimada a partir da série de vazões da estação fluviométrica Fazenda Jucuruaba, pela relação de área de drenagem ($C=1,0769$). As falhas na série de vazões desta estação foram preenchidas por correlação das vazões médias diárias com a estação Córrego do Galo ($FJ=1,8289CG+1,7131$; $R^2=0,8105$).

A Figura 4.18 apresenta as vazões médias mensais, no período de 1969–2015, na Barragem Rio Jucu Braço Norte, onde ocorrerá a regularização de vazão, e na Captação, onde serão mostrados os efeitos da regularização. Observa-se que, embora exista um acréscimo na vazão específica de 2,4 l/s.km² entre os locais, seus regimes fluviais são complementares, o que já era apontado pelos fluviogramas das estações Córrego do Galo e Fazenda Jucuruaba.

A curva de permanência das vazões médias diárias do rio Jucu, no local da captação, para o período de 1969-2015 é apresentada na Tabela 4.11.

Figura 4.18
Regime Fluvial nos Locais de Interesse - Período: 1969 a 2015
Barragem no Rio Jucu Braço Norte e Captação no Rio Jucu

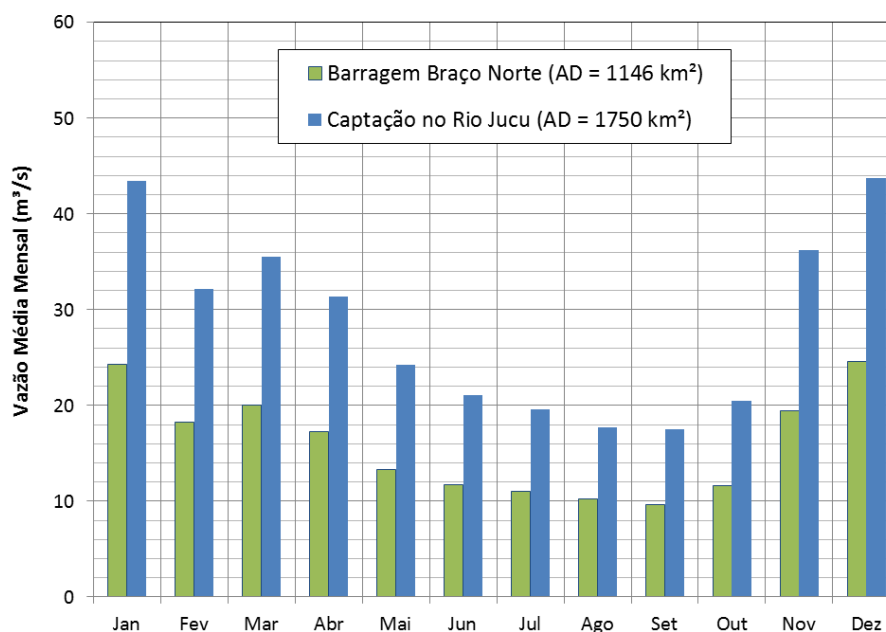
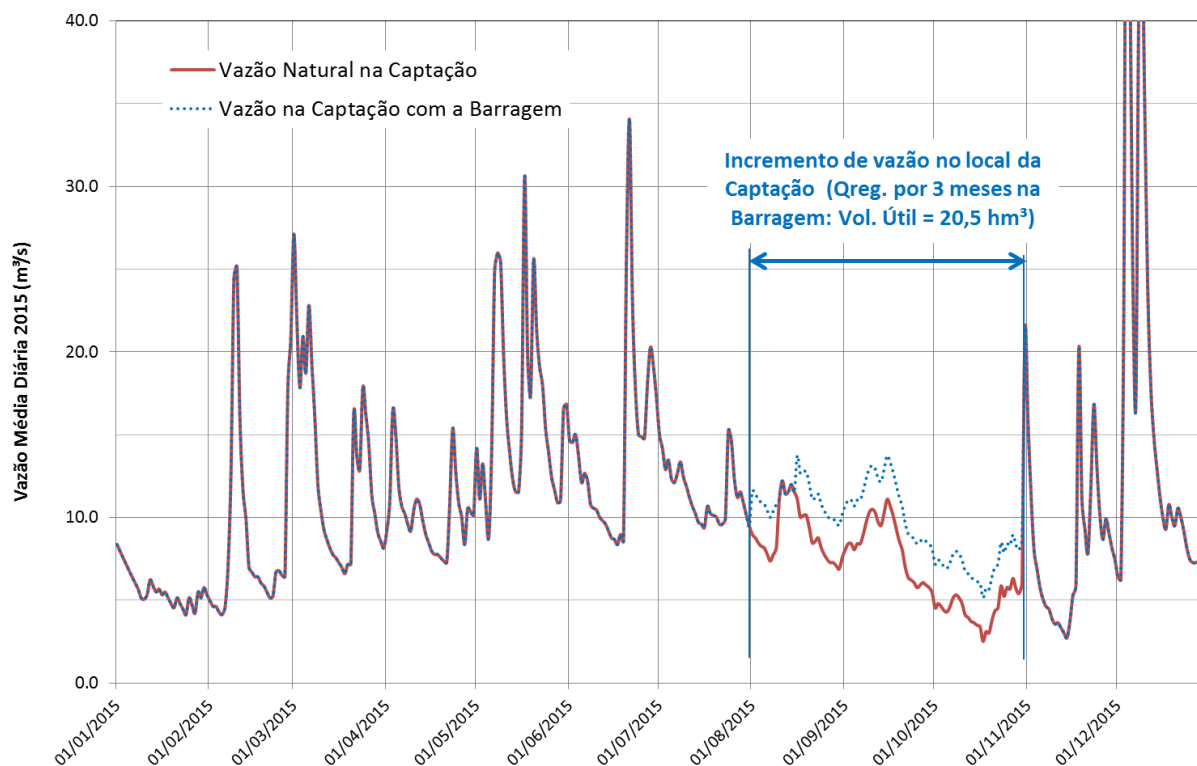


Tabela 4.11
Curva de Permanência das Vazões Médias Diárias do Rio Jucu
Próximo a Foz/Captação - Período: 1969 a 2015

Permanência (%)	Vazão (m³/s)
10	50,6
20	37,2
30	30,2
40	25,8
50	22,3
60	19,5
70	16,9
80	14,7
90	12,3
95	10,7
100	2,5
Máxima (m³/s)	302,6
Média (m³/s)	28,6
Mínima (m³/s)	2,5
q (l/s.km²)	16,3

Na Figura 4.19 são apresentados os fluviogramas das vazões médias diárias do ano de 2015 no local da captação da CESAN para duas situações, (i) vazões naturais (linha cheia), e (ii) vazões com o efeito da regularização na Barragem do Braço Norte, nos três meses mais secos do período de estiagem (linha pontilhada).

Figura 4.19
Fluviogramas de 2015 no Rio Jucu no Local da Captação
Vazões Naturais x Vazões com a Regularização na Barragem



A vazão média natural do período de agosto a outubro de 2015 no local da captação foi de 7,5 m³/s. Com a regularização na Barragem Rio Jucu Braço Norte esta média passaria para 9,9 m³/s, com um acréscimo de 32%.

4.7. ESTUDO DE VAZÕES EXTREMAS

4.7.1. Vazões Máximas Anuais

Para cada ano hidrológico (compreendido de agosto a julho) do período de operação da estação Córrego do Galo foi identificada a vazão média diária máxima e, posteriormente, essas vazões foram relacionadas em ordem decrescente, visando o cálculo dos respectivos tempos de recorrência, o qual foi realizado utilizando-se a fórmula de Gringorten adaptada:

$$T = \frac{n + 0,12}{m - 0,44}$$

Onde:

n = número total de valores da amostra;

m = posição de um valor numa lista ordenada de forma decrescente;

T = tempo de recorrência em anos.

As vazões de cheia, os tempos de recorrência e os respectivos parâmetros estatísticos encontram-se relacionados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12
Vazões Médias Diárias de Cheia e Parâmetros Estatísticos
Estação Córrego do Galo (AD = 976 km²)

Vazão (m³/s)	TR (anos)	Ano Hidrológico	Vazão (m³/s)	TR (anos)	Ano Hidrológico
152,7	82,36	2010 / 2011	59,1	1,67	1980 / 1981
144,0	29,56	1978 / 1979	56,5	1,61	1997 / 1998
126,0	18,02	1972 / 1973	54,9	1,56	1992 / 1993
123,9	12,96	2009 / 2010	54,1	1,51	2005 / 2006
116,3	10,11	2013 / 2014	53,9	1,46	1982 / 1983
109,0	8,29	1979 / 1980	53,7	1,42	2007 / 2008
98,5	7,03	2008 / 2009	53,0	1,37	1987 / 1988
92,9	6,10	1984 / 1985	53,0	1,37	1987 / 1988
88,4	5,39	1971 / 1972	52,0	1,30	1986 / 1987
88,2	4,82	2001 / 2002	51,0	1,26	1976 / 1977
86,1	4,37	1969 / 1970	50,7	1,23	1989 / 1990
84,1	3,99	1998 / 1999	45,4	1,20	1999 / 2000
78,2	3,67	2011 / 2012	43,9	1,17	1985 / 1986
77,7	3,40	1993 / 1994	42,8	1,14	1977 / 1978
77,7	3,40	1993 / 1994	42,4	1,11	2014 / 2015
77,1	2,96	1973 / 1974	37,1	1,08	1994 / 1995
76,0	2,79	1996 / 1997	36,9	1,06	1988 / 1989
76,0	2,63	1970 / 1971	32,0	1,04	1991 / 1992
74,9	2,48	1974 / 1975	31,2	1,01	1975 / 1976
74,4	2,36	2004 / 2005	Estatísticas		
70,5	2,24	2002 / 2003	Nº Eventos		46
66,7	2,14	2012 / 2013	Máxima (m³/s)		153
65,3	2,04	1981 / 1982	Média (m³/s)		71
61,7	1,96	1983 / 1984	Mínima (m³/s)		31
61,5	1,88	2000 / 2001	Desvio Padrão		28
60,5	1,80	2006 / 2007	Coefficiente de Variação		0,398
60,4	1,74	2003 / 2004	Assimetria		1,114

Para a seleção da distribuição de probabilidades a ser empregada seguiu-se a recomendação do “Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedouro - MME - ELETROBRÁS - 1987”, que preconiza a utilização da distribuição de Gumbel para séries com assimetria inferior a 1,5, caso dos dados em análise, conforme consta na Tabela 4.12.

Nos ajustes da distribuição estatística foram consideradas as seguintes equações:

$$Q_T^{md} = \mu - \alpha [\ln[-\ln\{(T-1)/T\}]]$$

$$\alpha = 0,78S$$

$$\mu = \bar{Q} - 0,577\alpha$$

Onde:

Q_T^{md} = vazão média diária com tempo de recorrência T;

$\bar{Q}$ = média das vazões médias diárias máximas;

S = desvio padrão das vazões médias diárias máximas;

T = tempo de recorrência em anos.

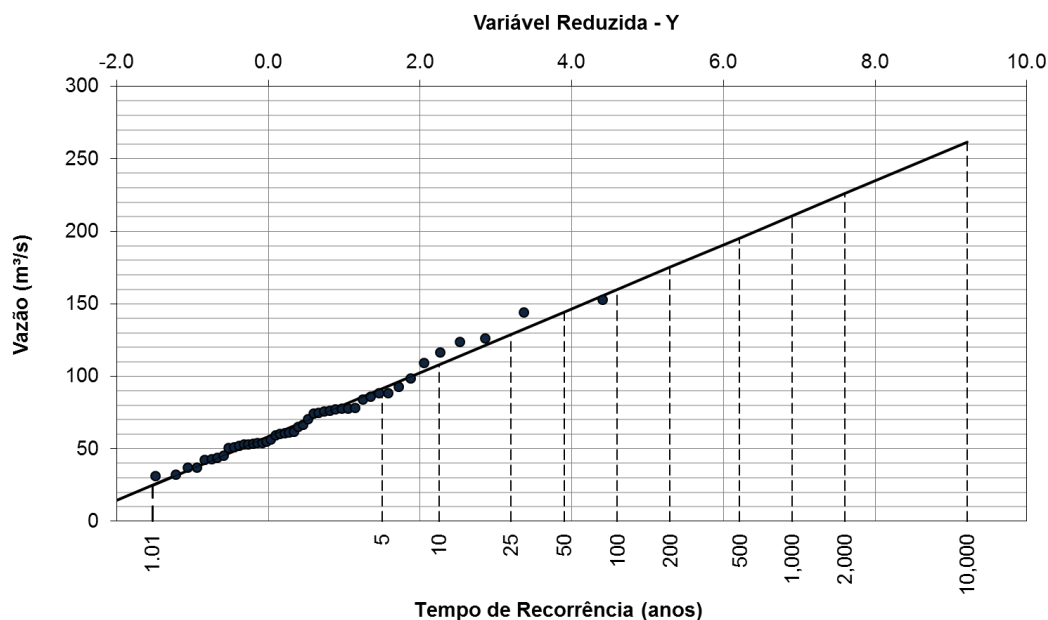
Para uma avaliação do grau de aderência entre as distribuições ajustadas e as amostras, foi utilizado o teste de Kolmogorov – Smirnov, com base na expressão $D2 = \max |F_x(x) - \hat{F}_x(x)|$.

Essa expressão reflete a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumulada empírica e teórica. A hipótese do teste à aderência é considerada boa quando o resultado da expressão é menor que um determinado valor crítico ($D2_{crítico}$), tabelado em função do tamanho da amostra e do nível de significância adotado.

A aplicação do teste para a série de vazões analisada resultou em D2 e $D2_{crítico}$ iguais a 0,07 e 0,24, respectivamente, indicando como aceita a hipótese de adequação do ajuste para um nível de significância de 2,5%.

A aderência da distribuição de probabilidade ajustada aos dados observados se apresenta na Figura 4.20, também disponível no desenho A-062-000-00-0-XX-0009.

Figura 4.20
Ajuste da Distribuição de Gumbel às Vazões de Cheia na Estação Córrego do Galo



Dessa forma, foram calculadas para diferentes tempos de recorrência as vazões médias diárias máximas (Q_t^{md}) e as vazões máximas instantâneas (Q_t^{mx}) correspondentes, obtidas pela fórmula de Füller, ou seja, $Q_t^{mx} = Q_t^{md}(1 + 2,66 A^{-0,3})$, onde "A" é a área de drenagem em km².

Utilizando-se, finalmente, a relação entre as áreas de drenagem da estação Córrego do Galo e do aproveitamento, foram estimadas as vazões de cheias máximas anuais associadas a vários tempos de recorrência para a barragem (Tabela 4.13).

Tabela 4.13
Vazões Máximas Anuais Calculadas pelo Método de Gumbel

TR (anos)	Estação Córrego do Galo (AD = 976 km ²)		Eixo da Barragem (AD = 1.146 km ²)	
	Média Diária (m ³ /s)	Instantânea (m ³ /s)	Média Diária (m ³ /s)	Instantânea (m ³ /s)
2	70	90	80	100
5	90	120	110	140
10	110	140	130	170
25	130	170	150	200
50	140	190	170	220
100	160	210	190	250
200	180	230	210	270
500	200	260	230	300
1.000	210	280	250	330
10.000	260	350	310	410

4.7.2. Vazões Máximas Sazonais

Visando subsidiar os dimensionamentos referentes ao desvio do rio, foram realizados estudos estatísticos que seguiram basicamente o método descrito para o item “Vazões Máximas Anuais”, exceto no que se refere:

- à definição de períodos para seleção das vazões máximas: para o que foram estudadas sete períodos diferentes: (i) abr - set; (ii) mai - out; (iii) mai - ago; (iv) jun - nov; (v) jun – out; (vi) jun– set e (vii) abr – nov;
- ao cálculo das vazões máximas instantâneas, que neste caso não é realizado, já que em períodos de recessão esses dados não estão, necessariamente, associados a picos de cheias.

As vazões médias diárias máximas de cada período e os respectivos parâmetros estatísticos encontram-se relacionados na Tabela 4.14. Como pode ser observado nesta tabela, o valor da assimetria resultou inferior a 1,5 em três séries e superior a 1,5 em quatro séries. Portanto, seguindo a recomendação da Eletrobras (1987), foi ajustada a distribuição de Gumbel para as séries dos períodos (i) abr – set; (iv) jun – nov e (vii) abr – nov; e a distribuição Exponencial de 2 parâmetros para as séries dos períodos (ii) mai - out; (iii) mai - ago; (v) jun – out e (vi) jun – set.

A distribuição estatística Exponencial é definida pela seguinte expressão:

$$Q_{TR} = Q_M + K_{TR} \cdot \sigma_Q \quad \text{com} \quad K_{TR} = -\left(1 + \ln\left(\frac{1}{TR}\right)\right)$$

Onde:

TR = Tempo de Recorrência ou Período de Retorno, em anos;

Q_{TR} = Vazão máxima esperada para o TR escolhido, em m³/s;

Q_M = Média da série de vazões máximas anuais, em m³/s;

σ_Q = Desvio-padrão da série de vazões máximas, em m³/s;

K_{TR} = Coeficiente associado ao período de retorno.

Tabela 4.14
Vazões Máximas Médias Diárias Máximas (m³/s) e Parâmetros Estatísticos
Estação Córrego do Galo (AD = 976 km²)

Ano	abr – set (i)	mai – out (ii)	mai – ago (iii)	jun – nov (iv)	jun – out (v)	jun – set (vi)	abr – nov (vii)
1969	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0	48,0
1970	19,2	30,7	19,2	76,0	30,7	19,2	76,0
1971	21,3	21,3	19,9	88,4	21,3	21,3	88,4
1972	32,7	32,7	25,5	48,0	32,7	32,7	48,0
1973	36,9	31,5	23,9	31,5	31,5	17,2	36,9
1974	51,7	29,4	17,2	29,4	29,4	14,6	51,7
1975	22,8	36,9	21,3	36,9	36,9	21,7	36,9
1976	12,0	12,7	11,7	50,7	12,7	12,0	50,7
1977	17,2	15,2	13,0	37,1	15,2	8,1	37,1
1978	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4
1979	37,4	23,9	23,9	54,6	23,2	23,2	54,6
1980	70,6	24,3	24,3	17,5	15,2	15,2	70,6
1981	31,1	24,3	22,4	65,3	24,3	20,6	65,3
1982	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9	41,9
1983	36,1	36,1	20,3	40,0	36,1	36,1	40,0
1984	20,6	31,5	15,2	44,4	31,5	12,3	44,4
1985	27,8	27,8	19,4	39,8	27,8	27,8	39,8
1986	14,5	14,5	14,5	15,1	14,5	14,5	15,1
1987	51,0	15,1	15,1	53,0	13,6	13,6	53,0
1988	22,0	18,0	10,2	22,3	18,0	9,5	22,3
1989	11,5	11,2	11,2	45,4	11,2	11,2	45,4
1990	14,0	29,3	11,0	29,3	29,3	11,0	29,3
1991	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0
1992	30,8	30,8	30,8	49,6	30,8	30,8	49,6
1993	27,8	13,4	13,4	13,2	13,2	13,2	27,8
1994	25,2	25,2	25,2	22,3	22,3	13,7	25,2
1995	20,3	11,6	11,6	33,8	11,4	11,4	33,8
1996	18,6	17,7	11,1	60,0	17,7	11,9	60,0
1997	24,7	26,9	18,0	29,9	26,9	12,4	29,9
1998	17,4	16,8	16,8	28,0	16,8	16,8	28,0
1999	19,9	17,4	14,1	43,9	17,4	14,1	43,9
2000	13,6	12,5	12,5	28,8	10,0	10,0	28,8

Tabela 4.14 (Continuação)
Vazões Máximas Médias Diárias Máximas (m³/s) e Parâmetros Estatísticos
Estação Córrego do Galo (AD = 976 km²)

Ano	abr – set (i)	mai – out (ii)	mai – ago (iii)	jun – nov (iv)	jun – out (v)	jun – set (vi)	abr – nov (vii)
2001	10,5	17,8	8,6	88,2	17,8	10,5	88,2
2002	19,8	19,8	11,4	24,2	19,8	19,8	24,2
2003	13,0	13,6	9,8	13,6	13,6	9,0	13,6
2004	34,9	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	34,9
2005	37,8	37,8	37,8	51,5	31,6	31,6	51,5
2006	30,2	17,0	14,8	42,5	17,0	14,5	42,5
2007	21,4	13,5	12,9	17,4	13,5	13,0	21,4
2008	28,0	17,7	14,2	49,8	17,7	8,9	49,8
2009	42,1	86,8	23,5	86,8	86,8	23,5	86,8
2010	43,0	18,0	18,0	43,4	11,4	11,4	43,4
2011	27,3	16,1	16,1	45,5	14,1	13,9	45,5
2012	28,4	28,4	28,4	44,3	28,4	28,4	44,3
2013	40,6	15,9	15,9	39,0	12,4	12,4	40,6
2014	25,4	14,2	14,2	37,1	14,2	14,2	37,1
2015	13,0	13,0	13,0	9,9	9,9	9,9	13,0
Nº eventos	47	47	47	47	47	47	47
Máxima (m³/s)	70,6	86,8	53,0	88,4	86,8	53,0	88,4
Média (m³/s)	28,7	25,0	19,9	41,1	24,1	19,2	43,7
Mínima (m³/s)	10,5	11,2	8,6	9,9	9,9	8,1	13,0
Desvio Padrão	13,2	13,8	10,2	18,9	14,1	10,9	17,9
Coef. Variação	0,459	0,552	0,511	0,459	0,584	0,568	0,410
Assimetria	0,901	2,287	1,681	0,754	2,236	1,527	0,770
Distribuição	Gumbel	Exp. 2 par.	Exp. 2 par.	Gumbel	Exp. 2 par.	Exp. 2 par.	Gumbel
α	10,3	10,8	7,9	14,7	11,0	8,5	14,0
μ	22,8	18,8	15,3	32,6	17,8	14,3	35,6
β_0	15,5	11,2	9,7	22,2	10,0	8,3	25,8
β_1	13,2	13,8	10,2	18,9	14,1	10,9	17,9

α, μ : Parâmetros da distribuição de Gumbel.

β_0, β_1 : Parâmetros da distribuição Exponencial de 2 Parâmetros.

As Tabelas 4.15 e 4.16 relacionam as vazões médias diárias máximas associadas a diversos tempos de retorno, respectivamente, na estação Córrego do Galo e na Barragem, para cada um dos períodos estudados.

Tabela 4.15
Vazões Máximas Sazonais na Estação Córrego do Galo (AD = 976 km²)

TR (anos)	Vazão Máxima Sazonal (m ³ /s)						
	abr - set	mai - out	mai - ago	jun - nov	jun - out	jun - set	abr - nov
2	27	21	17	38	20	16	41
5	38	33	26	55	33	26	57
10	46	43	33	66	42	33	67
20	53	52	40	76	52	41	77
25	56	56	43	80	55	43	80
50	63	65	50	90	65	51	90
100	70	75	57	100	75	58	100

Tabela 4.16
Vazões Máximas Sazonais na Barragem (AD = 1.146 km²)

TR (anos)	Vazão Máxima Sazonal (m ³ /s)						
	abr - set	mai - out	mai - ago	jun - nov	jun - out	jun - set	abr - nov
2	31	24	20	45	23	19	48
5	45	39	31	64	38	30	66
10	54	50	39	77	50	39	79
20	63	62	47	90	61	48	91
25	65	65	50	94	65	51	94
50	74	76	58	106	77	60	106
100	82	88	67	118	88	69	117

4.7.3. Vazão Média Mínima $Q_{7,10}$

O estudo de vazões mínimas consistiu na determinação da vazão média diária mínima com 7 dias de duração e 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$) no local do aproveitamento, com base na série de vazões médias diárias da estação Córrego do Galo, situada no rio Jucu Braço Norte.

A partir dessa série de vazões médias diárias foi calculada a vazão média a cada 7 dias consecutivos e selecionadas as respectivas mínimas anuais sendo a estatística desta série de vazões apresentada na Tabela 4.17.

Tabela 4.17
Vazões Mínimas Anuais das Médias de 7 Dias e Estatísticas
Estação Córrego do Galo no Rio Jucu (Ad = 976 km²)

Vazão Mín. Anual (m³/s)	TR (anos)	Vazão Mín. Anual (m³/s)	TR (anos)
1,45	78,67	6,49	1,71
4,08	29,50	6,70	1,65
4,10	18,15	6,88	1,59
4,50	13,11	7,24	1,54
4,62	10,26	7,27	1,49
4,84	8,43	7,31	1,45
4,94	7,15	7,39	1,40
5,01	6,21	7,43	1,36
5,13	5,49	7,45	1,33
5,13	4,92	7,56	1,29
5,27	4,45	7,60	1,26
5,36	4,07	8,02	1,22
5,47	3,75	8,06	1,19
5,52	3,47	8,14	1,16
5,59	3,23	8,33	1,13
5,63	3,03	8,73	1,11
5,65	2,84	9,04	1,08
5,71	2,68	9,62	1,06
5,77	2,54	10,30	1,04
5,85	2,41	11,08	1,01
5,87	2,29	Nº de eventos	47
5,92	2,19	Máximo (m³/s)	11,08
6,07	2,09	Média (m³/s)	6,45
6,16	2,00	Mínimo (m³/s)	1,45
6,20	1,92	Desvio Padrão	1,74
6,31	1,84	Assimetria	0,24
6,37	1,77		

Com base nesses dados, foram ajustadas duas distribuições de frequência: uma empírica e a de Weibull. A distribuição empírica foi ajustada com base na posição de plotagem definida pela equação de “Cunnane”, apresentada a seguir.

$$T = \frac{n - 2 \cdot \alpha + 1}{m - \alpha}$$

Onde:

T = tempo de recorrência, em anos;

n = número de eventos;

m = posição em ordem crescente;

α = parâmetro = 0,4.

A distribuição de Weibull é definida a partir das seguintes expressões:

$$X(T) = k \cdot \bar{x} \cdot s$$

$$k = \alpha + \left(\beta \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right); \quad \alpha = \left(1 - \Gamma \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right) \beta;$$

$$\beta = \left(\Gamma \left(1 + \frac{2}{\lambda} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right)^2 \right)^{-0,5}; \quad \lambda = \frac{1}{C0 + C1 \cdot g + C2 \cdot g^2 + C3 \cdot g^3 + C4 \cdot g^4}$$

Onde:

X (T) = vazão mínima associada ao tempo de recorrência T, em m³/s;

$\bar{X}$ = média amostral;

s = desvio padrão amostral;

g = assimetria amostral;

α, β, λ = parâmetros da distribuição de Weibull;

Γ = função gama;

C0, C1, C2, C3 e C4 = constantes cujos valores são indicados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18
Constantes da Distribuição de Weibull

C0	C1	C2	C3	C4
0,2777757913	0,3132617714	0,0575670910	-0,0013038566	-0,0081523408

A análise gráfica do ajuste se observa na Figura 4.21 (também disponível no desenho A-062-000-00-0-XX-0009) e a Tabela 4.19 apresenta os principais resultados obtidos para a estação Córrego do Galo e para o aproveitamento, que apresentam, respectivamente, área de drenagem de 976 km² e 1.146 km². Como observado a $Q_{7,10}$ na estação é equivalente a 4,2 m³/s, enquanto que a vazão $Q_{7,10}$ calculada no aproveitamento é 4,9 m³/s.

Figura 4.21
Curva de Frequência de Vazões Q_7 dias na Estação Córrego do Galo

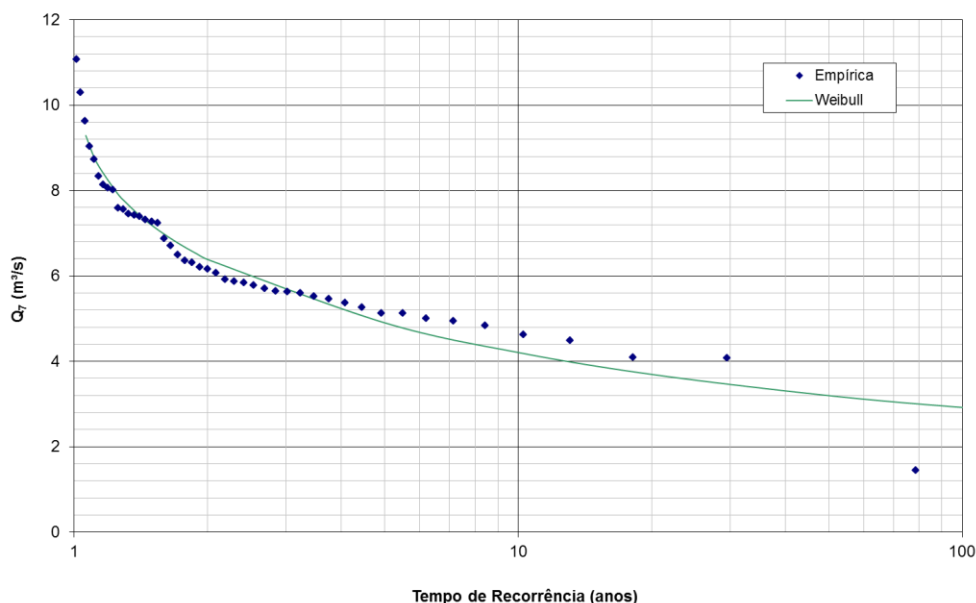


Tabela 4.19
Tempos de Recorrência e Vazões $Q_{7 \text{ dias}}$ no Rio Jucu

TR (anos)	Vazão na Estação Córrego do Galo (m³/s)	Vazão no Eixo da Barragem (m³/s)
1,0625	9,3	10,9
2	6,4	7,5
5	4,9	5,8
10	4,2	4,9
20	3,7	4,3
50	3,2	3,8
100	2,9	3,4

4.8. CURVA CHAVE NO LOCAL DO APROVEITAMENTO

Com a finalidade de subsidiar os estudos de engenharia foram determinadas as curvas chave a jusante do eixo da barragem e a jusante do canal de fuga. Buscou-se reproduzir as condições de escoamento natural do rio Jucu Braço Norte com auxílio de modelagem hidráulica, para tal, foi utilizado o modelo de cálculo HEC-RAS, do Army Corps of Engineers.

A seguir são apresentados os critérios e dados utilizados, assim como as curvas chave ajustadas nos locais de interesse.

4.8.1. Métodos e Critérios

Nesse trecho do rio Jucu, entre o eixo da barragem e a casa de força, foram identificados alguns controles hidráulicos, isso justificou a execução de dois modelos, um na área a jusante do eixo da barragem, com cerca de 1 km de extensão, e outro na área do canal de fuga, com aproximadamente 150 m de comprimento.

Cada trecho foi retratado por uma seção topobatimétrica do levantamento planialtimétrico e seções levantadas pela restituição disponível, estas tiveram sua batimetria estimada, tendo como referência a seção do levantamento e imagens de satélite.

A Figura 4.22 mostra a área de interesse, onde podem ser observados os controles hidráulicos existentes.

Figura 4.22
Área de Interesse das Simulações Hidráulicas



Os coeficientes de Manning nas seções foram estimados a partir de fotos locais, imagens de satélite e bibliografia (CHOW, 1986).

Em ambas as simulações foi considerada a profundidade crítica como condição de contorno de montante e jusante para qualquer vazão, na faixa entre 5 m³/s e 410 m³/s, vazão decamilenar, com simulação no regime misto.

O nível d'água do levantamento planialtimétrico (NA = 70,80 m na área da barragem e NA = 51,80 m na área da casa de força, em 18/ago/16) foi utilizado para avaliação dos resultados obtidos na parte baixa da curva chave. Considerando que 2016 foi um ano bem seco, foi estimada uma vazão em torno de 5 m³/s para essa data.

4.8.2. Dados Utilizados

Foram utilizadas neste estudo as seguintes informações:

- Levantamento planialtimétrico (seções topobatimétrica e leitura de nível), realizadas pela empresa Oriental Engenharia em 18 de agosto de 2016;
- Restituição da área da barragem e da área da casa de força, na escala 1:2.000, com curvas de nível a cada 1,0 m, realizada pela Oriental Engenharia em agosto de 2016;
- Restituição da área de estudo, na escala 1:10.000, com curvas de nível a cada 5,0 m, disponível na Revisão do Inventário.

4.8.3. Características da Modelagem a Jusante do Eixo da Barragem

No trecho a jusante da barragem, com cerca de 1km de extensão, foi retratado por 8 seções, uma topobatimétrica (S4) e as demais estimadas pela restituição, Figura 4.23.

A Tabela 4.20 apresenta as distâncias entre as seções e os coeficientes de Manning adotados.

Figura 4.23
Localização das Seções da Modelagem a Jusante do Eixo da Barragem

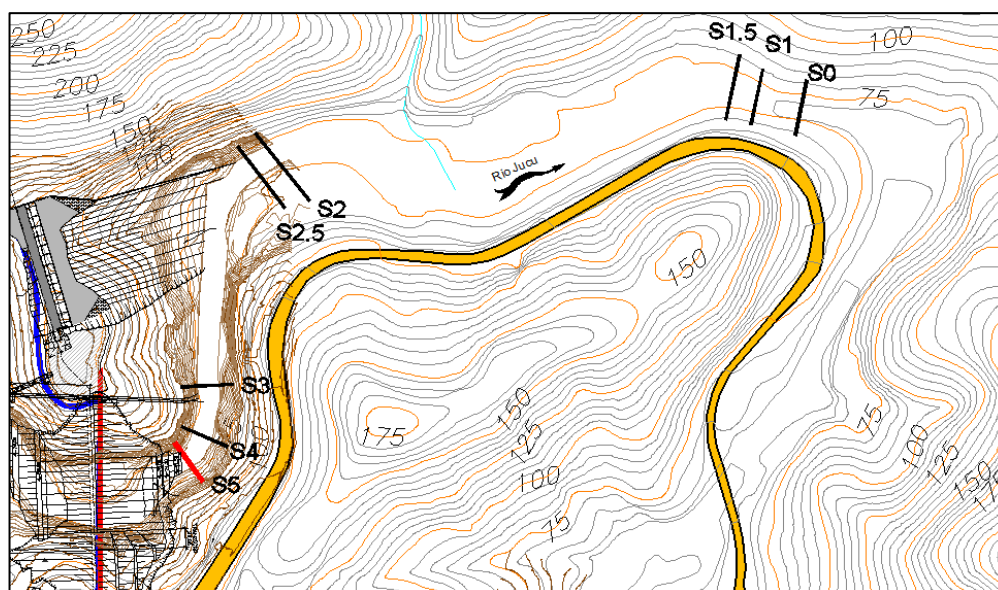


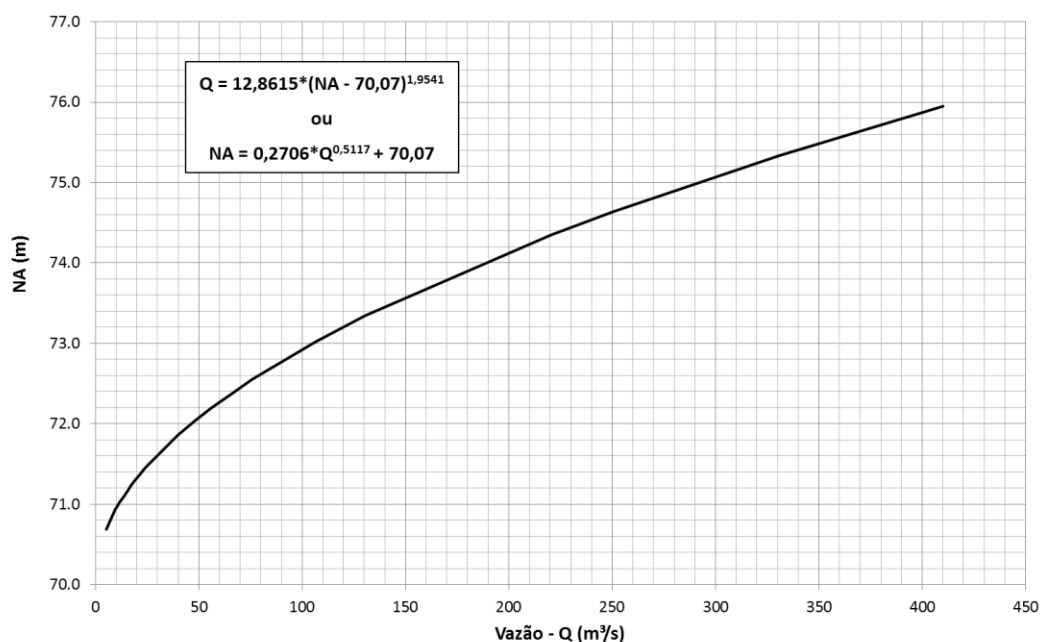
Tabela 4.20
Características das Seções da Modelagem a Jusante do Eixo da Barragem

Seção	Distância (m)		Coeficientes de Manning “n”		
	Eixo	Acumulada	Margem Esquerda	Canal	Margem Direita
S5	33	1094	0,035	0,030	0,037
S4	56	1061	0,035	0,030	0,037
S3	275	1005	0,035	0,030	0,037
S2.5	25	730	0,035	0,030	0,037
S2	630	705	0,035	0,030	0,037
S1.5	25	75	0,035	0,030	0,037
S1	50	50	0,035	0,030	0,037
S0	0	0	0,040	0,045	0,040

4.8.4. Curva Chave a Jusante do Eixo da Barragem

A Figura 4.24 apresenta a curva chave ajustada aos resultados obtidos na modelagem de jusante do eixo.

Figura 4.24
Curva Chave a Jusante do Eixo da Barragem Rio Jucu Braço Norte



4.8.5. Características da Modelagem a Jusante da Casa de Força

No trecho a jusante da Casa de Força, com cerca de 150 m de extensão, foi retratado por 9 seções, uma topobatimétrica (S4) e as demais estimadas pela restituição, Figura 4.25.

A Tabela 4.21 apresenta as distâncias entre as seções e os coeficientes de Manning adotados.

Figura 4.25
Localização das Seções da Modelagem a Jusante da Área da Casa de Força

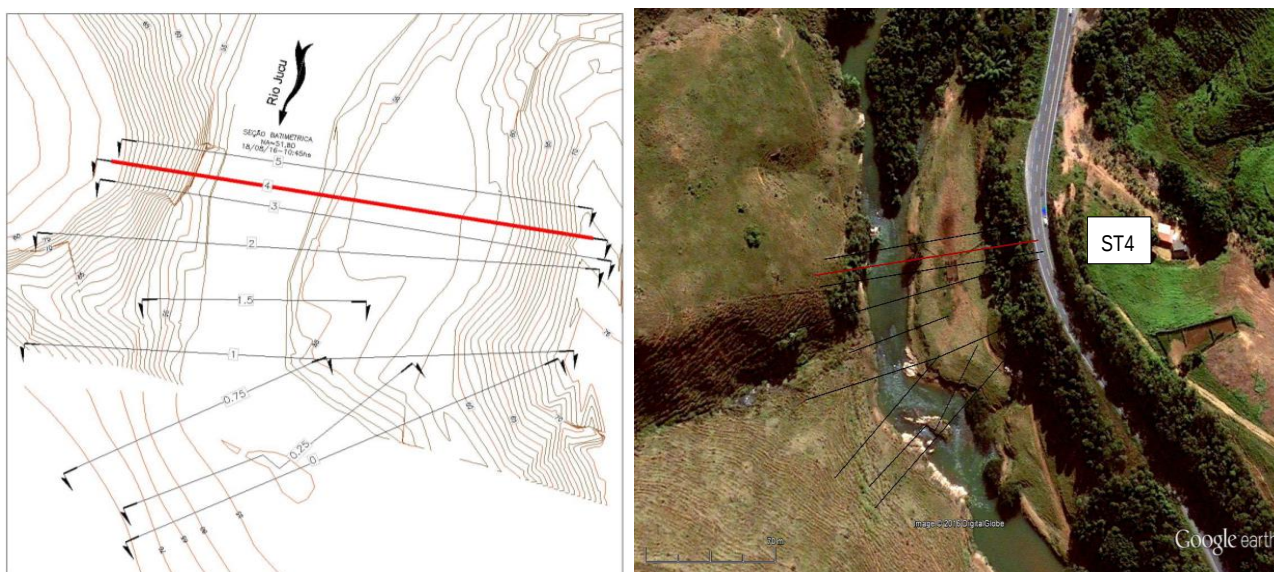


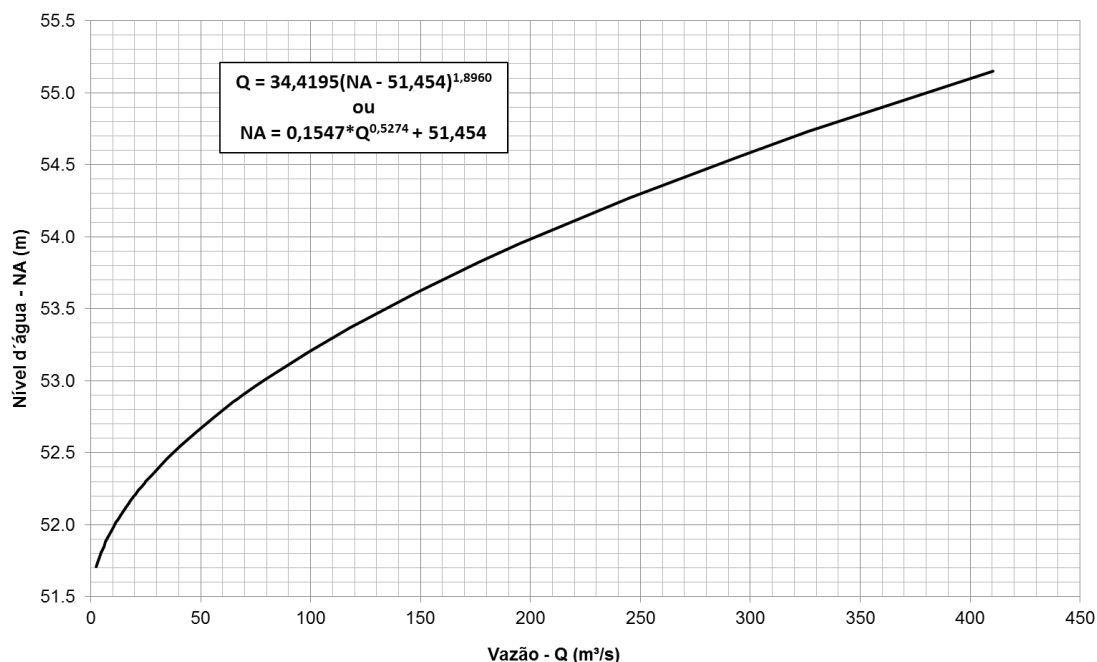
Tabela 4.21
Características das Seções da Modelagem a Jusante da Área da Casa de Força

Seção	Distância (m)		Coeficientes de Manning “n”		
	Eixo	Acumulada	Margem Esquerda	Canal	Margem Direita
S5	5,47	114,41	0,035	0,030	0,035
S4	10,06	108,94	0,035	0,030	0,035
S3	14,55	98,88	0,035	0,030	0,035
S2	18,57	84,33	0,035	0,030	0,035
S1.5	19,1	65,76	0,035	0,040	0,035
S1	14,59	46,66	0,035	0,040	0,035
S0.75	27,9	32,07	0,035	0,040	0,035
S0.25	4,17	4,17	0,035	0,045	0,035
S0	0	0	0,040	0,045	0,040

4.8.6. Curva Chave a Jusante da Casa de Força

A Figura 4.26 apresenta a curva chave ajustada aos resultados obtidos na modelagem de jusante do Canal de Fuga, também disponível no desenho A-062-000-00-0-XX-0009.

Figura 4.26
Curva Chave a Jusante da Casa de Força



4.9. ESTUDOS DO RESERVATÓRIO

4.9.1. Curva Cota x Área x Volume

As curvas cota x área x volume foram definidas a partir da restituição planialtimétrica, na escala de 1/10.000, com curvas de nível a cada 5 m, produzida pela empresa Hiparc Geotecnologia, em outubro de 2009, com base no aerolevanteamento realizado entre junho de 2007 e agosto de 2008.

Observa-se que para as cotas acima de 105m, inclusive, a área, e consequentemente, o volume, tiveram uma pequena parcela estimada, já que na restituição disponível tais curvas de nível apresentam-se abertas na extremidade (ver desenho A-062-000-00-0-XX-0002).

As áreas interiores às curvas de nível foram planimetradas com o auxílio do programa AutoCAD. Os cálculos dos volumes entre curvas de nível consecutivas foram efetuados utilizando-se o processo dos prismas modificados, descrito na publicação “Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios” (ANEEL, 2000). O método em questão utiliza a seguinte equação:

$$V = \frac{E}{3} (A + \sqrt{A \cdot B} + B)$$

Onde:

V = volume incremental entre as cotas base;

E = equidistância entre as curvas de nível;

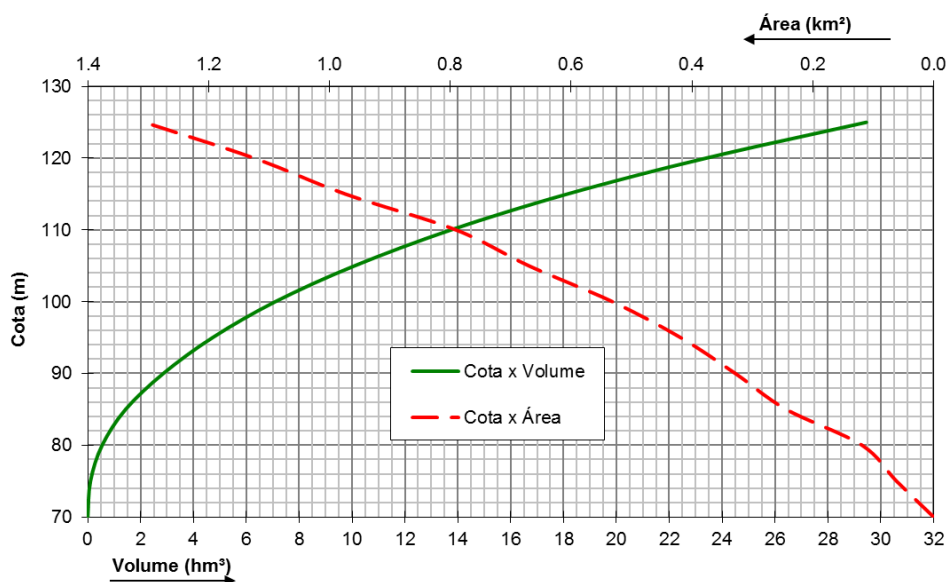
A e B = áreas internas dos planos definidos pelas curvas de nível.

Os resultados obtidos para o local da Barragem constam da Tabela 4.22 e são representados graficamente na Figura 4.27 e no desenho A-062-000-00-0-XX-0009.

Tabela 4.22
Curvas Cota x Área x Volume da Barragem no Rio Jucu Braço Norte

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
70	0,00	0,00
75	0,06	0,10
80	0,12	0,55
85	0,24	1,43
90	0,33	2,86
95	0,42	4,72
100	0,53	7,10
105	0,67	10,09
110	0,79	13,74
115	0,93	18,03
120	1,09	23,06
125	1,27	28,96

Figura 4.27
Curvas Cota x Área x Volume da Barragem no Rio Jucu Braço Norte



4.9.2. Borda Livre no Reservatório

Esse estudo teve como objetivo avaliar a sobrelevação do nível d'água do reservatório, devido às ondas provocadas pelo vento e estabelecer as cotas de coroamento das estruturas de concreto e da crista da barragem.

Para o estudo de ondas foi utilizado o método proposto por Saville (1962) "Computation of Free Board Allowance for Waves in Inland Reservoirs".

A condição de projeto considera que a barragem deverá conter ondas geradas por ventos na superfície (sobre a terra) de 50 km/h (cerca de 14 m/s), atuando coincidentemente com a direção do "fetch" efetivo, com o reservatório no seu N.A. Máximo Maximorum e ventos de 100 km/h (cerca de 28 m/s), atuando coincidentemente com a direção do "fetch" efetivo, com o reservatório no seu N.A. Máximo Normal.

Para estas condições, adotou-se como altura de onda de projeto, aquela correspondente à probabilidade de 2% de ser excedida num trem de ondas (H2%).

Os critérios adotados para a fixação das características do vento de projeto (intensidade, direção e sentido) foram os correntemente praticados em regiões com pouca disponibilidade de dados de vento, à semelhança da região do rio Jucu.

Aplicação e Resultados

Foram avaliadas duas alternativas para a direção do fetch máximo, sendo uma em direção ao eixo e outra que não incide diretamente neste, a partir da planta do reservatório em escala 1:10.000. O maior fetch efetivo determinado, usando um critério de

segurança, resultou em 0,52 km para o N.A. Máximo Normal, El. 120,0 m. Para o N.A. Máximo Maximorum, El. 121,30 m, considerou-se o mesmo fetch devido à declividade do talude nessa região, conforme representado na Figura 4.28.

Figura 4.28
Fetch Efetivo no Reservatório da Barragem no Rio Jucu Braço Norte



A profundidade média do reservatório ao longo do “fetch” foi estimada em 24,0 m para o N.A. Máximo Normal e 25,3 m para o N.A. Máximo Maximorum.

Para definição da velocidade do vento sobre a água aplicou-se o corretor apresentado em Saville (1962) à velocidade sobre a terra (V_t), o que resultou num coeficiente igual a 1,06 para o N.A. Máximo Normal e N.A. Máximo Maximorum.

O resultado do estudo da sobrelevação total do nível d’água do reservatório junto ao aproveitamento encontra-se apresentado nas Tabelas 4.23 e 4.24.

Tabela 4.23
Características dos Ventos, Ondas e Alturas de Maré

Discriminação		Unidade	N.A. 120,00 m	N.A. 121,30 m
Velocidades do vento	Sobre a terra	km/h	100,00	50,00
	Sobre a água	km/h	106,00	53,00
Características da onda	Altura significativa	m	0,54	0,26
	Período	s	2,34	1,72
	Comprimento	m	8,54	4,64
	Altura de maré	m	0,004	0,001
	Altura de projeto	m	0,75	0,36

Tabela 4.24
Sobrelevações do Nível d'Água do Reservatório

Discriminação		NA Máx Normal El. 120,00 m	NA Máx Maximorum El. 121,30 m
Talude rugoso 1,4 H:1,0V (barragem de enrocamento)	"Run-up" máximo	0,90	0,43
	Sobrelevação (Run-up + onda de maré)	0,91	0,43
	Nível de sobrelevação	120,91	121,73

Notas: (1) Valores em metro.

Admitindo-se folga nula, considerando o NA Máximo Normal, a cota de coroamento das estruturas seria de 120,91 m, já para o NA Máximo Maximorum, a cota seria 121,73 m.

O Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e a ELETROBRÁS estabelecem os seguintes critérios de borda livre:

- Borda Livre Normal: a cota de coroamento das estruturas e da crista da barragem deve ser minimamente igual ao N.A. Máximo Normal acrescido de 3,0 m para barragens de aterro e 1,5 m para barragens de concreto.
- Borda Livre Mínima: deverá ser de 1,0 m acima do nível de máxima enchente do reservatório para barragens de terra e 0,5 m para barragens de concreto.

A Tabela 4.25 reúne os diferentes resultados obtidos. A sua análise mostra que as cotas de coroamento não devem ser inferiores aos seguintes valores: estruturas de terra, El. 123,00 m, e estruturas de concreto, El. 121,80 m.

Tabela 4.25
Cotas de Coroamento da Barragem - Reservatório com Sobrelevação

Estrutura	Critério Saville		Critério CBDB/Eletróbrás	
	NA Máx Normal	NA Máx Maximorum	Borda Livre Normal	Borda Livre Mínima
Terra	120,91 m	121,73 m	123,00 m	122,30 m
Concreto	120,87 m	121,72 m	121,50 m	121,80 m

4.9.3. Enchimento do Reservatório

No estudo de enchimento do reservatório da Barragem foram estimados os tempos necessários para se atingir os níveis característicos de operação do reservatório e, conseqüentemente, as diversas possibilidades a serem consideradas nos trabalhos de fechamento do desvio no rio Jucu.

BARRAGEM NO RIO JUCU - BRAÇO NORTE

A simulação de enchimento é desenvolvida a partir do balanço de massas, no qual os volumes acumulados no reservatório resultam da diferença entre vazões afluentes e efluentes. Desta forma foram considerados os seguintes dados e cenários:

- Vazões afluentes ao aproveitamento, com o aporte de um hidrograma padrão de vazões médias mensais da Barragem:
 - Ano seco característico: 2003;
 - Ano médio característico: 1991;
 - Ano úmido característico: 1983;
- Curva Cota x Área x Volume do reservatório;
- Quatro cenários de vazão residual a ser garantida a jusante durante o enchimento:
 - Cenário I: vazão mínima de 1,0 m³/s;
 - Cenário II: vazão mínima diária observada de 1,5 m³/s;
 - Cenário III: vazão média mensal mínima histórica de aproximadamente 3,0 m³/s;
 - Cenário IV: 50% da vazão de referência estadual, 0,5Q₉₀ igual a 4,0 m³/s.

A Tabela 4.26 mostra as vazões médias mensais dos três anos característicos, correspondentes a um ano seco, um ano médio e um ano úmido.

Tabela 4.26
Vazões Médias Mensais dos Anos Considerados no Estudo de Enchimento (m³/s)

ANO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Seco (2003)	40,0	14,3	13,0	11,6	9,6	7,9	7,8	7,4	6,7	7,0	7,6	16,0
Médio (1991)	27,9	17,7	20,9	15,6	11,8	10,6	14,3	27,0	12,9	11,3	15,6	16,6
Úmido (1983)	30,7	21,4	14,3	16,9	14,2	11,2	9,7	8,3	12,7	19,6	26,3	32,6

Dessa forma, considerando os quatro cenários de vazão remanescente, foram determinados os tempos decorridos desde o início da operação de enchimento até que se atingisse o nível da soleira da galeria de regularização e o NA Normal do reservatório, que coincide com a cota da soleira do vertedouro (El. 120m), e que equivale à acumulação de um volume de 23,06 hm³.

A evolução dos níveis d'água do reservatório foi simulada para duas alternativas de início de enchimento: em outubro ou em novembro, meses do início do período úmido. Foi considerado um intervalo de 4 h e vazão afluente constante igual à vazão média mensal correspondente.

Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.27.

Tabela 4.27
Tempos de Enchimento do Reservatório (dias)

Vazão Residual a Jusante (m³/s)	Mês de início do enchimento	Soleira da Galeria El. 82,0 m			NA Máx. Normal El. 120,00 m		
		Ano Úmido	Ano Médio	Ano Seco	Ano Úmido	Ano Médio	Ano Seco
1,0	Out	0,5	1,0	1,7	15,3	27,5	45,5
	Nov	0,3	0,7	1,5	11,3	19,5	35,7
1,5	Out	0,5	1,0	1,8	15,7	28,7	48,3
	Nov	0,3	0,7	1,7	11,5	20,0	36,7
3,0	Out	0,5	1,2	2,5	17,2	33,0	53,7
	Nov	0,3	0,7	2,2	12,2	22,7	41,2
4,0	Out	0,7	1,3	3,3	18,2	36,0	53,7
	Nov	0,3	0,8	2,8	12,8	24,5	44,5

Observa-se que o nível d'água do reservatório, em um ano úmido, atinge a cota da galeria de regularização, em aproximadamente meio dia, para qualquer vazão residual a jusante. Por outro lado, considerando um ano seco esse tempo pode ser de 3,3 dias, com uma vazão residual de 4,0 m³/s, ou ainda 1,5 dias se a vazão residual for 1,0 m³/s.

Nota-se que com a adoção da vazão residual de 1,0 m³/s no local da barragem, o enchimento total do reservatório pode variar entre 11,3 dias, no caso do fechamento do rio em novembro em um ano úmido, e até 45,5 dias, no caso do fechamento do rio em outubro de um ano seco.

Com a adoção da vazão residual a jusante de 3,0 m³/s ou 4,0 m³/s, o enchimento total do reservatório não variou consideravelmente, ficando entre 13 dias, no caso do fechamento do rio em novembro em um ano úmido, até 54 dias, para o fechamento do rio em outubro de um ano seco.

4.10. ESTUDO DE ASSOREAMENTO E VIDA ÚTIL

Este estudo teve por finalidade avaliar a carga de sedimentos no rio Jucu, com o objetivo de estimar o assoreamento do reservatório e o impacto na vida útil do empreendimento.

O desenvolvimento dos estudos de assoreamento e vida útil apresentaram importante limitação, já que não existem dados sedimentométricos na bacia do rio Jucu, nem em outros rios pertencentes à sub-bacia 57, a qual ele pertence. Os dados mais próximos existentes são os referentes ao posto de São Sebastião da Encruzilhada, no rio Manhuaçu, bacia do rio Doce e pertencente à sub-bacia 56. A bacia controlada por esse posto, além da área bem superior a da bacia do rio Jucu no local do eixo do aproveitamento em análise, apresenta também diferenças em relação ao relevo e à morfologia, o que não recomenda a utilização de seus dados. Diante desse fato, optou-se, na definição da carga sólida afluente ao reservatório, pela utilização dos valores regionais disponíveis nos estudos de regionalização desenvolvidos pela ELETROBRÁS/UFRGS (1992), apesar de ser uma publicação elaborada há mais de 25 anos.

Na simulação do assoreamento da barragem foi utilizado o Método Empírico de Redução de Área desenvolvido por Borland & Miller e apresentado por Strand (1974), utilizando a curva superior de Brune para obtenção da Eficiência de Retenção, e as fórmulas de Lara & Pemberton para o cálculo do peso específico aparente, conforme descrito em Carvalho (2008).

A avaliação do assoreamento do reservatório, segundo o critério de Borland & Miller, calcula a distribuição de sedimentos ao longo do leito do reservatório e a altura do depósito de sedimentos no pé da barragem para um determinado tempo T.

Nas simulações de assoreamento do reservatório foram utilizados programas computacionais desenvolvidos por Mendes (2005) e apresentados em Carvalho (2008).

4.10.1. Parâmetros de Cálculo

Descarga Líquida Média Mensal: a série de descarga líquida média mensal observada compreende o período de 1969 a 2015, sendo a vazão média afluente ao empreendimento 16 m³/s.

Descarga Sólida Total: as informações hidrossedimentológicas disponíveis para realizar os estudos de sedimentos nesta região foram obtidas através do “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (Eletrobrás, 1992). Esse estudo mostra que, no zoneamento hidrossedimentométrico do Brasil, a região da bacia do rio Jucu situa-se na classe E5 – litoral leste. Essa zona é constituída das bacias médias e inferiores dos principais rios que se lançam no Atlântico ao Sul da foz do rio das Contas e ao norte do rio Paraíba do Sul. Os solos dessa zona apresentam erodibilidade média a fraca, o relevo é inclinado e a vegetação apresenta-se como uma mistura de mata e lavoura. A concentração média anual de sedimento em suspensão é da ordem de 220 mg/l e a produção específica de sedimento em suspensão estimada em torno de 45 t/km²/ano.

Sendo a área de drenagem do empreendimento estudado 1.146 km², tem-se uma descarga sólida em suspensão anual no valor de 51.570 t/ano. Devido à falta de informações sobre a descarga de arrasto e a ausência de dados para determiná-la, estimou-se a descarga de arrasto como 20% da descarga sólida em suspensão. Assim, a descarga sólida total considerada neste estudo será 61.884 t/ano.

Incremento da Descarga Sólida no Tempo: os valores da descarga sólida podem variar com o tempo, como por exemplo, a partir de alterações na cobertura vegetal, que podem provocar uma redução ou o aumento de erosão na bacia. Conservadoramente, para o presente estudo de assoreamento e vida útil do reservatório foi adotado um cenário com mudanças na taxa anual da produção de sedimentos na bacia, considerando um incremento de 2% da carga de sedimentos.

Granulometria dos Sedimentos: os valores médios da granulometria em suspensão e do leito foram estimados a partir dos dados existentes no “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (Eletrobrás, 1992). Foram consideradas as granulometrias disponíveis das estações pertencentes à Zona E5, conforme Tabela 4.28 Entre as estações da Zona E5 com dados de granulometria, foi descartada a estação

Jacinto (código 54780000), localizada no rio Jequitinhonha, por apresentar uma granulometria discrepante em relação às demais estações, além de uma área de drenagem muito superior.

Tabela 4.28
Granulometria das Estações da Zona E5 - Litoral Leste

Estação	Rio	Código Estação	Suspensão			Leito			
			Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Carlos Chagas	Mucuri	55520001	61,5	34,5	0,0	8,0	91,5	0,5	0,0
São João da Cachoeira Grande	São Mateus Norte	55630000	80,5	6,5	13,0	14,0	85,5	0,5	0,0
Mucuri	Mucuri	55850000	65,0	35,0	0,0	18,0	82,0	0,0	0,0
Córrego Boa Esperança	São Mateus Sul	55920000	45,0	32,0	23,0	10,0	87,5	2,5	0,0
Tumiritinga	Doce	56920000	52,0	45,0	3,0	7,0	92,5	0,5	0,5

Com média das composições das curvas granulométricas das estações consideradas obtém-se as frações pc, pm e ps, que representam as porcentagens médias de argila, silte e areia, e que serão utilizadas no cálculo do peso específico aparente dos sedimentos.

Para obter valores médios destas porcentagens, consideram-se as quantidades percentuais de sedimento em suspensão e do leito, ponderando-se com os valores das descargas sólidas medidas (Qsm) e das descargas sólidas não medidas (Qsnm). As granulometrias obtidas na análise dos sedimentos em suspensão são ponderadas (multiplicadas) pela porcentagem da descarga sólida medida, enquanto que as porcentagens da granulometria do material do leito são ponderadas pela porcentagem da descarga sólida não medida. Após obter as frações percentuais dos sedimentos em suspensão e dos sedimentos do leito, somam-se as duas para obter as porcentagens médias de argila, silte e areia (pc, pm e ps). A Tabela 4.29 apresenta o resumo deste cálculo e os valores obtidos.

Tabela 4.29
Porcentagens Médias de Sedimento Afluentes

	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Qsm (%)	Qsnm (%)	Pc (%)	Pm (%)	Ps (%)
Sedimento em Suspensão	8,0	31,0	61,0	80		6,4	24,8	48,8
Sedimento do Leito	0,0	1,0	99,0		20	0	0,2	19,8
Total						6,4	25	68,6

4.10.2. Cálculo do Depósito de Sedimentos no Reservatório

Para avaliar o depósito de sedimentos ao longo do tempo foi utilizada a curva superior de Brune na simulação. A aplicação da rotina de cálculo foi realizada com os dados que constam a seguir, considerando que o fundo do reservatório permanecerá a maior parte do tempo submerso.

- Vazão média afluyente do período 1969 a 2015: $Q_{af} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$
- Descarga sólida total afluyente média anual: $D_{st} = 61.884 \text{ t/ano}$
- Porcentagem de argila na descarga sólida total: $p_c = 6,4 \%$
- Porcentagem de silte na descarga sólida total: $p_m = 25,0 \%$
- Porcentagem de areia na descarga sólida total: $p_s = 68,6 \%$
- Nível d'água máximo normal do reservatório: $NA = 120 \text{ m}$
- Volume do reservatório no nível máximo normal: $V_{res} = 23,06 \text{ hm}^3$
- Incremento da descarga sólida afluyente: $R = 2\%$

Os resultados desta simulação são apresentados na Tabela 4.30, com destaque para o volume de sedimentos depositados e a eficiência de retenção do reservatório. O depósito de sedimentos no pé da barragem para os diferentes tempos de simulação se observa na Figura 4.29, enquanto que a Figura 4.30 exhibe a curva cota x área x volume original e as geradas a partir da simulação de 5 a 100 anos.

Tabela 4.30
Simulação para Jucu Braço Norte – Volumes de Sedimentos Depositados
Uso da Curva Superior de Brune e $R = 2\%$

Tempo (anos)	Vsól. Depos. (hm^3)	Vsól. Efluente (hm^3)	Er (%)	Peso espec. ap. (t/m^3)	Qsól. Afluyente (t/ano) $\times 10^3$	Qsól. Efluente (t/ano) $\times 10^3$	$V_{\text{depos.}} / V_{\text{total reserv.}}$
5	0,202	0,041	85,605	1,395	68,32	9,84	0,009
10	0,421	0,079	85,491	1,406	75,44	10,94	0,018
20	0,925	0,167	85,224	1,417	91,96	13,59	0,040
30	1,534	0,277	84,893	1,423	112,09	16,93	0,066
40	2,272	0,413	84,480	1,428	136,64	21,21	0,097
50	3,163	0,584	83,962	1,432	166,57	26,71	0,135
60	4,241	0,801	83,303	1,435	203,04	33,90	0,181
70	5,540	1,077	82,458	1,437	247,51	43,42	0,237
80	7,101	1,436	80,970	1,440	301,71	57,42	0,304
90	8,955	1,923	78,643	1,441	367,78	78,55	0,383
100	11,133	2,598	75,491	1,443	448,33	109,88	0,476
200	22,861	91,058	0	1,455	3.247,98	3.247,98	0,978

Figura 4.29
Depósito no Pé da Barragem Jucu Braço Norte
Uso da Curva Superior de Brune e $R = 2\%$

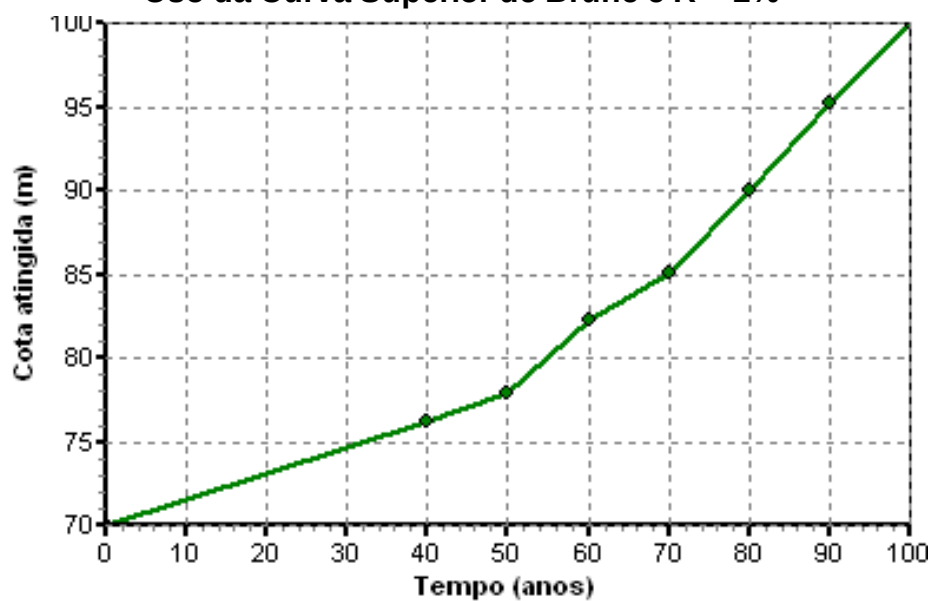
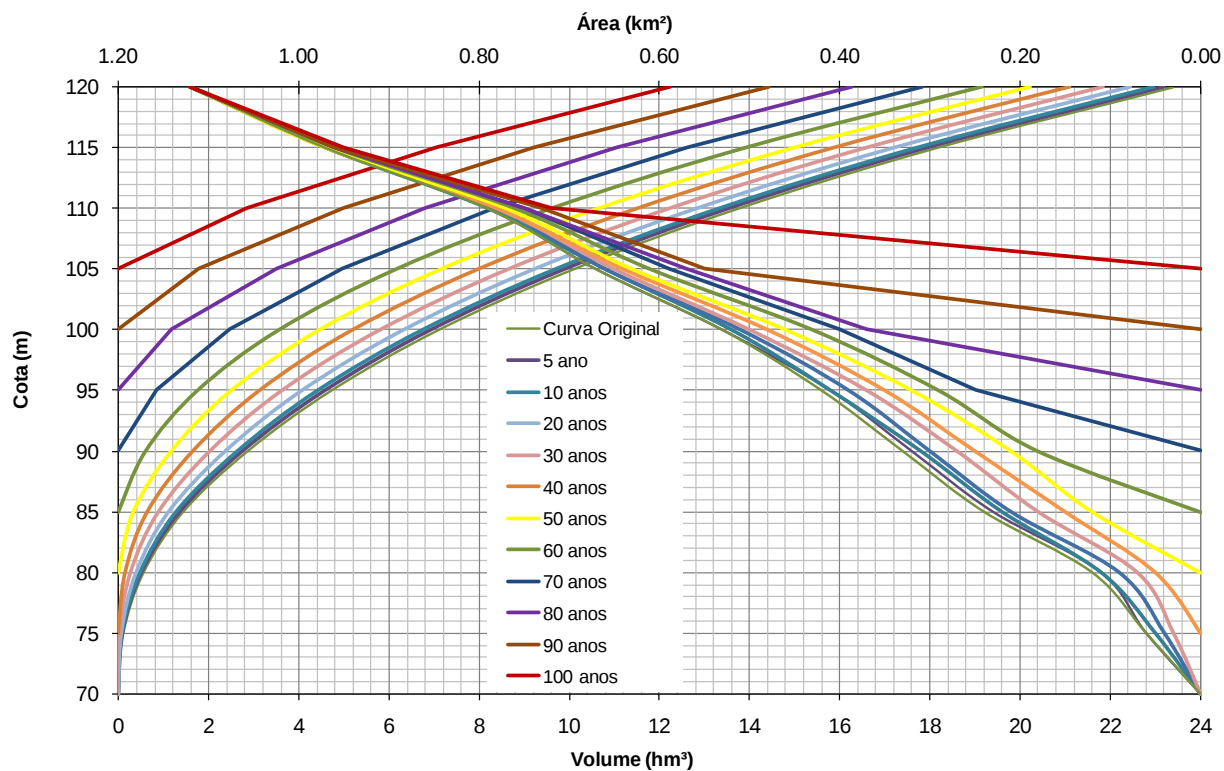


Figura 4.30
Evolução Temporal da Curva Cota-Área-Volume ($R = 2\%$)



4.10.3. Resultados

Os estudos sedimentológicos desenvolvidos para a barragem Jucu Braço Norte se basearam nos precários dados regionais disponíveis, onde se destaca a falta de informações de concentração e granulometria dos sedimentos no rio Jucu. Considerando os dados utilizados, nota-se que a carga de sedimentos não é significativa desde um ponto de vista quantitativo, sendo o movimento da areia (no leito e em suspensão) o processo sedimentológico de maior relevância.

Dentre os resultados obtidos é possível notar que o reservatório apresenta uma alta eficiência de retenção (E_r), em média 85% de retenção dos sedimentos nos primeiros 30 anos (Tabela 4.30). Este dado ressalta a importância de uma estimativa mais precisa da descarga sólida total no local, através de dados de granulometria e concentração dos sedimentos no rio em estudo.

Como se pode ver na Figura 4.29, a curva que estima o nível dos depósitos de sedimentos no pé da barragem ao longo do tempo inicia na elevação 70 m, ponto de partida da curva cota x área x volume. Em 30 anos a simulação mostra um depósito de 5 metros, atingindo a cota 75 m e neste tempo 6,6% de do volume total do reservatório estará ocupado pelo sedimento depositado. Em 50 anos, a cota atingida é a de 78 m com assoreamento de 13,5% do volume do reservatório. Os resultados aqui obtidos não evidenciam problemas relevantes de assoreamento e vida útil no empreendimento, mas se considera necessária uma validação destes resultados à luz de informações sedimentológicas coletadas na própria bacia do rio Jucu.

4.11. ESTUDO DE REMANSO

Esse estudo tem por objetivo a avaliação dos perfis de linha d'água no Rio Jucu Braço Norte sob o efeito do remanso do futuro reservatório da Barragem Rio Jucu Braço Norte. Para tal, foi implementado um modelo matemático unidimensional, utilizando seções topobatimétricas levantadas ao longo do reservatório, assim como perfis de linha d'água observados in loco, que permitiram sua calibração.

Foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS 4.1 (USACE, 2010), desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers, que utiliza o "Standard Step Method", descrito por Ven Te Chow, para calcular os perfis da linha d'água e respectivas linhas de energia numa abordagem permanente e unidimensional, em condições naturais e com o reservatório.

O modelo foi construído tomando como condição de contorno de jusante a seção topobatimétrica S-0 do levantamento, que se encontra aproximadamente 100 m a jusante do Eixo. Essa pequena diferença de distância entre o eixo da barragem e a seção de controle do modelo introduz uma diferença desprezível se considerado o nível a que se elevará o reservatório, as baixas velocidades do fluxo no local e, em consequência, a perda de carga resultante.

Dado que o Rio Jucu Braço Norte possui muitos trechos com corredeiras e cachoeiras, adotou-se como condição de montante a profundidade crítica e para simulação do modelo foi utilizado o regime de escoamento misto.

4.11.1. Dados Utilizados

Foram utilizadas neste estudo as seguintes informações:

- 13 (treze) seções topobatimétricas do rio Jucu Braço Norte, do levantamento planialtimétrico executado pela empresa Oriental Engenharia entre agosto e outubro de 2016;
- Restituição em escala 1:10.000, com curvas de nível a cada 5 m, na área de interesse da Barragem Rio Jucu Braço Norte, executado pela empresa HIPARC, em outubro de 2009;
- Ortofotos, executadas pela empresa HIPARC entre junho de 2007 e agosto de 2008;
- Curva chave de descarga líquida na seção S-0, definida pela PCE;
- Curva chave de descarga líquida na estação fluviométrica Córrego do Galo, definida pela PCE;
- 29 (vinte e nove) seções ao longo do rio Jucu Braço Norte, obtidas em escritório a partir da restituição em escala 1:10.000. Estas seções foram utilizadas para caracterizar estreitamentos e cachoeiras. A parte seca de cada seção foi definida pelas curvas de nível da restituição, enquanto sua parte molhada foi inferida de forma a possibilitar ao modelo uma representação adequada do perfil observado. O mapa de localização das seções utilizadas está disponível na Figura 4.31 e no desenho A-062-000-00-0-XX-0023.

As distâncias das seções topobatimétricas e os níveis d'água referentes aos perfis de linha d'água levantados no rio Jucu Braço Norte, estão relacionados na Tabela 4.31 e graficamente na Figura 4.32.

Tabela 4.31
Nível d'Água Observado no Rio Jucu Braço Norte

Seção	Distância Acumulada (m)	Data	
		19/10/2016	16/11/2016
		NA (m)	NA (m)
S14	5781	122,94	123,67
S13	5602	121,15	121,58
S12	5353	119,75	120,48
S11	5180	119,64	120,26
S10	4781	111,78	112,41
S9	4273	102,70	103,31
S8	4138	101,50	102,15
S7	3685	96,11	96,79
S6	2964	87,21	88,06
S5	2639	85,41	86,22
S4	1858	80,94	81,59
S3	867	71,90	72,55
S0	0	-	-

Figura 4.31
Localização das Seções Utilizadas no Modelo de Remanso

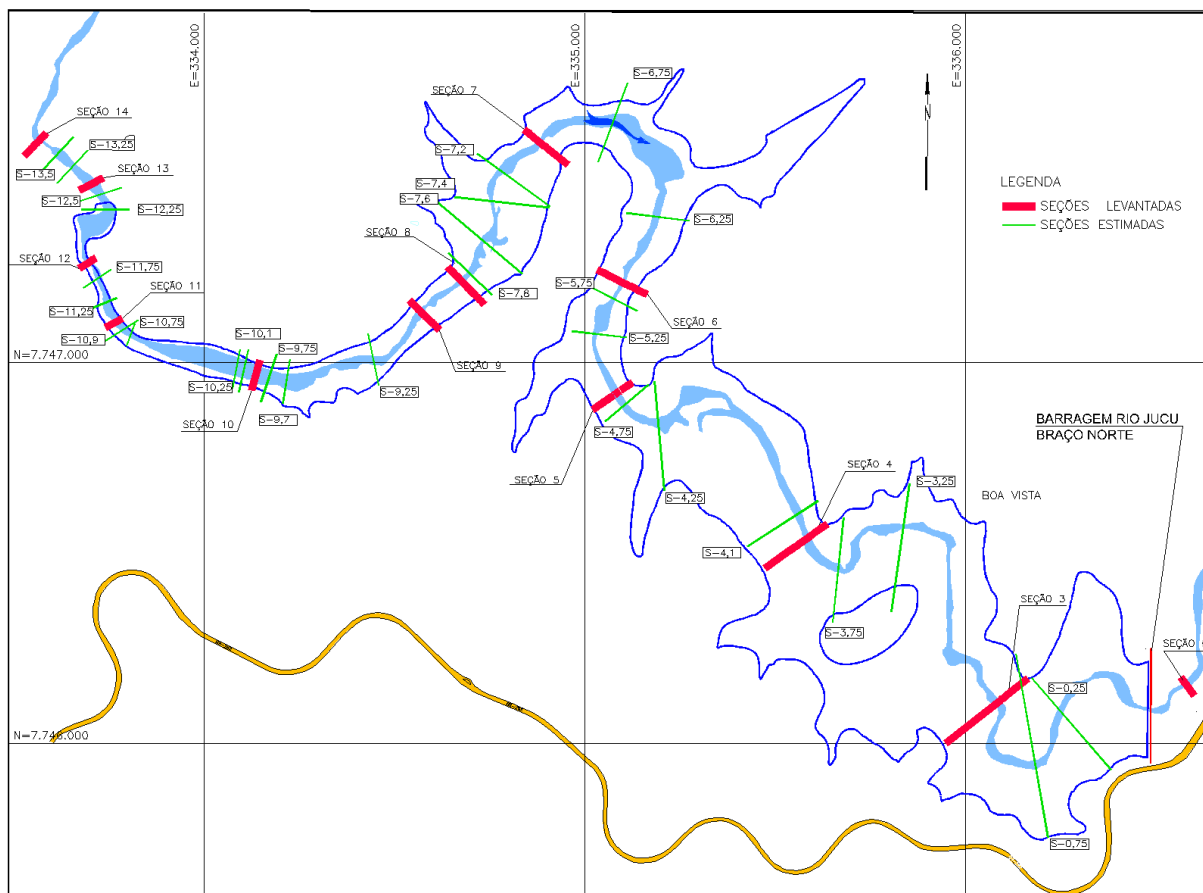
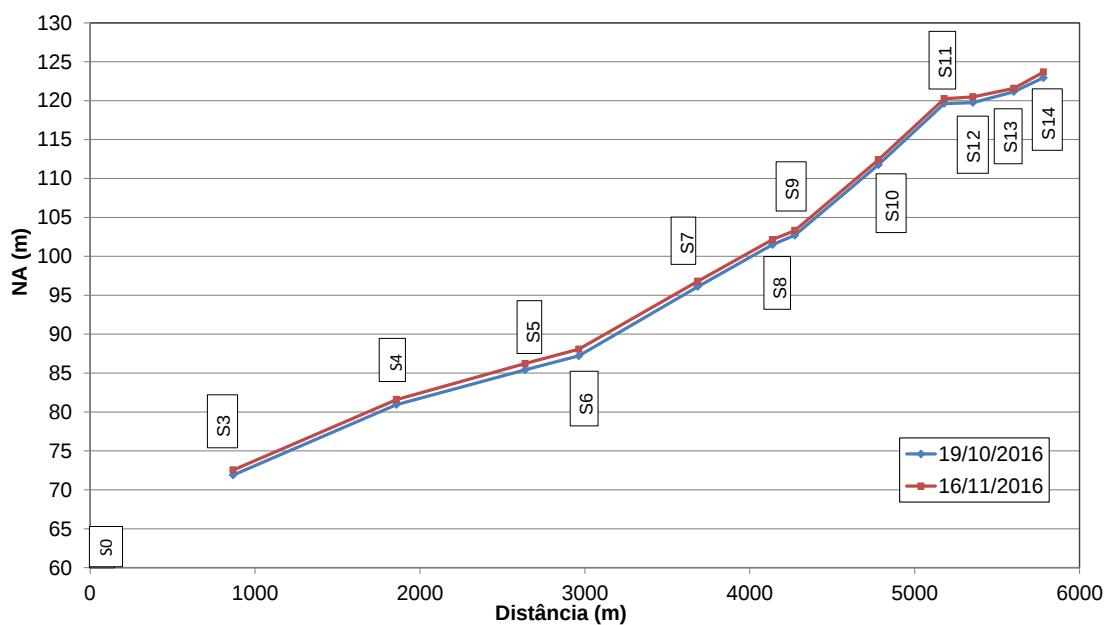


Figura 4.32
Perfis Observados da Linha d'Água do Rio Jucu Braço Norte



4.11.2 Calibração do Modelo

A calibração do modelo consiste em tornar compatíveis os valores dos níveis d'água obtidos por simulação com os observados nos perfis instantâneos ao longo do trecho de rio em estudo, para uma determinada descarga líquida. Esse processo é realizado pela determinação de coeficientes de rugosidade em cada seção e de coeficientes de perdas de carga localizadas devido às transições em cada trecho, de forma a obter níveis d'água simulados aproximadamente iguais aos observados em campo.

Esta etapa tem fundamental importância para assegurar um prognóstico realista das condições hidráulicas de escoamento em condições naturais e com reservatório.

A calibração do modelo de escoamento em condições naturais - aferição dos coeficientes de rugosidade e de perda de carga - foi realizada para os perfis instantâneos de linha d'água no rio Jucu Braço Norte, medidos em 19/10/2016 e 16/11/2016. A vazão correspondente a cada perfil foi estimada pela curva chave da estação Córrego do Galo, adotando-se a leitura de régua do dia em que foi realizado o levantamento de cada perfil, e posteriormente a vazão foi transferida para o eixo através da relação de área de drenagem.

Os níveis d'água de partida foram obtidos da curva chave estabelecida para a seção S-0, seção de início do modelo hidráulico.

De modo a se obter uma boa calibração do modelo foram testados e ajustados coeficientes “n” de Manning para cada seção e perfil levantado do rio Jucu, assim como os coeficientes de contração e expansão.

A Tabela 4.32 indica os coeficientes de Manning obtidos e a comparação entre os níveis d'água simulados e observados em campo é mostrada na Tabela 4.33.

Tabela 4.32
Coeficientes de Manning, Contração e Expansão Utilizados

Seção	Coeficientes de Manning			Coeficiente de Contração	Coeficiente de Expansão
	Margem Esquerda	Canal	Margem Direita		
S-14	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-13	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-12	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-11	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-10	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-9	0,035	0,032	0,035	0,30	0,50
S-8	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-7	0,030	0,031	0,030	0,30	0,50
S-6	0,035	0,027	0,035	0,30	0,50
S-5	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-4	0,035	0,030	0,035	0,30	0,50
S-3	0,035	0,027	0,035	0,30	0,50
S-0	0,035	0,027	0,035	0,30	0,50

Tabela 4.33
Níveis d'Água Observados e Simulados

Seção	Distância Acumulada (m)	Perfil de Calibração Q = 4,14 m³/s			Perfil de Calibração Q = 25,32 m³/s		
		19/10/2016			16/11/2016		
		Obs. (m)	Sim. (m)	Dif. (m)	Obs. (m)	Sim. (m)	Dif. (m)
S14	5781	122,94	122,96	0,02	123,67	123,65	-0,02
S13	5602	121,15	121,14	-0,01	121,58	121,59	0,01
S12	5353	119,75	119,73	-0,02	120,48	120,46	-0,02
S11	5180	119,64	119,62	-0,02	120,26	120,22	-0,04
S10	4781	111,78	111,78	0,00	112,41	112,37	-0,04
S9	4273	102,70	102,67	-0,03	103,31	103,27	-0,04
S8	4138	101,50	101,48	-0,02	102,15	102,11	-0,04
S7	3685	96,11	96,09	-0,02	96,79	96,79	0,00
S6	2964	87,21	87,21	0,00	88,06	88,03	-0,03
S5	2639	85,41	85,41	0,00	86,22	86,19	-0,03
S4	1858	80,94	80,95	0,01	81,59	81,55	-0,04
S3	867	71,90	71,89	-0,01	72,55	72,54	-0,01
S0	0	-	70,63	-	-	71,48	-

Nota: Obs – Observado; Sim – Simulado; e Dif – Diferença.

A comparação gráfica entre os perfis de linha d'água observados, representados por pontos, e simulados, desenhados em linha contínua se observa nas Figuras 4.33 e 4.34.

Figura 4.33
Perfis Observados e Calibrados no Rio Jucu Braço Norte (19/10/2016)

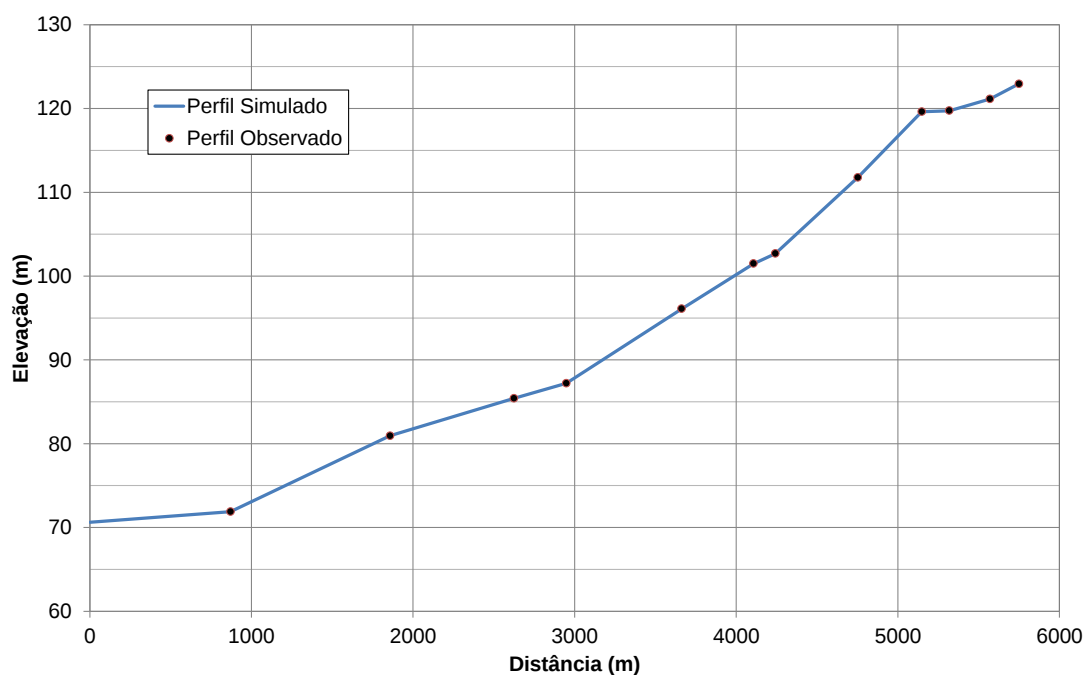
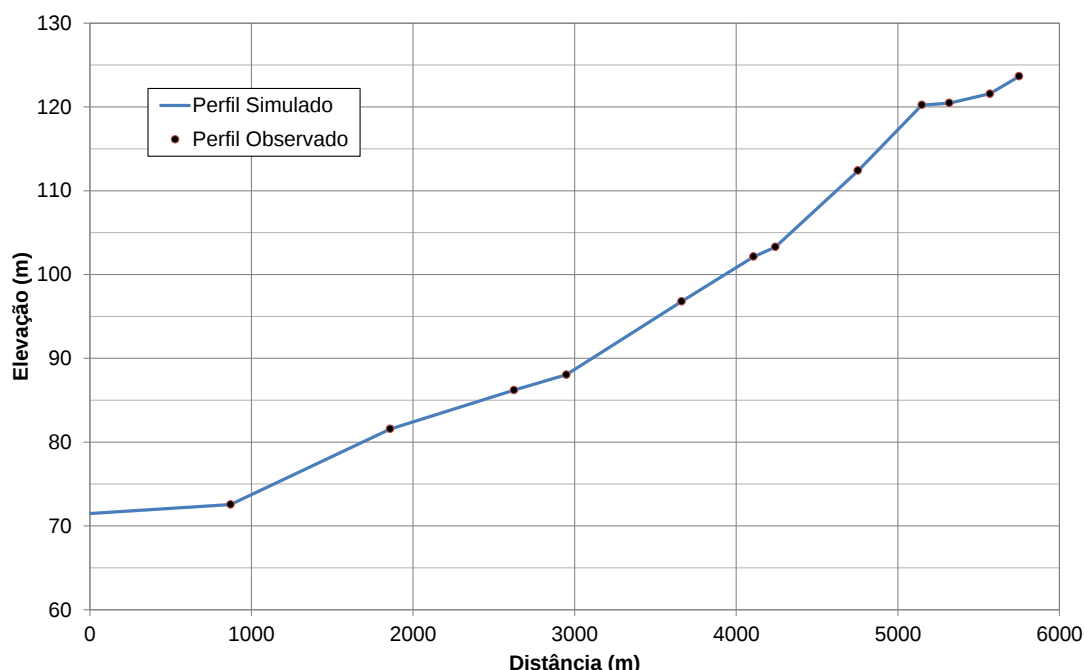


Figura 4.34
Perfis Observados e Calibrados no Rio Jucu Braço Norte (16/11/2016)



4.11.3. Simulação do Remanso

Uma vez calibrado o modelo hidráulico, foram realizadas as simulações para as condições de nível d'água em situação natural e com o reservatório considerando 7 diferentes vazões: a média das mínimas anuais, a média de longo termo, a média das máximas anuais e as vazões de cheia associadas aos tempos de recorrência (TR) de 50, 100, 1.000, e 10.000 anos, conforme se observa na Tabela 4.34.

Tabela 4.34
Vazões Consideradas nas Simulações

	Q _{MedMin}	Q _{MLT}	Q _{MedMax}	TR=50	TR=100	TR=1000	TR=10000
Vazão (m³/s)	7,24	16,0	81,1	220	250	330	410

Tanto para a simulação em condições naturais, como com o reservatório, os valores do “n” de Manning adotados foram os mesmos resultantes da calibração. Já os coeficientes de contração e expansão foram alterados somente na simulação com o reservatório, para as seções de jusante até a seção S-10. Neste caso foram considerados os valores padrões para transições graduais de contração e expansão.

Para as condições naturais os níveis d'água de partida foram obtidos da curva chave estabelecida para a seção S-0. Com a formação do reservatório, a condição de jusante foi o NA Máximo Normal, na El. 120,00 m.

As Tabelas 4.35 e 4.36 mostram os níveis d'água, respectivamente, para o escoamento em condições naturais e com a implantação do reservatório. As diferenças entre os dois níveis podem ser vistos na Tabela 4.37.

Tabela 4.35
Nível d'Água do Rio Jucu Braço Norte em Condições Naturais (m)

Seção	Distancia Acumulada (m)	Vazão (m³/s)						
		Q _{MedMin} 7,24	Q _{MLT} 16,0	Q _{MedMax} 81,1	TR=50 220	TR=100 250	TR=1000 330	TR=10000 410
S-0	0	70,81	71,19	72,64	74,35	74,64	75,33	75,95
S-3	867	72,04	72,33	73,59	75,11	75,38	76,05	76,66
S-4	1858	81,09	81,37	82,46	83,72	83,94	84,45	84,88
S-5	2639	85,63	86,00	87,03	87,89	87,92	88,26	88,70
S-6	2964	87,41	87,79	89,27	90,98	91,25	91,92	92,51
S-7	3685	96,25	96,57	97,58	98,44	98,57	98,85	99,10
S-8	4138	101,64	101,93	103,07	104,27	104,45	104,88	105,24
S-9	4273	102,82	103,10	104,04	104,99	105,12	105,38	105,62
S-10	4781	112,02	112,23	113,02	113,99	114,16	114,58	114,95
S-11	5180	119,77	120,04	121,34	122,97	123,21	123,79	124,30
S-12	5353	119,92	120,26	121,58	123,22	123,48	124,11	124,65
S-13	5602	121,26	121,45	122,26	123,53	123,81	124,47	125,05
S-14	5781	123,13	123,46	124,59	125,45	125,58	125,98	126,38

Tabela 4.36
Nível d'Água do Rio Jucu Braço Norte com Reservatório (m)

Seção	Distancia Acumulada (m)	Vazão (m³/s)						
		Q _{MedMin} 7,24	Q _{MLT} 16,0	Q _{MedMax} 81,1	TR=50 220	TR=100 250	TR=1000 330	TR=10000 410
S-0	0	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-3	867	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-4	1858	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-5	2639	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-6	2964	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-7	3685	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-8	4138	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-9	4273	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
S-10	4781	120,00	120,00	120,00	120,00	119,99	119,99	119,99
S-11	5180	120,02	120,09	121,34	122,97	123,21	123,79	124,30
S-12	5353	120,07	120,28	121,58	123,22	123,48	124,11	124,65
S-13	5602	121,26	121,45	122,26	123,53	123,81	124,47	125,05
S-14	5781	123,13	123,46	124,59	125,45	125,58	125,98	126,38

Tabela 4.37
Diferenças dos Níveis d'Água Naturais e com Reservatório (m)

Seção	Distancia Acumulada (m)	Vazões (m³/s)						
		Q _{MedMin} 7,24	Q _{MLT} 16,0	Q _{MedMax} 81,1	TR=50 220	TR=100 250	TR=1000 330	TR=10000 410
S-0	0	49,19	48,81	47,36	45,65	45,36	44,67	44,05
S-3	867	47,96	47,67	46,41	44,89	44,62	43,95	43,34
S-4	1858	38,91	38,63	37,54	36,28	36,06	35,55	35,12
S-5	2639	34,37	34,00	32,97	32,11	32,08	31,74	31,30
S-6	2964	32,59	32,21	30,73	29,02	28,75	28,08	27,49
S-7	3685	23,75	23,43	22,42	21,56	21,43	21,15	20,90
S-8	4138	18,36	18,07	16,93	15,73	15,55	15,12	14,76
S-9	4273	17,18	16,90	15,96	15,01	14,88	14,62	14,38
S-10	4781	7,98	7,77	6,98	6,01	5,83	5,41	5,04
S-11	5180	0,25	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S-12	5353	0,15	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S-13	5602	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S-14	5781	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

A continuação, nas Figuras 4.35 a 4.41 são apresentados os perfis da linha d'água correspondentes aos cenários acima considerados.

Figura 4.35
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Média das Vazões Mínimas Anuais (Q=7,24 m³/s)

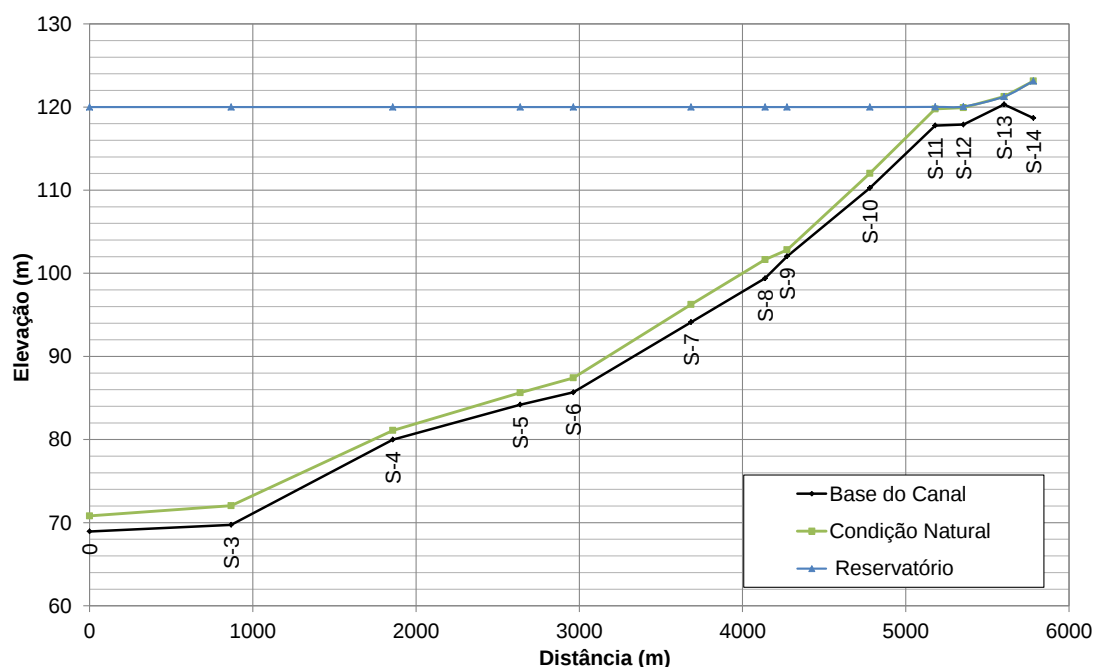


Figura 4.36
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Vazão Média de Longo Termo ($Q=16,0 \text{ m}^3/\text{s}$)

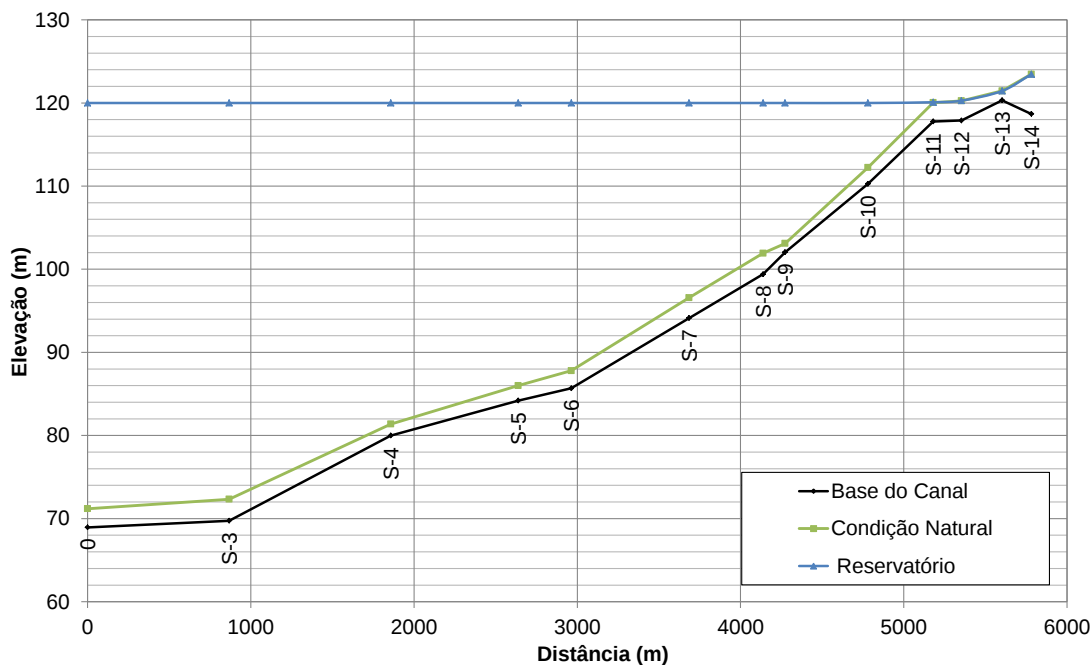


Figura 4.37
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Média das Vazões Máximas Anuais ($Q=81,1 \text{ m}^3/\text{s}$)

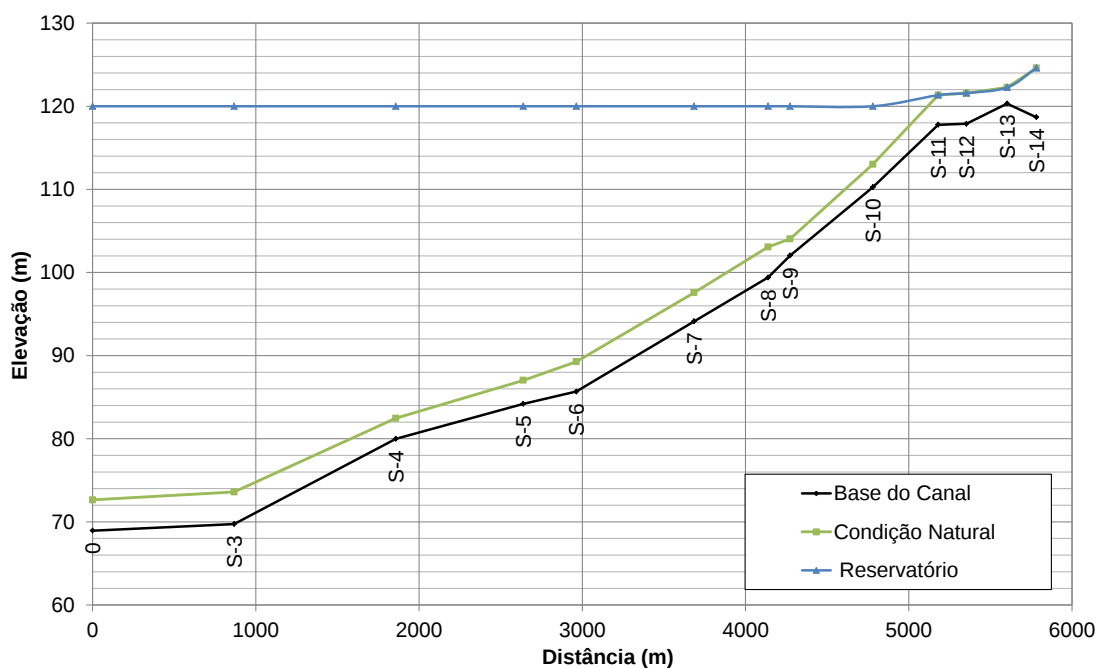


Figura 4.38
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Vazão com Recorrência de 50 anos ($Q=220 \text{ m}^3/\text{s}$)

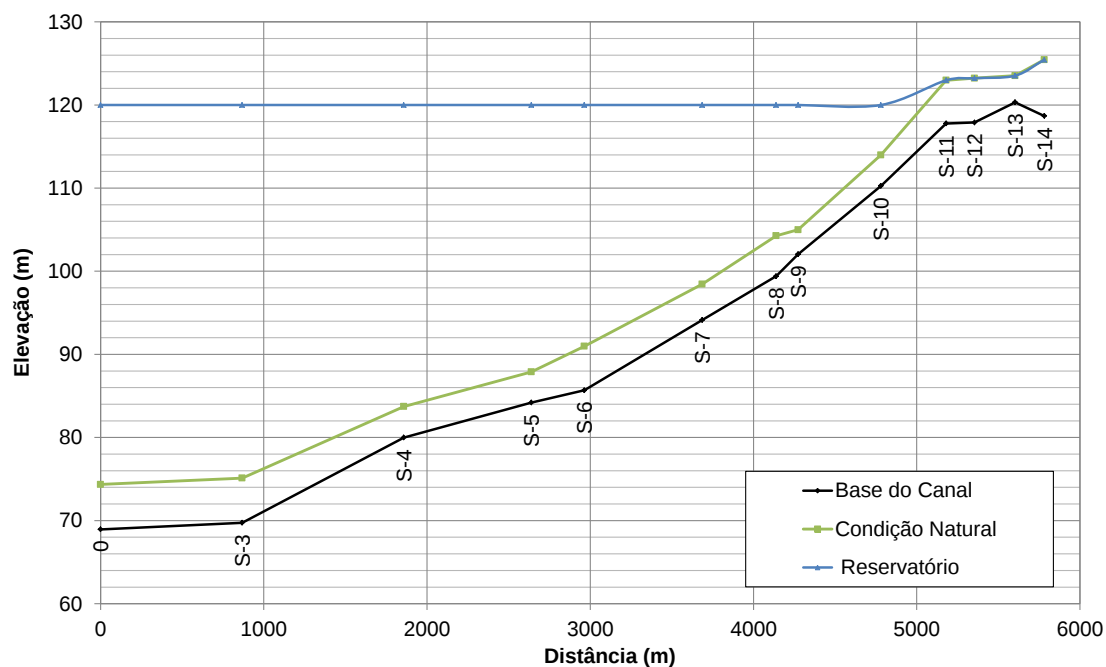


Figura 4.39
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Vazão com Recorrência de 100 anos ($Q=250 \text{ m}^3/\text{s}$)

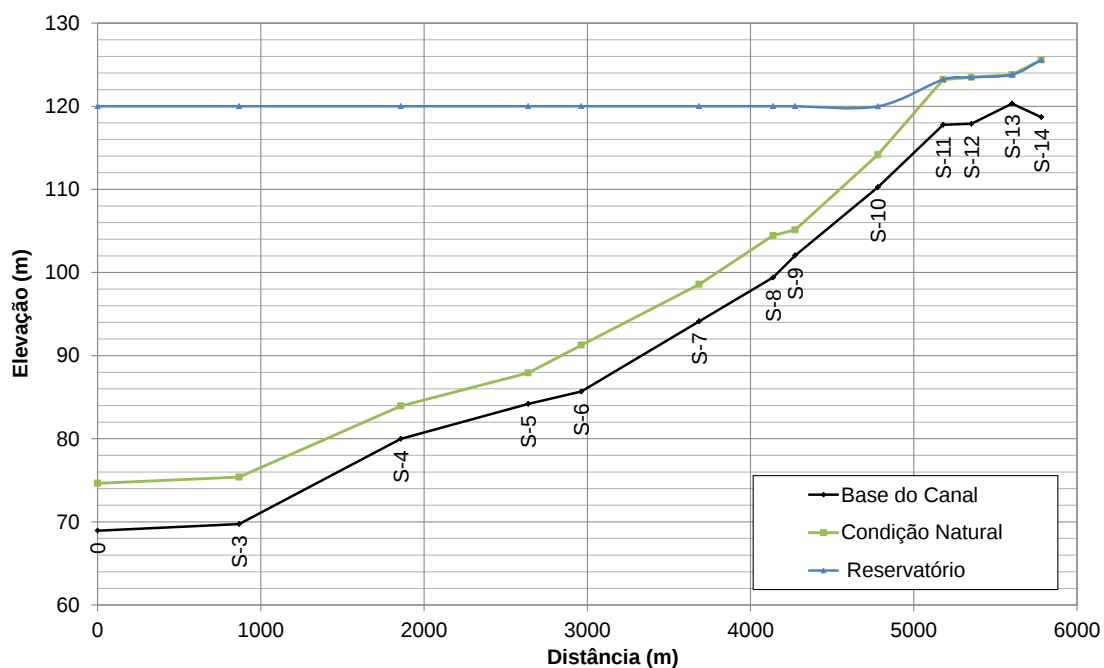


Figura 4.40
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Vazão com Recorrência de 1.000 anos ($Q=330 \text{ m}^3/\text{s}$)

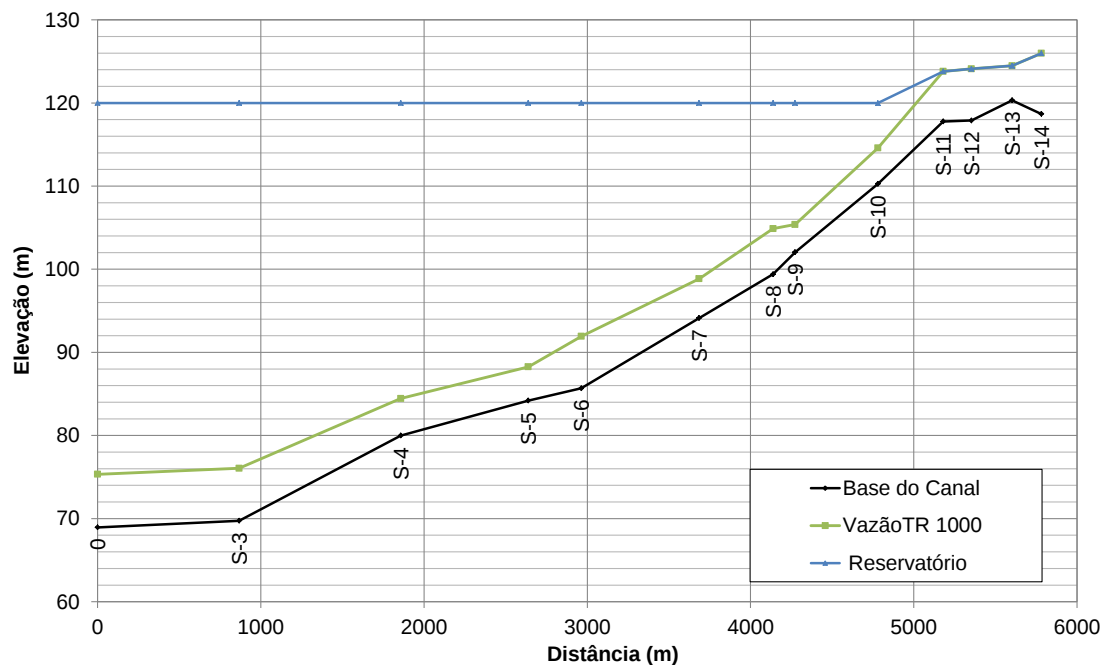
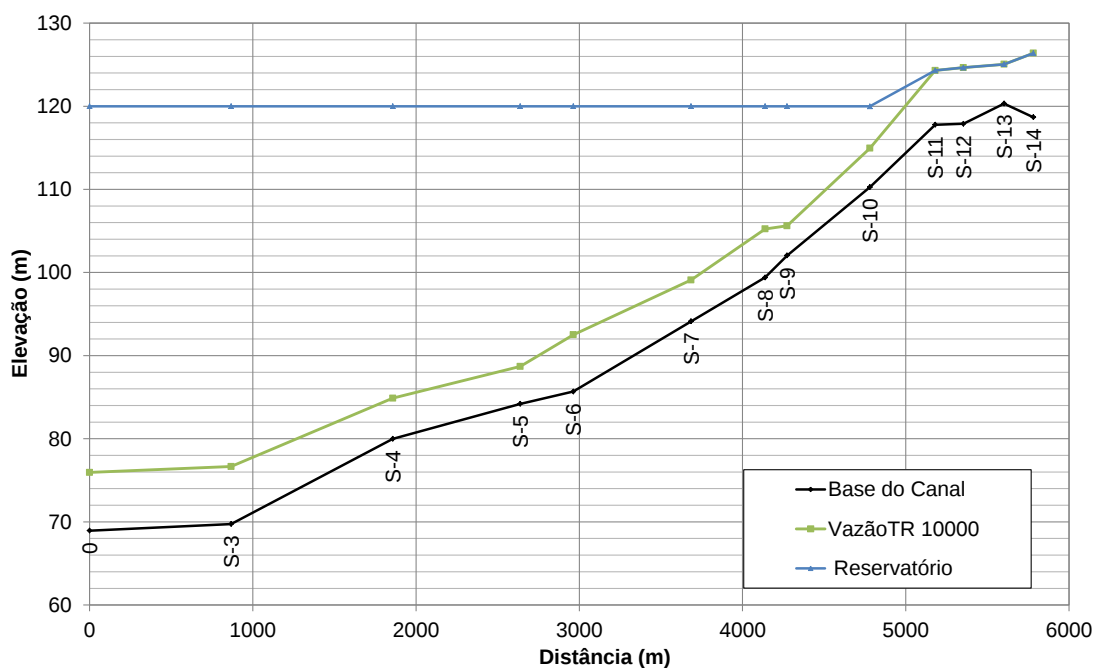


Figura 4.41
Perfis do Nível d'Água no Rio Jucu Braço Norte
Vazão com Recorrência de 10.000 anos ($Q=410 \text{ m}^3/\text{s}$)



4.11.4. Conclusões

Apesar de dispor de poucos levantamentos de perfis de níveis d'água foi possível a calibração do modelo matemático.

Os resultados das simulações mostram que o conjunto de cachoeiras situado a jusante da seção 11, constitui um controle hidráulico muito importante naquele local. Mesmo com a implantação do reservatório da Barragem Rio Jucu Braço Norte, os níveis d'água a montante desse controle são praticamente iguais tanto em condições naturais como com o reservatório.

Para vazões baixas como a média das vazões mínimas anuais e a Q_{MLT} , pode-se dizer que o remanso se estende até a seção S-12, com uma diferença mínima para a Q_{MLT} (16 m³/s).

Já para vazões mais altas, iguais ou superiores à média das máximas anuais, 81 m³/s, os níveis d'água verificados na seção S-11 independem da existência ou não do reservatório da Barragem Rio Jucu Braço Norte.

A ponte existente, localizada em torno da seção S-14, não sofre com os efeitos do reservatório.

De forma geral podemos dizer que os efeitos do reservatório se propagam até a seção 12 para vazões menores que a Q_{MLT} , e para vazões maiores o efeito de remanso se anula na seção 11.