

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISPOSITIVO
MECÂNICO AUTOMÁTICO REGULARIZADOR DE VAZÃO EM TOMADAS DE
ÁGUA**

FRANCISCO JOSÉ BLASI DE TOLEDO PIZA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Novembro de 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISPOSITIVO
MECÂNICO AUTOMÁTICO REGULARIZADOR DE VAZÃO EM TOMADAS DE
ÁGUA**

FRANCISCO JOSÉ BLASI DE TOLEDO PIZA

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Targa

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Novembro de 2003

Agradecimentos

Ao meu orientador neste trabalho Prof. Dr. Luiz Antônio Targa, pela presença constante, dedicação e paciência.

Aos meus pais Maria Amélia e Jayme, e meus irmãos, pelo eterno apoio incondicional.

Aos meus Professores do curso de pós-graduação pelas oportunidades de vislumbrar novos conhecimentos.

Aos amigos que, direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

À UNESP, instituição que teve e tem profunda importância em minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	5
4 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	8
4.1 Fundamentos	8
4.2 Estudos de Impacto Ambiental (EIA)	14
4.3 O modelo proposto	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
7 CONCLUSÕES	66
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTAS DE QUADROS

Quadro		Página
1	Níveis de água à montante.....	46
2	Níveis de água à jusante.....	50
3	Vazões na comporta.....	54
4	Valores comparativos de vazões de água no modelo.....	60

LISTAS DE FIGURAS

Figura		Página
1	Vista em corte de uma tomada de água típica.....	11
2	Planta do modelo proposto	34
3	Projeto da comporta e das bóias.....	35
4	Chapas de acrílico cortadas e lixadas.....	36
5	Partes das chapas de acrílico cortadas.....	36
6	Primeira etapa de construção do modelo proposto	37
7	Teste de estanqueidade dos compartimentos.....	37
8	Tubulação e conexões de PVC utilizadas no modelo.....	38
9	Conjunto comporta, suporte e bóias.....	39
10	Régua para leitura dos níveis de água.....	40
11	Simulação de funcionamento do modelo.....	40
12	Evolução do reservatório à montante da comporta.....	49
13	Evolução do reservatório à jusante da comporta	53
14	Vazões de água na comporta.....	58
15	Médias das vazões de água encontradas.....	59
16	Gráfico comparativo entre o vertedouro fixo e o sistema proposto..	63
17	Vazões calculadas para um protótipo	64

1 RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal propor e avaliar a construção de um dispositivo mecânico automático para regularização de fluxo em tomadas de água em reservatórios, principalmente para fins de abastecimento, alimentação de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), sistemas de irrigação, controle de enchentes e escadas para piracema.

Desde os primórdios da civilização, os métodos de captação de água em seus cursos naturais vêm se aprimorando, a fim de melhor aproveitar os recursos disponíveis e, neste aprimoramento constante equipar os sistemas de maior precisão operacional.

Um dos maiores problemas que afetam os sistemas de tomada de água é a grande variação do nível nos reservatórios devido à sazonalidade das chuvas e respectivas secas e enchentes.

Atualmente, este problema é contornado nos grandes reservatórios por meio da observação das chuvas em toda a bacia de contribuição e controles automáticos do nível de água nos reservatórios, abrindo e fechando as comportas dos vertedores. Este sistema é bem

sofisticado e funciona muito bem, operando inclusive em sincronia com os sistemas de controle de outros reservatórios à montante e à jusante.

Porém, em pequenos reservatórios utilizados para abastecimento, irrigação ou pequenas centrais hidrelétricas, este seria um sistema muito oneroso e sofisticado.

Assim, este trabalho propõe a utilização de um sistema de regulação mecânico automático simples e de baixo custo para regularização da vazão nas tomadas de água e outros lugares onde se fizerem necessários os controles de vazões.

2 SUMMARY

This research has as main objective to propose and to evaluate the construction of an automatic device for flow regularization in sockets of water in reservoirs, mainly for ends of provisioning, feeding of Small Hydroelectric Plan (SHPs), overhead irrigations, control of inundations and stairways of fish for shoal.

Since the origin of civilization, the methods of reception of water in their natural courses are coming perfecting, in order to take better advantage of the available resources and, in this constant refinement to equip our systems of larger operational precision.

One of the largest problems that affect the systems of impounding of water is the great variation of the level in the reservoirs due to seasonal rains and respective droughts and inundations.

Nowadays, this problem is solved in the great reservoirs through the check of rains in the whole contribution basin and automatic controls of the level of water in the reservoirs, opening and closing the floodgates of the drains. This system is very sophisticated and it works very well, operating also together with the systems of control of other reservoirs to amount and the downstream.

However, in small reservoirs used for provisioning, irrigation or small central hydroelectric, this would be a very onerous and sophisticated system.

So, this research proposes the use of a simple hydro-mechanic system and of low cost for regularization of the flow in the capitation point of water and other places where controls of flows might be necessary.

3 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Desde o início da civilização o homem desfruta e convive com os recursos hídricos de nosso planeta. Esta convivência é tão necessária que se pode afirmar que a própria vida não é viável sem a água.

Assim, o desenvolvimento da humanidade ocorreu concomitantemente com as técnicas hidráulicas, tais como poços, canais, reservatórios, aquedutos, tubulações, etc.

Ao desviar a água de seu curso normal, por meio de canais e comportas rudimentares o homem promoveu a irrigação de suas lavouras, aumentando sua produtividade.

Desde então, os métodos de captação de água em seus cursos naturais vêm se aprimorando, afim de melhor aproveitar os recursos disponíveis e, neste aprimoramento constante, equipar nossos sistemas com maior precisão operacional.

Um dos maiores problemas que afetam os sistemas de tomada de água é a grande variação de nível de água, devido à sazonalidade das chuvas e respectivas secas e enchentes.

A construção de diques e barragens foi a primeira forma de regularizar o abastecimento de sistemas hidráulicos.

Nesses sistemas, a vazão utilizada é equivalente à mínima vazão do rio, e todo o excedente, quando há, é vertido pelo sistema vertedor, que consiste numa crista de material não erodível instalada no nível em que se deseja que permaneça o espelho do lago formado pelo represamento. Desta forma, quando houver excesso de água, o espelho se eleva e extravasa por esta crista.

Assim, quanto maior a enchente, maior a altura da lâmina de água no vertedor, trazendo uma oscilação no nível de água no reservatório. Esta variação de nível de água, embora bem menor que a que se encontraria na ausência da barragem, é prejudicial aos sistemas de tomada de água.

Atualmente, esse problema é contornado nos grandes reservatórios pelo monitoramento de chuvas em toda a bacia de contribuição e controles automáticos do nível de água nos reservatórios, abrindo e fechando as comportas dos vertedouros. Esse sistema é bem sofisticado e funciona muito bem, operando inclusive em sincronia com os sistemas de monitoramento de outros reservatórios à montante e à jusante e, conjuntamente, são capazes de regularizar a vazão do rio permitindo que seus sistemas hidrelétricos operem próximos da vazão média disponível, conseguindo uma regularização de ciclos sazonais de vários anos.

Porém, em pequenos reservatórios utilizados para irrigação ou pequenas centrais hidrelétricas, esse seria um sistema muito oneroso e sofisticado. Os sistemas manuais de controle são mais freqüentes nas pequenas centrais hidrelétricas.

Embora a construção de barragens para captação de água para abastecimento, irrigação ou geração hidrelétrica em pequenas centrais não tenha a função principal de acumulador, é necessário que tenha uma função reguladora mínima, que concilie as variações de oferta e de demanda

de água. Isso pressupõe uma variação no nível do reservatório para amortecer estas discrepâncias entre entrada e saída de água no sistema.

Outra utilidade para um regulador de vazões é a dosagem de saída de água dos reservatórios para evitar enchentes, conhecidos por “piscinões”.

A própria construção de barragens trouxe a necessidade de construção das escadas de peixes para que esses, durante a piracema, possam transpor aquela barreira. A escada de peixes por sua vez, também depende de bons reguladores de vazão para funcionar independentemente da oscilação do nível de água do reservatório. Desta forma, o dispositivo proposto também pode atuar como elemento importante para perenizar o funcionamento das escadas de peixes e assim minimizar o impacto ambiental da construção de barragens nos cursos de água.

Observa-se assim que a variação do nível da água nos pontos de captação é um problema constante para os projetos hidráulicos. Deste modo, este trabalho tem como objetivo principal propor e avaliar a construção de um dispositivo automático para regularização de fluxo em tomadas de água em reservatórios, principalmente para fins de abastecimento, alimentação de pequenas centrais elétricas (PCH), sistemas de irrigação, controle de enchentes e escadas de peixes na piracema.

4 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

4.1 Fundamentos

4.1.1 Barragem

Segundo a ELETROBRÁS (1985a), barragem é a estrutura componente do aproveitamento destinada a criar um desnível hidráulico localizado para facilitar a tomada de água.

A barragem cria um reservatório de água que serve também para regularizar o fornecimento de água ou adequá-lo à demanda, dessa forma, quanto maior o período de utilização que se pretende regularizar, maior será o lago formado.

Segundo Hasegawa (1999) as barragens podem ser feitas de madeira, terra, alvenaria e borracha entre outros materiais.

Grandes barragens podem ser executadas compondo-se materiais mais baratos como a terra, com alvenaria ou concreto, instalando neste último seus vertedores e tomadas de água.

4.1.2 Vertedor ou sangradouro

Também conhecido como extravasor, serve para o extravasamento do excesso de água afluente ao reservatório do aproveitamento.

Segundo a ELETROBRÁS (1985a), de forma geral, nas PCHs pode-se considerar dois tipos básicos de solução para extravasamento.

1) Extravasamento por canal lateral, com fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio.

2) Extravasamento por sobre o próprio corpo da barragem, ao longo de toda a crista ou parte dela.

Azevedo Netto (1977) classifica os vertedores da seguinte forma:

1) Quanto à forma:

- a) Simples (retangulares, triangulares, trapezoidal, etc.).
- b) Composto (composição de várias formas geométricas).

2) Quanto à altura da soleira:

- a) Livres.
- b) Afogados.

3) Natureza da soleira:

- a) Soleira delgada.
- b) Soleira espessa.

4) Natureza da parede:

- a) Com contrações laterais.
- b) Sem contrações laterais.

4.1.3 Tomada de água

Segundo Simone (2000), denomina-se Tomada de Água o conjunto de componentes e dispositivos que direcionam, seccionam e conectam o reservatório à tubulação de pressão ou canalização de pressão, incluindo aqui, tomada de água com saída para canais abertos.

Entre os órgãos que compõem a tomada de água, encontram-se:

- a) Canalização de entrada ou bocal.
- b) Grades de prevenção e proteção.
- c) Montantes ou trilhos das comportas de emergência (“stop–log”) e de serviço.
- d) Quando a adução é feita com o uso de canais revestidos ou tubulação, é instalado na tomada de água um desarenador ou tanque de decantação.

Conforme a ELETROBRÁS (1985-a), a tomada de água deve ser dimensionada para prover a captação da vazão requerida para motorização completa da usina funcionando a plena carga.

Conforme a ELETROBRÁS (1999), a estrutura de tomada d’água deve ser localizada, sempre que possível, junto à margem do reservatório, ao longo de trechos retos. Nos trechos em curva, a tomada d’água deve ser posicionada do lado côncavo, pois os sedimentos transportados pelo escoamento, na maior parte, se depositam na parte convexa e é composta de:

a) Desarenador

O desarenador é uma câmara posicionada a montante da estrutura da tomada d’água, destinada à decantação da totalidade ou parte do material sólido grosso, com granulometria compreendida entre 0,1 mm e 10 mm, transportado pelo escoamento.

b) Grade

A grade, no paramento de montante da tomada de água, visa impedir a entrada de corpos flutuantes que possam danificar os equipamentos.

Quando o paramento de montante é inclinado, a grade obedece à mesma inclinação, normalmente, de 75° a 80° . Para as PCHs, pode-se adotar, como padrão, grades com barras chatas ou redondas, espaçadas de 8 a 12 cm.

A Figura 1 mostra a vista em corte de uma tomada de água típica das pequenas centrais hidrelétricas (ELETROBRÁS, 1999), note-se a variação de nível de água prevista no projeto.

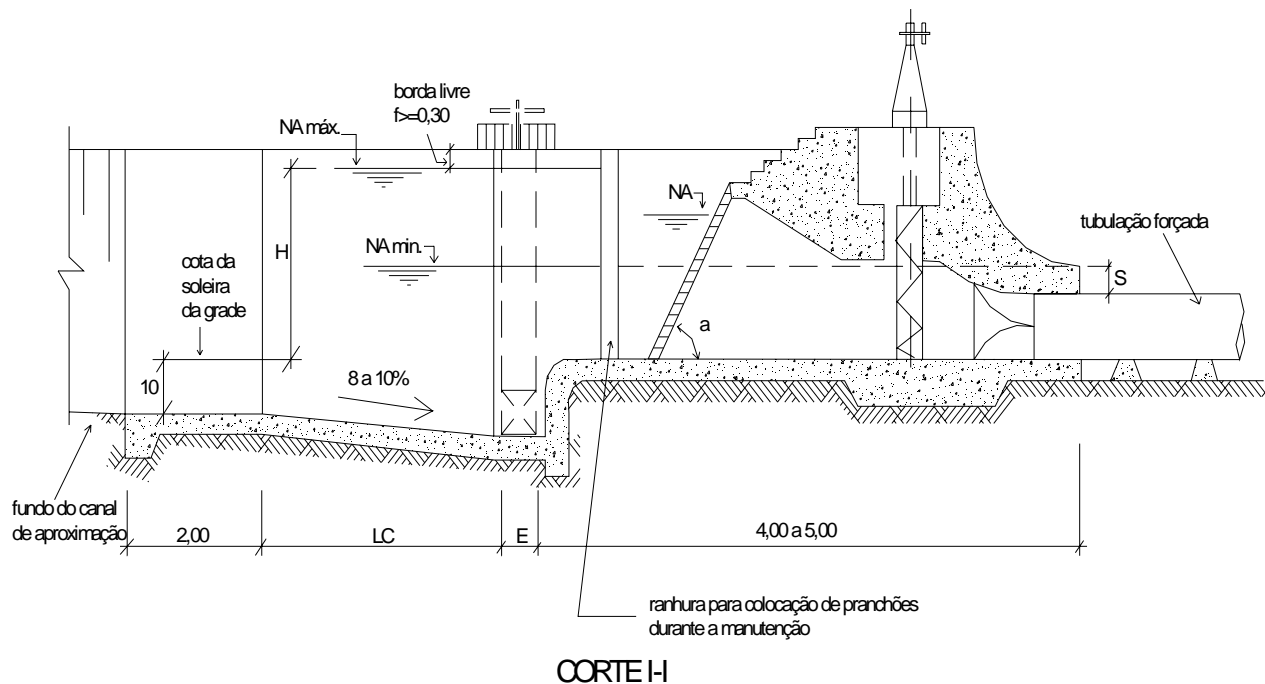


Figura 1: Vista em corte de uma tomada de água típica.

4.1.4 Comportas

A ELETROBRÁS (1999) define as comportas, o material de que são feitas, as guias e a vedação e seu acionamento como segue:

As comportas hidráulicas são previstas com o objetivo de bloquear uma passagem hidráulica, podendo operar normalmente fechadas ou normalmente abertas, de acordo com sua função.

As comportas que auxiliam a inspeção e a manutenção das estruturas civis, como canal de adução, tubulação de baixa pressão e passagens hidráulicas da Casa de Força, permanecem normalmente abertas, isto é, fora de operação.

As comportas de desarenação ou limpeza têm a função de permitir, por ocasião de sua abertura, a eliminação de areia ou qualquer outro material decantado no fundo do reservatório. Em geral, são comportas de pequenas dimensões, porém sujeitas a pressões consideráveis, por estarem situadas próximas ao fundo do reservatório e operam normalmente fechadas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000), indica diretrizes para a seleção de comportas e fornece, em forma de tabelas, um dimensionamento preliminar da estrutura das mesmas.

a) Material

Segundo a ELETROBRÁS (1999), as comportas podem ser construídas utilizando-se ferro fundido, aço ou madeira. As comportas de madeira são de construção simples, porém o seu custo está relacionado à dificuldade crescente em se obter madeira de boa qualidade. As madeiras empregadas na fabricação das comportas devem possuir boa resistência ao tempo e à umidade, a fim de evitar o apodrecimento prematuro.

As comportas de ferro fundido são comportas pesadas, padronizadas por alguns fornecedores, porém de uso limitado.

Normalmente, são previstas para suportar colunas d'água de até 10 metros sobre a soleira.

As comportas de aço são de construção leve, baixo custo e de grande durabilidade. Necessitam ser protegidas por adequada pintura, principalmente na linha d'água onde a agressividade da corrosão é maior.

b) Guias e vedação

As comportas são guiadas em seu movimento de subida e descida por perfis metálicos, chumbados ao concreto nas extremidades laterais. A vedação, se possível, deve ser feita com perfis adequados de borracha sintética sobre quadro de aço inoxidável, o que garante um baixo índice de vazamento.

c) Acionamento

A ELETROBRÁS (1999) prevê que para pequenas comportas, o acionamento poderá ser feito manualmente, por meio de haste de aço com rosca ligada à comporta e movimentada por pinhão ligado a um volante, sendo o conjunto fixado na travessa superior de armação.

É, também, possível a utilização de talha movida a corrente ou mesmo talha elétrica, desde que a instalação completa esteja dentro das disponibilidades orçamentárias. É importante considerar o fato de que as comportas são elementos acessórios, não tendo influência direta na produção da usina. No entanto, a rapidez na manutenção implica diminuição do tempo ocioso ou improdutivo da usina. Assim, durante o projeto, deve ser feita uma comparação entre o investimento inicial necessário e os benefícios obtidos na eletrificação do acionamento das comportas.

4.1.5 Canal aberto

São canais geralmente escavados no solo à jusante da barragem e ligam a tomada de água à câmara de carga.

Geralmente, os canais não recebem revestimento, a não ser em caso de solos muito porosos, devido ao custo que isto significaria, uma vez que é comum estes canais percorrerem algumas centenas de metros.

Segundo a ELETROBRÁS (1985), os canais podem ser escavados em solo ou rocha, podem ser revestidos ou não, conforme a necessidade, optando sempre pela alternativa de menor custo.

Quanto mais longo o canal aberto, melhor deve ser seu vertedor à jusante, pois este será responsável pela redução dos efeitos causados por manobras nas comportas instaladas à jusante.

4.2 Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

4.2.1 Fundamentos

Segundo Balarim (2001), atualmente os estudos de impacto ambiental são uns dos mais complexos que envolvem a instalação de uma PCH, e são proporcionais ao tamanho do aproveitamento, do vulto de suas obras e do grau de interferência do empreendimento no ambiente tanto durante a implantação como no período de operação.

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é um levantamento multidisciplinar que avalia impactos positivos e negativos da instalação e operação de um empreendimento em uma determinada área. No caso específico da instalação de uma PCH, são estudados impactos econômicos, ecológicos, sociais, culturais, históricos, de trânsito, climáticos e todos os demais impactos que se puder prever, com a finalidade

de minimizar os efeitos negativos e maximizar os positivos durante a implantação e posteriormente quando em operação da PCH.

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) é um documento confeccionado a partir dos resultados do EIA, preferencialmente utilizando linguagem acessível, que será utilizado para apresentar o resumo dos dados levantados e das conclusões para órgãos públicos e para sociedade de um modo geral.

Segundo a ELETROBRÁS (1999), uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) é aquela cuja potência instalada, não exceda 30 MW, em condições prefixadas em lei.

A legislação ambiental evoluiu, com o estabelecimento de regras e normas mais adaptadas à realidade brasileira. Dessa forma, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01/86, de 23.01.86, que exigia a elaboração de estudos detalhados, em forma de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para *“usinas de geração de eletricidade... acima de 10 MW”* (inciso XI do Artigo 2º), sofreu mudanças em 19.12.97, pela Resolução CONAMA 237/97, que, em seus Artigos 2º, 3º e 12º, deixa a critério do órgão ambiental licenciador a decisão quanto aos casos em que serão necessários estudos detalhados ou simplificados.

Para as usinas hidrelétricas, não há mais, portanto, o limite de 10 MW para a isenção de apresentação de EIA/RIMA, mas, sim, a consideração, a ser feita pelo órgão ambiental, de que o empreendimento é ou não *“potencialmente causador de significativa degradação ao meio ambiente”*, podendo *“ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental.”*

O primeiro passo é a realização de uma avaliação prévia do empreendimento, com levantamentos e análises que permitam indicar a viabilidade ambiental ou não da PCH. Se ela, em princípio, não for considerada inviável, passa-se a uma segunda etapa, de Estudos Preliminares, que culmina com um documento que, em diversos Estados, é

conhecido como Relatório de Avaliação Preliminar ou Relatório Ambiental Preliminar (RAP). Esse documento deve ser encaminhado ao órgão ambiental, para que este decida, como estabelece a Resolução 237/97, do CONAMA, sobre a necessidade de elaboração de um EIA/RIMA ou de um documento similar mais simplificado.

O passo seguinte deverá ser a elaboração de um novo documento, o Projeto Básico Ambiental (PBA), ou seu similar simplificado, conforme o caso, a partir de cuja aprovação se obterá a Licença de Instalação (LI) que autoriza o início das obras.

A Resolução CONAMA 237/97, de 19.12.97, deixa a critério do órgão ambiental licenciador a exigência quanto à profundidade dos estudos, caso por caso. Por isso, poderá ser determinada a apresentação de um PBA detalhado, um Plano de Controle Ambiental (PCA) geralmente mais simplificado ou até mesmo um documento complementar, em relação aos estudos que deram origem à Licença Prévia (LP).

A experiência nacional indica que, pelo menos, duas atividades são quase sempre exigidas: a de recuperação das áreas degradadas pelas obras e a de comunicação social, na qual se procede à adequada integração sociedade-empendedor.

O impacto ambiental potencial será primeiramente levantado nos estudos preliminares.

4.2.2 Estudos preliminares

Esta fase é de grande importância, pois, a partir dos levantamentos e análises previstos, se poderá avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento e decidir sobre a continuação dos estudos.

a) Levantamentos:

Inicialmente, deverão ser levantados todos os dados e informações sobre as características técnicas então disponíveis sobre o

empreendimento, abrangendo um arranjo preliminar das obras, a prefixação do nível d'água máximo normal de operação e a conseqüente área de inundação relativa ao reservatório a ser criado.

Posteriormente, já de posse de plantas preliminares com locação das obras de barramento e das obras de adução, além de mapas com a delimitação do reservatório, deverá ser feito um reconhecimento de campo. Nesse trabalho, deverão ser feitas anotações de aspectos importantes da região, como a população e as benfeitorias a serem diretamente afetadas, o grau de conservação dos ecossistemas (observações visuais e informações de moradores), a infra-estrutura existente e o zoneamento regional, com a definição das áreas rurais, urbanas, residenciais, industriais, de expansão, etc.

De forma associada com os estudos de engenharia, deverão ser também levantados dados sobre hidrologia, climatologia, geologia, recursos minerais e usos múltiplos atuais e previstos (se existirem) dos recursos hídricos disponíveis. Deverão ser localizadas as indústrias e cidades que no rio jogam seus despejos, bem como o uso do solo na região, visando a análise de problemas associados à qualidade da água e ao assoreamento.

b) Análise:

A análise preliminar a ser realizada terá por objetivo a identificação dos aspectos que poderão dificultar ou até mesmo inviabilizar a implantação e operação do empreendimento. Esses aspectos abrangem impactos do empreendimento sobre o meio ambiente e vice-versa.

Dentre esses aspectos, os projetos de PCH devem evitar, face à provável inviabilização ambiental ou ao possível acréscimo nos custos de implantação do empreendimento:

- Inundação de terras indígenas, só viável após ampla e demorada discussão do assunto e edição de permissão do Congresso Nacional.

- Inundação de áreas de quilombos e necessidade de possível relocação, também só possível com autorização do Congresso Nacional.

- Inundação de áreas de preservação ambiental legalmente constituídas, como, por exemplo, Parques Nacionais e outras Unidades de Conservação da Flora e da Fauna, além de ecossistemas importantes, como a Mata Atlântica e o Pantanal Matogrossense.

- Inundação de áreas onde haja aglomerações urbanas ou comunidades rurais que, por isso, necessitarão de relocação.

- Reservatórios onde o zoneamento regional ou municipal prevê áreas de expansão urbana ou de conservação ambiental, como as que ficam a montante de mananciais para futuro abastecimento d'água.

- Eliminação de patrimônios naturais, como corredeiras onde haja intensa e histórica prática esportiva, como a de canoagem, ou cachoeiras e trechos de rios onde haja muitas atividades turísticas ou de lazer na região.

- Onde houver sensíveis prejuízos para outros usos considerados mais importantes, como abastecimento d'água e irrigação, por exemplo.

- Áreas tombadas por órgãos de defesa do Patrimônio Histórico, Cultural, Arqueológico e Paisagístico.

- Áreas de exploração de minerais estratégicos;

- Inundação de locais tipo cemitérios, considerados sagrados pela população local.

- Inundação de áreas cársticas, identificadas como patrimônio espeleológico.

Após a constatação de que o empreendimento é ambientalmente viável, deverá ser elaborado um documento com um estudo preliminar (RAP), a partir do qual o órgão ambiental definirá a necessidade e o nível de elaboração dos estudos ambientais.

O documento inicial exigível tem escopo variável, em função do órgão que o irá analisar. Em geral, esse documento acompanha o requerimento de Licença Prévia (LP) da usina e se consubstancia em:

- Ficha própria do órgão ambiental licenciador, na qual são informadas as características técnicas do empreendimento, um pré-diagnóstico ambiental, uma avaliação preliminar dos impactos e das medidas mitigadoras; ou
- Relatório Ambiental Preliminar (RAP) ou similar.

c) RAP – Relatório Ambiental Preliminar:

A partir de uma análise preliminar das características do projeto e das especificidades ambientais da área de sua implantação, duas situações básicas deverão ser consideradas, nos estudos a serem realizados, envolvendo usinas cuja implantação e operação provocam ou não efeitos ambientais significativos. Normalmente, demandam maior esforço de avaliação de impactos ambientais as usinas cujos projetos contemplam desvios por canais ou túneis que afetem o fluxo normal a jusante do barramento, onde há o problema da exigência legal de uma vazão remanescente mínima. Em cada uma dessas situações, deverão ser feitas as avaliações preliminares de impactos e medidas mitigadoras/compensatórias, conforme as características particulares de cada empreendimento, em área já bastante degradada ou não, com grandes ou pequenas dimensões do reservatório, com problemas associados à presença de peixes de piracema e às correspondentes rotas migratórias, etc.

O grau de aprofundamento dos estudos, decisão essa do órgão ambiental, será função da consideração de todos esses fatores. Quanto mais completo, objetivo e claro for o RAP, maior será a possibilidade de uma decisão mais rápida e mais acertada do órgão ambiental com relação ao prosseguimento dos estudos.

O RAP deverá ser basicamente composto por:

- Justificativas do Empreendimento.

- Caracterização do Empreendimento, com os dados disponíveis sobre a usina e o reservatório associado.
- Diagnóstico Ambiental Preliminar, com os principais aspectos físicos, bióticos e antrópicos da região já levantados.
- Identificação Preliminar dos Impactos.
- Prováveis Medidas Mitigadoras e Programas Ambientais.

4.2.3 Estudos simplificados

a) Estudos básicos

Os estudos ambientais simplificados, para os casos em que o órgão ambiental, de antemão, considerar que o empreendimento não causará sérios danos ambientais, compreendem a realização de uma série de atividades específicas, as quais deverão levar em consideração a realidade ambiental em que o aproveitamento proposto se enquadra.

Em outras palavras, os estudos deverão preocupar-se em desenvolver análises coerentes com as reais interferências do empreendimento, e não análises meramente genéricas, às vezes sem utilidade prática. Reconhece-se também que a significância dos impactos sobre o meio ambiente local e deste sobre o empreendimento determinará o nível de detalhamento dos estudos ambientais.

Esses estudos ambientais deverão fornecer subsídios tanto para a concepção geral do aproveitamento, inserindo, muitas vezes, importantes conceitos no projeto de engenharia, como para a harmonização ambiental do empreendimento na região de sua implantação.

Tendo em vista tais preceitos, o documento a ser produzido deverá ser reconhecido como uma importante ferramenta de gestão ambiental do empreendimento, e não somente como uma peça no processo de licenciamento ambiental. As diretrizes nele apresentadas,

portanto, deverão ser incorporadas e aprofundadas quando do detalhamento dos Programas e implementadas na fase de construção, podendo, muitas vezes, ter continuidade na fase de operação.

Fazem parte do conjunto de procedimentos que constituem os estudos: a caracterização do empreendimento, o diagnóstico ambiental da região onde este será inserido, a identificação e análise dos impactos ambientais nas fases de projeto, construção e operação, a proposição de medidas mitigadoras e/ou compensatórias dos impactos negativos ou de maximização dos benefícios relativos aos impactos positivos e os programas ambientais, de acordo com as etapas comentadas a seguir.

Cabe ressaltar que as recomendações aqui apresentadas estão coerentes com as que foram fixadas pelo ELETROBRÁS (1997).

b) Definição das áreas de influência

Entendem-se como Áreas de Influência os diferentes espaços geográficos nos quais serão sentidos os impactos diretos e indiretos do empreendimento nas fases de implantação e de operação. A sua delimitação é peça-chave nos estudos, uma vez que somente a partir de seu reconhecimento é que será possível orientar as diferentes análises temáticas, bem como a intensidade dos impactos a serem provocados pelo empreendimento.

Na delimitação das diferentes áreas de estudo, recomenda-se levar em consideração, dentre outras, as seguintes variáveis:

- Características e abrangência do projeto (área do reservatório, canteiro de obras, áreas de empréstimo e de bota-fora, acessos, acomodação da mão-de-obra, etc.);
- Bacia hidrográfica.
- Características específicas da região.
- Alternativas de localização de barramentos.

- Possíveis interferências ambientais no trecho do rio a jusante do empreendimento.
- Possíveis interferências com comunidades e suas atividades no entorno do barramento e do reservatório, inclusive nas vias de comunicação.
- Legislação ambiental pertinente, principalmente no que se refere à delimitação da faixa de preservação permanente ao longo do reservatório.

Levando em consideração essas variáveis, deverão ser, desta forma, definidas duas áreas de estudo, a Área de Influência (AI) e a Área Diretamente Afetada (ADA), incluindo esta última o seu entorno. Esse tratamento é simplificado, podendo ser mantido no caso de exigência de estudos completos, ou alterado, a critério do órgão ambiental licenciador. Os órgãos estaduais, em particular, adotam essas ou outras nomenclaturas.

Considera-se como Área Diretamente Afetada aquela cuja abrangência dos impactos incide diretamente sobre os recursos naturais e antrópicos locais. Normalmente, a ADA abrange a região de intervenção direta, necessária à implantação do empreendimento e o seu entorno (barramento e casa de força, reservatório, acessos, canteiros, alojamentos da mão-de-obra, bota-fora e áreas de empréstimo).

Por sua vez, a Área de Influência abrange a região onde, indiretamente, são sentidos os impactos do empreendimento. Essa Área, normalmente, compreende o conjunto ou parte de municípios que terão suas terras afetadas, bem como a área da bacia hidrográfica que, independentemente do recorte municipal, se caracteriza como o cenário potencial de processos naturais ou sócio-econômicos e que, de alguma forma, podem interferir ou sofrer interferências do aproveitamento. Diversos exemplos podem ser citados, como a criação de expectativas, a contratação de mão-de-obra local ou regional, o incremento das atividades comerciais, o aumento do tráfego, a utilização de serviços em cidades próximas sobrecarregando a infra-estrutura da região etc..

Os levantamentos e análises temáticas deverão ser diferenciados para cada uma das duas Áreas, sendo necessária, na ADA, a realização de investigações mais aprofundadas, uma vez que nela se verificarão os principais impactos.

A delimitação das áreas deverá ser apresentada em mapas com escalas adequadas, onde se deverá indicar que o projeto não contraria as leis locais de uso do solo, nem interfere com planos governamentais, especialmente municipais, de desenvolvimento.

c) Caracterização do empreendimento

A caracterização do empreendimento deverá ser feita tendo como base os documentos de engenharia produzidos. Este tópico deverá conter informações técnicas sobre o projeto, apresentadas de uma forma consolidada e de fácil leitura.

Como conteúdo básico, os seguintes itens deverão estar relacionados:

- Identificação do empreendedor.
- Localização e acessos.
- Justificativas para a implantação do empreendimento.
- Características básicas do empreendimento, tais como dados técnicos de projeto, aspectos do processo construtivo, cronograma das obras e dimensionamento da mão-de-obra necessária para todas as fases e custos.

4.2.4 Diagnóstico ambiental

O desenvolvimento do Diagnóstico Ambiental deverá considerar a natureza e o porte do aproveitamento, a localização prevista, a relevância dos fatores ambientais e os critérios exigidos pelo órgão ambiental, devendo ser realizado em dois níveis de abordagem: um

referente à Área de Influência e, o outro, de caráter específico, referente à Área Diretamente Afetada e ao seu entorno.

Por outro lado, o Diagnóstico Ambiental deverá ter abrangência e profundidade suficientes para permitir uma consistente avaliação de impactos e definir corretas estratégias de gestão ambiental nas fases de projeto, construção e operação do empreendimento. Além disso, ele deverá permitir a identificação de zonas de fragilidade ambiental, bem como de áreas degradadas e que podem influir na vida útil do empreendimento.

Levando-se em consideração as Áreas de Influência, bem como as características básicas do projeto, o diagnóstico se inicia pelos levantamentos ambientais. As diretrizes a seguir apresentadas para cada tema deverão ser adaptadas a diferentes arranjos de projeto, incluindo ou excluindo atividades conforme as situações encontradas.

Cabe destacar que o diagnóstico deverá refletir o trabalho interdisciplinar da equipe técnica, analisando as interações dos diversos componentes físicos, biológicos e antrópicos. Estes trabalhos deverão ser desenvolvidos conforme as seguintes etapas:

1) Levantamento de dados

Os levantamentos deverão se concentrar, principalmente, na identificação das principais interferências que o empreendimento deverá provocar sobre os diferentes recursos naturais e sócio-econômicos da Área Diretamente Afetada e vice-versa. No caso da Área de Influência, os estudos deverão, na maioria dos casos, concentrar-se no levantamento de dados secundários.

As informações deverão ser, o máximo que possível, especializadas, utilizando bases em escalas compatíveis com os níveis dos estudos e com o material cartográfico disponível (mapas, fotos aéreas, imagens de satélites, etc.).

2) Meio físico – diagnóstico

a) Climatologia e Hidrologia

- Caracterização do clima, com relação a: precipitação (médias anuais e mensais), temperatura (médias mensais, máximas e mínimas absolutas), umidade relativa, evapotranspiração e balanço hídrico. Esses dados poderão ser obtidos a partir dos estudos de engenharia.

- Avaliação dos recursos hídricos, identificando possíveis ações nas bacias e sub-bacias que possam interferir no empreendimento, assim como ações do aproveitamento sobre o meio ambiente existente. É importante também que se identifiquem os conflitos existentes ou potenciais nos diferentes usos da água (abastecimento, irrigação, lazer, belezas cênicas, etc.).

- Caracterização da drenagem atingida quanto ao transporte de sedimentos, se já há bancos de areia ou ilhas em formação, para verificação da tendência existente quanto ao assoreamento, natural ou provocado por ações antrópicas a montante.

- Com relação à água, deverão ser identificadas as fontes poluidoras, bem como reconhecida a sua qualidade em relação às atividades que se desenvolvem na bacia (índice de qualidade da água). O reconhecimento desse parâmetro é de fundamental importância, uma vez que, ao cruzar essas informações com dados do empreendimento (tempo de residência) e a carga orgânica a ser inundada (biomassa vegetal, pocilgas, fossas, etc.), será possível obter um cenário futuro das condições de qualidade da água do reservatório a ser criado. Deverão ser cruzadas, também, as informações da qualidade da água com as características geológicas da região, para detecção de problemas de ferro na água, pH alto, etc., que afetem as máquinas.

b) Geologia, Geomorfologia, Recursos Hídricos, Recursos Minerais, Pedologia, Uso do Solo e Aptidão Agrícola

- Avaliação dos indicadores geológicos e geomorfológicos que permitam a obtenção de informações sobre a estabilidade dos terrenos, suscetibilidade a sismos, presença de aquíferos e a interferência sobre recursos minerais.

- Avaliação e mapeamento das unidades pedológicas sob a ótica de sua suscetibilidade à erosão, aptidão agrícola e uso atual. Nessa análise, é importante que se consolidem as diversas incompatibilidades entre o uso potencial e atual dos solos da bacia hidrográfica, visando o fornecimento de subsídios para possíveis programas de controle e/ou melhoria desse uso na bacia, aumentando, desta forma, a vida útil do empreendimento.

- Elaboração de Mapas de Uso e Ocupação do Solo, tanto para a AI quanto para a ADA.

3) Meio biológico - diagnóstico

O diagnóstico do meio biológico deverá ter como ponto central a caracterização e o mapeamento das possíveis interferências do empreendimento sobre as comunidades florística e faunística locais. Para tanto, os seguintes aspectos deverão ser considerados:

- Descrição das fitofisionomias naturais em seus vários estágios de desenvolvimento, principalmente as localizadas na Área Diretamente Afetada (ADA).

- Mapa da cobertura vegetal atual da ADA, incluindo as tipologias identificadas (expressas em percentual), comparando-a com a situação da cobertura vegetal da Área de Influência.

- Identificação, a partir de dados secundários e indiretos (entrevistas), das espécies características da fauna terrestre local,

verificando a existência de espécies raras, endêmicas e/ou ameaçadas de extinção.

- No caso da ADA, deverão ser identificados os principais habitats e sua fauna associada.

- Para a fauna aquática, deverão ser identificados aspectos básicos da estrutura das comunidades e deverá ser feito o reconhecimento das exigências ambientais das espécies inventariadas (migração reprodutiva, associação com mata ciliar, condições físico-químicas da água, etc.).

- Análise das Unidades de Conservação existentes na região, destacando o seu estado de manutenção, dimensões, situação jurídica, fundiária, etc..

4) Meio antrópico – diagnóstico

a) Prevê-se a realização dos seguintes estudos:

- Reconhecimento do perfil da população da Área Diretamente Afetada, a partir da aplicação de um questionário específico, e da situação fundiária das propriedades a serem afetadas.

- Caracterização dos planos e programas governamentais para a região (objetivos, instituições e recursos envolvidos, cronograma de implantação, etc.), identificando possíveis conflitos com o aproveitamento ou mesmo reconhecendo eventuais participações do empreendedor a partir de programas de compensação.

- Identificação dos formadores de opinião na área de estudos e das organizações sociais existentes e, a partir daí, reconhecimento do nível de aceitabilidade do projeto na região;

- Identificação das lideranças, pela aplicação de um questionário, e dos legítimos interlocutores com que o empreendedor negociará.

- Formulação, através de processo interativo com os diversos atores sociais envolvidos, de critérios gerais para um eventual remanejamento de algumas famílias, considerando suas expectativas com relação ao empreendimento. Para tanto, deverão ser considerados aspectos como as relações das pessoas a serem diretamente atingidas com a terra em que vivem.

- Caracterização da infra-estrutura regional, em especial para atender às necessidades, durante o período de obras, de hospitais, comércio, alojamentos em vilas ou cidades, acessos, etc..

- Levantamento e análise de problemas associados a interferências com atividades minerárias, patrimônios culturais, históricos, arqueológicos e turísticos, dentre outros.

Esta fase deverá permitir o conhecimento e interação suficientes para a formulação de critérios de remanejamento e negociação nas etapas futuras de planejamento. A participação da população e o reconhecimento de seus representantes são fatores básicos para a viabilização do aproveitamento.

b) Inserção do empreendimento, identificação e avaliação dos impactos

A identificação e a análise de impactos se iniciam a partir do resultado do cruzamento dos elementos de projeto com o Diagnóstico Ambiental realizado. A partir daí, deverão ser elaboradas as previsões e avaliadas as respectivas grandezas dos impactos.

A identificação deverá abranger, distintamente, as diversas fases de implantação do empreendimento, ou seja, o planejamento, a construção, o enchimento do reservatório, a desativação do canteiro de obras e a operação da usina.

Quando possível, os impactos deverão ser espacializados, formando um “Mapa de Interferências”.

A integração das características do empreendimento com as características locais e regionais onde se pretende inseri-lo é fundamental para a adequada identificação e análise dos impactos. Uma usina com casa de força afastada da barragem tem impactos distintos de uma outra que é compacta. É muito importante, no primeiro caso, a análise, por exemplo, do que pode ocorrer no rio a jusante, em função de uma vazão reduzida por causa do desvio de águas para adução à casa de força afastada, por meio de um canal, um túnel ou uma tubulação.

4.2.5 Impacto ambiental na ictiofauna

A construção de barragens para diversos fins tais como geração hidrelétrica, irrigação e lazer, consiste numa barreira para os peixes migratórios que vivem nos rios brasileiros.

Conforme EPD (1986), estudos no rio Douro em Portugal atestam que as modificações no ecossistema de rio para lago nas barragens foram fatores de impacto ambiental, tanto como mudança de habitat como as barreiras interpostas, acrescentando que as espécies sedentárias não se prejudicariam tanto quanto as migradoras caso as escadas de peixes não fossem instaladas. A pesca é uma atividade muito antiga no rio, e muitas comunidades vivem desta atividade, representando assim um impacto antrópico econômico.

Segundo Martins (2000a), aproximadamente 20% de nossa ictiofauna é migratória, ou seja, migra entre a nascente e a foz durante a vida, nasce nas cabeceiras dos rios, descem o rio durante o crescimento, em direção a maior fartura alimentar da foz e retornam às nascentes, na migração conhecida como piracema, para reprodução.

A legislação ambiental vem exigindo cada vez mais a construção das escadas para peixes nos projetos de barragens para evitar o fim destas populações de peixes a montantes dos barramentos, como destaca Martins (2000b) e cita que a usina hidrelétrica de Piraju, instalada no rio

Paranapanema desde 1971 possui Sistema de Transposição de Peixes (STP) com desnível de 15m, e que a velocidade da água nestes equipamentos atinge 2,0m/s, sendo construídas de degraus com passagem de água superficial e orifícios no fundo.

Segundo Godoy (1992), um único casal de curimatás fornecem um milhão de óvulos fertilizados durante a piracema, e por uma escada de peixes passam milhares de peixes, enquanto uma grande estação de piscicultura para reposição consegue trabalhar com quatro milhões de ovos por ano.

Na Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Mota existe um elevador construído para peixes com finalidade semelhante a das escadas de peixes.

4.3 O modelo proposto

4.3.1 Conceito de modelo

Conforme Streeter (1971) o modelo é um protótipo construído em escala reduzida cuja finalidade é simular o funcionamento e avaliar o comportamento nas várias condições conhecidas ou esperadas em situação real. Atenta para a necessidade de conhecer os elementos de comparação para a devida validação dos dados encontrados no processo de simulação, principalmente quando o protótipo é executado em modelo reduzido, uma vez que as proporções adotadas convivem com grandezas que permanecem inalteradas, tais como a gravidade, a inércia, a viscosidade e a tensão superficial. O estudo destas diferenças e o cálculo de suas equivalências entre o modelo e o protótipo, construído em dimensões reais, será de grande valia para economizar tempo e investimento no estudo.

Para estudar estas equivalências, Streeter (1971) cita o Teorema dos Π de Buckingham.

4.3.2 Teorema dos Π de Buckingham

O Teorema dos Π de Buckingham determina que um problema físico em que intervenham “n” grandezas, nas quais hajam “m” dimensões fundamentais, estas grandezas podem ser agrupadas em n-m parâmetros adimensionais.

Sejam $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ as grandezas que intervêm, tais como pressão, viscosidade, velocidade, etc. Sabendo que todas as grandezas são essenciais à solução, entre elas deve haver uma relação funcional.

$$F(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = 0$$

Se $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots$ representam os grupos adimensionais das grandezas $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, então sendo “m” as dimensões independentes que intervêm, pode-se formular uma equação da forma,

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{n-m}) = 0$$

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

Foram utilizados os seguintes materiais neste trabalho:

a) Materiais para construção do modelo:

Chapas de acrílico com 4mm e 3mm de espessura, cola para acrílico, tubos de PVC, conexões de PVC, cola para PVC, elásticos, mangueira de borracha, registro de água $\frac{3}{4}$ ", conexões para mangueira, eixos de metal, parafusos, arruelas e porcas, estopa e polidor.

b) Equipamentos para medições e quantificações:

Trena de aço de 3m, régua de acrílico com 30cm, máquina fotográfica e filmadora digital com memória expandida e tripé regulável, calculadora, computador com periféricos, cronômetro, prancheta, papel e caneta, balança, mesa e sistema de iluminação.

c) Equipamentos para construção do modelo:

Furadeira, brocas, serra copo, lixa, esmeril, serra tico-tico, serra de arco, chave de fenda, seringa para aplicação de cola, chave fixa e morsa.

5.2 Métodos

5.2.1 O sistema proposto

O sistema proposto consiste em uma comporta, com regulagem de abertura fixada a um sistema de bóias, que oscilam juntamente com o nível de água do reservatório de captação, de modo a manter sempre a mesma lâmina de água na captação e, dessa forma, estabilizando a vazão na captação.

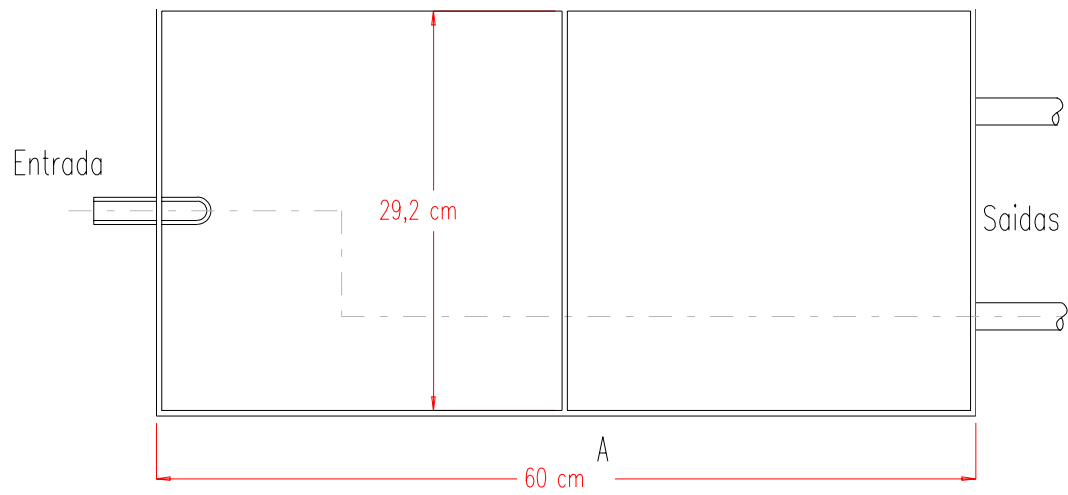
Para a consolidação e teste de funcionamento do sistema proposto, foi executada a construção de um modelo em escala reduzida de 1:10 conforme as etapas a seguir:

5.2.2 Projeto do modelo

O modelo foi executado em chapas de acrílico permitindo a regulagem da comporta para simular várias situações, tais como variações no nível do reservatório devido a chuvas e escolha da vazão desejada. A comporta foi construída com largura reduzida, assim as variações de vazão causam um maior desnível no reservatório, forçando o funcionamento do regulador de vazão proposto.

A alimentação do reservatório foi feita por meio de uma tubulação furada. Dessa forma a energia da água é dissipada de forma a diminuir as turbulências próximas à comporta e ao vertedouro.

A Figura 2 representa o projeto do modelo proposto.



Vista do corte "Entrada - Saida "

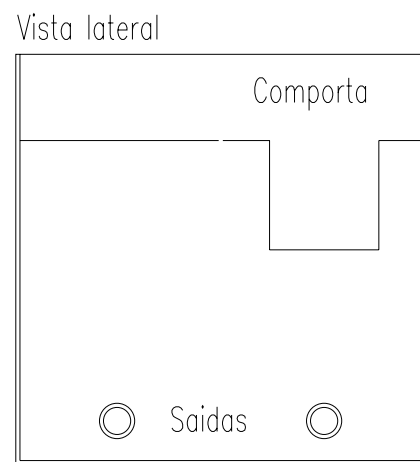
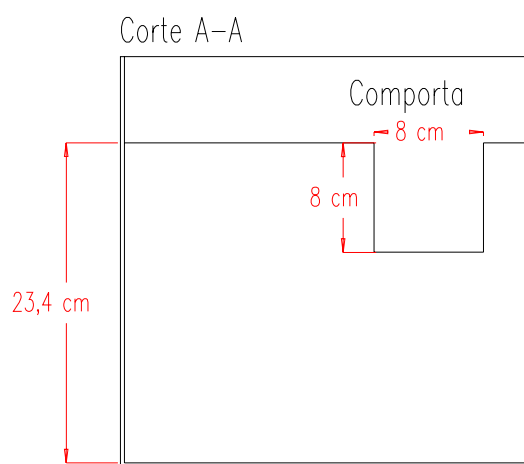
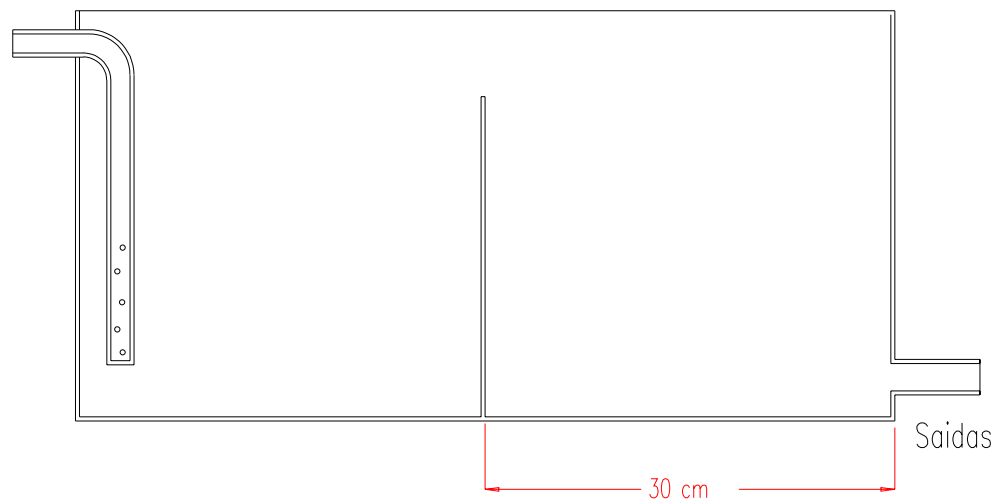


Figura 2: Plantas do modelo proposto.

A comporta foi executada em acrílico com três milímetros de espessura. Nela foram instalados dois eixos, quatro rodas para redução do atrito, um parafuso e um eixo para articulação e regulagem das bóias, um suporte preso às duas bóias. A Figura 3 mostra o projeto da comporta e das bóias.

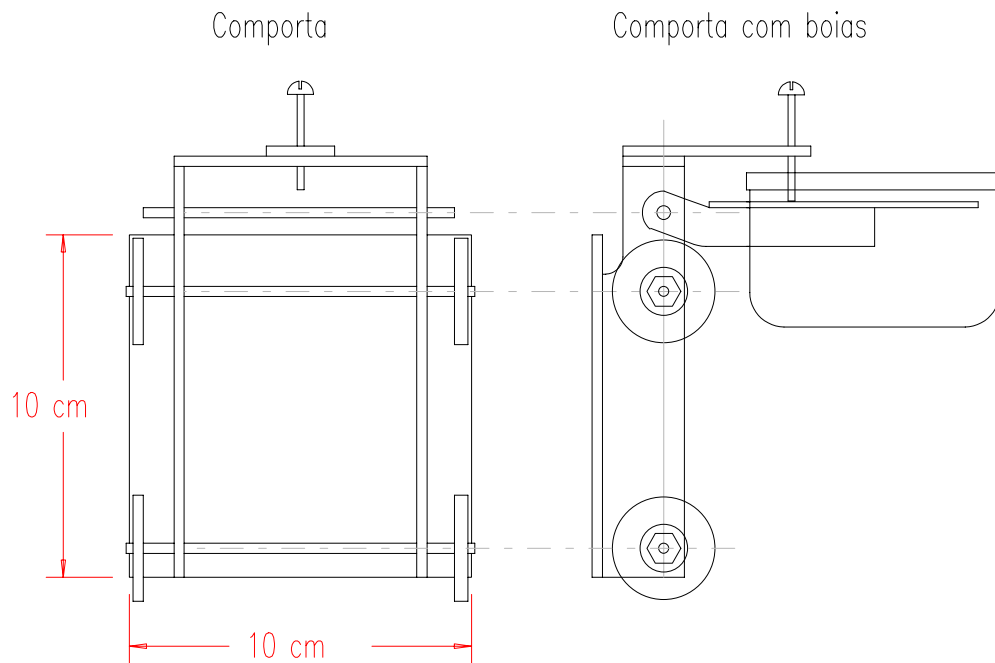


Figura 3: Projeto da comporta e das bóias.

5.2.3 A construção do modelo.

A construção do modelo foi executada em chapas de acrílico com quatro milímetros de espessura, cortado, ajustado e lixado, conforme mostra a Figura 4. As chapas foram adquiridas com uma película protetora que também são úteis para as marcações para o corte.

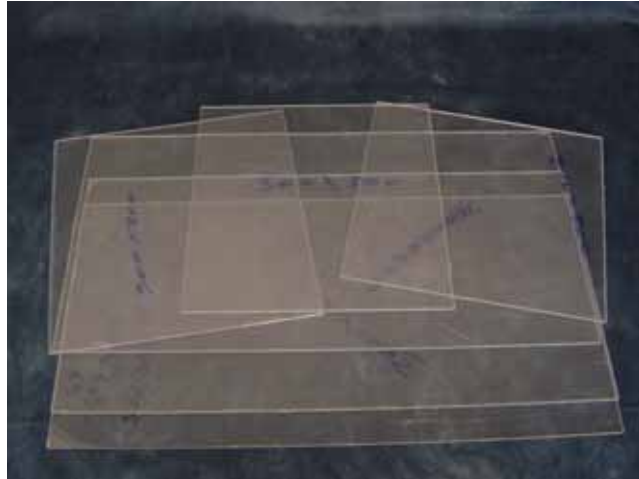


Figura 4: Chapas de acrílico cortadas e lixadas.

As chapas já ajustadas foram coladas por capilaridade com uso de uma seringa descartável, conforme instruções do fabricante da cola, ficando como se pode observar na Figura 5.



Figura 5: Partes das chapas de acrílico cortadas.

A Figura 6 mostra a primeira etapa de construção do modelo proposto.



Figura 6: Primeira etapa de construção do modelo proposto.

Após a secagem da cola foram feitos testes de estanqueidade nos compartimentos, marcação de locais com vazamento, secagem e reaplicação de cola nos pontos demarcados, até atingir a estanqueidade necessária, como se observa na Figura 7.



Figura 7: Teste de estanqueidade dos compartimentos.

As entradas e saídas de água do sistema foram construídas em PVC para água fria, e instaladas na caixa de acrílico, como se vê na Figura 8.



Figura 8: Tubulação e conexões de PVC utilizadas no modelo.

As bóias foram construídas utilizando-se de conexões de PVC para água fria, de forma que assegurasse o bom funcionamento do sistema.

A comporta foi executada em acrílico, de forma a facilitar a observação de seu funcionamento. Junto à comporta foram construídos eixos e rodas, cuja finalidade é diminuir o atrito entre a comporta e seus trilhos e guias.

O suporte é preso à comporta por meio de um eixo, que juntamente com o parafuso e o elástico, permitem a regulagem da lâmina de extravasamento. Quanto mais apertado o parafuso, menor a altura da lâmina de água. A Figura 9 mostra os detalhes da comporta e das bóias.



Figura 9: Conjunto comporta, suporte e bóias.

As bóias são fixas ao suporte por meio de elástico, formando um conjunto rígido com o suporte e articulado com a comporta.

Os eixos e porcas das rodas foram executados em cobre e latão para evitar sua oxidação.

5.2.4 A simulação do modelo proposto

O reservatório foi alimentado diretamente por uma rede hidráulica convencional até o início de funcionamento da comporta móvel. Então a comporta foi ajustada para operar com determinada lâmina de água. Abrindo-se totalmente o registro de entrada de água, o nível de água no reservatório a montante da comporta flutuante sobe, e a comporta verte parte da vazão para o reservatório a jusante, subindo lentamente junto ao nível de água à montante e, desta forma, mantendo sempre a mesma lâmina

de água. Quando o registro de alimentação de água é fechado, a comporta inicia o movimento contrário, descendo juntamente com o nível de água a montante, mantendo assim a mesma lâmina de água sobre a soleira. As leituras foram efetuadas baseadas numa régua fixada na lateral do modelo, como mostra a Figura 10.

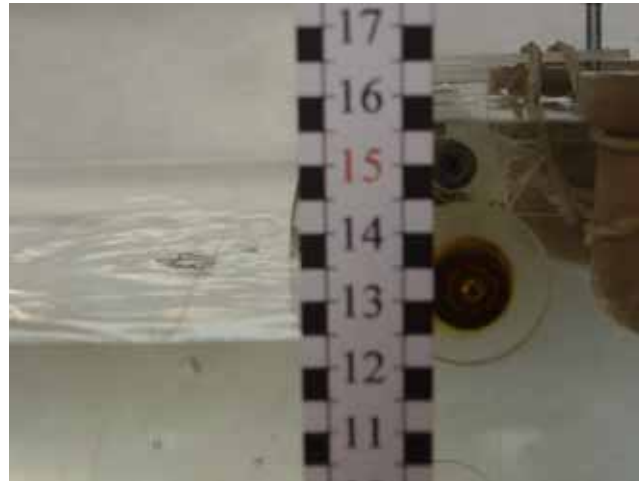


Figura 10: Régua para leitura dos níveis de água.

A simulação do funcionamento do modelo é mostrada na Figura 11.



Figura 11: Simulação de funcionamento do modelo.

Todas as simulações foram filmadas, e avaliadas posteriormente, quadro a quadro, fornecendo dados a cada dois segundos, totalizando sessenta leituras para cada simulação.

5.2.5 Obtenção e extrapolação dos dados

Foram feitas várias simulações para testar e ajustar o sistema, tais como:

- Ajuste do parafuso de regulagem da lâmina de água, de modo a trabalhar no intervalo que permitisse o funcionamento adequado tanto no processo de subida quanto de descida da comporta.
- Ajuste das rodas da comporta de forma a evitar o atrito com os trilhos e guias.
- Ajuste das rodas para diminuir a excentricidade.

Os resultados obtidos foram considerados homogêneos quando os valores encontrados foram bastante parecidos de uma simulação para outra, mostrando que o sistema tinha um comportamento previsível.

Os dados obtidos na simulação do modelo foram organizados em tabelas extrapolados pelo método do “Teorema dos Π de Buckingham” para um protótipo de sistema de captação de água de dimensões reais em escala dez vezes maior que o modelo.

Teorema dos Π de Buckingham: Nas estruturas como vertedouros, remansos, transições em canais e barragens, existem forças devidas à gravidade e à inércia, que são maiores que as da viscosidade e da turbulência.

Nestes casos, a semelhança geométrica e o mesmo valor do Número de Froude (**F**) (escoamento em canais abertos), é suficiente para, com uma aproximação bastante aceitável, obter a semelhança dinâmica.

$$\mathbf{F} = \frac{V^2}{g.l}$$

Onde:

V = velocidade.

g = gravidade.

l = distância percorrida.

Determinando o mesmo número de Froude para a dimensão real e o protótipo tem-se:

$$\frac{V_m^2}{g_m l_m} = \frac{V_p^2}{g_p l_p}$$

Onde:

g_m = gravidade real

g_p = gravidade no modelo

l_m = dimensões reais

l_p = dimensões do modelo

V_m = velocidade real

V_p = velocidade no modelo

Como a aceleração da gravidade é a mesma para o real e para o protótipo, tem-se: $g_m = g_p$

$$\frac{V_m^2}{l_m} = \frac{V_p^2}{l_p} \quad \text{ou} \quad \frac{V_p^2}{V_m^2} = \frac{l_p}{l_m}$$

$$V_p = V_m \sqrt{l_p / l_m}$$

Sendo a escala de construção do protótipo:

$$(l_p / l_m) = \lambda \dots\dots\dots (1)$$

Tem-se:

$$V_p = V_m \sqrt{\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

A relação das velocidades varia com a raiz quadrada da escala do protótipo.

Os tempos correspondentes seguem o mesmo raciocínio:

$$t = \frac{l}{V} \quad \text{assim} \quad t_m = \frac{l_m}{V_m} \quad t_p = \frac{l_p}{V_p}$$

Na relação t_p / t_m tem-se:

$$\frac{t_p}{t_m} = \frac{l_p/V_p}{l_m/V_m} \Rightarrow \frac{t_p}{t_m} = \frac{V_m l_p}{V_p l_m}$$

Substituindo-se pela equação (2)

$$\frac{t_p}{t_m} = \frac{v_m l_p}{V_m \lambda^{1/2} l_m}$$

Substituindo-se pela equação (1)

$$\frac{t_p}{t_m} = \frac{\lambda}{\lambda^{1/2}} \Rightarrow \lambda^{1/2}$$

$$t_p = t_m \lambda^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

Da mesma forma, a relação das vazões será:

$$Q = l^2 V \quad \text{sendo} \quad V = l/t$$

$$\text{Então} \quad Q = l^3 / t$$

Assim tem-se:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{l_p^3 / t_p}{l_m^3 / t_m}$$

Substituindo-se pela equação (3) tem-se:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{l_p^3 / (t_m \lambda^{1/2})}{l_m^3 / t_m} = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{l_p^3}{l_m^3 \lambda^{1/2}}$$

Substituindo-se pela equação (1) tem-se:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{\lambda^3}{\lambda^{1/2}} = \lambda^{5/2}$$

Assim tem-se:

$$Q_p = Q_m \lambda^{5/2} \dots \dots \dots (4)$$

A partir das fórmulas (1), (2), (3) e (4), pode-se estabelecer as relações de tempo, velocidade e vazão entre o modelo construído em escala menor e o protótipo construído em escala real,

mantidas as condições de escoamento em canais abertos medidas pelo número de Froude.

Os dados foram analisados e efetuaram-se comentários sobre o desempenho do sistema, recomendações e seus limites.

Na última etapa redigiu-se o trabalho incluindo-se os projetos, fotos e gráficos obtidos durante as simulações.

5.2.5 Organização das tabelas

As tabelas “Níveis de água à montante” (Quadro1) e “Níveis de água à jusante” (Quadro2) foram construídas a partir dos dados lidos diretamente do experimento nos segundos pares, e os segundos ímpares foram obtidos por interpolação.

A tabela “Vazão na comporta” foi obtida calculando-se a área do espelho do reservatório à jusante multiplicada por sua variação de nível segundo a segundo em cada teste:

Largura do reservatório: 30cm

Comprimento do reservatório: 30cm

Cada centímetro de variação no nível do reservatório à jusante da comporta significa um volume de 900ml (30cmx30cm) ou 0,9 l. Desta forma, tomando-se a diferença de nível de um segundo para outro é possível conhecer a vazão na comporta neste intervalo de tempo.

A coluna vazão média foi obtida por média simples das vazões de cada teste em cada segundo. A coluna “Vazão no protótipo” foi obtida aplicando-se a equação (4) de vazão do “Teorema dos Π de Buckingham” nos valores médios de vazão em cada segundo:

Assim tem-se:

$$Q_p = Q_m \lambda^{5/2} \quad \text{onde } \lambda \text{ é a escala de contração entre o}$$

protótipo e o modelo = 10/1

$$Q_p = Q_m 10^{5/2} \Rightarrow Q_p = 316,228 \cdot Q_m$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados obtidos na simulação

Os resultados obtidos durante as simulações foram organizados em tabelas e geraram os gráficos comparativos apresentados a seguir.

Nas oito simulações estudadas o reservatório à montante da comporta atingiu seu nível mais elevado entre os segundos 37 e 43, em seguida foi fechado o registro de alimentação e o nível voltou lentamente, regulado pela comporta, para a posição inicial, tendo comportamento homogêneo.

O nível inicial de água no reservatório à montante da comporta foi de 14,5cm para todos os testes que, em média, atingiram 19,8cm de altura máxima, depois deste momento foi fechada a entrada de água e o nível desceu até retornar ao nível inicial, como se pode observar no Quadro 1 e na Figura 12.

Quadro 1: Níveis de água à montante.

tempo		Níveis à montante (cm):							
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
0	0	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
0	1	14,7	14,55	14,65	14,65	14,6	14,75	14,8	14,75
0	2	14,9	14,6	14,8	14,8	14,7	15	15,1	15
0	3	15	14,9	14,9	14,9	14,85	15,25	15,3	15,25
0	4	15,1	15,2	15	15	15	15,5	15,5	15,5
0	5	15,2	15,3	15,25	15,25	15,25	15,75	15,75	15,75
0	6	15,3	15,4	15,5	15,5	15,5	16	16	16
0	7	15,5	15,6	15,75	15,75	15,75	16,1	16,15	16,15
0	8	15,7	15,8	16	16	16	16,2	16,3	16,3
0	9	15,85	16	16,1	16,15	16,15	16,35	16,5	16,4
0	10	16	16,2	16,2	16,3	16,3	16,5	16,7	16,5
0	11	16,15	16,35	16,3	16,4	16,5	16,65	16,85	16,6
0	12	16,3	16,5	16,4	16,5	16,7	16,8	17	16,7
0	13	16,45	16,7	16,5	16,65	16,85	16,9	17,15	16,85
0	14	16,6	16,9	16,6	16,8	17	17	17,3	17
0	15	16,75	17,05	16,7	16,9	17,25	17,15	17,5	17,15
0	16	16,9	17,2	16,8	17	17,5	17,3	17,7	17,3
0	17	17	17,35	16,9	17,15	17,5	17,5	17,85	17,5
0	18	17,1	17,5	17	17,3	17,5	17,7	18	17,7
0	19	17,25	17,65	17,1	17,4	17,65	17,85	18,1	17,85
0	20	17,4	17,8	17,2	17,5	17,8	18	18,2	18
0	21	17,5	17,95	17,35	17,65	17,9	18,15	18,35	18,15
0	22	17,6	18,1	17,5	17,8	18	18,3	18,5	18,3
0	23	17,7	18,15	17,6	17,9	18,15	18,5	18,65	18,4
0	24	17,8	18,2	17,7	18	18,3	18,7	18,8	18,5
0	25	17,95	18,35	17,8	18,1	18,5	18,85	18,9	18,6
0	26	18,1	18,5	17,9	18,2	18,7	19	19	18,7
0	27	18,2	18,65	17,95	18,3	18,85	19,15	19,15	18,85
0	28	18,3	18,8	18	18,4	19	19,3	19,3	19
0	29	18,45	18,95	18,1	18,45	19,15	19,4	19,4	19,1
0	30	18,6	19,1	18,2	18,5	19,3	19,5	19,5	19,2
0	31	18,75	19,3	18,25	18,55	19,4	19,6	19,65	19,3
0	32	18,9	19,5	18,3	18,6	19,5	19,7	19,8	19,4
0	33	19	19,7	18,4	18,7	19,65	19,85	19,9	19,5
0	34	19,1	19,9	18,5	18,8	19,8	20	20	19,6
0	35	19,2	19,95	18,6	18,9	19,9	19,85	19,9	19,7
0	36	19,3	20	18,7	19	20	19,7	19,8	19,8
0	37	19,35	20,05	18,75	19,2	19,9	19,6	19,7	19,9
0	38	19,4	20,1	18,8	19,4	19,8	19,5	19,6	20
0	39	19,5	19,9	18,9	19,35	19,65	19,4	19,5	19,9

Quadro 1 (continuação)

Tempo		Níveis à montante (cm)							
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
0	40	19,6	19,7	19	19,3	19,5	19,3	19,4	19,8
0	41	19,65	19,5	19,1	19,2	19,35	19,15	19,3	19,7
0	42	19,7	19,3	19,2	19,1	19,2	19	19,2	19,6
0	43	19,6	19,25	19,2	19,05	19,1	18,9	19,1	19,5
0	44	19,5	19,2	19,2	19	19	18,8	19	19,4
0	45	19,4	19,1	19,15	18,9	18,9	18,7	18,9	19,3
0	46	19,3	19	19,1	18,8	18,8	18,6	18,8	19,2
0	47	19,2	18,9	19,1	18,7	18,7	18,5	18,7	19,1
0	48	19,1	18,8	19,1	18,6	18,6	18,4	18,6	19
0	49	18,95	18,65	19,05	18,5	18,55	18,3	18,5	18,9
0	50	18,8	18,5	19	18,4	18,5	18,2	18,4	18,8
0	51	18,7	18,4	18,9	18,3	18,45	18,1	18,35	18,7
0	52	18,6	18,3	18,8	18,2	18,4	18	18,3	18,6
0	53	18,5	18,2	18,7	18,1	18,3	17,9	18,25	18,5
0	54	18,4	18,1	18,6	18	18,2	17,8	18,2	18,4
0	55	18,3	18	18,5	17,9	18,1	17,75	18,1	18,35
0	56	18,2	17,9	18,4	17,8	18	17,7	18	18,3
0	57	18,1	17,8	18,3	17,7	17,9	17,65	17,9	18,25
0	58	18	17,7	18,2	17,6	17,8	17,6	17,8	18,2
0	59	17,9	17,6	18,1	17,5	17,75	17,5	17,7	18,1
1	0	17,8	17,5	18	17,4	17,7	17,4	17,6	18
1	1	17,7	17,45	17,9	17,3	17,6	17,35	17,55	17,9
1	2	17,6	17,4	17,8	17,2	17,5	17,3	17,5	17,8
1	3	17,45	17,25	17,7	17,1	17,4	17,25	17,4	17,75
1	4	17,3	17,1	17,6	17	17,3	17,2	17,3	17,7
1	5	17,2	17,05	17,55	16,9	17,25	17,1	17,25	17,65
1	6	17,1	17	17,5	16,8	17,2	17	17,2	17,6
1	7	17	16,8	17,45	16,75	17,1	16,9	17,1	17,55
1	8	16,9	16,6	17,4	16,7	17	16,8	17	17,5
1	9	16,75	16,5	17,3	16,6	16,9	16,7	16,9	17,4
1	10	16,6	16,4	17,2	16,5	16,8	16,6	16,8	17,3
1	11	16,5	16,3	17,15	16,4	16,7	16,5	16,7	17,25
1	12	16,4	16,2	17,1	16,3	16,6	16,4	16,6	17,2
1	13	16,3	16,1	17,05	16,25	16,5	16,3	16,5	17,1
1	14	16,2	16	17	16,2	16,4	16,2	16,4	17
1	15	16,1	15,9	16,9	16,1	16,3	16,1	16,3	16,9
1	16	16	15,8	16,8	16	16,2	16	16,2	16,8
1	17	15,95	15,7	16,7	15,95	16,1	15,9	16,1	16,75
1	18	15,9	15,6	16,6	15,9	16	15,8	16	16,7
1	19	15,8	15,55	16,5	15,8	15,9	15,7	15,9	16,6

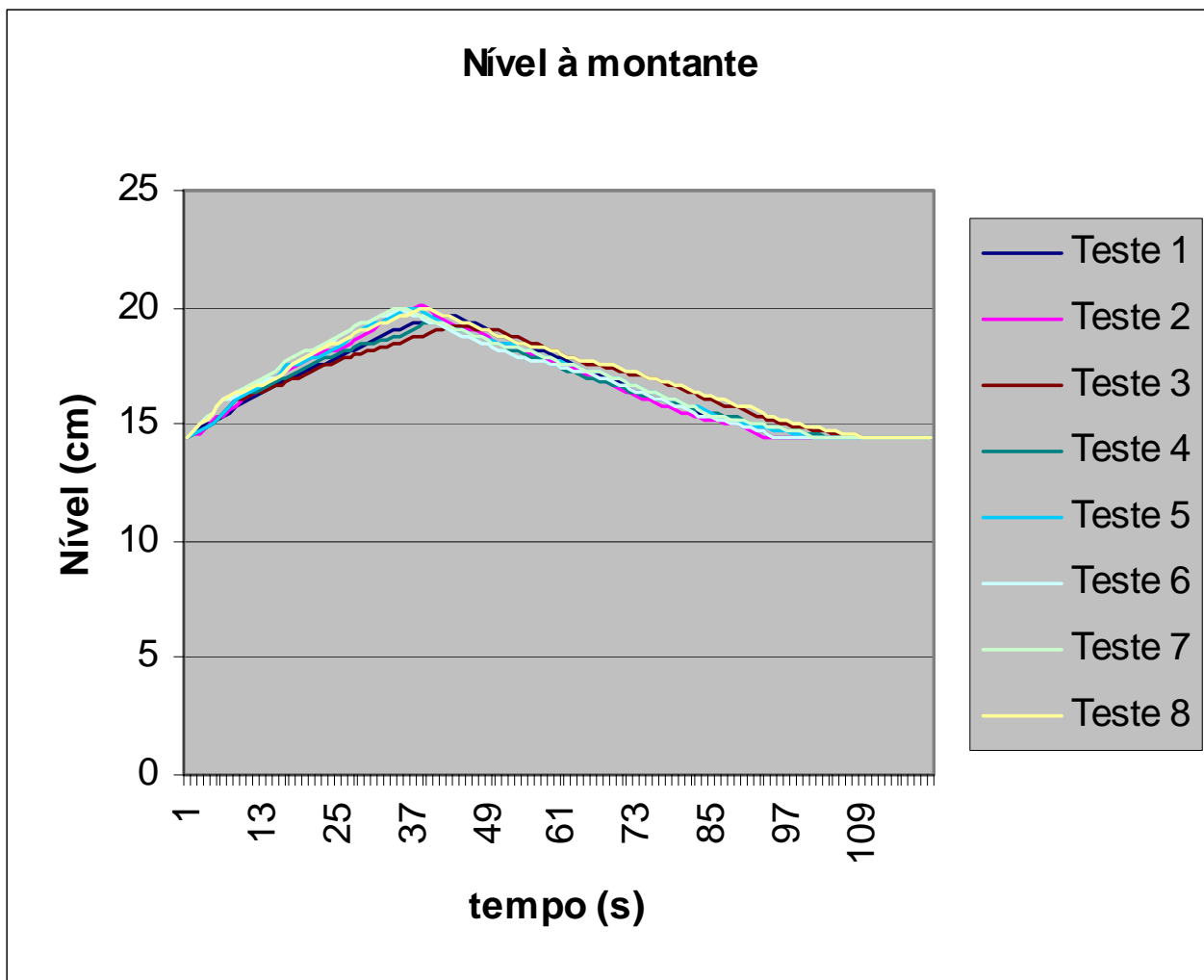


Figura 12: Evolução do reservatório à montante da comporta.

O nível do reservatório à jusante evoluiu mais rapidamente no processo de subida da comporta e mais lentamente no processo de descida. Esta diferença é devida ao atrito entre a comporta e seus trilhos, guias, eixos e rodas, que se opõem tanto ao movimento de subida quanto ao de descida da comporta. Desta forma, a lâmina de água tende a diminuir durante o processo de descida da comporta e aumentar no processo de subida, como se pode verificar nos dados apresentados nos dados do Quadro 2 e na Figura 13.

Quadro 2: Níveis de água à jusante.

Tempo		Níveis à jusante (cm):							
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0,05	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1
0	2	0	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
0	3	0	0,05	0,2	0,35	0,3	0,45	0,3	0,3
0	4	0	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4
0	5	0,05	0,2	0,4	0,65	0,5	0,8	0,55	0,5
0	6	0,1	0,3	0,5	0,8	0,6	1	0,7	0,6
0	7	0,2	0,45	0,6	0,9	0,7	1,1	0,85	0,7
0	8	0,3	0,6	0,7	1	0,8	1,2	1	0,8
0	9	0,45	0,8	0,8	1,15	0,9	1,3	1,15	0,9
0	10	0,6	1	0,9	1,3	1	1,4	1,3	1
0	11	0,8	1,15	0,95	1,45	1,15	1,55	1,5	1,15
0	12	1	1,3	1	1,6	1,3	1,7	1,7	1,3
0	13	1,2	1,4	1,15	1,8	1,4	1,85	1,85	1,5
0	14	1,4	1,5	1,3	2	1,5	2	2	1,7
0	15	1,6	1,75	1,5	2,15	1,65	2,15	2,15	1,85
0	16	1,8	2	1,7	2,3	1,8	2,3	2,3	2
0	17	1,95	2,15	1,85	2,4	1,9	2,5	2,5	2,2
0	18	2,1	2,3	2	2,5	2	2,7	2,7	2,4
0	19	2,25	2,4	2,15	2,65	2,25	2,85	2,85	2,55
0	20	2,4	2,5	2,3	2,8	2,5	3	3	2,7
0	21	2,6	2,65	2,45	2,9	2,75	3,15	3,15	2,85
0	22	2,8	2,8	2,6	3	3	3,3	3,3	3
0	23	2,95	3	2,8	3,25	3,15	3,5	3,5	3,15
0	24	3,1	3,2	3	3,5	3,3	3,7	3,7	3,3
0	25	3,25	3,3	3,15	3,75	3,4	3,85	3,85	3,5
0	26	3,4	3,4	3,3	4	3,5	4	4	3,7
0	27	3,55	3,6	3,5	4,15	3,6	4,15	4,1	3,85
0	28	3,7	3,8	3,7	4,3	3,7	4,3	4,2	4
0	29	3,85	4	3,85	4,5	3,85	4,5	4,35	4,15
0	30	4	4,2	4	4,7	4	4,7	4,5	4,3
0	31	4,15	4,4	4,25	4,85	4,15	4,85	4,65	4,5
0	32	4,3	4,6	4,5	5	4,3	5	4,8	4,7
0	33	4,45	4,8	4,75	5,15	4,5	5,1	4,9	4,85
0	34	4,6	5	5	5,3	4,7	5,2	5	5
0	35	4,75	5,15	5,15	5,5	4,85	5,35	5,1	5,15
0	36	4,9	5,3	5,3	5,7	5	5,5	5,2	5,3
0	37	5,05	5,4	5,5	5,85	5,15	5,6	5,35	5,5
0	38	5,2	5,5	5,7	6	5,3	5,7	5,5	5,7
0	39	5,35	5,6	5,85	6,1	5,4	5,85	5,65	5,85

Quadro 2 (continuação)

Tempo		Níveis à jusante (cm), (continuação):							
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
0	40	5,5	5,7	6	6,2	5,5	6	5,8	6
0	41	5,65	5,85	6,15	6,3	5,6	6,1	5,9	6,1
0	42	5,8	6	6,3	6,4	5,7	6,2	6	6,2
0	43	5,95	6,1	6,45	6,45	5,85	6,3	6,1	6,3
0	44	6,1	6,2	6,6	6,5	6	6,4	6,2	6,4
0	45	6,2	6,3	6,8	6,55	6,1	6,5	6,3	6,45
0	46	6,3	6,4	7	6,6	6,2	6,6	6,4	6,5
0	47	6,35	6,5	7,1	6,7	6,3	6,7	6,5	6,55
0	48	6,4	6,6	7,2	6,8	6,4	6,8	6,6	6,6
0	49	6,6	6,7	7,25	6,9	6,5	6,9	6,65	6,7
0	50	6,8	6,8	7,3	7	6,6	7	6,7	6,8
0	51	6,9	6,9	7,4	7,1	6,7	7,1	6,8	6,85
0	52	7	7	7,5	7,2	6,8	7,2	6,9	6,9
0	53	7,1	7,1	7,6	7,25	6,9	7,25	6,95	6,95
0	54	7,2	7,2	7,7	7,3	7	7,3	7	7
0	55	7,3	7,3	7,75	7,4	7,1	7,4	7,1	7,1
0	56	7,4	7,4	7,8	7,5	7,2	7,5	7,2	7,2
0	57	7,5	7,5	7,9	7,6	7,25	7,55	7,3	7,25
0	58	7,6	7,6	8	7,7	7,3	7,6	7,4	7,3
0	59	7,7	7,7	8,1	7,75	7,4	7,65	7,45	7,35
1	0	7,8	7,8	8,2	7,8	7,5	7,7	7,5	7,4
1	1	8	7,9	8,25	7,9	7,55	7,8	7,6	7,45
1	2	8,2	8	8,3	8	7,6	7,9	7,7	7,5
1	3	8,3	8,1	8,35	8,1	7,7	7,95	7,75	7,55
1	4	8,4	8,2	8,4	8,2	7,8	8	7,8	7,6
1	5	8,5	8,3	8,45	8,25	7,85	8,1	7,85	7,65
1	6	8,6	8,4	8,5	8,3	7,9	8,2	7,9	7,7
1	7	8,7	8,5	8,55	8,4	7,95	8,3	7,95	7,75
1	8	8,8	8,6	8,6	8,5	8	8,4	8	7,8
1	9	8,9	8,7	8,7	8,6	8,1	8,5	8,1	7,9
1	10	9	8,8	8,8	8,7	8,2	8,6	8,2	8
1	11	9,1	8,9	8,9	8,75	8,3	8,7	8,3	8,1
1	12	9,2	9	9	8,8	8,4	8,8	8,4	8,2
1	13	9,3	9,1	9,1	8,9	8,5	8,9	8,5	8,25
1	14	9,4	9,2	9,2	9	8,6	9	8,6	8,3
1	15	9,5	9,3	9,3	9,1	8,7	9,1	8,7	8,4
1	16	9,6	9,4	9,4	9,2	8,8	9,2	8,8	8,5
1	17	9,7	9,45	9,5	9,25	8,9	9,25	8,9	8,6
1	18	9,8	9,5	9,6	9,3	9	9,3	9	8,7
1	19	9,9	9,6	9,7	9,4	9,1	9,4	9,1	8,75

Quadro 2 (continuação)

Tempo		Níveis à jusante (cm), (continuação):							
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8
1	20	10	9,7	9,8	9,5	9,2	9,5	9,2	8,8
1	21	10,1	9,8	9,9	9,6	9,25	9,6	9,3	8,9
1	22	10,2	9,9	10	9,7	9,3	9,7	9,4	9
1	23	10,3	9,95	10,1	9,75	9,4	9,75	9,45	9,1
1	24	10,4	10	10,2	9,8	9,5	9,8	9,5	9,2
1	25	10,45	10,05	10,3	9,9	9,6	9,9	9,6	9,3
1	26	10,5	10,1	10,4	10	9,7	10	9,7	9,4
1	27	10,6	10,15	10,5	10,05	9,75	10,05	9,75	9,5
1	28	10,7	10,2	10,6	10,1	9,8	10,1	9,8	9,6
1	29	10,8	10,25	10,7	10,15	9,85	10,15	9,85	9,7
1	30	10,9	10,3	10,8	10,2	9,9	10,2	9,9	9,8
1	31	10,95	10,35	10,85	10,25	9,95	10,25	9,95	9,9
1	32	11	10,4	10,9	10,3	10	10,3	10	10
1	33	11,1	10,4	10,95	10,35	10,05	10,3	10,05	10,05
1	34	11,2	10,4	11	10,4	10,1	10,3	10,1	10,1
1	35	11,2	10,4	11,05	10,4	10,15	10,35	10,1	10,1
1	36	11,2	10,4	11,1	10,4	10,2	10,4	10,1	10,1
1	37	11,2	10,4	11,15	10,45	10,2	10,4	10,15	10,15
1	38	11,2	10,4	11,2	10,5	10,2	10,4	10,2	10,2
1	39	11,2	10,4	11,2	10,5	10,25	10,4	10,2	10,2
1	40	11,2	10,4	11,2	10,5	10,3	10,4	10,2	10,2
1	41	11,2	10,4	11,25	10,55	10,3	10,4	10,25	10,2
1	42	11,2	10,4	11,3	10,6	10,3	10,4	10,3	10,2
1	43	11,2	10,4	11,3	10,6	10,3	10,4	10,3	10,25
1	44	11,2	10,4	11,3	10,6	10,3	10,4	10,3	10,3
1	45	11,2	10,4	11,35	10,6	10,3	10,4	10,3	10,3
1	46	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,3
1	47	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,3
1	48	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,3
1	49	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,35
1	50	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,4
1	51	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,4
1	52	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,4
1	53	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,45
1	54	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5
1	55	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5
1	56	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5
1	57	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5
1	58	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5
1	59	11,2	10,4	11,4	10,6	10,3	10,4	10,3	10,5

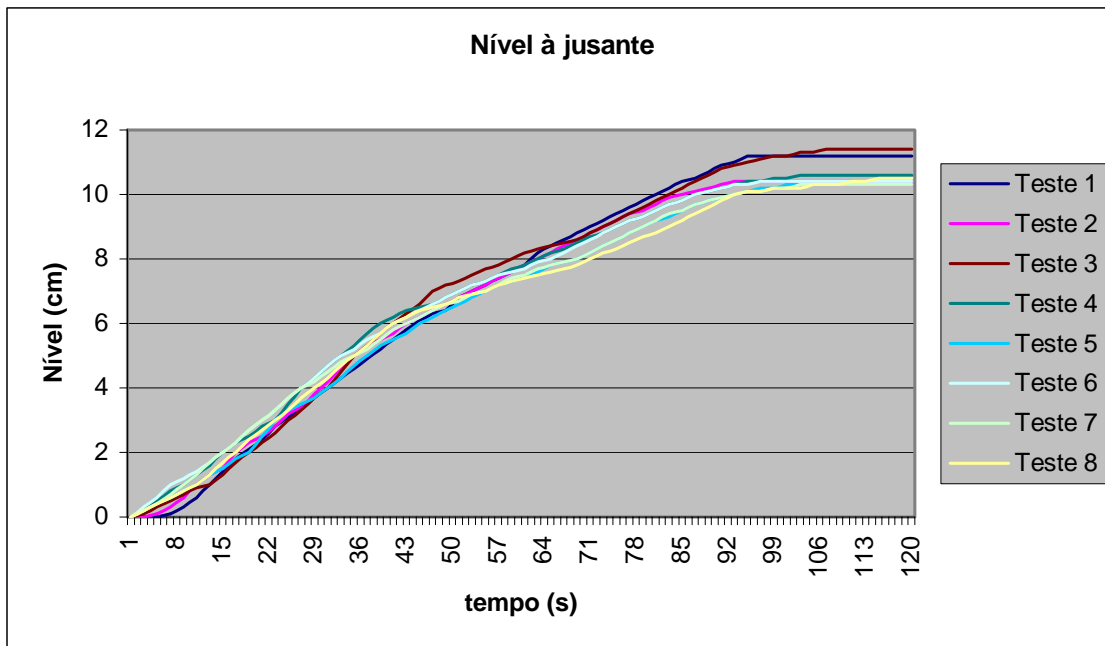


Figura 13: Evolução do reservatório à jusante da comporta.

Observando-se e comparando-se os gráficos das figuras 12 e 13 pode-se notar que as inflexões nos gráficos ocorrem ao mesmo tempo, por volta do 37º segundo, comprovando que a mudança de regime de vazão ocorre assim que a trajetória da comporta muda de sentido, do processo de subida para o de descida.

De posse dos níveis de água do reservatório à jusante, foi possível calcular-se as vazões a cada segundo, multiplicando-se a área do espelho de água do reservatório pela variação de nível em cada segundo:

$$\text{Área do espelho de água: } 900\text{cm}^2$$

$$\text{Variação de nível} = \text{nível atual} - \text{nível anterior}$$

As vazões médias foram obtidas por média simples das vazões dos oito testes em cada segundo. O cálculo da vazão no protótipo foi efetuado aplicando-se o “Teorema dos Π de Buckingham” às vazões médias em cada segundo: Escala de construção protótipo/ modelo = $\lambda = 10/1$

$$Q_p = Q_m 10^{5/2} \Rightarrow Q_p = 316,228 \cdot Q_m$$

Esses cálculos geraram os dados das vazões apresentados no Quadro 3.

Quadro 3: Vazões de água na comporta.

tempo		Vazão na comporta em L/s									Vazão no
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	Média	Protótipo
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
0	1	0	0	0,0292	0,0584	0,0584	0,0876	0,0584	0,0584	0,044	13,85
0	2	0	0,0175	0,0526	0,0876	0,0701	0,1051	0,0701	0,0701	0,059	18,70
0	3	0,0088	0,035	0,0701	0,1139	0,0876	0,1402	0,0964	0,0876	0,08	25,28
0	4	0,0292	0,0584	0,0681	0,0973	0,0779	0,1168	0,0973	0,0779	0,078	24,62
0	5	0,0438	0,0779	0,0779	0,1119	0,0876	0,1265	0,1119	0,0876	0,091	28,66
0	6	0,0584	0,0973	0,0827	0,1168	0,0876	0,1217	0,1168	0,0876	0,096	30,39
0	7	0,0779	0,1119	0,0827	0,1217	0,0925	0,1217	0,1265	0,0925	0,103	32,70
0	8	0,0973	0,1217	0,0779	0,1217	0,0973	0,1217	0,1363	0,0973	0,109	34,43
0	9	0,1168	0,1265	0,0827	0,1265	0,0973	0,1217	0,1411	0,1071	0,115	36,36
0	10	0,1314	0,1265	0,0876	0,1314	0,0973	0,1168	0,1411	0,1168	0,119	37,51
0	11	0,146	0,1411	0,0973	0,1314	0,1022	0,1119	0,1411	0,1217	0,124	39,24
0	12	0,1557	0,1509	0,1071	0,1363	0,1071	0,1168	0,1411	0,1265	0,13	41,17
0	13	0,1606	0,1509	0,1119	0,1363	0,1071	0,1265	0,146	0,1363	0,134	42,51
0	14	0,1606	0,146	0,1168	0,1314	0,1071	0,1363	0,1509	0,146	0,137	43,28
0	15	0,1606	0,1363	0,1217	0,1314	0,1217	0,1411	0,1509	0,1509	0,139	44,05
0	16	0,1557	0,1314	0,1314	0,1314	0,1314	0,1411	0,146	0,1509	0,14	44,25
0	17	0,1557	0,1314	0,1411	0,1265	0,1411	0,1411	0,1411	0,1509	0,141	44,63
0	18	0,1557	0,1363	0,1411	0,1168	0,1557	0,1411	0,1411	0,146	0,142	44,82
0	19	0,1509	0,146	0,146	0,1217	0,1606	0,146	0,146	0,1411	0,145	45,78
0	20	0,146	0,1411	0,146	0,1314	0,1606	0,1509	0,1509	0,1411	0,146	46,17
0	21	0,1411	0,1265	0,1411	0,1411	0,1557	0,1509	0,1509	0,146	0,144	45,59
0	22	0,1411	0,1217	0,1411	0,1557	0,1557	0,146	0,146	0,146	0,144	45,59
0	23	0,1411	0,1265	0,146	0,1606	0,1557	0,1411	0,1363	0,1411	0,144	45,40
0	24	0,1411	0,1363	0,1509	0,1606	0,1411	0,1411	0,1314	0,1411	0,143	45,21
0	25	0,1411	0,146	0,1509	0,1655	0,1314	0,146	0,1314	0,1411	0,144	45,59
0	26	0,1363	0,1509	0,1509	0,1752	0,1217	0,1509	0,1314	0,1411	0,145	45,78
0	27	0,1314	0,1557	0,1606	0,1801	0,1119	0,1509	0,1314	0,146	0,146	46,17
0	28	0,1314	0,1557	0,1655	0,1703	0,1119	0,146	0,1265	0,1509	0,145	45,78
0	29	0,1314	0,1557	0,1703	0,1606	0,1168	0,1363	0,1168	0,1509	0,142	45,02
0	30	0,1314	0,1655	0,1801	0,1509	0,1265	0,1314	0,1119	0,146	0,143	45,21
0	31	0,1314	0,1703	0,1801	0,146	0,1314	0,1314	0,1071	0,1411	0,142	45,02
0	32	0,1314	0,1655	0,1752	0,1509	0,1363	0,1314	0,1071	0,1411	0,142	45,02
0	33	0,1314	0,1557	0,1752	0,1509	0,1411	0,1265	0,1119	0,146	0,142	45,02
0	34	0,1314	0,146	0,1801	0,146	0,1411	0,1168	0,1119	0,1509	0,141	44,44
0	35	0,1314	0,1363	0,1801	0,1363	0,1363	0,1119	0,1119	0,1509	0,137	43,28
0	36	0,1314	0,1265	0,1703	0,1314	0,1314	0,1119	0,1119	0,146	0,133	41,94
0	37	0,1314	0,1217	0,1606	0,1265	0,1265	0,1071	0,1071	0,1363	0,127	40,21
0	38	0,1314	0,1168	0,1509	0,1217	0,1168	0,1071	0,1071	0,1314	0,123	38,86
0	39	0,1314	0,1071	0,1411	0,1119	0,1119	0,1071	0,1071	0,1265	0,118	37,32

Quadro 3 (continuação)

tempo		Vazão na comporta em L/s,(continuação)									Vazão no
Min.	seg	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 7	Teste 8	Média	Protótipo
0	40	0,1314	0,1022	0,1411	0,0973	0,1119	0,1022	0,1071	0,1217	0,114	36,17
0	41	0,1265	0,0973	0,146	0,0827	0,1071	0,0973	0,1071	0,1119	0,11	34,63
0	42	0,1217	0,0973	0,146	0,073	0,1022	0,0973	0,1022	0,0973	0,105	33,09
0	43	0,1119	0,0973	0,1363	0,0681	0,0973	0,0973	0,0973	0,0827	0,099	31,16
0	44	0,1022	0,0973	0,1314	0,0681	0,0973	0,0925	0,0925	0,073	0,094	29,82
0	45	0,1071	0,0973	0,1217	0,0681	0,0973	0,0876	0,0827	0,0681	0,091	28,86
0	46	0,1119	0,0925	0,1119	0,0681	0,0973	0,0876	0,0779	0,0681	0,089	28,28
0	47	0,1071	0,0876	0,1071	0,0681	0,0973	0,0876	0,0779	0,0633	0,087	27,51
0	48	0,1022	0,0876	0,1022	0,073	0,0925	0,0876	0,0779	0,0584	0,085	26,93
0	49	0,0973	0,0876	0,0973	0,073	0,0876	0,0827	0,073	0,0535	0,082	25,78
0	50	0,0973	0,0876	0,0876	0,073	0,0876	0,0779	0,0681	0,0535	0,079	25,01
0	51	0,0973	0,0876	0,073	0,0779	0,0876	0,0779	0,0681	0,0584	0,078	24,82
0	52	0,1022	0,0876	0,0681	0,0779	0,0876	0,0779	0,0681	0,0633	0,079	25,01
0	53	0,1071	0,0876	0,0681	0,0779	0,0827	0,073	0,0681	0,0633	0,078	24,82
0	54	0,0973	0,0876	0,073	0,0779	0,0779	0,0681	0,073	0,0584	0,077	24,24
0	55	0,0876	0,0876	0,0779	0,073	0,0779	0,0633	0,073	0,0535	0,074	23,47
0	56	0,0876	0,0876	0,0779	0,0681	0,0779	0,0584	0,0681	0,0535	0,072	22,89
0	57	0,0973	0,0876	0,073	0,0681	0,073	0,0584	0,0681	0,0535	0,072	22,89
0	58	0,1071	0,0876	0,0681	0,073	0,0681	0,0633	0,073	0,0535	0,074	23,47
0	59	0,1071	0,0876	0,0633	0,0779	0,0681	0,0633	0,073	0,0535	0,074	23,47
1	0	0,1071	0,0876	0,0633	0,0779	0,0681	0,0584	0,0681	0,0487	0,072	22,89
1	1	0,1071	0,0876	0,0633	0,073	0,0633	0,0584	0,0633	0,0438	0,07	22,12
1	2	0,1071	0,0876	0,0584	0,0681	0,0633	0,0633	0,0584	0,0438	0,069	21,74
1	3	0,1071	0,0876	0,0535	0,0681	0,0633	0,0681	0,0535	0,0438	0,068	21,55
1	4	0,1071	0,0876	0,0487	0,073	0,0584	0,073	0,0535	0,0438	0,068	21,55
1	5	0,1071	0,0876	0,0487	0,0779	0,0584	0,0779	0,0584	0,0487	0,071	22,32
1	6	0,0973	0,0876	0,0535	0,0779	0,0633	0,0779	0,0584	0,0535	0,071	22,51
1	7	0,0876	0,0876	0,0584	0,073	0,0681	0,0779	0,0584	0,0584	0,071	22,51
1	8	0,0876	0,0876	0,0633	0,0681	0,0681	0,0827	0,0633	0,0633	0,073	23,08
1	9	0,0876	0,0876	0,0681	0,0681	0,0681	0,0876	0,0681	0,0633	0,075	23,66
1	10	0,0876	0,0876	0,073	0,073	0,073	0,0876	0,073	0,0633	0,077	24,43
1	11	0,0876	0,0876	0,0779	0,0779	0,0779	0,0876	0,0779	0,0681	0,08	25,39
1	12	0,0876	0,0876	0,0827	0,0779	0,0827	0,0876	0,0827	0,073	0,083	26,16
1	13	0,0876	0,0827	0,0876	0,073	0,0876	0,0827	0,0876	0,0779	0,083	26,35
1	14	0,0876	0,0779	0,0876	0,0681	0,0876	0,0779	0,0876	0,0779	0,082	25,78
1	15	0,0876	0,0779	0,0876	0,0681	0,0876	0,0779	0,0876	0,073	0,081	25,59
1	16	0,0876	0,0779	0,0876	0,073	0,0876	0,0779	0,0876	0,0681	0,081	25,59
1	17	0,0876	0,0779	0,0876	0,0779	0,0827	0,0779	0,0876	0,0681	0,081	25,59
1	18	0,0876	0,0779	0,0876	0,0779	0,0779	0,0779	0,0876	0,073	0,081	25,59
1	19	0,0876	0,073	0,0876	0,073	0,0779	0,073	0,0827	0,0779	0,079	25,01

A diferença de vazão entre os processos de subida e descida da comporta permite calcular a força de atrito.

Média das vazões de subida: $0,14 \text{ L.s}^{-1}$

Lâmina de água vertida:

$$Q = C . b . h^{3/2}$$

$$0,00014 = 2.0,08 . h^{3/2}$$

$$h = 0,0091\text{m ou } 9,1\text{mm}$$

Média das vazões de descida: $0,08 \text{ L.s}^{-1}$

Lâmina de água vertida:

$$0,00008 = 2.0,08 . h^{3/2}$$

$$h = 0,0063\text{m, ou } 6,3\text{mm}$$

Variação da lâmina: $9,1\text{mm}-6,3\text{mm} = 2,8\text{mm}$ ou $0,28\text{cm}$

Área da seção dos flutuadores (bóias) e da comporta na linha de superfície da água: $98,36 \text{ cm}^2$

Variação do empuxo total na estrutura da comporta:

$$\text{Considerando } g=9,8\text{m.s}^{-2} ; 0,28\text{cm}.98,36 \text{ cm}^2=27,54\text{cm}^3$$

$$27,54\text{cm}^3 . 1\text{g.cm}^{-3}=27,54\text{g}=0,02754\text{kg}$$

$$0,02754\text{kg}.9,8\text{m.s}^{-2}= 0,27\text{kgm.s}^{-2}=0,27\text{N}= 27\text{gf}$$

Portanto, supondo-se que o atrito no processo de subida da comporta seja igual ao de descida, pode-se considerar que metade desta força é utilizada no processo de subida da comporta e metade no processo de descida.

Assim, a força de atrito se opõe ao movimento com intensidade de $13,5\text{gf}$.

Observando-se os gráficos das vazões nas Figuras 13 e 14, verificam-se os respectivos patamares das vazões de subida e descida, reforçando os cálculos feitos até aqui.

A Figura 14 mostra o gráfico das vazões registradas durante os oito testes estudados. Neste gráfico pode-se notar o comportamento parecido dos testes em cada momento, demonstrando

claramente as tendências das vazões. Quanto mais parecidos os valores das vazões dos testes em cada minuto, mais previsível o funcionamento da comporta, ou seja, menor a possibilidade de incidentes tais como enroscamentos ou travamentos do sistema.

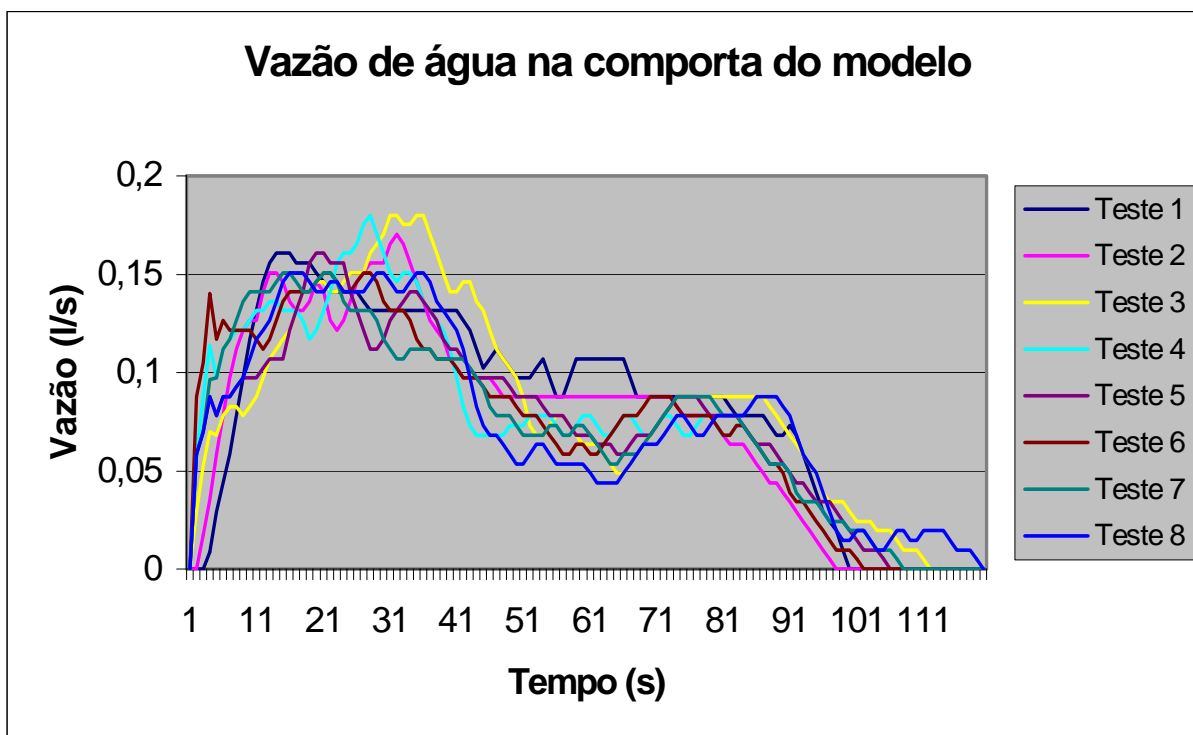


Figura 14: Vazões de água na comporta.

Note-se que as vazões de todos os testes sofreram uma redução localizada próxima do tempo de 61 segundos, e uma pequena elevação logo em seguida; entre os 71 e 91 segundos as vazões permaneceram próximas de $0,08 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$.

A Figura 15 mostra a média das vazões encontradas no gráfico da Figura 14, consolidando a observação de baixa nas vazões próximas aos 61 segundos.

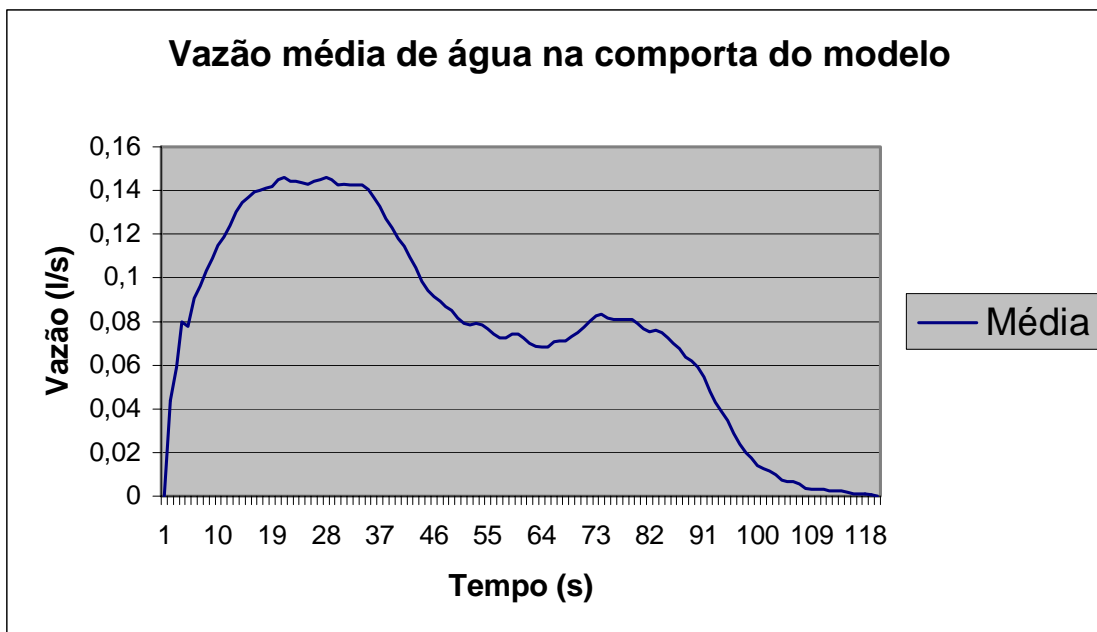


Figura 15: Média das vazões de água encontradas.

A alimentação do reservatório à montante da comporta foi fechada em média no tempo 38s. Após este momento, inicia-se a descida da comporta, até estabilizar suas vazões no patamar próximo a $0,07 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Em seguida, sofre um claro aumento de vazões, devido ao alívio da pressão da água na comporta e redução do atrito. Certamente o limite para este último aumento seria da ordem de $0,11 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, que é o valor da vazão calculado para o atrito igual a zero.

Quanto menores as perdas por atrito na comporta mais a os valores das vazões se aproximam de $0,11 \text{ L/s}$. A comparação do sistema flutuante com um vertedouro fixo de mesma largura na soleira mostra a diferença de vazão nas mesmas condições de variação de nível do reservatório. A vazão calculada para o vertedor fixo atingiu cerca de $1,9 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, ou seja, treze vezes maior que a vazão verificada no sistema proposto. Quadro 4 e a Figura 16 mostram esta diferença.

Quadro 4: Valores comparativos de vazões de água no medelo.

tempo		Valores comparativos de vazões $L.s^{-1}$		
Min.	seg	Vertedor fixo	Regulador	Água retida (L)
0	0	0,00	0,00	0,00
0	1	0,01	0,00	0,01
0	2	0,04	0,00	0,02
0	3	0,06	0,01	0,02
0	4	0,07	0,03	0,03
0	5	0,09	0,04	0,03
0	6	0,11	0,06	0,04
0	7	0,16	0,08	0,05
0	8	0,21	0,10	0,06
0	9	0,25	0,12	0,07
0	10	0,29	0,13	0,09
0	11	0,34	0,15	0,11
0	12	0,39	0,16	0,13
0	13	0,44	0,16	0,16
0	14	0,49	0,16	0,19
0	15	0,54	0,16	0,23
0	16	0,59	0,16	0,27
0	17	0,63	0,16	0,32
0	18	0,67	0,16	0,37
0	19	0,73	0,15	0,43
0	20	0,79	0,15	0,49
0	21	0,83	0,14	0,56
0	22	0,87	0,14	0,64
0	23	0,92	0,14	0,71
0	24	0,96	0,14	0,79
0	25	1,03	0,14	0,88
0	26	1,09	0,14	0,98
0	27	1,14	0,13	1,08
0	28	1,19	0,13	1,18
0	29	1,26	0,13	1,30
0	30	1,33	0,13	1,42
0	31	1,40	0,13	1,54
0	32	1,48	0,13	1,68
0	33	1,53	0,13	1,82
0	34	1,58	0,13	1,96
0	35	1,63	0,13	2,11
0	36	1,68	0,13	2,27
0	37	1,71	0,13	2,43
0	38	1,74	0,13	2,59
0	39	1,79	0,13	2,75

Quadro 4 (continuação)

tempo		Valores comparativos de vazões $L.s^{-1}$		
Min.	seg	Vertedor fixo	Regulador	Água retida (L)
0	40	1,84	0,13	2,92
0	41	1,87	0,13	3,10
0	42	1,90	0,12	3,27
0	43	1,84	0,11	3,45
0	44	1,79	0,10	3,62
0	45	1,74	0,11	3,78
0	46	1,68	0,11	3,94
0	47	1,63	0,11	4,09
0	48	1,58	0,10	4,24
0	49	1,50	0,10	4,38
0	50	1,43	0,10	4,51
0	51	1,38	0,10	4,64
0	52	1,33	0,10	4,76
0	53	1,28	0,11	4,88
0	54	1,23	0,10	4,99
0	55	1,19	0,09	5,10
0	56	1,14	0,09	5,21
0	57	1,09	0,10	5,31
0	58	1,05	0,11	5,40
0	59	1,00	0,11	5,49
1	0	0,96	0,11	5,57
1	1	0,92	0,11	5,66
1	2	0,87	0,11	5,73
1	3	0,81	0,11	5,80
1	4	0,75	0,11	5,87
1	5	0,71	0,11	5,93
1	6	0,67	0,10	5,98
1	7	0,63	0,09	6,04
1	8	0,59	0,09	6,09
1	9	0,54	0,09	6,13
1	10	0,49	0,09	6,17
1	11	0,45	0,09	6,21
1	12	0,42	0,09	6,24
1	13	0,39	0,09	6,27
1	14	0,35	0,09	6,30
1	15	0,32	0,09	6,32
1	16	0,29	0,09	6,35
1	17	0,28	0,09	6,36
1	18	0,27	0,09	6,38
1	19	0,24	0,09	6,40

Quadro 4 (continuação)

tempo		Valores comparativos de vazões			L.s⁻¹
Min.	seg	Vertedor fixo	Regulador	Água retida (L)	
1	20	0,21	0,09	6,41	
1	21	0,18	0,08	6,42	
1	22	0,16	0,08	6,43	
1	23	0,14	0,08	6,43	
1	24	0,11	0,08	6,44	
1	25	0,10	0,08	6,44	
1	26	0,09	0,08	6,44	
1	27	0,07	0,07	6,44	
1	28	0,06	0,07	6,44	
1	29	0,05	0,07	6,44	
1	30	0,04	0,07	6,44	
1	31	0,03	0,07	6,43	
1	32	0,01	0,06	6,43	
1	33	0,01	0,05	6,42	
1	34	0,00	0,04	6,42	
1	35	0,00	0,03	6,42	
1	36	0,00	0,02	6,41	
1	37	0,00	0,02	6,41	
1	38	0,00	0,01	6,41	
1	39	0,00	0,00	6,41	
1	40	0,00	0,00	6,41	
1	41	0,00	0,00	6,41	
1	42	0,00	0,00	6,41	
1	43	0,00	0,00	6,41	
1	44	0,00	0,00	6,41	
1	45	0,00	0,00	6,41	
1	46	0,00	0,00	6,41	
1	47	0,00	0,00	6,41	
1	48	0,00	0,00	6,41	
1	49	0,00	0,00	6,41	
1	50	0,00	0,00	6,41	
1	51	0,00	0,00	6,41	
1	52	0,00	0,00	6,41	
1	53	0,00	0,00	6,41	
1	54	0,00	0,00	6,41	
1	55	0,00	0,00	6,41	
1	56	0,00	0,00	6,41	
1	57	0,00	0,00	6,41	
1	58	0,00	0,00	6,41	
1	59	0,00	0,00	6,41	

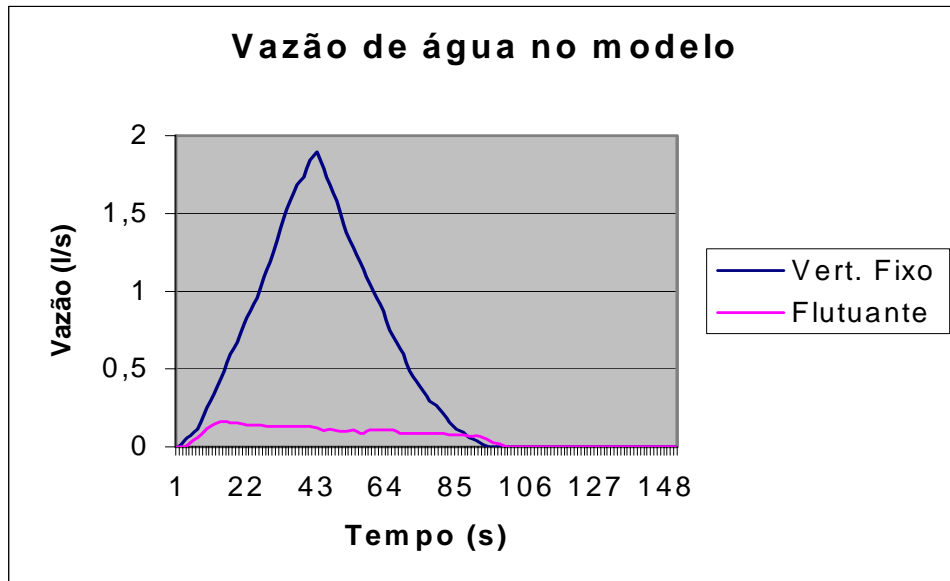


Figura 16: Gráfico comparativo entre o vertedor fixo e o sistema proposto.

6.2 Extrapolação dos resultados para um protótipo

Os dados obtidos nas simulações do modelo foram extrapolados para um protótipo projetado em escala dez vezes maior que o modelo testado. Os valores foram obtidos pelo “Teorema dos Π de Buckingham” gerando os valores e gráficos apresentados:

Escala entre o protótipo e o modelo: 10:1

Largura da soleira da comporta fixa: 80cm

Largura da soleira da comporta flutuante: 80cm

Variação média do nível do reservatório: 53cm

Segundo a equação (4) $Q_p = Q_m \cdot \lambda^{5/2}$

Onde:

Q_p = Vazão no protótipo.

Q_m = Vazão no modelo

$\lambda = (l_p / l_m)$ (Escala do protótipo)

Substituindo na equação (4):

$$Q_p = Q_m \cdot 316,228$$

A Figura 17 mostra o gráfico das vazões calculadas para um protótipo construído em escala dez vezes maior que o modelo.

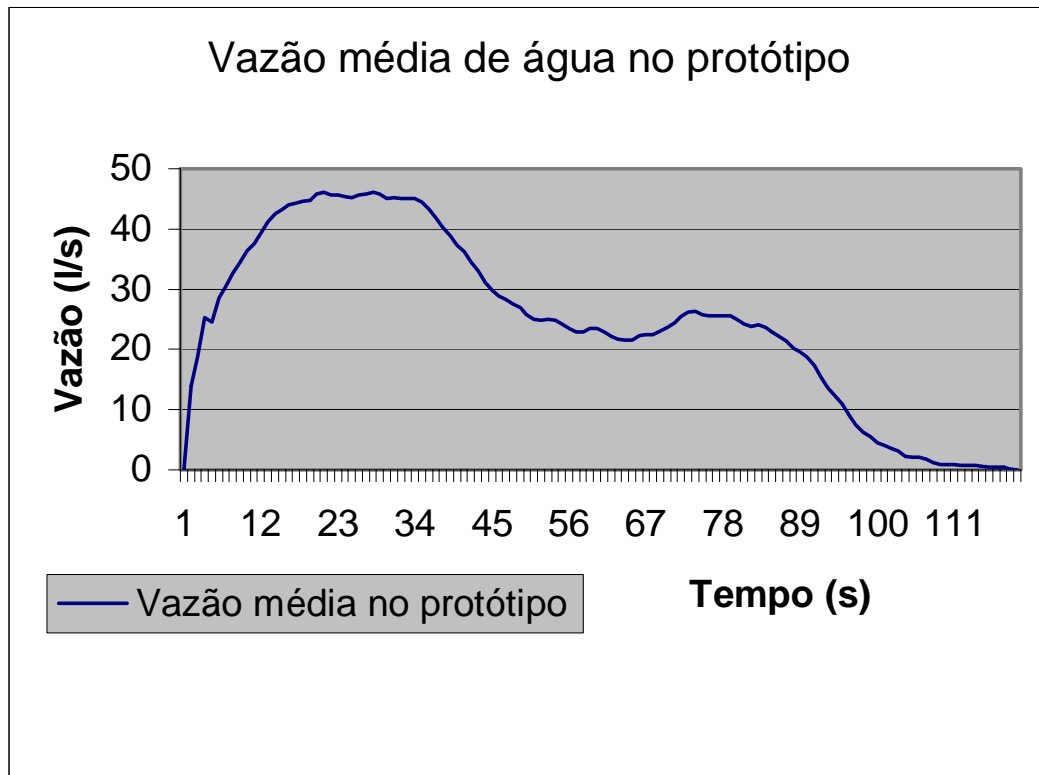


Figura 17: Vazões calculadas para um protótipo.

6.3 Limitações do sistema proposto

O atrito entre a comporta e o seu trilho limita a atuação da comporta principalmente na descida, onde a única força atuante é a gravidade aplicada sobre a massa da comporta. Esse problema é mais acentuado quando a comporta se aproxima do fim superior do seu curso. O aumento do peso da comporta e das dimensões das bóias, melhoram a resposta do sistema.

As relações entre o peso do sistema, as dimensões das bóias e o atrito entre a comporta e seus trilhos, determinam a diferença entre as alturas das lâminas de água respectivamente nos processos de subida e descida da comporta. Dessa forma, o desenvolvimento de sistemas de deslizamento e vedação com menor atrito contribuirão para um melhor funcionamento do sistema proposto.

7 CONCLUSÕES

O sistema de rodas na comporta diminuiu o atrito para sua movimentação e isso contribuiu para aproximar as vazões dos processos de subida e descida da comporta.

Os sistemas de filmagem e de medição adotados facilitaram o processo de captação dos dados, uma vez que puderam ser avaliados e anotados posteriormente, mantendo os registros do evento para consultas posteriores.

A regularização da vazão na captação traz vantagens ao sistema adutor aberto em pequenas centrais hidrelétricas e minimiza a necessidade de extravasores intermediários no canal e câmaras de carga. Também é útil para a otimização dos canais que, operando sempre com a mesma vazão e velocidade, não ficam expostos a erosão de suas paredes, extravasamentos ou desbarrancamentos.

O sistema mostrou-se útil e funcional para os objetivos propostos, funcionando dentro das expectativas, podendo ser aperfeiçoado nas técnicas de vedação e deslizamento, utilizando-se materiais como “teflon” e guias melhores para as rodas.

Outra utilidade para este controlador de vazão são as escadas de peixes, utilizadas para viabilizar a piracema em barragens. Na escada de peixes os problemas referentes à vazão são ainda mais cruciais, uma vez que tanto o volume quanto a velocidade da água no dispositivo determinam a atratividade dos peixes para a piracema. Todos esses determinantes podem ser resolvidos pelo sistema proposto.

Numa represa equipada com escada de peixe fixa, quando o reservatório baixar, a escada ficará seca e, em caso de enchente, o volume de água será excessivo prejudicando a piracema. Se equipada com o dispositivo proposto, pode-se regular a tomada de água da escada de peixes de forma que tenha sempre a mesma velocidade e vazão. Isto evitará o desperdício de água na enchente e a desativação da escada de peixes na seca.

Além das escadas de peixes, atualmente a legislação para construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) exige que parte da vazão do rio seja mantida no curso natural para redução do impacto ambiental. Esta parte da vazão é chamada vazão não turbinável, e o dispositivo proposto neste trabalho pode garantir a vazão não turbinável constante, evitando perdas para geração hidrelétrica em caso de cheias e perdas para o meio ambiente em caso de seca.

É possível a utilização desse sistema no controle de saída de água nos reservatórios de acumulação de água de enchente urbana, conhecidos como “piscinões” na cidade de São Paulo.

Nos sistemas de irrigação por canais, a variação de nível do rio ou reservatório prejudica a vazão nos canais. O sistema proposto pode regular a entrada de água nos canais, eliminando este problema e evitando desperdícios.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12289** Seleção de comportas para pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Rio de Janeiro, 2000. 10p.

AZEVEDO NETTO. J. M. de. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 2v, 668p.

BALARIM, C. R. **Avaliação expedita do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas**. 158f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

BALARIM, C. R. **Impactos ambientais durante a construção e operação de pequenas centrais hidrelétricas**. Palestra, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001

ELETROBRÁS, Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. **Manual de mini centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985a. 530p.

ELETROBRÁS, Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. **Manual de micro centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b. 344p.

ELETROBRÁS, Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. **Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos**. Rio de Janeiro, 1997. 95p.

ELETROBRÁS, Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica. **Diretrizes para projetos de PCH**. Rio de Janeiro, 1999. 350p.

ELÉTRICA DE PORTUGAL EMPRESA PUBLICA. **Aproveitamento do Rio Douro**. Porto, 1986. 236p.

GODOY, M. P. de. A questão dos peixes de piracema e as escadas de peixes. **Revista Aruanã**, ed. Aruanã, São Paulo, n°31.p2 , 1992.

HASEGAWA, M. M. **Potencial hidrenergético do Rio Lavapés no Câmpus da FCA-UNESP em Botucatu**. 1999. 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

MARTINS, S. L. **Sistemas para transposição de peixes**. 2000a. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARTINS, S. L. **Sistemas para transposição de peixes**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000b. 24 p. (Boletim Técnico).

SIMONE, G. A. **Centrais e Aproveitamentos hidrelétricos**. São Paulo: Érica, 2000. 245p.

STREETER, V. L. **Mecánica de los fluidos**. México, McGraw-Hill, 1971. 747p.