

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES - CCH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - DGE**

**KAROLINE BUENO**

**MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ASSOCIADO A PEQUENAS  
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: REGULAMENTAÇÃO E EXEMPLO DE  
CASO**

**MARINGÁ-PR,  
NOVEMBRO DE 2013**

KAROLINE BUENO

**MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ASSOCIADO A PEQUENAS  
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS: REGULAMENTAÇÃO E EXEMPLO DE  
CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de graduação em Geografia com habilitação em bacharelado.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Ulises Guerra Villalobos – UEM.

Maringá-PR

2013

KAROLINE BUENO

MONITORAMENTO HIDROLÓGICO ASSOCIADO A PEQUENAS CENTRAIS  
HIDRELÉTRICAS: REGULAMENTAÇÃO E EXEMPLO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de graduação em Geografia com habilitação em bacharelado.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jorge Ulises Guerra Villalobos - Orientador  
Departamento de Geografia – UEM

---

Prof. Me. Lucas Cesar Frediani Sant'ana  
Departamento de Geografia – UEM

---

Prof. Dr. Oscar Vicente Quinonez Fernandez  
Departamento de Geografia – UNIOESTE (Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná)

Maringá-PR, 29 de novembro de 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Deus em que creio, porque sem Ele não seria possível chegar até aqui. Agradeço aos meus amados pais, Luiz e Madalena, por sempre me darem apoio e amor incondicional. Ao meu amado namorado, Leandro, meu maior incentivador e encorajador na conclusão deste trabalho, a quem agradeço imensamente pelo carinho, paciência, companheirismo, incentivo e saberes compartilhados.

À minha grande amiga e ex-colega de trabalho, Josiane Mendonça Simão, pelas contribuições mais que importantes e necessárias na conclusão deste trabalho, pelos inúmeros ensinamentos que me foram muito válidos na elaboração deste documento, mas não somente nisso, agregaram também no meu crescimento acadêmico e profissional; agradeço também por sua confiança e amizade, e deixo aqui minha admiração por ter sido um ótimo exemplo de liderança.

Ao meu orientador, professor Jorge, por ter acreditado em mim e ter contribuído com suas valiosas orientações para a conclusão desta pesquisa.

Ao grupo CPFL Renováveis, pela permissão concedida na utilização de dados de um de seus aproveitamentos energéticos, em especial, ao engenheiro de hidrologia Vitor Pereira Pinto, que mediou o contato com a empresa.

Ao Grupo Construserv, empresa operadora da rede telemétrica da PCH utilizada como exemplo de caso nesta pesquisa, em especial ao Senhor Daniel Alcamim, pela solicitude na disponibilização de arquivos de análise dos dados de operação das estações; agradeço também pela oportunidade e confiança depositadas em mim, enquanto profissional, pelo período em que estagiei e trabalhei nesta empresa, oportunidade esta que me rendeu uma excelente experiência, com proveitos profissional e também pessoal e que inspiraram este trabalho.

Agradeço também aos ex-colegas de trabalho, Caio e Ari, pela boa convivência que mantivemos, pelos ensinamentos compartilhados e a amizade estabelecida.

Agradeço aos meus sogros, Senhor Neri e Senhora Zaneide, por terem me dado suporte aditado de carinho que necessitei no período mais crucial da conclusão deste estudo.

Agradeço aos queridos amigos, que me foram presenteados na minha passagem pela UEM (e por Maringá) na qual concluí a segunda graduação, a qual

finalizo com este trabalho de conclusão de curso. Correndo o risco de esquecer-me de citar alguns nomes, cito em especial: Katiuse, Éliton, Milaine, Miguel, Professora Sueli de Castro, Professor Francisco (Chico), Thalita, Simone, Pâmela, Alana, Renata, Rodrigo, Tiago e Nyelen. E também aos amigos “remanescentes” de Guarapuava, Fernando, Tati e Taysa que também estiveram ao meu lado nesta etapa. Agradeço a todos estes companheiros de jornada, cada um tendo contribuído de sua forma, seja com conselhos, carinho, bons papos, alegria, ou qualquer outro momento e sentimento que tenhamos compartilhado; tudo isso também foi importante para que eu chegasse à conclusão de mais esta etapa em minha vida.

## RESUMO

Diante da importância que os recursos hídricos possuem para a vida e as atividades humanas, este trabalho voltou-se para tratar da importância deste precioso bem natural utilizado na produção energética. Reconhecendo esta devida importância, inúmeras políticas voltadas à gestão e monitoramento dos ambientes hídricos foram implantadas no país, incluindo algumas resoluções específicas voltadas ao monitoramento destes ambientes em que se encontram instalados e em operação empreendimentos hidrelétricos, entre elas a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, a normativa mais recente neste aspecto. E, justamente por ser a normativa mais recentemente publicada no Brasil, este trabalho apresenta o quadro das políticas voltadas ao monitoramento hidrológico associados a empreendimentos hidrelétricos no país, contextualizando-as e tratando mais a fundo sobre a resolução mais atualizada. São apresentados alguns exemplos de ferramentas e métodos para que as redes hidrométricas de monitoramento sejam instaladas, adequadas e operadas em conformidade com a resolução em vigor. Além disso, no último capítulo da pesquisa, é apresentado um exemplo de estudo de caso, referente à rede hidrométrica associada a uma pequena central hidrelétrica, em que sua adequação, operação, análise e consistência de dados é feita em conformidade com a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010. Com a conclusão da pesquisa é possível considerar que os materiais e métodos utilizados possibilitaram que as análises fossem concluídas apropriadamente, mas com algumas ressalvas referentes à amplitude temporal dos dados. Outra consideração é a de que a conclusão deste trabalho configurou-se como um importante aprendizado, aliando teoria e prática, na perspectiva da atuação do profissional geógrafo.

**Palavras-chave:** recursos hídricos, hidrometria, consolidação de dados.

## ABSTRACT

Given the importance that water resources have for life and human activities, this work turned to address the importance of this precious natural asset used in energy production. Recognizing this importance due, numerous policies aimed at the management and monitoring of water environments were implemented in the country including some specific resolutions aimed at monitoring these environments in which they are installed and including the Joint Resolution ANA/ANEEL n° 03/2010, the latest legislation on this point and precisely because the rules recently published in Brazil, this paper presents a framework of policies aimed at hydrological monitoring associated with hydroelectric projects in the country contextualizing them and treating deeply on the present resolution. Some examples of tools and methods are presented for the hydrometric monitoring networks are installed, contextualizing them and treating deeply on the present resolution adequate and operated in accordance with the resolution into effect. In the last chapter of the research, presents a case study example of the hydrometric network associated with a small hydroelectric central, where their suitability, operation, analysis and consistency of data is done in accordance with the Joint Resolution ANA/ANEEL n° 03/2010. With the conclusion of the research is possible to consider that the materials and methods used allowed that the analyzes were completed appropriately but with some caveats regarding the time span of the data. Another consideration is that the conclusion of this work was configured as an important learning, combining theory and practice, in the perspective of the performance of professional geographer.

**Keywords:** water resources, hydrometric, data consolidation.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E O MONITORAMENTO DOS AMBIENTES HÍDRICOS .....	8
2.1 Recursos hídricos: usos e importância na produção energética .....	8
2.2 Monitoramento dos ambientes com empreendimentos hidrelétricos..	17
2.3 A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010.....	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS PARA ATENDIMENTO À RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL Nº 03/2010 .....	29
3.1 Instalação e manutenção das estações .....	29
3.2 Operação e atividades em campo .....	32
3.3 Atividades de escritório .....	44
3.3.1 Cálculo da vazão e traçado da curva-chave.....	45
3.3.2 Análise sedimentométrica.....	47
3.4 Métodos e ferramentas para análise de consistência de dados fluviométricos .....	48
3.4.1 Ferramentas computacionais utilizadas .....	49
3.4.2 Seleção das estações de apoio .....	50
3.4.3 Análise da série de cotas .....	50
3.4.4 Análise das medições de descarga líquida .....	51
3.4.5 Extrapolações de curva-chave .....	52
3.4.6 Análise das vazões .....	53
3.4.7 Preenchimento de falhas das séries de cota e/ou vazão .....	54
3.5 Métodos e ferramentas para análise de consistência de dados pluviométricos .....	54
3.5.1 Preenchimento de falhas de dados pluviométricos .....	55
3.5.2 Análise de consistência de dados pluviométricos .....	56
4. PCH MARGARIDA: EXEMPLO DE CASO DE ADEQUAÇÃO ÀS NOVAS NORMATIVAS DE MONITORAMENTO HIDROMÉTRICO NO BRASIL.....	61
4.1 Descrição do local .....	63



4.2	4.2 Atividades realizadas.....	64
4.3	Análise e consistência dos dados das estações fluviométricas.....	65
	4.3.1 Estação PCH Margarida Montante.....	65
	4.3.1.1 Análise das cotas médias diárias .....	65
	4.3.1.2 Análise das medições de descarga líquida.....	67
	4.3.1.3 Análise e traçado da curva-chave .....	68
	4.3.1.4 Avaliação das vazões médias diárias .....	71
	4.3.2 Estação PCH Margarida Jusante .....	72
	4.3.2.1 Análise das cotas médias diárias .....	72
	4.3.2.2 Análise das medições de descarga líquida.....	74
	4.3.2.3 Análise e traçado da curva-chave .....	75
	4.3.2.4 Avaliação das vazões médias diárias .....	78
4.4	Análise e consistência dos dados das estações pluviométricas.....	79
	4.4.1 Estação PCH Margarida Montante.....	79
	4.4.2 Estação PCH Margarida Jusante .....	82
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
6.	REFERÊNCIAS.....	90
7.	APÊNDICE.....	93
	7.1 7.1 Termos de autorização.....	93
	7.2 Termo de responsabilidade pela autoria .....	96
8.	ANEXOS .....	98
	8.1 Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010.....	98

## **Lista de abreviaturas e siglas**

ANA – Agência Nacional de Águas.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica.

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz.

CGH – Central Geradora Hidrelétrica.

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente.

PCH – Pequena Central Hidrelétrica.

SGH – Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica.

SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciadas do setor Elétrico.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

UHE – Usina Hidrelétrica de Energia.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma breve reflexão a respeito das políticas de monitoramento dos ambientes hídricos associados a empreendimentos hidrelétricos no Brasil. Objetivando tratar mais especificamente da normativa mais recente, a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 que estabelece as condições e os procedimentos a serem observados visando o monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico sedimentométrico e de qualidade da água nestes ambientes.

Além disso, esse trabalho se propõe a apresentar equipamentos, materiais e métodos que podem ser utilizados para adequação e atendimento a esta recente normativa. Neste caso, foram apresentados os materiais e métodos utilizados em uma rede de monitoramento hidrométrico associado a um empreendimento hidrelétrico que é utilizado neste trabalho como um exemplo de caso.

O exemplo de estudo que é apresentado nesta pesquisa trata-se de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), cuja concessionária responsável pelo empreendimento energético é o grupo CPFL Renováveis, e a empresa operadora da rede, que presta este serviço à concessionária, é o Grupo Construserv. Com o intuito de não identificar o nome do empreendimento, por solicitação da concessionária que cedeu os dados para esta pesquisa, a pequena central hidrelétrica é identificada neste trabalho com um nome fictício – “PCH Margarida”.

O trabalho foi estruturado em 3 (três) partes. A primeira parte consiste na apresentação de reflexões acerca da temática do uso e importância dos recursos hídricos, em especial na produção de energia elétrica, e a partir deste uso e finalidade, apresentar um levantamento de como as políticas brasileiras foram implementadas ao longo do tempo e as mais recentes normativas sobre o monitoramento dos ambientes hídricos em que estejam implantadas centrais hidrelétricas.

Na segunda parte são apresentados alguns dos materiais e dos métodos que podem vir a serem utilizados para atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, e foram utilizados na instalação e operação da rede hidrométrica, bem como na consolidação dos dados provenientes desta, para o aproveitamento “PCH Margarida”, utilizado como exemplo de caso para este estudo.

Na terceira parte, são apresentadas as etapas realizadas no processo de adequação da rede hidrométrica da PCH Margarida, incluindo os dados e análise de consistência dos mesmos.

Cabe mencionar que este trabalho foi resultado também da experiência direta da autora atuando na empresa operadora, durante o período em que foi contratada para auxiliar nas análises e consolidação dos dados para elaboração de relatórios hídricos.

## **2. EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E O MONITORAMENTO DOS AMBIENTES HÍDRICOS**

Neste capítulo, são apresentadas breves reflexões acerca da temática do uso e importância dos recursos hídricos, em especial na produção de energia elétrica, e a partir deste uso e finalidade, apresentar um levantamento de como as políticas brasileiras foram implementadas ao longo do tempo e as mais recentes normativas sobre o monitoramento dos ambientes hídricos em que estejam implantadas centrais hidrelétricas.

### ***2.1 Recursos hídricos: usos e importância na produção energética***

Recurso por assim dizer se refere àquilo a que se recorre para um fim. A humanidade desde sempre e para sempre necessita/rá recorrer à natureza para sobreviver. Logo, entende-se que os recursos naturais são elementos vitais e é importante destacar que são componentes da paisagem geográfica que independem da ação humana, mas que são transformados por esta e a partir disto a eles são agregados novos valores.

Ao tratar do valor agregado aos recursos naturais, pode-se perceber, numa análise contextual histórica que, nos primórdios, a sociedade agregava valor aos recursos por sua mais pura razão de necessidade, ou seja, o recurso natural mais valorizado era aquele mais necessário para a sobrevivência (sumariamente para fins de abastecimento/alimentares e de abrigo). Com o passar do tempo, a humanidade foi cada vez mais se apropriando dos recursos, novas demandas surgiram e novos significados e valores foram dados aos recursos naturais. Passou-se a levar em conta a disponibilidade, a demanda e seu valor local; ao valor local pode entender-se que os recursos que não eram disponíveis em determinado local, mas eram abundantes em outro e passaram a ser mercantilizados pelos “detentores” deste segundo lugar, e quanto mais valorizado, um recurso seria mais comercializado e logo, seria maior a sua mobilidade no território.

Com tudo isso, observa-se que apesar dos recursos existirem e serem distribuídos na natureza por meio da combinação de processos naturais, a apropriação destes recursos ocorre segundo os valores humanos. “Além da demanda, da concorrência e de meios técnicos, a apropriação [...] pode depender também de questões geopolíticas, sobretudo, quando se caracterizam como estratégicos, envolvendo disputa entre povos” (SILVA, 2009).

Os recursos naturais passaram a ser tratados com uma conotação mais intrínseca a “bens econômicos”, e em diversos estudos da economia em sua recente área emergente chamada de “economia ecológica”, como o de Maia<sup>1</sup> *et. al.* (2004), surge uma preocupação em tratar da chamada “valoração econômica ambiental”. E para entender essa abordagem econômica, apresenta-se na sequência um quadro (Quadro 1) que explicita o valor econômico dos recursos naturais, também chamados por outros estudiosos como “recursos ambientais”.

**Quadro 1** - Os valores econômicos de um recurso ambiental.

<b>Valor Econômico do Recurso Ambiental</b>	<b>Valor de Uso</b>	<p><b>Valor de Opção</b> Intenção de consumo direto ou indireto do bem ambiental no futuro.</p> <p><b>Valor de Uso Indireto</b> Benefícios indiretos gerados pelas funções ecossistêmicas.</p> <p><b>Valor de Uso Direto</b> Apropriação direta de recursos ambientais, via extração, visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto.</p>
	<b>Valor de Não Uso</b>	<p><b>Valor de Existência</b> Valores não associados ao consumo, e que referem-se a questões morais, culturais, éticas ou altruística em relação à existência dos bens ambientais.</p>

Fonte: Maia *et. al.* (2004, p. 4) *apud* Portugal Junior *et. al.* (2011, p. 4).

<sup>1</sup> MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. Valoração dos recursos ambientais: metodologias e recomendações. (Textos para discussão). Instituto de economia – UNICAMP. Campinas, março de 2004. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/index.php/textos>>.

Também sob esta perspectiva da economia ecológica, May<sup>2</sup> *et. al.* (2003) *apud* Portugal Junior *et. al.* (2011, p. 4), fazem uma análise discriminada dos componentes do Valor Econômico Total de um recurso ambiental/natural:

- **Valor de uso direto** é aquele derivado da utilização ou consumo direto do recurso, sendo que o mesmo recurso ambiental pode ter vários usos distintos e, sendo assim vários valores de uso direto.

- **Valor de uso indireto** consiste no valor que advém das funções ecológicas do recurso ambiental. É o bem-estar proporcionado pelo recurso ambiental de forma indireta (por exemplo: a qualidade da água, o ar puro, dentre outros).

- **Valor de opção** relaciona-se com a quantia que os indivíduos estariam dispostos a pagar para manter o recurso ambiental para o uso no futuro, ou seja, deixando de usar no presente para usá-lo no futuro.

- **Valor de não uso ou valor de existência** está relacionado com a satisfação pessoal em saber que o recurso está lá, sem que o indivíduo tenha vantagem direta ou indireta dessa presença, sendo assim diferente do valor de uso, que representa o valor que as pessoas obtêm a partir do uso do objeto.

Ainda no âmbito econômico dos recursos ambientais, temos que estes estão divididos em duas classes: renováveis e não renováveis (ou exauríveis),

[...] apesar da fronteira entre essas duas categorias de recursos não ser muito clara. Observe-se que os recursos renováveis possivelmente tornam-se exauríveis, e estes, apesar de não se tornarem renováveis, podem ao menos ser considerados não exauríveis. Isto dependerá, entre outros fatores, do horizonte de planejamento, do nível de utilização do recurso, dos custos de exploração, da taxa de desconto, etc. [...] (MARGULIS, 1996, p. 158).

Além disso, a forma que a sociedade se apropria dos recursos naturais pode se dar de duas maneiras: diretamente e indiretamente. Na forma direta, o ser humano extrai da natureza a matéria, a utiliza e/ou transforma, na forma indireta a sua utilização ocorre sem que seja necessário extrair nada e nem que haja modificações.

Ao que compete a proposta deste estudo, o foco está nos recursos hídricos, mais precisamente, nos distintos usos da água e o(s) valor(es) deste bem natural. É consenso que os recursos hídricos estão entre os principais, senão o mais

---

<sup>2</sup> MAY, P. H.; MOTTA, R. S. da. (Org.). Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

importante dentre os recursos naturais, essenciais para a sobrevivência dos seres e o desenvolvimento de inúmeras atividades humanas.

Parafraseando Ribeiro (2008), ao tratarmos da importância e dos diversos usos dos recursos hídricos pela espécie humana, os fatos que identificam e exemplificam esta afirmativa vão, desde a constatação primordial de que cerca de 70% do corpo humano é composto por água, e que este elemento é um insumo vital aos seres humanos, que a utilizam para saciar a sede, preparar alimentos, bem como produzi-los (uso na produção agrícola), realizar a higiene pessoal e a limpeza de objetos, desfrutá-la para o lazer e a prática de esportes e atividades pesqueiras, assim como para fins de transporte e navegação, e seu uso na produção de mercadorias (uso na produção industrial), e também seu uso, no caso de canais fluviais, aproveitando as quedas d'água para a geração de energia elétrica.

Como a temática central deste trabalho está voltada justamente ao uso da água na geração de energia elétrica, cabe aqui tratar mais detalhadamente deste tema. Quanto a isto, Benetti e Bidone (2013) explicam que a energia hidráulica é transformada na geração de energia elétrica. Em geral, esse processo se dá nas obras hidrelétricas que utilizam barragens para regular a vazão do canal fluvial, criando um desnível que é necessário na produção de energia. "(...) Essa barragem cria um lago a montante onde a profundidade aumenta e a velocidade diminui" (p. 853).

No geral, Ribeiro (2008) define que as condições geográficas fundamentais para a instalação de hidrelétricas são a elevada pluviosidade e o relevo acidentado. "(...) As chuvas repõem a água nas cabeceiras dos corpos d'água que contribuem para a formação da represa. O relevo acidentado facilita a formação do lago" (p. 50).

É mais que relevante também mencionar que, no Brasil, a geração de energia elétrica é majoritariamente proveniente de hidrelétricas e que é o país de maior potencial hidroelétrico do mundo. Trata-se da nação que

(...) mais gera energia a partir da movimentação da água: cerca de 70% do total, segundo dados do Ministério de Minas e Energia de 2000. Essa condição o tornou exportador de serviços como projeto e construção de usinas hidrelétricas, a países africanos e, mais recentemente, aos asiáticos. (RIBEIRO, 2008, p. 50 – 51).



No que se refere às vantagens e desvantagens, bem como os impactos intrínsecos à geração de energia, a hidroeletricidade possui vantagens no sentido de ser considerada uma energia renovável, é tida também como um meio de geração de energia vantajosa por não emitir resíduos gasosos provenientes de queima de combustível, e também não gera calor excessivo, como é o caso de usinas termoelétricas, além de não resultar do processo de produção nenhum resíduo fatal à vida humana, como acontece na produção energética em usinas nucleares (Ribeiro, 2008). Porém, isso não faz deste processo um gerador de energia totalmente “limpo” e não danoso; isso porque a hidroeletricidade afeta e impacta o ambiente natural e social, como explica o autor Ribeiro (2008, p. 50) no trecho a seguir.

No primeiro caso [ambiente natural] ocorre a emissão de metano a partir da decomposição de material orgânico submerso. Ela pode gerar acomodação no terreno e desviar cursos d'água, alterando completamente a dinâmica natural da bacia hidrográfica. Por fim, pode ocorrer desmatamento ou submersão da vegetação das áreas alagadas, resultando em perda da diversidade biológica.

Do ponto de vista social, o maior impacto é a remoção de famílias que viviam à beira de rios ou na área alagada. Nem sempre é fácil promover o reassentamento da população, que perde os vínculos culturais de anos de vida com seus lugares de origem.

Uma alternativa um pouco menos causadora de determinados impactos são as hidroelétricas que operam “a fio d'água”. Essas geradoras operam de modo a estarem próximas da superfície de forma que as turbinas que geram a energia aproveitem a velocidade natural do rio. Esse tipo de empreendimento reduz drasticamente as áreas de alagamento, se comparadas às hidrelétricas tradicionais com barramento, e por isso acabam não formando reservatórios para estoque da água (ANEEL, 2008).

Quanto ao porte e potência instalada os empreendimentos hidrelétricos no Brasil são classificados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em três tipos: Central Geradora Hidrelétrica (CGH), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE). No quesito potência, as CGHs são unidades geradoras com potência instalada de até 1 MW (Megawatt) de potência instalada. As PCHs são as unidades com potência instalada de entre 1,1 MW e 30 MW; e as UHEs são as que possuem potência instalada superior a 30 MW (ANEEL, 2008). Já no que se refere às linhas de transmissão de energia elétrica, o porte de hidrelétrica

geradora irá determinar as dimensões da rede de transmissão que transportam a energia da sua unidade geradora até a unidade de consumo.

Quanto maior a usina, mais distante ela tende a estar dos grandes centros. Assim, exige a construção de grandes linhas de transmissão em tensões alta e extra-alta (de 230 quilovolts a 750 quilovolts) que, muitas vezes, atravessam o território de vários Estados. Já as PCHs e CGHs, instaladas junto a pequenas quedas d'água, no geral abastecem pequenos centros consumidores – inclusive unidades industriais e comerciais – e não necessitam de instalações tão sofisticadas para o transporte da energia (ANEEL, 2008, p. 53 – 54).

Os dados mais recentes – de março de 2012 - sobre os empreendimentos hidrelétricos em operação no Brasil apontam que, atualmente, existem 377 CGHs operando com potência total de 216.446 kW; são 433 PCHs totalizando 3.870.302 kW de potência instalada e são 181 UHEs operando com uma capacidade total instalada de 78.371.279 kW; em termos percentuais isto significa que, 66,8% da potência total instalada no Brasil – totalizada em 117.245.119 kW<sup>3</sup> – é proveniente de UHEs, independente de porte, e 3,3 % é proveniente de PCHs (ANEEL, 2012).

Na figura a seguir (Figura 1), pode-se observar a distribuição dos empreendimentos hidrelétricos, tomando aqui como exemplo somente as UHEs e PCHs, no território brasileiro, em referência atualizada do ano de 2013, onde é possível observar que estes estão majoritariamente concentrados nas regiões centro-oeste, sudeste e sul do país.

---

<sup>3</sup> Este total é composto pela geração obtida por meio de todos os tipos de empreendimentos energéticos em operação no Brasil: Usinas Hidrelétricas de Energia – UHEs, Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGHs, Usinas Termelétricas de Energia – UTEs, Usinas Termonucleares – UTNs, Centrais Geradoras Eolielétricas – EOLs e Centrais Geradoras Solar Fotovoltaicas – UFVs.

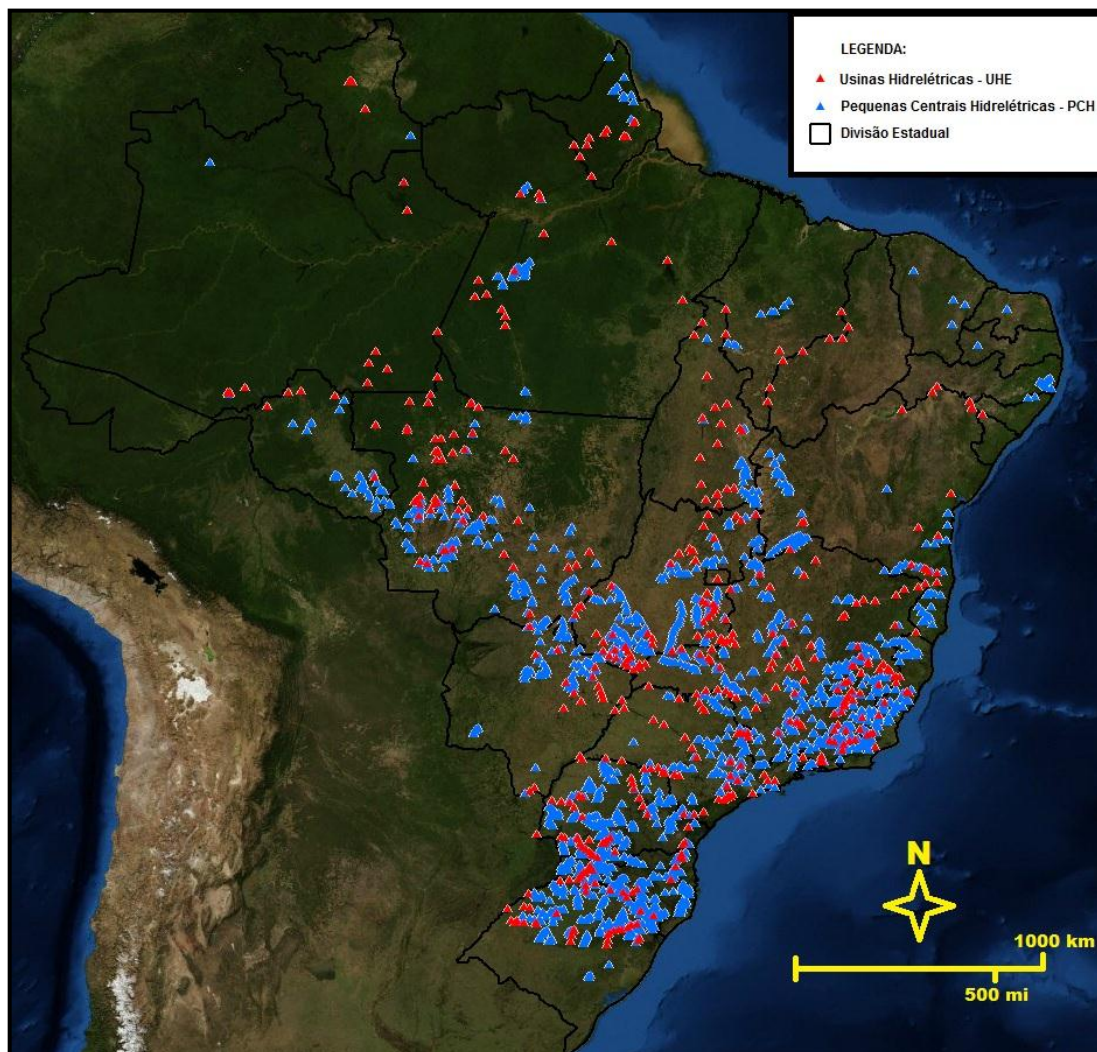


Figura 1 – Mapa da distribuição das UHEs e PCHs instaladas e em operação no ano de 2013. Fonte: SIGEL/ANEEL, 2013. Adaptação: Bueno, K. 2013.

No mais recente Atlas de Energia Elétrica do Brasil, em sua terceira edição, publicado no fim de 2008, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), aponta-se que, apesar de manter os percentuais mais elevados dentre as(os) geradoras(es) de energia elétrica no país, as UHEs, que chegaram a representar 90% do total do potencial instalado em um passado não muito distante, atualmente vem perdendo espaço. Segundo consta neste atlas, essa redução tem três razões:

- a necessidade da diversificação da matriz elétrica prevista no planejamento do setor elétrico de forma a aumentar a segurança do abastecimento;
- a dificuldade em ofertar novos empreendimentos hidráulicos pela ausência da oferta de estudos e inventários e;

- o aumento de entraves jurídicos que protelam o licenciamento ambiental de usinas de fonte hídrica e provocam o aumento constante da contratação em leilões de energia de usinas de fonte térmica, a maioria que queimam derivados de petróleo ou carvão.

Ainda que com esta redução, o Brasil ainda permanece tendo como principais geradoras de energia as usinas hidrelétricas; sem entrar na discussão e mérito sobre alternativas que poderiam e/ou deveriam estar sendo levadas em consideração atualmente para suprir a demanda energética do país, cabe mencionar que ainda é relativamente notável que as ações políticas e empresariais tomam o foco de ações para este setor sobrepondo as UHEs diante das outras fontes geradoras, seja não somente pela condição natural própria do Brasil – a grandeza da disponibilidade de recursos hídricos - que possibilita a constante ampliação deste tipo de empreendimento, seja por outros motivos que envolvem o interesse de particulares e do governo.

Sobre o aspecto do porte dos empreendimentos hidrelétricos que também permeia esta sequência da discussão, Müller (1995) atenta para o fato de que não somente as razões técnicas irão definir a decisão por uma grande, média ou pequena barragem, mas também isso vai depender ainda mais de uma outra série de variáveis, como o volume do rio, “(...) suas características topo-altimétricas, (...) as necessidades do mercado e oportunidades econômicas, aspectos políticos, avaliações de ordem social e das fragilidades ambientais das localidades (...)” (p. 34).

No processo decisório para a implantação dos aproveitamentos, muitas vezes uma ou mais variáveis tornam-se desvantajosas ou até impossibilitam o aproveitamento máximo do curso fluvial, no caso, instalando obras de maior porte. Na maioria das vezes esse máximo aproveitamento esbarra na questão da otimização do custo/benefício e no prognóstico dos impactos socioambientais que o empreendimento poderia causar no ambiente que viesse a ser instalado. E quando há restrições a grandes barragens, na maioria dos casos, opta-se pela instalação sucessiva em uma bacia hidrográfica de pequenas centrais hidrelétricas – as chamadas PCHs. “(...) Estas funcionam, em geral, com reservatórios mínimos ou derivações de cursos d’água permanentes. (...) Estas têm se destinado a suprir demandas locais” (MÜLLER, 1995, p 42).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas são classificadas, segundo sua estrutura e modo de operação, em dois tipos, “PCHs a fio d’água” e “PCHs de acumulação”. Müller (1995, p. 43) define cada uma delas da seguinte forma:

**PCHs a fio d’água:** estas são adotadas quando a vazão mínima do rio for maior do que a descarga necessária para atender à demanda de geração elétrica. A adução pode ser feita com barramento mínimo, considerando que o aproveitamento energético do local será parcial, havendo descargas contínuas pelo vertedouro. Não havendo flutuação de nível e mínimos, devendo dar-se atenção, não obstante, aos aspectos referentes à migração de peixes ao longo do rio barrado.

**PCHs de acumulação:** estas são construídas quando a vazão do curso d’água não é suficiente para suprir a descarga necessária do sistema gerador. A barragem acumulará a água nas horas de baixo consumo elétrico, para empregá-la nos períodos de alta demanda. Nos casos extremos, todas as máquinas devem parar e o suprimento energético – nas horas de menos consumo – deverá ser feito por fontes complementares, como geradores a diesel etc. Nesses casos, o deplecionamento<sup>[4]</sup> será pronunciado, ocasionando efeitos ecológicos, especialmente sobre a vida aquática e outros usos das águas, tanto no reservatório como a jusante, onde o fluxo se tornará artificialmente intermitente.

Atualmente tem se visto no Brasil a crescente instalação de PCHs por todo o território nacional, apesar de ainda representar pouco no total do potencial instalado no país, esta expansão em muito se deve a políticas nacionais de incentivo, como a criação do “(...) Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PNPCH), da Eletrobrás, que apoia a implantação desses empreendimentos, facilitando o estudo, projeto, construção e financiamento dessas usinas” (MÜLLER, 1995, p. 44).

Müller (1995) ainda destaca o importante papel das PCHs no sentido de melhorar algumas condições locais onde se instalam, especialmente em áreas rurais, agregando nas suas proximidades algumas condições que acabam atraindo a instalação de pequenas indústrias, além do seu papel principal de melhorar o abastecimento e funcionamento do setor elétrico local, e além disso, “(...) O próprio desenvolvimento seria incentivado por usos agregados dos reservatórios, por

---

<sup>4</sup> Deplecionamento: fenômeno de redução do nível da água em uma área, usado especialmente ao tratar de áreas de reservatório de hidrelétricas, que ocorre em consequência das oscilações do regime hídrico ao longo do ano.

exemplo, o bombeamento elétrico d'água, também usado para aquicultura e para a irrigação” (p. 44).

Diante do que fora até aqui exposto, em suma, sobre a importância e a grande participação dos empreendimentos hidrelétricos na geração de energia no Brasil, observa-se a necessidade de etapas de estudos sobre o ambiente no qual estas obras se inserem, tanto no período pré-instalação – como já fora tratado – como no período após a instalação e em operação, nisso, no que se refere ao monitoramento destes ambientes, que é o tema tratado no item a seguir deste capítulo.

## ***2.2 Monitoramento dos ambientes com empreendimentos hidrelétricos***

Após a instalação e início da operação das hidrelétricas, é de extrema importância o contínuo monitoramento do ambiente no qual ela está inserida, não somente do comportamento e dinâmica no/do curso fluvial, bem como no entorno da obra, em especial pensando-se no recorte da bacia hidrográfica no qual se encontra. Esse monitoramento é necessário por diversos motivos, dentre eles, voltados ao bom funcionamento da unidade geradora, como também para constatar possíveis danos ao ambiente e a qualidade da água, assim como salienta o autor Bessa (2012), que “(...) com o barramento de um rio, a qualidade da água pode atingir estados físicos, químicos e biológicos inaceitáveis aos usuários da água, e afetar os ecossistemas que dela dependem” (p. 75).

O monitoramento é, portanto, um dos pilares de qualquer processo de gerenciamento, assegurando o acompanhamento das pressões antrópicas, do estado da água e ambientes aquáticos e das respostas ou resultados do sistema de gestão em termos de decisões e ações efetivadas no controle e proteção dos recursos hídricos (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007, p. 146).

Cabe também ressaltar que, juntamente com o monitoramento, a modelagem hidrológica vem a ser uma importante e eficaz ferramenta para o melhor conhecimento e gestão dos recursos hídricos, bem como para o aproveitamento destes, como é o caso discutido neste trabalho, com o uso voltado à produção de

energia elétrica. Estes modelos matemáticos, como afirma Ferreira (2004), têm sido considerados entre os estudiosos como uma sofisticada e eficaz ferramenta que torna possível analisar as questões com relação aos sistemas naturais, representando distintos processos e em diferentes escalas temporais.

Para a análise e descrição dos processos que ocorrem nos sistemas naturais existem duas classificações de modelos, os modelos empíricos e os modelos conceituais. Como propõem Christofolletti (2002) e Santos (2001) *apud* Ferreira (2004), no caso dos modelos empíricos, são utilizadas equações matemáticas gerais, que não consideram todos os mecanismos e processos envolvidos, relacionando somente os dados de causa e efeito. “[...] Normalmente, os modelos empíricos são mais simples e restritos às modificações na simulação que necessitem alterações nas escalas temporais e espaciais [...]” (p. 16); já no caso dos modelos conceituais, são representados os componentes envolvidos nos processos para a simulação dos eventos.

Com relação à estrutura espacial, Ferreira (2004, p. 16) descreve que os modelos podem ser classificados como agregados (*lumped* ou globais) ou distribuídos:

- Agregados: Nestes modelos a variabilidade espacial não é considerada, sendo a superfície geográfica considerada homogênea e uniforme. A bacia inteira é considerada como uma unidade, onde as variáveis e os parâmetros são tidos como valores únicos para toda a área, constituindo em uma simplificação importante da realidade.
- Distribuídos: Os modelos distribuídos apresentam limitações de aplicação, pois exigem um banco de dados muitas vezes complexos e com enorme quantidade de informação.

De forma geral, a aplicação de qualquer destes modelos segue etapas muito parecidas. Inicialmente são levantados os dados e informações para posterior representação de simulação do evento. Esta segunda etapa é dividida em duas fases: calibração e validação. A calibração, segundo Ferreira (2004, p. 17) é “[...] o processo de identificação de valores dos parâmetros que permitem a melhor simulação de um grupo de dados observados [...]” e a validação é definida como o

processo de demonstração dos parâmetros estimados na calibração. “[...] Na validação procura-se observar se os valores dos parâmetros podem ser estendidos a outros grupos de dados, assim, demonstrando a adequação do uso do modelo e tornando legítimo o processo de simulação” (FERREIRA, 2004, p. 17).

A aplicação dos modelos matemáticos para a compreensão e representação dos ambientes hídricos é de grande relevância e extrema importância para o desenvolvimento da sociedade e de suas atividades. Um exemplo de modelo aplicado aos ambientes hídricos é a curva-chave (ou também chamada de curva de descarga) dos canais fluviais; trata-se de um modelo, uma equação matemática, que é estabelecida após a realização de uma série de medições diretas para obtenção dos dados de velocidade do fluxo e das cotas linimétricas do canal fluvial, e a partir disso, é possível a determinação da correspondência entre nível de água e vazão. De acordo com Pedrazzi (2003) *apud* Pereira [*et. al.*] (2003) a curva chave usa modelo de seção com controle local, ou seja, predominância da declividade do fundo sobre as demais forças do escoamento, como por exemplo, a pressão. Com isso, temos uma relação biunívoca entre profundidade e vazão.

A obtenção de dados referentes à vazão dos canais é um importante e necessário parâmetro a ser considerado quando tratamos dos estudos e da aplicação da modelagem destes ambientes. A medição do fluxo d'água em um rio é uma atividade que vem sendo desenvolvida há séculos, pois seus dados são indispensáveis para o planejamento dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância econômica (IBIAPINA *et al.*, 2007).

Diante da já exposta importância do monitoramento dos ambientes hídricos, bem como da modelagem hidrológica como aliada desta atividade, cabe também contextualizar como isto vem sendo tratado no Brasil. Segundo Magalhães Júnior (2007), pode-se dizer que nos aspectos legais e institucionais, o país vem recentemente buscando ampliar e modernizar as regulamentações de modo a cada vez mais exigir e ampliar as atividades de monitoramento; porém, ainda existe um atraso considerável quanto à indispensável disponibilização dos dados provenientes dos sistemas e redes coletoras de monitoramento dos ambientes hídricos no Brasil.

Dentre as políticas e a legislação que abarcam este tema e estas atividades, o mesmo autor aponta a importância da efetivação do Sistema Nacional de



Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), cuja implantação e gestão estão a cargo da Agência Nacional de Águas (ANA), segundo ele, este sistema pode auxiliar na otimização dos dados existentes e potencializar sua utilização. Para enfatizar ainda mais a importância sobre a efetivação do SNIRH, Magalhães Júnior (2007, p 147) recorre ao texto da Lei 9.433/97<sup>[5]</sup> que diz que esse sistema está encarregado de “coletar, organizar, criticar e difundir o banco de dados relativo aos recursos hídricos, seus usos, o balanço hídrico de cada manancial e de cada bacia, provendo os gestores, os usuários, a sociedade civil e outros usuários”.

Quanto à estrutura e operacionalidade atual do monitoramento dos ambientes hídricos no Brasil, Magalhães Júnior (2007) enfatiza que o país tem, no geral, acompanhado os acelerados avanços tecnológicos das últimas décadas nos procedimentos de coleta, transmissão e tratamento de dados, proporcionados advento da informática e pelo desenvolvimento das técnicas de geoprocessamento.

Contextualizando historicamente, tem-se que no Brasil

As primeiras iniciativas de coleta de dados hidrometeorológicos no país remontam ao início do século XX, quando foram instaladas as estações do Dnocs (Departamento Nacional de Obras contra as Secas) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Também no início do século XX foram empreendidas algumas iniciativas privadas, como as de São Paulo Light and Power (1909) e da Morro Velho, em Nova Lima (MG), em 1855 (Ibiapina, 1999). Na década de 1920 o Serviço Geológico e Mineralógico do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, através da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, atuava nas áreas de geração de dados pluviométricos (hidrologia) e energia hidroelétrica. (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007, p. 147-148)

Quanto a esse acompanhamento que se vê do Brasil em relação aos avanços tecnológicos aplicados ao monitoramento hidrológico, nota-se que fora bastante recente. Até o fim da década de 1960, a coleta desse tipo de informação era realizada somente com equipamentos mecânicos - pluviômetros/pluviógrafos e régua linimétrica/linígrafos. Somente mais tarde, a informatização dos dados passou a ser utilizada, superando dificuldades e certos retardos na obtenção e de resultados (Magalhães Júnior, 2007).

---

<sup>5</sup> A Lei nº 9.433/97 ficou conhecida como “Lei das Águas”, por instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos e definir a estrutura jurídico-administrativa do Sistema Nacional de Recursos Hídricos.

Foi na década seguinte – 1970 – que o Brasil passou a informatizar seus sistemas de coleta e processamento de dados hidrológicos, bem como teve sua primeira experiência ampliada na disponibilização destes dados. Isto se deu a partir da iniciativa do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) no ano de 1972, com a implantação de um sistema de informações hidrológicas. Para a melhor organização deste sistema, o território nacional foi dividido em oito grandes bacias hidrográficas, e as estações fluviométricas passaram a ser codificadas, assim como seus dados e inventários foram informatizados (Magalhães Júnior, 2007).

No período mais atual, o desenvolvimento de novas técnicas, tecnologias e métodos estatísticos possibilitou o surgimento de outras ferramentas mais modernas, precisas e eficazes para utilização na coleta e processamento de dados hidrológicos. Bons exemplos disso são o GPS (*Global Positioning System*), amplamente utilizado em coleta de dados em campo, os linígrafos eletrônicos, que registram as cotas linimétricas dos rios automaticamente, pluviômetros e pluviógrafos eletrônicos, para registros de precipitação pluviométrica, uma grande diversidade de modernos molinetes para medição de fluxo hídrico e o ADCP (Perfilador *Doppler*-acústico de corrente), equipamento que utiliza o efeito *Doppler* para medir a vazão através do somatório de sucessivos perfis de corrente (Filizola Jr. *et. al.*, 1999 *apud* Magalhães Júnior, 2007, p. 148-149).

Uma grande evolução neste setor – de monitoramento hidrológico – também se deu com relação à transmissão dos dados. Até a década de 1940 a transmissão era feita manualmente, pouco tempo depois passou-se a utilizar o telégrafo e, somente na década de 1970 surgiu a primeira iniciativa de estações hidrológicas com operação e transmissão em tempo real, também chamadas de estações automáticas; foi a CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais), a empresa precursora, que implantou uma rede ao longo do Rio São Francisco, quando então passou a utilizar o telefone como meio de transmissão dos dados. Desta década em diante o uso de sensores automáticos de precipitação e nível dos rios disseminaram-se por todo o país, ainda que até o fim dos anos 1980 os dados eram quase que totalmente ainda transmitidos somente via telefone e/ou rádio (Magalhães Júnior, 2007).

O próximo avanço em relação à transmissão dos dados de monitoramento hidrológico se deu com a mais recente e moderna utilização de satélites. A primeira experiência de transmissão de dados desta natureza via satélite aqui no Brasil se

deu no ano de 1982 quando a empresa Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte) começou a instalar na Amazônia, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), uma rede de teletransmissão de dados hidroluviométricos via satélite, em função da implantação da Barragem de Tucuruí (Magalhães Júnior, 2007, p. 151).

Atualmente a telemetria vem sendo amplamente utilizada para a transmissão de dados de estações pluviométricas e fluviométricas em todo o Brasil, além de ter se tornado obrigatória nos casos de monitoramento dos ambientes hídricos nos quais encontram-se instalados empreendimentos hidrelétricos, fato que será tratado com mais detalhe no item na sequência deste capítulo.

Com relação ao tratamento dos dados e sua disponibilização, a informática foi também uma forte aliada e facilitadora destes processos. Um bom exemplo disso está no tratamento dos dados RBHN (Rede Básica Hidrometeorológica Nacional), em que os dados são recebidos pela CPRM (Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais) e são digitados, sendo posteriormente consistidos. O processo de consistência dos dados se refere a uma detalhada análise para verificação de possíveis erros de leitura dos aparelhos medidores/registradores, isto se realiza através da “(...) Sistemática para Análise de Consistência e Homogeneização de Dados Pluviométricos e Fluviométricos, pelo *software* PROHD” (Magalhães Júnior, 2007, p. 156). Por fim, os dados consolidados são enviados à ANA (Agência Nacional de Águas), que encarrega-se da divulgação pública destes.

Analisando o que fora exposto até aqui, percebe-se que no Brasil existem várias instituições envolvidas com o monitoramento dos ambientes hídricos, a maioria delas são federais. Cada unidade federativa brasileira também tem iniciativas e instituições próprias à sua esfera governamental que se voltam para este tipo de atividade, porém não é possível mencionar aqui e elencar quais são e a quais estados pertencem pois, até o presente momento de finalização deste trabalho, ainda não tenha sido feito um levantamento que pudesse ser aqui apresentado.

Quanto às instituições federais, o autor Magalhães Júnior (2007) traz uma importante contribuição com o levantamento e apresentação de todas que têm suas atividades voltadas ao monitoramento hidrológico, sejam estas atividades diretamente associadas ao monitoramento da água, ou, em alguns casos em que são prestadoras de apoio técnico, administrativo ou financeiro às iniciativas de

monitoramento. Para o caso deste estudo, este levantamento realizado pelo autor foi adaptado de modo a apresenta no quadro a seguir (Quadro 2) somente as instituições envolvidas diretamente com o tema central desta pesquisa, o monitoramento hidrológico associado a aproveitamentos hidrelétricos.

**Quadro 2** – Instituições federais que desempenham atividades relacionadas ao monitoramento hidrológico associado a aproveitamentos hidrelétricos.

INSTITUIÇÕES	FUNÇÕES
ANA – Agência Nacional de Águas/Ministério do Meio Ambiente (criada pela Lei N° 9.984/200).	Regulação, organização, implantação e gestão do Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos; Organização das atividades desenvolvidas no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional.
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica/Ministério de Minas e Energia (criada pela Lei N° 9.427/1996).	Estudos e regulação de aproveitamento de energia; Administração da rede hidrometeorológica nacional – a maior rede de monitoramento de águas no Brasil.
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis/Ministério do Meio Ambiente (criado pela Lei N° 7.735/1989).	Monitoramento da dinâmica do meio ambiente e dos recursos naturais; Ações de gestão, proteção e controle ambiental.

Fonte: Magalhães Júnior, 2007. Adaptação: Bueno, 2013.

Ainda que seja evidente uma expressiva quantidade de instituições, políticas e medidas voltadas ao monitoramento ambiental e dos recursos hídricos no Brasil, ainda existem muitas deficiências, em especial, como destaca Magalhães Júnior (2007), quanto a operacionalização da recente base legal de gestão da água. Para o autor, “Mais importante do que a quantidade de estações e equipamentos são o planejamento das redes e o monitoramento da eficiência do sistema (...)” (p 161).

Para que sejam asseguradas a eficácia e a eficiência das redes e estações, bem como a validade dos dados monitorados, o planejamento das redes deve ser realizada atentamente. O desempenho de uma rede não é um problema exclusivamente técnico, exigindo que os coletores dos dados compreendam “para que” os dados estão sendo usados (...) (Magalhães Júnior, 2007, p. 161-162).

Esta compreensão sobre a importância da coleta dos dados a que o autor se refere, seja para aqueles que o fazem ou para os que utilizam estes dados para os mais diversos fins (acadêmicos, econômicos, de planejamento, etc.), deve ser

pensada – e vem atualmente sendo pensada - juntamente com a importância e necessidade da ampla disponibilização e divulgação destas informações.

É realmente importante, e já garantido por direito, que os dados e informações resultantes do monitoramento de um bem público, a água, bem como referente ao ambiente hídrico e os demais elementos do sistema natural das águas, sejam também públicos. Somente assim pode-se falar de um planejamento e gestão democráticos dos recursos hídricos brasileiros, e de um melhor e maior (re)conhecimento de toda a complexidade e dinâmica dos elementos que compõem os ambientes hídricos, para que também estes sejam pensados e utilizados de forma racional e sustentável pela sociedade.

Quanto a toda essa problemática envolvida no monitoramento dos ambientes hídricos, o Brasil deu um passo importante na regulação e regulamentação desta importante atividade a ser operacionalizada em ambientes nos quais estejam instalados empreendimentos hidrelétricos. Envolvidas neste processo estão duas agências nacionais, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e a ANA (Agência Nacional de Águas), no estabelecimento de condições e procedimentos a serem observados e atendidos pelas concessionárias autorizadas para geração de energia elétrica por meio de hidrelétricas, no que se refere ao monitoramento hidrológico. Esse assunto e outras reflexões sobre o tema serão tratados de modo mais detalhado no item a seguir que é apresentado neste capítulo.

### **2.3 A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010**

Diante da necessidade e importância do monitoramento dos recursos hídricos do país, o governo brasileiro, através da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Agência Nacional de Águas (ANA), publicou em 20 de outubro de 2010 a Resolução Conjunta nº 03/2010. Trata-se da mais recente publicação que regulamenta e amplia o monitoramento dos recursos hídricos do país, precisamente se tratando dos ambientes hídricos em que se encontram instalados empreendimentos hidrelétricos.

Cabe ressaltar que esta publicação revoga a Resolução nº. 396/1998, de 04 de dezembro de 1998, que até então era a primeira e única resolução específica no tratamento das condições e dos procedimentos para instalação, operação e manutenção de estações de redes hidrométricas de monitoramento dispostas próximas a empreendimentos hidrelétricos a fim de monitorar a dinâmica do rio e da precipitação local.

A Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03, de 10 de agosto de 2010, publicada em 20 de outubro de 2010, estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos (ANA, s.d.)<sup>6</sup>.

Com tal Resolução, a ANA assumiu a função de orientar os agentes do setor elétrico sobre os procedimentos de coleta, tratamento e armazenamento dos dados hidrológicos, bem como sobre a forma de envio dessas informações em formato compatível com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), padronização esta muito importante no sentido de permitir a divulgação dos dados oriundos do monitoramento hidrológico realizado pelos agentes do setor elétrico (ANA, s.d.).

A nova Resolução que normatiza a atividade de monitoramento hidrológico no setor hidrelétrico no Brasil inovou ampliando os parâmetros para além dos constantes na antiga Resolução nº 396/1998, incorporando o estudo e monitoramento do nível de sedimentação dos corpos hídricos e a qualidade da água. Outra inovação se refere a obrigatoriedade do envio constante e remoto de informações à ANA, que é a agência responsável pelo gerenciamento destes dados.

No que diz respeito às responsabilidades concernentes às agências – ANA E ANEEL – está a fiscalização das estações das redes de monitoramento hidrométrico em operação no território nacional, enquanto que o recebimento das informações e a análise da qualidade dos dados passarão a ser de responsabilidade exclusiva da ANA.

---

<sup>6</sup> Referência: ANA. Agência Nacional de Águas. **Monitoramento hidrológico no setor hidrelétrico.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/monitoramentohidro.aspx>.

No que se refere à quantidade de estações que compõem a rede hidrométrica do empreendimento hidrelétrico, o Artigo 2º da definição do número de estações hidrométricas, dispõe que deverão ser consideradas as seguintes características:

I – a área de drenagem incremental de cada aproveitamento, para o monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico e sedimentométrico;

II – a área inundada do reservatório para o monitoramento da qualidade da água.

§ 1º Entende-se como área de drenagem incremental a diferença entre a área de drenagem do aproveitamento e o somatório das áreas de drenagem de outros aproveitamentos outorgados localizados imediatamente à montante.

§ 2º No caso de aproveitamentos localizados em bacias hidrográficas que tenham áreas em outros países, a área incremental a ser considerado no caso do aproveitamento mais a montante localizado dentro do território nacional, será a diferença entre a área de drenagem do aproveitamento em questão e a área fora do país.

§ 3º As estações com monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico e sedimentométrico deverão ser instaladas de acordo com as seguintes faixas e quantidades:

**Quadro 3 – Determinação da quantidade de estações a serem instaladas.**

Tipo de Monitoramento	Área de Drenagem Incremental				
	De 0 a 500 km <sup>2</sup>	De 501 a 5.000 km <sup>2</sup>	De 5.001 a 50.000 km <sup>2</sup>	De 50.001 a 500.000 km <sup>2</sup>	Acima de 500.000 km <sup>2</sup>
Pluviométrico	1	3	4	6	7
Limnimétrico	1	1	1	1	1
Fluviométrico	1	3	4	6	7
Sedimentométrico	1	2	2	3	3

Fonte: ANA/ANEEL, 2010.

No artigo 3º que trata da obrigatoriedade do envio à ANA do projeto de instalação das estações, as considerações existentes são quanto a necessidade da escolha de locais inéditos para instalação e operação das estações, não sendo admitidas sobreposições com estações já existentes – sejam elas operadas pela ANA ou por outras entidades -, e que a escolha desses locais deverá passar por

avaliação prévia da ANA, que irá aprovar ou não tais escolhas. Em caso de aprovação, a ANA indicará códigos de identificação para cada uma das estações e após este trâmite, a concessionária do empreendimento, ou seu autorizado, deverá iniciar a operação de monitoramento.

Dentre as demais deliberações constantes da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, são elencados na sequência, resumidamente para fim de melhor apresentar o conteúdo constante no documento oficial, as principais destas determinações; as demais que porventura não vieram a serem aqui apresentadas, ou tenha sido suprimido alguma informação referente a estas determinações, podem ser consultados no texto na íntegra em anexo a este trabalho.

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 prevê e determina então que:

- Os concessionários ou autorizados devem enviar relatório de Instalação de estações hidrométricas à ANA, em até dois meses após o início do funcionamento da(s) estação(ões);
- Nos locais em que seja estabelecido o monitoramento fluviométrico e sedimentométrico, deverão ser realizadas, pelo menos quatro medições pontuais (*in loco*) no decorrer do ano para fins de definição e atualização de curvas de descarga líquida e sólida, bem como, em mesma quantidade de medições pontuais em que se estabeleça o monitoramento da qualidade da água;
- Todas as estações (pluviométricas, fluviométricas e limnimétricas) deverão ser automatizadas e telemetrizadas, com registro dos dados em intervalo horário (ou menor) e disponibilizadas, também em intervalo horário à ANA.
- Os concessionários ou autorizados devem encaminhar à ANA, até o dia 30 de abril de cada ano, um relatório de consistência dos dados do ano anterior, bem como as curvas de descarga líquida e sólida atualizadas. Tais relatórios serão analisados e posteriormente disponibilizados pela ANA em seu endereço virtual.

Atualmente empresas e instituições, públicas e privadas, atuando como concessionários ou autorizados por estes, estão trabalhando e desenvolvendo técnicas, métodos e ferramentas para atendimento dessa nova Resolução. O prazo



para a completa regularização e atualização em atendimento às determinações acima descritas era dado inicialmente para o mês de abril do corrente ano – 2013. Porém, diante de algumas dificuldades para esta completa adequação das redes de monitoramento hidrológico a todas as deliberações estabelecidas na Resolução Conjunta ANA/ANEEL n° 03/2010, o governo brasileiro notificou o protelamento do prazo final, ainda não publicado oficialmente até o fechamento da redação deste trabalho.

No que se refere então às técnicas, métodos e ferramentas para atendimento a esta nova Resolução, no capítulo a seguir serão apresentados alguns destes materiais e métodos e algumas breves reflexões sobre a importância e operacionalidade de cada um para atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL n° 03/2010. Cabe esclarecer que estes materiais e métodos foram os mesmos utilizados pela empresa autorizada a operar a rede hidrométrica, consolidar os dados provenientes desta e elaborar a documentação necessária, incluindo relatórios de instalação e operação, referentes ao aproveitamento “PCH Margarida”, utilizado como exemplo de caso para este estudo.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS PARA ATENDIMENTO À RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL N° 03/2010**

Neste capítulo, serão apresentados alguns dos materiais e dos métodos que podem vir a serem utilizados para atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL n° 03/2010, e foram utilizados na instalação e operação da rede hidrométrica, bem como na consolidação dos dados provenientes desta, para o aproveitamento “PCH Margarida”, utilizado como exemplo de caso para este estudo.

#### ***3.1 Instalação e manutenção das estações***

Dentre todas as atividades que compreendem as etapas de adequação às normas da Resolução Conjunta, a primeira delas é a instalação das estações e/ou a adaptação das já existentes e cadastradas junto à Agência Nacional de Águas (ANA). No que se refere à quantidade de estações exigidas, as especificações já foram mencionadas no capítulo anterior. Quanto ao local em que as estações devem ser instaladas, não existem prescrições muito específicas mas, em linhas gerais, pelas orientações da agência regulamentadora – ANA – e pelo que é indicado na literatura sobre o tema, como fora apontado por Chevallier (2013, p. 498), é mais indicado instalar as estações em trecho retilíneo do rio, em que na seção transversal do canal seja percebido, se possível, uma velocidade de fluxo estável a qualquer cota - tanto em épocas de estiagem, quanto em épocas de cheias. Uma outra consideração importante na escolha do local de instalação das estações se refere ao grau de facilidade no seu acesso. Assim como está previsto na Resolução Conjunta, é importante verificar se as estações a serem instaladas (em caso de novas estações) não irão ficar “amontoadas” a outras estações já instaladas, apesar de não existir uma regra definida para a distancia necessária entre as estações; por isso, é importante um reconhecimento da área previamente, levantando as informações necessárias e confrontando com a realidade em campo.

Quanto a disposição das estações, a partir do quantitativo estabelecido para a área incremental do empreendimento, podem existir as seguintes situações:

No caso do empreendimento ter área incremental da faixa 1 (0 a 500 km<sup>2</sup>), é determinado um único ponto, à jusante do barramento, escolhido para a instalação das estações. Como os equipamentos são instalados no mesmo local e a área de seção transversal é rente a este, dizemos que neste local tem-se uma estação do tipo PFSDT (Pluviométrica/Fluviométrica/Sedimentométrica/medição de Descarga líquida/Transmissão via Telemetria), somente a estação linimétrica será disposta junto ao barramento em todos os casos das distintas faixas a qual um empreendimento pode ser enquadrado.

Quando a área incremental do empreendimento está entre 501 e 5000 km<sup>2</sup>, enquadrando-se na faixa 2, deverão ser instaladas: 2 (duas) estações sedimentométricas, uma à montante e outra à jusante do barramento; 3 (três) estações pluviométricas e 3 (três) estações fluviométricas, para cada um dos casos respeitando que seja instalado 1 (uma) à jusante do barramento e outras 2 (duas) à montante. Assim, este empreendimento deverá conter em sua rede hidrométrica, 2 (duas) estações do tipo PFSDT (Pluviométrica/Fluviométrica/Sedimentométrica/Medição de Descarga líquida/Transmissão via Telemetria); 1 (uma) estação do tipo PFDT (Pluviométrica/Fluviométrica/Medição de Descarga líquida/Transmissão via Telemetria); e 1 (uma) estação linimétrica instalada junto ao barramento.

Existem casos onde não é possível instalar estações sedimentométricas à jusante do barramento, isso porque ocorre da existência de um outro aproveitamento energético em operação logo à jusante, nestes casos, o reservatório deste outro aproveitamento acaba provocando o fenômeno de remanso, impossibilitando medições corretas no dado local entre os dois empreendimentos. Quando isto ocorre, esta estação que deveria ser instalada à jusante do barramento é movida para a montante.

Em todos os outros casos em que a área incremental seja maior de 5000 km<sup>2</sup>, as quantidades serão respeitadas conforme cada faixa estipulada na Resolução Conjunta para instalação e/ou readequação da rede hidrométrica, sendo que a disposição sempre será de 1 (uma) estação linimétrica junto ao barramento e 1 (uma) estação à jusante do barramento, as demais exigidas em conformidade com a faixa do empreendimento serão instaladas à montante do barramento.

Nos aproveitamentos com área inundada superior a 3 km<sup>2</sup>, é exigido também, via Resolução, o monitoramento da qualidade da água, considerando os parâmetros

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo total, Nitrogênio Total, Clorofila A, Transparência, pH e Temperatura. Nestes casos, a ANA poderá determinar até três locais para a realização do monitoramento. O monitoramento geralmente, e preferencialmente, acaba sendo estipulado para ser realizado em um dado local já considerado para o atendimento de condicionante da licença ambiental para instalação do empreendimento energético.

A operadora da rede hidrométrica do empreendimento deve enviar previamente à ANA um projeto com a proposta de instalação e/ou adequação das estações de sua rede estabelecidas em conformidade com a área incremental do aproveitamento. Segundo orientações da Agência reguladora – ANA (2013) - neste projeto deverão constar as seguintes informações:

- Mapa da Bacia Hidrográfica com a localização das estações em operação e estações propostas. Outras informações temáticas poderão ser inseridas nesse mapa, com o objetivo de facilitar a análise da ANA, como por exemplo, a posição geográfica de outros empreendimentos do setor elétrico e a localização dos principais cursos d'água;
- Diagrama Unifilar da Bacia Hidrográfica contendo no mínimo as seguintes informações: localização das estações em operação e das propostas, cursos d'água principais e outros empreendimentos do setor elétrico;
- Informações das visitas de campo realizadas pela empresa com objetivo de confirmar a viabilidade de implantar as estações de monitoramento nos locais pré-definidos em escritório, em especial, dos registros fotográficos dos locais previstos para instalação dos instrumentos de medição horária e das seções de medição de descarga líquida, descarga sólida e determinação de parâmetros de qualidade de água (reservatório);
- Tabela consolidada com a proposta da rede de monitoramento (pluviométrica, linimétrica, fluviométrica, sedimentométrica e de qualidade de água), tendo para cada ponto de monitoramento as seguintes informações:

- ❖ Nome proposto para a estação (é fundamental que a empresa adote o nome do aproveitamento como parte da proposição de nomenclatura para as estações, bem como sua localização. Exemplos: PCH/UHE XXXX Montante, PCH/UHE XXXX Montante I, PCH/UHE XXXX Barramento;
- ❖ Tipo de registro do levantamento horário e das medições;
- ❖ Coordenadas geográficas da estação (latitude e longitude);
- ❖ Nome do município e do rio, altitude e área de drenagem (no caso das estações fluviométricas).

Após o envio e aprovação da ANA, a rede hidrométrica será instalada e/ou readequada. Feito isso, a empresa operadora ainda deverá obrigatoriamente enviar um relatório de instalação das novas estações, as quais receberão um código, como todas as estações devidamente devem estar cadastradas junto ao banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos, administrado pela ANA. Após aprovação do relatório de instalação, também pela Agência Nacional de Águas, a rede hidrométrica passará a ser operada em conformidade com as exigências. Um outro documento, chamado de “Ficha descritiva” deverá ser elaborado pela operadora para cada estação que foi instalada ou readequada, o modelo deste documento é disponibilizado pela ANA em sua página oficial na internet.

Quando já em operação, as estações devem ser periodicamente visitadas para a realização de manutenção preventiva, como por exemplo para a limpeza dos pluviômetros e verificação do bom funcionamento e do bom estado dos equipamentos, e em casos de danificação de equipamentos ou qualquer desconformidade com o estado adequado das estações, deve ser realizada uma manutenção corretiva, como por exemplo, a necessidade de troca de peças.

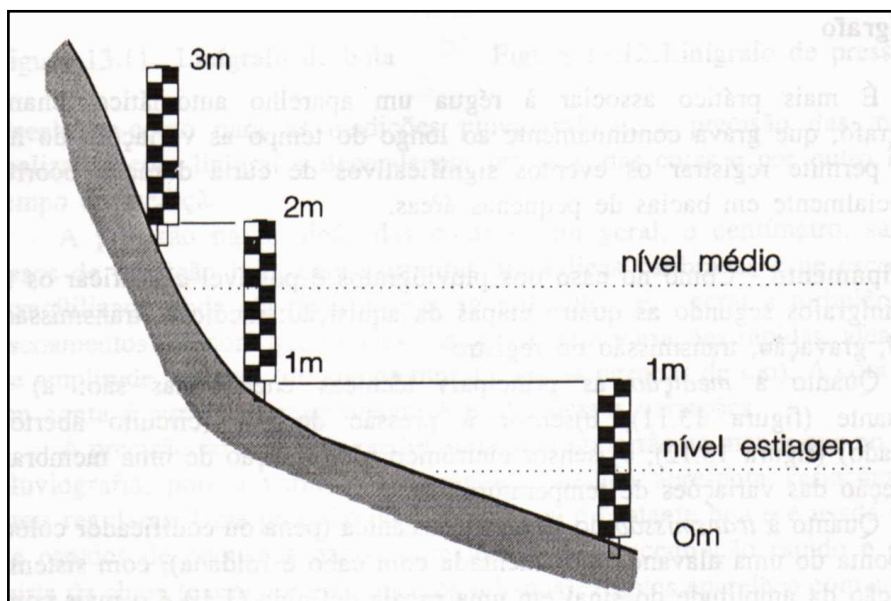
### **3.2 Operação e atividades em campo**

A operacionalidade da rede hidrométrica ocorre de duas maneiras, *in loco* e remotamente (telemetria). Como a nova Resolução torna obrigatório a

telemetrização das estações, os dados de monitoramento contínuo com registro das cotas (nível d'água) e da pluviosidade (registros de chuva) são obtidos por equipamentos que realizam automaticamente a obtenção dos dados, que são transmitidos via satélite e gravados no sistema da empresa operadora, em um banco de dados. Outros dados que se fazem necessários os levantamentos, como medições de descarga líquida e sólida e medição topobatimétrica da seção transversal são dados obtidos em atividades de campo. Na sequência do texto, são apresentadas algumas das ferramentas e dos métodos que são utilizados para execução do levantamento de dados em campo.

Para as estações em que é estabelecido o monitoramento fluviométrico e seja necessária a realização de medições pontuais do fluxo do canal para posterior traçado ou atualização da curva-chave de descarga líquida, o procedimento para estas medições da vazão do rio foram baseadas no método descrito em Santos [*et. al.*] (2001) e já apresentados em outro trabalho de mesma autoria (BUENO, 2009) desta monografia. Segundo esta proposta metodológica, deve constatar-se o volume de água que passa através de uma seção transversal em uma unidade de tempo, na qual tem-se a grandeza em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) juntamente com o registro da cota linimétrica corresponde ao momento da medição do fluxo.

Para o registro das cotas linimétricas são instaladas próximas à área da seção transversal adotada para a estação as réguas linimétricas (Figura 2), as quais possibilitam a visualização dos diferentes níveis de água durante as medições, para posterior confronto com os dados de vazão constatados.



**Figura 2** – Disposição das réguas linimétricas.  
**Fonte:** Santos [et.al.], 2001. **Org.:** Bueno, K. 2009.

Os lances de réguas são topograficamente amarrados entre si por referências de níveis (RN's). Para que, no caso da ocorrência de uma ou mais réguas acabarem sendo deslocadas acidentalmente do seu local original, estas sejam substituídas, ou novamente fixadas no ponto de origem, são construídos 02 (dois) marcos de RN's (Referência de Nível), um em local próximo aos lances de escalas, em locais seguros que não tenha o seu valor alterado e acima das cheias.

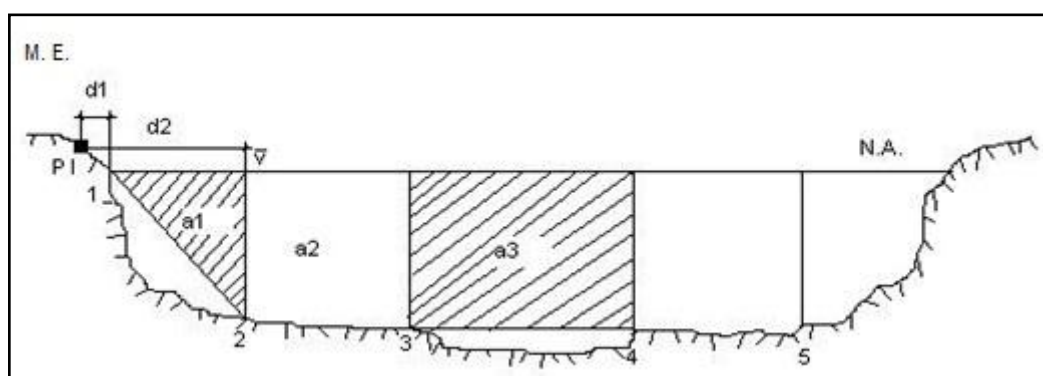
Para a medição do fluxo existem distintas formas e equipamentos, desde os flutuadores até equipamentos mais sofisticados como os ADCPs, e suas utilização variam conforme a necessidade do estudo e a grandeza do canal. Atualmente, percebe-se uma tendência maior de utilização de molinetes hidrométricos neste tipo de medições, como fora utilizado no exemplo de estudo de caso apresentado nesta monografia.

(...) usa-se para medir a velocidade da água principalmente molinetes equipados com uma hélice que gira quando é colocada no sentido do fluxo da água. Existem vários tipos de molinetes e hélices. O princípio mais usado é que a rotação em torno do eixo abre e fecha um circuito elétrico. Contando o número de voltas durante um intervalo de tempo fixo, obtém-se a velocidade de rotação da hélice que está relacionada com a velocidade do fluxo, através de uma fórmula do tipo:  $V=na +b$  onde  $V$  = velocidade do fluxo;  $N$  = velocidade de rotação;  $a$  e  $b$  são constantes e características da hélice. As constantes  $a$  e  $b$  são fornecidas pelo fabricante [do molinete] e podem ser verificadas em canais especiais de calibragem

(...) Para contar os impulsos gerados pelo molinete utiliza-se um conta-giros (CHEVALLIER, 2013, p. 505).

A utilização do molinete hidrométrico se dá em uma área da seção determinada (referente ao local da estação de monitoramento), medindo o fluxo que passa por ela. Esta área é determinada por meio da medição da largura do rio e da profundidade em um número significativo de pontos ao longo da seção, chamados de verticais, nas quais é realizada a medição da velocidade com o molinete hidrométrico em um número significativo de pontos, a diferentes profundidades.

Para o cálculo da medição convencional utilizou-se o método da seção média, também proposto por Santos [*et. al.*] (2001) (Figura 3), onde as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, a partir da largura, da média das profundidades e da média das velocidades entre as verticais envolvidas.



**Figura 3** – Esquema de cálculo da seção média.  
**Adaptação:** Bueno, K. 2009.

Pelo método da seção média, a determinação do número de pontos (verticais) e as distâncias entre as verticais devem estar de acordo com a largura observada no rio, conforme recomenda Santos [*et. al.*] (2001) no quadro a seguir (Quadro 4):

**Quadro 4** – Distância entre as verticais.

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
< 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0
30 a 50	3,0



50 a 80	4,0
80 a 150	6,0
150 a 250	8,0
> 250	12,0

**Fonte:** Santos [et. al.]. (2001). **Org.:** Bueno, K. (2009).

Para a determinação do número de pontos e a posição destes pontos de medição nas verticais, Santos [et. al.] (2001) recomenda que estes estejam de acordo com a profundidade do rio, conforme pode-se constatar no quadro a seguir (Quadro 5):

**Quadro 5 – Posição e profundidade dos pontos de medição das velocidades na seção transversal.**

Nº de pontos	Posição na vertical (*) em relação à prof. "p"	Cálculo da velocidade média, na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = v_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2$	0,6 - 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$V_m = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 4$	1,2 - 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	$V_m = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) / 6$	2,0 - 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$V_m = [V_s + 2(v_{0,2} + v_{0,4} + v_{0,6} + v_{0,8}) + v_F] / 10$	> 4,0

(\*) S – superfície; F - fundo.

**Fonte:** DNAEE, 1977 *apud* Santos [et. al.] (2001). **Org.:** Bueno, K. (2009).

Após a realização da medição em campo, constatando largura do canal, a cota linimétrica e a as velocidades do fluxo em cada vertical estabelecida, será possível realizar em gabinete o cálculo da vazão, grandeza que é associada à cota linimétrica  $h$  (cota da superfície livre em relação a um plano de referência arbitrário), considerada em metros (m).

Por ocasião das medições efetuadas em campo como fora explicitado anteriormente, é possível constatar as profundidades das verticais da seção transversal e, a partir destes dados, é possível também traçar os perfis batimétricos desta seção transversal do canal. Cabe aqui ressaltar que este perfil não representa precisamente a geometria da seção do canal, pois o levantamento batimétrico não leva em consideração todo o leito do rio, mas somente as medições das profundidades das verticais determinadas. Na ocasião da instalação da estação fluviométrica, exige-se que seja realizado um perfil topobatimétrico da seção do

canal, ou seja, trata-se da junção de dois tipos de levantamento, o topográfico e o batimétrico.

As amostragens de sedimentos também são feitas juntamente com as campanhas de medições mencionadas acima. No caso dos métodos e ferramentas que serão apresentados na sequência neste trabalho, trata-se de um exemplo de uma coletânea de procedimentos adotados pela empresa operadora<sup>7</sup> da rede hidrométrica utilizada como exemplo de caso neste estudo, que tiveram algumas adaptações, mas seguem as exigências estabelecidas e documentadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da publicação intitulada “Orientações para operação das estações hidrométricas”<sup>8</sup>, pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), por meio da publicação intitulada “Normas e recomendações hidrológicas – Sedimentometria”<sup>9</sup> e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da publicação intitulada “Guia de práticas sedimentométricas”<sup>10</sup>

Para atender às disposições da Resolução Conjunta, são necessários os levantamentos dos dados sedimentométrico de amostras de sedimentos em suspensão no canal e sedimentos do fundo do leito. Para estes tipos de medições existem distintos equipamentos para a realização da coleta em campo, neste caso são utilizados os seguintes equipamentos, fabricados pela empresa brasileira “Hidromec”:

---

<sup>7</sup> A empresa ConstruserV atua como operadora da rede hidrométrica da PCH utilizada como exemplo de caso neste estudo, que tem como autorizada pela geração de energia a empresa CPFL Renováveis. O Grupo ConstruserV atua neste setor realizando trabalhos de instalação e manutenção de estações, análise de dados e elaboração de relatórios em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010.

<sup>8</sup> ANA. Agência Nacional de Águas. **Orientações para operação das estações hidrométricas.** Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaOperacaoDeEstacoesHidrometricas-VersaoJun12.pdf>>. Acesso em: nov, 2013.

<sup>9</sup> DNAEE. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Normas e recomendações hidrológicas – Sedimentometria.** 1967.

<sup>10</sup> CARVALHO, N. de O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C. dos; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas.** ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Brasília-DF, 2000. Disponível em: <[http://aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia\\_prat\\_port.pdf](http://aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_prat_port.pdf)>. Acesso em: nov, 2013.

- **Amostradores para sedimento em suspensão - USDH-48 e USD-49**

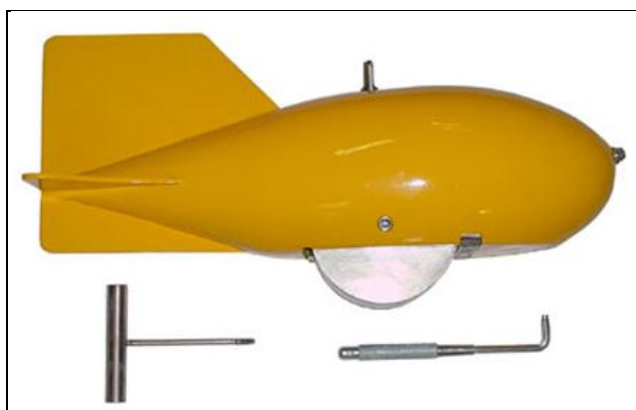


**Figura 4** - USD-49 para ser usado com guincho. **Fonte:** imagens cedidas pela empresa operadora da rede hidrométrica (2013).

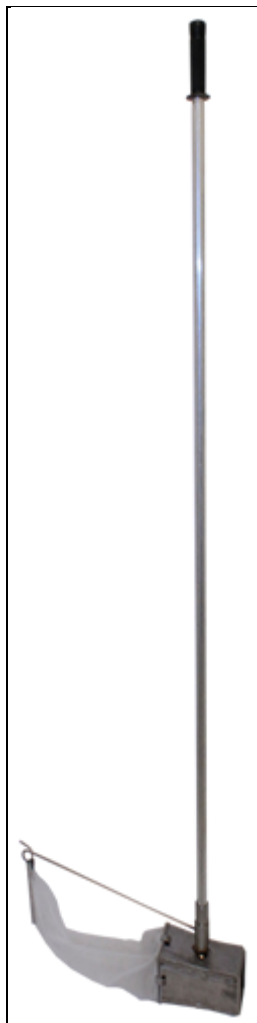


**Figura 5** – USDH-48 para ser usado com haste em medição a vau. **Fonte:** imagens cedidas pela empresa operadora da rede hidrométrica (2013).

- **Amostradores para sedimento do leito - BLM-84 e BM-54 (BM-60).**



**Figura 6** – BM-54 para ser usado com guincho. **Fonte:** imagens cedidas pela empresa operadora da rede hidrométrica (2013).



**Figura 7** - BLM-84 para medição a vau. **Fonte:** imagens cedidas pela empresa operadora da rede hidrométrica (2013).

Os procedimentos realizados em campo para efetuar as medições são os seguintes:

❖ **Para amostragem de sedimentos em suspensão:**

1º) Anotar a temperatura do ar e da água em °C;

2º) Definir o amostrador de acordo com a profundidade, velocidade do rio e acesso do mesmo:

- Para rios até 1,5 m, com baixa velocidade e sem condições de colocar um barco: usar o amostrador USDH-48 (medição a vau com haste);

- Para rios até 5,5 m, com velocidades mais altas e com condições de colocar um barco: usar o amostrador USD-49 (com guincho).

**3° )** Definir o diâmetro do bico, sendo que o mesmo deve ser usado durante toda a medição:

- USDH-48 – possui somente um bico de 1/4";
  - Distância do bico ao fundo: 0,09 cm
- USD-49 – calibrado com os bicos de 1/8", 3/16" e 1/4" (seleciona um);
  - Distância do bico ao fundo: 0,10 m

**4°)** Verificar qual a vertical que apresenta maior velocidade média, a partir da medição de descarga líquida realizada inicialmente, com essa velocidade fazer os seguintes cálculos antes de iniciar a coleta:

$$\text{Bico de } 1/8": V_{\text{trânsito máxima}} = k \times V_{\text{max}} = 0,2 \times V_{\text{max}}$$

$$\text{Bico de } 3/16" \text{ e } 1/4": V_{\text{trânsito máxima}} = k \times V_{\text{max}} = 0,4 \times V_{\text{max}}$$

$V_{\text{trânsito máxima}}$  = velocidade máxima de percurso do amostrador;

$V_{\text{max}}$  = maior velocidade média medida entre as verticais escolhidas.

- Calcular o tempo de amostragem em segundos (tempo mínimo). Esse tempo é o tempo mínimo no qual deverá ser coletada a amostra, considerando a descida e subida do amostrador. Por exemplo: se der 20 segundos, então são 10s para descer e 10s para subir, lembrando que a velocidade da descida e da subida deve ser constante.

$$T_{\text{mínimo}} = (2 \times \text{profundidade da vertical}) / V_{\text{trânsito máxima}}$$

$V_{\text{trânsito máxima}}$  = definida acima de acordo com o bico do amostrador

**5°)** Depois da determinação para o tempo da amostragem, se inicia a coleta na vertical que apresentou a maior velocidade, seguindo as seguintes considerações:

- Posiciona-se o amostrador de modo que o bico fique na horizontal;

- Não se deve encostar o amostrador ao leito para evitar coletar sedimentos de arraste;
- Devem ser coletados aproximadamente 400 ml;
- Se constatar que o tempo mínimo não permitiu uma coleta dos 400 ml, então descarte-se essa amostra e é feita a coleta novamente, cronometrando o tempo total de descida e subida, sem esquecer que a velocidade de descida e subida deve ser constante, até que consiga coletar o volume desejado de aproximadamente 400 ml.
- Ao coletar o volume aproximado de 400 ml, essa amostra deve ser colocada em um galão. Lembrando sempre de agitar o fundo da garrafa para que não fique nenhum sedimento para no recipiente.
- O tempo cronometrado para coletar a amostra deve ser anotado, pois este valor será o tempo da amostra padrão.

**6º) Cálculo do tempo de amostragem nas demais verticais:**

- Com o tempo da amostra padrão, e profundidade da vertical onde foi realizada a primeira coleta, calcula-se uma constante, a qual será multiplicada pelas profundidades de cada vertical, para obter assim o tempo de amostragem das mesmas.

Constante = tempo da amostra padrão/profundidade da vertical de maior  
velocidade

- A profundidade de cada vertical, já foi obtida e anotada ao realizar anteriormente a medição de descarga líquida, então a partir da mesma, será calculado seu respectivo tempo de amostragem.

Por exemplo:

Tempo da vertical A = constante x profundidade da vertical A

Tempo da vertical B = constante x profundidade da vertical B

**7º)** Com o tempo definido para cada vertical será realizada a coleta da amostra em cada uma delas também, seguindo a metodologia apresentada na 5ª etapa.

**8º)** É importante preencher corretamente a etiqueta de identificação da amostra, com as informações principais para sua identificação, como: número da amostra, dia, local e hora da realização da amostragem, para que sejam identificadas de modo correto e possibilitando as análises previstas em laboratório.

#### ❖ **AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS DO LEITO**

**1º)** Definir o amostrador de acordo com a profundidade, velocidade do rio e acesso do mesmo:

- Para rios até 1,5 m, com baixa velocidade e sem condições de colocar um barco: usar o amostrador BLM-84 – Versão Helley-Smith (medição a vau com haste) ou o cilindro de raspagem;
- Para rios até 5,5 m, com velocidades mais altas e com condições de colocar um barco: usar o amostrador BM-54 (com guincho).

**2º)** Realização da coleta:

**2.1)** Metodologia comum a todos os amostradores:

- Coletar em cerca de dez verticais equidistantes, podendo ser nas mesmas verticais utilizadas para amostragem em suspensão.
- Apanhar pequena quantidade de material, de tal forma que a soma não ultrapasse 2 kg de material.
- As coletas devem ser separadas por verticais. Cada amostra por vertical fica armazenada em um saco plástico separadamente contendo a identificação do posto e da vertical em questão.

**2.2)** Medição a vau:

- Para a coleta de sedimentos do leito a vau é utilizado o amostrador BLM-84 (amostrador modificado de Helley-Smith).
- Coloca-se o amostrador no leito do rio, aguardando entre 5 a 20 minutos, assim acumulando o sedimento na saca acoplada ao equipamento de modo que seja apanhado cerca de 500 g até no máximo 2kg, de modo que a saca esteja com enchimento máximo de, aproximadamente, 30% da saca;

- O hidrometrista deve se posicionar a jusante do amostrador, segurando a haste sem movê-la durante o processo;
- O material do leito coletado nessa única medição na seção deve ser colocado num balde, lavando a saca com água do rio, sendo que cada grão de areia deve ser aproveitado por lavagem adequada da saca;
- Após repouso, a água limpa deve ser derramada do balde e, em seguida, colocar o sedimento coletado numa saca plástica sem perda de material, lavando o balde;
- Depois de repouso retira-se a água excedente da saca plástica e etiqueta-se adequadamente (data, rio, estação, tipo de medição, quantidade e posição das verticais, tempo, amostrador utilizado, hidrometrista e alguma informação a mais caso se julgue necessário);

### **2.3) Medição com equipamento de raspagem:**

- Operados em condições de baixas profundidades, utilizando o amostrador preso numa corda longa.
- O amostrador deve ser jogado para jusante, esperando-se que repouse no leito.
- Em seguida é arrastado para coletar o material passível de ser transportado por arrasto.
- O içamento deve ser vagaroso para não perturbar o material coletado.
- A retirada do material da caçamba só deve ser feita depois do repouso das partículas e retirada lenta do excesso de água.
- Colocar o sedimento coletado em saco plástico.

### **2.4) Medição com guincho:**

- Para a coleta de sedimentos do leito com guincho é utilizado o Amostrador BM-54;
- A caçamba é armada com a alavanca apropriada, estando o amostrador suspenso entre a superfície d'água e a roldana do guincho;
- Em seguida o amostrador é descido na posição de coleta, sendo que dispara a mola ao tocar no leito;



- O resgate da amostra é feito pela abertura da caçamba com auxílio da alavanca, devendo esta ficar acionando a mola e a caçamba;
- Apanha-se a amostra arrastando o material com uma haste de ferro.
- Coloca-se o sedimento coletado saco plástico.

### **3.3 Atividades de escritório**

As atividades de escritório se iniciam com a elaboração de cronograma e planejamento das atividades de campo. Como, em geral, a execução de todas as atividades é feita por uma equipe, vale ressaltar a importância do devido treinamento periódico dos técnicos em hidrometria, para que a operação seja realizada corretamente e não sejam coletados dados erroneamente.

Os dados coletados e gerados em campo são entregues pelos técnicos ao retornarem das campanhas e tais dados são conferidos e digitalizados pelos responsáveis pelas atividades em escritório, para em seguida proceder aos cálculos para obtenção da descarga líquida e sólida, e análise preliminar dos mesmos.

A análise preliminar dos dados - considerada como primeira fase da consolidação de dados - consiste no levantamento e organização dos dados brutos coletados. Nessa fase são atualizadas as fichas descritivas das estações e seus dados são verificados, e quando detectadas algumas incompatibilizações, estas são sanadas. Em seguida, são verificados os dados obtidos nas medições de descarga (cota, velocidade do fluxo, geometria do canal e o material sedimentar coletado) e as informações das fichas de inspeção das estações.

Como as estações são telemétricas (conforme obrigatoriedade da nova Resolução Conjunta ANA/ANEEL), os dados de monitoramento contínuo com registro das cotas (nível d'água) e da pluviosidade (registros de chuva) ficam gravados em um banco de dados do sistema telemétrico. Outras informações, como medições de descarga líquida e sólida são dados obtidos em campo conforme mencionado anteriormente.

Todos os dados são gravados originalmente em planilhas do software EXCEL. Para os efeitos da Resolução Conjunta, toda a base de dados é convertida

para o formato “.MDB” a fim de que sejam disponibilizados e analisados com auxílio do software HIDRO 1.2 (Sistema de Informações Hidrológicas) e SiADH, compondo dessa forma o banco de dados brutos.

No banco de dados em questão, ficam dispostas as seguintes informações:

- Resumo das medições: apresenta os registros com as medições das cotas (cm) e descargas ( $m^3/s$ ) para o posto fluviométrico;
- Cotas fluviométricas: apresenta os registros com cotas observadas (cm) para o posto fluviométrico;
- Precipitação pluviométrica: apresenta os registros da ocorrência de eventos chuvosos (mm/h) para o posto pluviométrico;
- Perfil Transversal: apresenta os registros dos levantamentos topobatimétricos realizados na seção transversal de cada estação;
- Vazões: apresenta os registros com as medições de vazões ( $m^3/s$ ) para o posto fluviométrico, calculados com base nas informações de cotas e curva chave;
- Curvas de descarga líquida: apresenta a equação da curva chave para cada estação fluviométrica, indicando o período de validade, os limites de cota, os valores dos parâmetros  $a$ ,  $H_0$  e  $n$  ( $Q = a \times (H - H_0)^n$ );
- Sedimentos: apresenta os valores obtidos nas medições de sedimento em suspensão (mg/L).

### **3.3.1 Cálculo da vazão e traçado da curva-chave**

A partir das medições realizadas em campo, em que foram constatados os dados de largura do canal, profundidades e velocidades nas verticais, da seção transversal as etapas seguintes contemplam o cálculo das velocidades médias nas subseções, o cálculo das áreas destas para posterior cálculo da a vazão de cada segmento, e a vazão total do canal. Os cálculos que serão apresentados na sequência foram baseadas nos métodos descritos em Santos [*et. al.*] (2001) e já apresentados em outro trabalho de mesma autoria (BUENO, 2009) desta monografia.

Os cálculos que são realizados através das fórmulas apresentadas a seguir:

- Cálculo das velocidades médias nas subseções:

$$V_m = v_{m1} + v_{m2} / 2$$

- Cálculo das áreas das subseções:

$$a_1 = (d_2 - d_1) \{(p_2 + p_1)/2\}$$

- Cálculo das vazões nas subseções:

$$q_{a1} = v_{m1} a_1$$

A partir da obtenção destes valores supracitados, pode ser calculada a vazão total da seção, a sua área total e a velocidade média desta seção. As fórmulas para a constatação destes valores são apresentadas na sequência:

- Cálculo da vazão total:

$$Q = \sum q_i$$

- Cálculo da área total:

$$A = \sum a_i$$

- Cálculo da velocidade média:

$$V_m = Q/A$$

A partir das medições, constatando as cotas limnimétricas e calculando as vazões, é possível realizar o traçado da curva de descarga, uma equação matemática que torna possível a determinação da correspondência entre nível de água e vazão para várias situações. Dispondo-se de um conjunto de medições de descarga, coloca-se em geral, o problema de se definir uma relação cota-descarga que abranja o intervalo entre a menor e a maior cota de nível de água observada.

De acordo com Pedrazzi (2003) *apud* Pereira [*et. al.*] (2003), para a determinação da curva-chave, é necessário dispor de uma série de medição de vazão no local, ou seja, a leitura da régua e a correspondente vazão (dados de h e Q). A curva chave usa modelo de seção com controle local, ou seja, predominância da declividade do fundo sobre as demais forças do escoamento, como por exemplo,

a pressão. Com isso, temos uma relação biunívoca entre profundidade e vazão. O nível d' água ( $h$ ) e a vazão ( $Q$ ) ajustam-se bem à curva do tipo potencial, utilizada aqui como método para o traçado da curva-chave, que é dada por:  $Q = a \cdot (H - H_0)^b$ , onde:  $Q$  é vazão em  $m^3/s$ ;  $H$  é o nível d' água em m (leitura na régua);  $a$ ,  $b$  e  $H_0$  são constantes para o posto, a serem determinados;  $H_0$  corresponde ao valor de  $h$  para vazão  $Q = 0$ .

O ajuste dos parâmetros da equação foi realizado utilizando-se o aplicativo *Solver* do *software* Excel, que é programado para minimizar os erros quadráticos entre as medições de descarga líquida observadas e as vazões calculadas.

Adotaram-se algumas condições iniciais para o ajuste: atribuiu-se um valor inicial aos parâmetros  $a$ ,  $H_0$  e  $n$  e foram consideradas como restrições:  $n \geq 1$ ,  $a > 0$  e  $H_0 \leq H_{mín}$  (mínima cota medida).

O Solver foi executado até apresentar um bom resultado, e então, mesmo quando apresentou menor valor para a soma dos erros quadráticos foi verificado o desvio e a correlação das vazões calculadas com as vazões medidas.

### **3.3.2 Análise sedimentométrica**

Para as análises das amostras de sedimentos, de suspensão e de fundo do leito, os procedimentos também se referem aos adotados pela empresa operadora da rede hidrométrica utilizada como exemplo de caso neste estudo, e que também seguem as exigências estabelecidas pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), por meio da publicação intitulada "Normas e recomendações hidrológicas – Sedimentometria".

Em laboratório, as amostras de arraste (fundo do leito) são pesadas em uma primeira etapa, posteriormente elas são dispostas em uma estufa para que a água seja evaporada, restando somente o material sedimentar, que é em seguida são realizados os ensaios com o peneiramento granulométrico e a pipetagem, no caso dos sedimentos em suspensão, é realizado somente o procedimento da pipetagem. Com estes procedimentos é possível classificar a granulometria dos sedimentos e quantificar a porção de cada um deles. Para este ensaio faz-se o uso da tabela de classificação granulométrica da *American Geophysical Union*, apresentada a seguir:

**Tabela 1** - Classificação granulométrica da *American Geophysical Union*.

<b>Diâmetros (mm)</b>	<b>Denominações</b>
64-32	Cascalho muito grosso
32-16	Cascalho grosso
16-8	Cascalho médio
8-4	Cascalho fino
4-2	Cascalho muito fino
2,00-1,00	Areia muito grossa
1,00-0,50	Areia grossa
0,50-0,25	Areia média
0,25-0,125	Areia fina
0,125-0,0625	Areia muito fina
0,0625-0,031	Silte grosso
0,031-0,016	Silte médio
0,016-0,008	Silte fino
0,008-0,004	Silte muito fino
0,004-0,0020	Argila grossa
0,0020-0,0010	Argila média
0,0010-0,0005	Argila fina
0,0005-0,00024	Argila muito fina

Fonte: Adaptado e cedido pela operadora do empreendimento hidrelétrico. (2013).

A quantidade de sedimentos é correlacionada com a vazão e velocidade do fluxo para se quantificar o montante que é transportado durante um intervalo temporal – no caso, 1 (um) dia – e a velocidade em que este sedimento é transportado.

### **3.4 Métodos e ferramentas para análise de consistência de dados fluviométricos**

Uma das determinações da Resolução se refere à necessidade de consolidação dos dados, os métodos para análise dos dados fluviométricos de cada estação seguem o padrão usual de uma análise deste tipo. As atividades desenvolvidas envolveram os seguintes elementos:

- Análise das fichas de campo, fichas descritivas, fichas de inspeção, fichas de medição, conferencia de área de drenagem das estações;

- Análise dos cotagramas das varias estações eliminando inicialmente os erros grosseiros de leituras, quando eram dados de leituristas, e erros grosseiros provenientes de falha do equipamento, quando eram dados telemetrizados;
- Em seguida foram comparados os cotagramas das estações em análise que se encontram no mesmo rio, e também com as estações de apoio selecionadas;
- A série de cotas é complementada (em caso de falhas ou janelas após o descarte de dados duvidosos) a partir de correlações entre as estações analisadas e as de apoio, no entanto, esta etapa pode não ser possível de ser realizada caso os dados das estações de apoio sejam dados brutos para o período da correlação;
- Análise das medições de descarga líquida através de comparações com as cotas observadas no mesmo dia, e também através da plotagem dos pontos cota x medição;
- Estabelecimento da curva-chave de descarga ou análise e ajuste, se necessário, das curvas-chave pré-existentes,
- Geração dos hidrogramas para cada posto e comparação com os das estações de apoio, se possível.

As principais ferramentas, critérios e procedimentos adotados na análise de consistência são descritos na sequência.

### **3.4.1 Ferramentas computacionais utilizadas**

A análise de consistência dos cotagramas, cota-descarga, curva-chave e fluviogramas foi realizada com o auxílio dos softwares HIDRO (versão 1.2 - 281) e o SiADH, ambos os softwares são disponibilizados gratuitamente pela Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica – SGH/ANA.

Tais ferramentas permitem o gerenciamento de uma base de dados hidrometeorológica armazenada de forma centralizada em um banco de dados relacional, o cálculo de funções hidrometeorológicas básicas e a visualização dos dados através de gráficos.

Como ferramenta auxiliar computacional no estudo das curvas-chave, foi utilizada de forma exaustiva a planilha eletrônica Excel para geração de gráficos cota-descarga, cota-área e cota-velocidade, e ajuste das curvas-chave.

### **3.4.2 Seleção das estações de apoio**

Para a consolidação dos dados, sejam eles pluviométricos ou fluviométricos, faz-se necessário inicialmente, dentre outros procedimentos, a seleção de estações de apoio para a comparação dos dados entre elas a fim de observar possíveis erros ou falhas do equipamento na coleta, registro ou armazenamento dos dados.

Para a seleção das estações fluviométricas de apoio devem ser considerados os seguintes critérios:

- Estações que se encontram no mesmo curso d'água que a estação principal e que estão mais próximas;
- Quando não existem estações no mesmo curso d'água são selecionadas estações de bacias vizinhas, desde que estas apresentem características semelhantes à da bacia estudada;
- Existência de dados de mesmo período que as estações em análise para realização de comparações.

No caso das estações pluviométricas, o critério de seleção se refere à maior proximidade em relação à estação a ser consolidada, e que, preferencialmente esteja localizada na mesma sub-bacia da estação da análise.

Vale ressaltar que, preferencialmente, devem ser selecionadas estações operadas por instituições públicas, devido a uma maior facilidade de obtenção dos dados junto a elas. Em caso de estações operadas por empresas privadas, é comum existir uma dificuldade maior na liberação dos dados.

### **3.4.3 Análise da série de cotas**

A partir dos registros das cotas diárias obtidos pelo monitoramento das estações telemetrizadas, é realizada a análise destes dados. A análise inicial dos cotogramas é feita de forma visual, a partir da plotagem das séries de cotas médias diárias das estações, a fim de detectar erros grosseiros, erros de leituras, mudanças de zero nas réguas, períodos extensos com leituras constantes, erros claros de transmissão das informações de cota, devido a algum problema de ordem eletrônica.

Como auxílio na verificação das cotas são consultadas as fichas de campo, de instalação, de inspeção, fichas descritivas, relatórios de campo e fotográfico, tendo em vista verificar se houve alguma alteração de régua, mudança de local, e também se houve manutenção dos equipamentos.

Após a análise individual (eliminação e correção de dados de cotas) são comparados os cotogramas das estações em análise com os cotogramas das estações de apoio. E se detectado algum comportamento atípico, o período em questão é desconsiderado da série.

Os critérios de correção e exclusão de dados linimétricos para alguns tipos de ocorrências se encontram resumidos no quadro a seguir (Quadro 6).

**Quadro 9** - Critérios de correção de dados linimétricos.

Tipo de Ocorrência	Procedimento	Identificação com Característica no Arquivo
Erro de digitação	Corrigir	Dado consistido
Suspeita de falsas leituras	Se for evidente considerar como falha (excluir do arquivo)	-
	Se ficar na suspeita deixar como no original	Dado duvidoso
Falha de Leitura de Régua	Não preencher	-

Fonte: Cedido pela operadora do empreendimento hidrelétrico. (2013).

#### 3.4.4 Análise das medições de descarga líquida

A análise das medições de descarga é feita com base em gráficos de dispersão dos pontos correlacionando o produto da velocidade pela área molhada pela descarga líquida medida, e ainda a dispersão dos pontos de cota por vazão,



vazão por cota. A partir da análise desses gráficos é possível identificar os pontos mais dispersos da tendência, e desconsiderá-los da série de medições.

Além da análise dos gráficos mencionados são observadas ainda as cota medidas e as cotas observadas, a fim de identificar a ocorrência de discrepâncias entre as cotas, com diferenças muito grandes entre elas. A planilha utilizada nessa análise é obtida com auxílio do software SiADH, e a análise dos resultados é realizada com base na área de drenagem associada as seções de medição de cada estação fluviométrica, ou seja, áreas de drenagem menores admite-se maiores variações nos dados de cotas observadas e medidas; enquanto o inverso vale para as estações com áreas de drenagem maiores.

### 3.4.5 Extrapolações de curva-chave

Geralmente as cotas medidas (em campo) não cobrem a amplitude de cotas observadas, sendo necessário extrapolar a curva-chave para a mínima e máxima cota observada.

Importante ressaltar o que interesse na extrapolação para cotas altas, é obter um bom alinhamento na parte superior correspondente a um intervalo de cotas significativas: é somente desta forma que pode-se extrapolar a curva, ou seja, prolongar a reta até a cota máxima observada (JACCON e CUDO, 1989).

Para extrapolação da curva-chave devem ser utilizados pelo menos três métodos, sendo eles:

- Método logarítmico: Prolongar a curva-chave ajustada, ou seja, a partir da equação potencial calcular as vazões para as cotas mais baixas e altas;
- Pelo método da  $A \times V$ : são plotados dois gráficos, um relacionando  $A \times$  cota e outro  $V \times$  cota. A partir da equação obtida nos gráficos é possível calcular para a cota (máxima) qual a velocidade e a área correspondente a ela, e através do produto da  $A \times V$  calcula-se a vazão.
- Pelo Método de Stevens:

Este é um método indicado para rios largos em escoamento praticamente uniforme com perfil da linha d'água estável, sem variação entre cheia e depleção. Só é aplicável quando há disponibilidade suficiente de medições corretamente alinhadas.

É um método gráfico que se fundamenta na fórmula de Chezy (s.d.) *apud* Jaccon e Cudo (1989) para o escoamento uniforme:

$$Q = C.A.(R.I)^{1/2}$$

Em que C é o coeficiente de Chezy, I é a declividade da linha de energia, R é o raio hidráulico (aproximadamente igual a profundidade média para rios com largura maior do que 10 vezes a profundidade média). Jaccon e Cudo (1989) denominam as quantidades  $AR^{1/2}$  e  $CI^{1/2}$ , respectivamente, fator geométrico e fator de declividade.

Nesse método admite-se que para as cotas altas  $CI^{1/2}$  se aproxima de um valor constante, o que resulta que a vazão varia em função do fator geométrico, podendo ser representada por uma reta que pode ser prolongada até a cota máxima observada. Para tal são plotados então dois gráficos cota x  $(AR^{1/2})$  e  $(AR^{1/2})$  x vazão, a partir das medições realizadas, e obtém-se a relação entre tais parâmetros com a equação linear levantada com auxílio do EXCEL.

A partir do primeiro gráfico (cota x  $(AR^{1/2})$ ) é calculado o valor de  $(AR^{1/2})$  para a cota máxima observada e em seguida, com esse valor é calculada a vazão com a equação linear obtida no segundo gráfico ( $(AR^{1/2})$  x vazão).

#### 3.4.6 Análise das vazões

A série de vazões é gerada com auxílio do programa HIDRO no qual se insere a série de cotas e curva-chave. Após a geração das vazões são então plotados os fluviogramas das estações principais em conjunto com as estações de apoio permitindo identificar possíveis inconsistências e/ou descontinuidades que indiquem a necessidade de novos ajustes nas curvas-chave estabelecidas.

Essa análise parte da premissa de que, de um modo geral, o fluviograma de um posto deve ser compatível com sua área de drenagem e os fluviogramas dos

demais postos da bacia, em especial os pertencentes ao mesmo curso d'água, ou em bacias próximas com características semelhantes.

Outras análises envolvendo as vazões são realizadas, tais como análise da curva de permanência e vazão específica. A primeira consiste na comparação da variabilidade de valores de vazões para determinadas permanências, para um conjunto de estações, num período comum de operação. E a segunda análise mencionada parte do pressuposto de que, em um mesmo rio, um posto situado à jusante apresenta, geralmente, vazões específicas menores que as de postos de montante. Nos casos da inaplicabilidade desta regra, procura-se pesquisar as causas possíveis referentes às características geomorfológicas, fisiográficas e climatológicas responsáveis pela contradição da mesma.

#### **3.4.7 Preenchimento de falhas das séries de cota e/ou vazão**

Para preenchimento de dados médios diários, ou mesmo correções, se aplica o método da regressão linear simples, o qual permite obter graficamente uma equação linear ao correlacionar os dados diários da estação principal (eixo das ordenadas) e da estação de apoio (eixo das abcissas) para o mesmo período. Destaca-se ainda que deve-se considerar os efeitos de propagação entre as estações quando pertinentes. É importante também destacar que uma série só pode ser preenchida a partir da correlação com séries já consistidas de estações de apoio.

Ressalta-se ainda que, na impossibilidade da obtenção de uma série de apoio já consistida, e seja realizado o preenchimento da série de cota e/ou vazão da estação principal com dados brutos de estação de apoio, tal período deverá ser revisado futuramente quando da disponibilização dos dados consistidos da estação de apoio para o período em questão, a fim de verificar se houve alterações na série utilizada para o preenchimento, e se houver, o mesmo deverá ser corrigido.

### **3.5 Métodos e ferramentas para análise de consistência de dados pluviométricos**

Uma das primeiras exigências para a obtenção de dados pluviométricos consolidados vai de encontro ao próprio objetivo de um posto pluviométrico, que é produzir uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, ou permitir o estudo da variação das intensidades de eventos extremos. No registro constante de dados do posto pluviométrico podem ocorrer períodos em que a série seja interrompida parcialmente, consistindo como falhas nas observações, decorrentes de problemas com os aparelhos de registro e/ou ausência do operador do posto.

Como se faz há necessário trabalhar com séries contínuas, essas falhas devem ser preenchidas por métodos estatísticos. Dentre, os métodos mais comuns de preenchimento de falhas estão o Método de Ponderação Regional e o Método de Regressão Linear. Também necessita-se que seja estudada a consistência dos dados dentro de uma visão regional, ou seja, comparar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis num posto, com relação às observações registradas em postos vizinhos, tal análise é realizada pelo Método de Dupla Massa.

### ***3.5.1 Preenchimento de falhas de dados pluviométricos***

Como mencionado anteriormente, em alguns casos pode haver falha na leitura ou no arquivamento de dados pluviométricos, resultando em falha de informação para alguns períodos. Em alguns casos é possível fazer o preenchimento destas falhas, utilizando dados de postos pluviométricos de estações próximas/vizinhas à estação que está sendo analisada. Este tipo de preenchimento não substitui os dados originais, e somente pode ser aplicado para dados em intervalo de tempo mensal ou anual.

A seguir, são apresentados os métodos para preenchimento de falhas em séries de registros de dados pluviométricos:

#### **❖ Método da ponderação regional**

É um método simplificado, geralmente utilizado para o preenchimento de séries mensais e anuais, onde as falhas de um posto são preenchidas através de uma ponderação com base nos dados de pelo menos três postos vizinhos, que

devem ser de regiões climatológicas semelhantes a do posto em estudo e ter uma série de dados de no mínimo 10 anos (Teixeira, 2010).

Para exemplificar o método, considera-se um posto X, que apresenta as falhas, e por A, B e C as estações de apoio vizinhas. Para preencher as falhas do posto X, adota-se a equação a seguir:

$$P_x = \frac{1}{3} \left( \frac{M_x}{M_a} P_a + \frac{M_x}{M_b} P_b + \frac{M_x}{M_c} P_c \right)$$

Onde:

$P_x$  - É a variável que guardará os dados corrigidos;

$M_x$  - Média aritmética da estação com falha;

$M_a$ ,  $M_b$  e  $M_c$  - Média aritmética das estações vizinhas;

$P_a$ ,  $P_b$  e  $P_c$  - É o dado da estação vizinha, ao posto com falha, do mesmo mês/ano que utilizamos para preencher a falha.

#### ❖ Método da regressão linear simples

Este método de preenchimento de falhas consiste em utilizar a regressão linear simples. Aplicando esse método as precipitações do posto com falha e de um posto de apoio são correlacionadas. A correlação produz uma equação analítica, cujos parâmetros podem ser estimados graficamente através da plotagem cartesianas, traçando-se uma reta de maior eficiência que passa pelos pontos médios de X e Y . Uma vez definida a equação do tipo linear as falhas podem ser preenchidas (Teixeira, 2010).

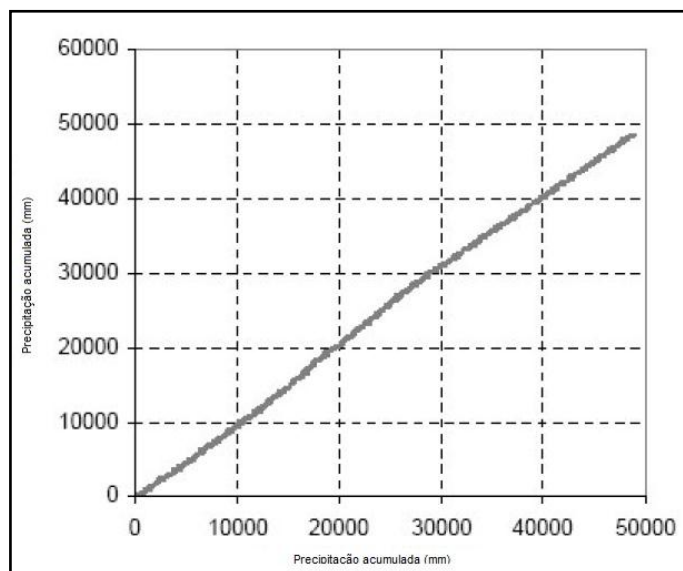
### **3.5.2 Análise de consistência de dados pluviométricos**

Esse tipo de análise é utilizada para verificar a homogeneidade dos dados, isto é, se houve alguma anormalidade na estação pluviométrica, tal como mudança de local ou das condições do aparelho ou modificação no método de observação.

Para este fim, é prática comum no Brasil utilizar-se do método de *análise de dupla massa* (desenvolvido pelo *U. S. Geological Survey*), método este válido para as séries mensais e anuais (Teixeira, 2010).

Esse método é baseado no princípio que o gráfico de uma quantidade acumulada, plotada contra outra quantidade acumulada, durante o mesmo período, deve ser uma linha reta, sempre que as quantidades sejam proporcionais. A declividade da reta ajustada nesse processo representa então, a constante de proporcionalidade. Especificamente, devem ser selecionados os postos de uma região, acumular para cada um deles os valores mensais (ou anuais), e plotar num gráfico cartesiano os valores acumulados correspondentes ao posto a consistir (nas ordenadas) e de um outro posto confiável adotado como base de comparação (nas abscissas). Pode-se também modificar o método, considerando valores médios das precipitações mensais acumuladas em vários postos da região, e plotar esses valores no eixo das abscissas (Teixeira, 2010).

Um exemplo de aplicação da análise de Dupla Massa é apresentado por Teixeira (2010) no gráfico a seguir (Figura 8). Neste exemplo, foram utilizados dados de 2 (dois) postos, para um período de 37 anos de dados de precipitação mensal, onde pode-se observar que não ocorreram inconsistências. A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre as séries. A possibilidade de não alinhamento dos postos segundo uma única reta existe e pode apresentar as algumas situação que serão tratadas na sequência.



**Figura 8** – Exemplo de análise de Dupla Massa, sem inconsistências.  
Fonte: Teixeira, 2010. Adaptação: Bueno, 2013.

Quando não se observa o alinhamento dos dados segundo uma única reta, podem ocorrer as seguintes situações:

a) Mudança na declividade: determina duas ou mais retas

Constitui o exemplo típico da ocorrência de erros sistemáticos, mudança nas condições de observação ou no meio físico, como alterações climáticas. Para se considerar a existência de mudança na declividade é prática comum exigir-se a ocorrência de pelo menos 5 pontos sucessivos alinhados segundo a nova tendência (Figura 9). Para corrigir os valores utiliza-se a seguinte equação:

$$P_c = P_i + \frac{M_c}{M_0} (P_0 - P_i)$$

Onde

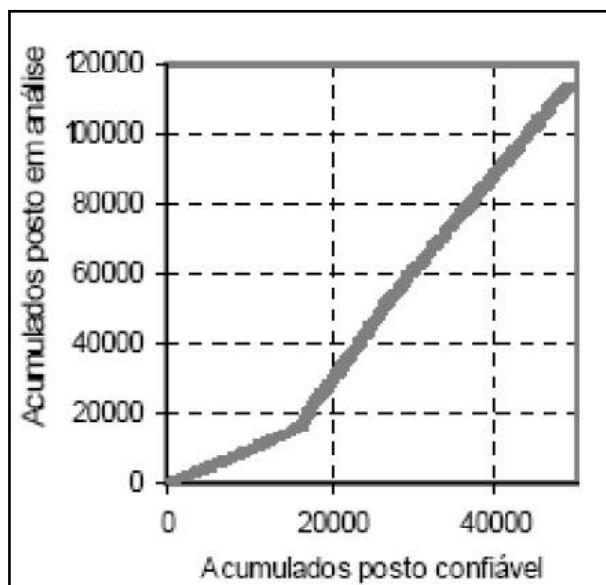
$P_c$  = precipitação acumulada ajustada à tendência desejada;

$P_i$  = valor da ordenada correspondente à interseção das duas tendências;

$P_0$  = valor acumulado a ser corrigido;

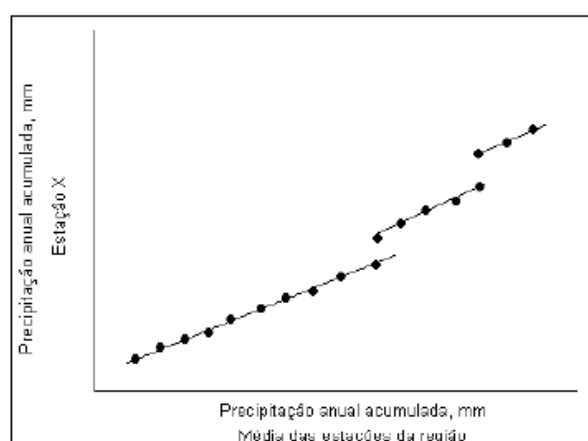
$M_c$  = coeficiente angular da tendência desejada; e

$M_0$  = coeficiente angular da tendência a corrigir.



**Figura 8** – Exemplo de análise de Dupla Massa, com mudança de declividade.  
Fonte: Teixeira, 2010.

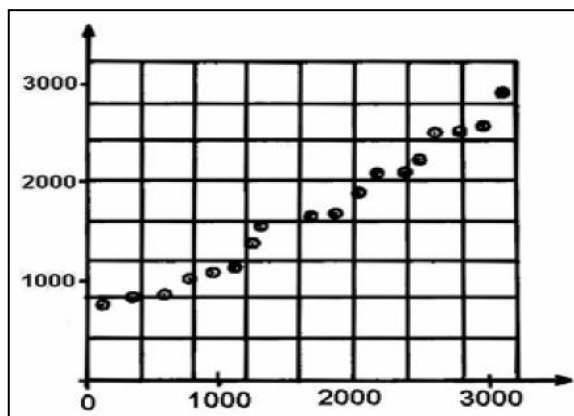
- b) Alinhamento dos pontos em retas paralelas: ocorre quando existem erros de transcrição de um ou mais dados ou pela presença de valores extremos em uma das séries plotadas (Figura 9). A ocorrência de alinhamentos, segundo duas ou mais retas aproximadamente horizontais (ou verticais), pode ser a evidência de postos com diferentes regimes pluviométricos.



**Figura 9** – Diferentes regimes pluviométricos. Fonte: Operadora (ConstruserV).

- c) Distribuição errática dos pontos: Geralmente é resultado da comparação de postos com diferentes regimes pluviométricos, sendo incorreta toda associação que se deseje fazer entre os dados dos postos plotados (Figura 10).





**Figura 10** – Distribuição errática. Fonte: Operadora (ConstruserV).

Até este ponto do trabalho foram apresentados métodos e ferramentas para adequação das redes hidrométricas em conformidade com a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, todos aplicados no exemplo de estudo de caso que será apresentado no capítulo a seguir, apresentando os resultados de todas as etapas da adequação que foram possíveis a serem aplicados até o fechamento desta pesquisa.

#### **4. PCH MARGARIDA: EXEMPLO DE CASO DE ADEQUAÇÃO ÀS NOVAS NORMATIVAS DE MONITORAMENTO HIDROMÉTRICO NO BRASIL**

Nesta parte do trabalho é apresentado um exemplo de caso de adequação da rede hidrométrica de um aproveitamento hidrelétrico, aqui denominado como “PCH Margarida”, respeitando a política de confidencialidade de algumas informações, a pedido da empresa geradora de energia responsável pelo aproveitamento. Por isso, neste capítulo serão apresentadas as etapas realizadas no processo de adequação da rede, incluindo os dados e análise de consistência dos mesmos, sem especificar de qual aproveitamento se referem. Os dados que são apresentados se referem ao período desde o início da operação das estações até o fim do mês de dezembro de 2012. Nesta parte não foi possível somente apresentar as análises e consistência dos dados sedimentológicos, pois os mesmos não estavam finalizados até o fechamento desta pesquisa.

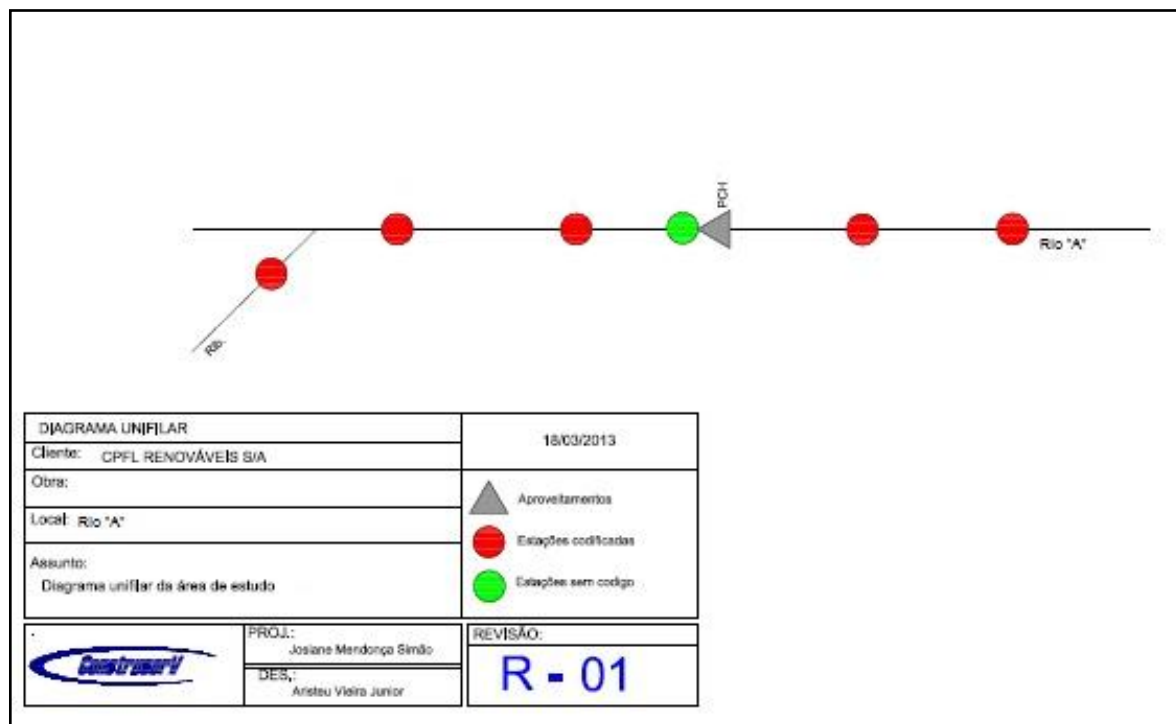
A rede hidrométrica deste aproveitamento começou a ser implantada na vigência da resolução ANEEL 396/98, em Dezembro de 2007, sendo composta por 1 (uma) estação: PCH Margarida Jusante (FD)<sup>11</sup>, e posteriormente, em fevereiro de 2011 foi instalada a estação PCH Margarida Montante (PFDT).

A partir do início da vigência da Resolução conjunta ANA/ANEEL nº 03 de agosto de 2010, a rede hidrométrica fora readequada, e deste modo que as estações instaladas na rede hidrométrica do aproveitamento em questão se dispõem da seguinte forma: PCH Margarida Barramento (LT), PCH Margarida Montante (PFDT) e PCH Margarida Jusante (PFDST).

Na figura a seguir, (Figura 11), é apresentado o croqui (diagrama unifilar) representando a localização do aproveitamento e de toda a rede hidrométrica da bacia deste estudo, utilizando-se de nomes fictícios. A localização das estações hidrométricas e do aproveitamento da bacia a qual pertence devem sempre ser apresentadas em um mapa, o que neste caso não será possível diante da impossibilidade de identificação real da localização do aproveitamento.

---

<sup>11</sup> Lista de siglas das estações: F (Fluvimétrica); D(Medição de Descarga líquida); P (Pluviométrica); S (Sedimentométrica); T (Telemetrizada).



**Figura 11** – Diagrama unifilar da bacia do aproveitamento. Fonte: Cedido pela operadora da rede hidrométrica. Fonte: Operadora, 2013.

Como este estudo segue a proposta de envio de relatório anual exigido pela Resolução Conjunta, os relatos das operações apresentadas são referentes ao ano de 2012. Porém, quanto aos dados de cota, precipitação e vazão, compreendem uma série maior que de apenas um ano pois, o primeiro envio de relatórios à ANA após a publicação da Resolução ainda será feito pelas empresas geradoras; logo, será necessário nesse primeiro envio, repassar à Agência todos os dados das estações desde o início de operação destas para constar no banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, e assim tornar público estes dados consolidados.

Apesar da impossibilidade de identificação do nome do aproveitamento e de sua localização, na sequência segue uma breve caracterização do ambiente no qual este empreendimento está inserido. No caso do relatório anual que é exigido pela Resolução conjunta, a apresentação das características da bacia na qual o empreendimento está instalado é obrigatória.

#### **4.1 Descrição do local**

A operadora da rede hidrométrica da PCH Margarida apresenta a área correspondente à bacia onde encontra-se o empreendimento da seguinte forma:

Quanto ao leito do rio onde encontra-se a PCH Margarida, este é pedregoso, com grande fluxo de energia, caracterizado por trechos encachoeirados e corredeiras. Onde o rio perde parte da energia, é possível observar terraços formando depósitos aluvionares.

Os terrenos da bacia onde a PCH Margarida está instalada são ocupados predominantemente com agriculturas, pastagens e remanescentes de matas de galeria e araucárias. A topografia íngreme dominante não favorece a prática da agricultura extensiva, que fica restrita às várzeas de alguns cursos de água.

A junção das informações sobre a pluviometria e das temperaturas do local mostra que a bacia está sob o regime de clima classificado como Mesotérmico Médio, Super Úmido e com Subseca, na faixa de altitudes acima da cota 1200 m, junto às cabeceiras, e como Mesotérmico Brando, Úmido, com 1 a 2 meses secos no ano, no restante da área.

A região das cabeceiras do rio principal apresenta características climáticas muito influenciadas pela orografia serrana, onde a temperatura média anual é menor e o total médio anual de precipitação torna-se superior às demais áreas da bacia, chegando a superar os 1500 mm. Nas demais áreas da bacia, o clima Mesotérmico Brando é caracterizado pelo predomínio de temperaturas amenas durante todo o ano, com médias entre 18°C e 19°C. A precipitação média anual tende a ser ligeiramente inferior a 1500 mm, podendo ocorrer 1 ou 2 meses sem chuva.

Nos meses de setembro a março predominam as temperaturas mais elevadas, atingindo o máximo em dezembro e janeiro. Já nos meses de maio a agosto as temperaturas são consideravelmente baixas, atingindo o mínimo em junho e julho. Quanto ao comportamento sazonal da região, é possível verificar que durante o verão a região recebe chuvas fortes nos meses de novembro a abril, às vezes tais chuvas ocorrem diariamente, o pico de precipitação ocorre nos meses de dezembro e janeiro. Nessa época o céu fica constantemente nublado, com nuvens carregadas.

De acordo com as pesquisas efetuadas na bacia hidrográfica em questão, atualmente existe apenas 1 (um) aproveitamento hidrelétrico instalado, no caso, o próprio objeto do exemplo de estudo deste documento, a PCH Margarida.

#### 4.2 4.2 Atividades realizadas

Na sequência observa-se o Quadro 10, apresentando todas as atividades de campanha realizadas na rede hidrométrica da PCH Margarida durante o ano de 2012.

**Quadro 10** – Descrição das operações realizadas no ano de 2012.

Nome da estação	Tipo de monitoramento	Visita de Inspeção e Manutenção	Medição de descarga líquida	Medição de descarga sólida
PCH Margarida Montante	PFDT	07/03/2012	07/03/2012	
		16/05/2012	29/05/2012	
		17/08/2012	06/09/2012	
		03/12/2012	03/12/2012	
PCH Margarida Jusante	PFSDT	07/03/2012	07/03/2012	07/03/2012
		16/05/2012	29/05/2012	29/05/2012
		17/08/2012	06/09/2012	06/09/2012
		03/12/2012	03/12/2012	03/12/2012

Fonte: Operadora. 2013.

Quanto às atividades de escritório realizadas, a fim de melhor apresentar e visualizar todas as atividades desenvolvidas, o quadro a seguir (Quadro 11) apresenta o resumo quantitativo de tais atividades comparadas com as atividades previstas no cronograma.

**Quadro 11** - Resumo quantitativo das atividades de escritório executadas no ano de 2012.

Atividades	Produção anual		
	Previsto	Realizado	%
Traçado de cotograma	2	2	100
Análise preliminar de cotas	2	2	100
Análise preliminar de pluviometria	2	2	100

Análise de perfil transversal	2	2	100
Cálculo e análise de medição de descarga líquida	8	8	100
Calculo e analise de medição de descarga sólida	0	4	400
Conferencia de dados de qualidade da água	-	-	
Conferência de relatório de inspeção	8	8	100
Atualização do histórico da estação	2	2	100
Consolidação de series fluviométricas	2	2	100
Consolidação de séries pluviométricas	2	2	100

Fonte: Operadora. 2013.

### ***4.3 Análise e consistência dos dados das estações fluviométricas***

Neste item serão apresentadas as etapas de análise e consolidação dos dados das estações fluviométricas que compõem a rede hidrométrica da PCH Margarida.

#### ***4.3.1 Estação PCH Margarida Montante***

A estação hidrométrica PCH Margarida Montante foi instalada em fevereiro de 2011, sendo seus dados de nível e chuva já telemetrizados desde esta época.

Essa estação está localizada na margem esquerda do rio, onde foi instalada a seção de escalas que é composta por 02 (dois) lances de escalas, numa amplitude de 03 (três) metros. Lances: 3/4 metro e 4/6 metros. A seção de medição foi escolhida a jusante da seção de escalas, local com margens de alta inclinação, o leito arenoso com presença de pedras, conformação retilínea, fundo regular e regime perene.

##### **4.3.1.1 Análise das cotas médias diárias**

O cotograma bruto da estação PCH Margarida Montante não apresentou falhas e em primeira análise visual do gráfico permitiu-se observar um

comportamento aparentemente regular, não sendo necessário desconsiderar nenhum dado a princípio.

Para a análise da consistência desta série, foram adotadas as cotas brutas de duas estações de apoio “A” e “B”<sup>12</sup> operadas pela Agência Nacional de Águas, visto que para o período a ser consolidado da estação PCH Margarida Montante, as estações de apoio não possuem ainda dados consistidos.

A partir da comparação com as estações de apoio, foi possível observar que ambos os cotogramas apresentam a mesma tendência de comportamento, exceto por algumas médias diárias em que a estação principal apresentou um comportamento inconsistente com o que é observado no seu comportamento regular ao longo de toda a série, e também distinto do comportamento das séries das estações de apoio.

Após análise do comportamento entre as estações, percebeu-se que a estação principal apresenta um comportamento mais compatível com a série da estação “B”, e a partir dessa observação, feita após análise da correlação entre elas, optou-se por dar prosseguimento às análises de consistência dos dados da estação PCH Margarida Montante a partir da comparação dos seus dados somente com a estação de apoio “B” e descartando nas próximas etapas da análise a comparação com a estação de apoio “A”.

Após a identificação dos dados inconsistentes na série da estação PCH Margarida Montante levando-se em consideração a comparação das cotas diárias com o comportamento pluviométrico do local, bem como, com a comparação feita em relação ao comportamento da estação de apoio “B”, analisou-se a correlação entre as mesmas, resultando num valor de  $R^2 = 0,8034$ , o que indica ser um bom coeficiente entre as estações comparadas. A partir disso, optou-se por desconsiderar os períodos inconsistentes da série da estação principal e corrigir estes períodos através da correlação entre a série da estação PCH Margarida Montante e da estação de apoio “B”.

O Quadro 12 apresenta o resumo dos períodos que sofreram consistência e como foram corrigidas, como pode ser visto a seguir:

---

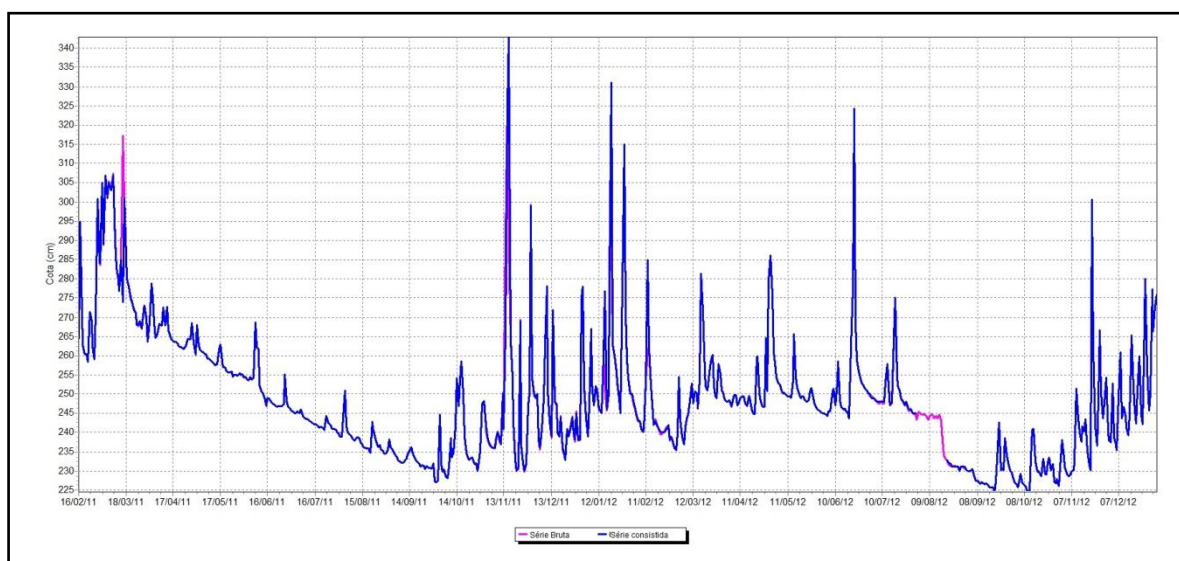
<sup>12</sup> A identificação das estações de apoio também foi suprimida por serem muito próximas à estação da rede hidrométrica da PCH “X”, o que facilitaria assim a identificação do nome real da mesma.

**Quadro 12** - Resumo dos períodos consistidos da PCH Margarida Montante.

Período consistido	Observações
16/03/2011	Corrigido por análise de correlação com a estação de apoio "B"
14/11/2011	
16/11/2011	
14/12/2011	
16/01/2012	
20/01/2012	
12/02/2012	

Fonte: Bueno, 2013.

Por fim, depois de feita a consistência dos dados, a série de cotas da estação PCH Margarida Montante foi fechada e pode-se observar pelo gráfico a seguir (Gráfico 1) que os períodos inconsistentes da série bruta, em rosa, que foram corrigidos e consistidos resultaram em uma série consistida, em azul, adequada e precisa.



**Gráfico 1** - Série bruta e série consistida da estação PCH Margarida Montante. Fonte: Bueno, 2013.

#### 4.3.1.2 Análise das medições de descarga líquida

Desde o início da operação da estação foram realizadas 17 (dezessete) medições – de fevereiro de 2011 até dezembro de 2012. Quanto a cronologia das medições, destaca-se que em cada campanha foram realizadas duas medições



(salvo o caso do dia 19/11/2011 em que foram realizadas 3 (três) medições). Em caso destas medições apresentarem diferentes descargas líquidas para uma mesma cota medida, ou até mesmo diferentes cotas e vazões medidas em um mesmo dia, considera-se que estas sejam analisadas e que seja desconsiderada aquela que se mostrou mais dispersa da nuvem de pontos de medição. No caso deste estudo foram admitidas, inicialmente, as duas medições para cada dia por ainda existirem poucas medições realizadas, procurando-se aproveitar o maior número de medições para o ajuste da curva-chave.

Em primeira análise, as cotas medidas foram comparadas com as cotas observadas consistidas e nenhuma diferença significativa foi encontrada, e, sendo assim, não foi necessário fazer nesta etapa da análise nenhuma desconsideração de dados, para que estes fossem analisados posteriormente segundo outros critérios.

Através dos gráficos de dispersão de pontos de cota por vazão e de vazão por cota foi possível verificar que houve um ponto com dispersão acentuada, referente à medição do dia 30/09/2011 (registrando um valor de cota de 2,31 para uma vazão de 1,83) e por isso, foi desconsiderado para aplicação na curva-chave. Não foram observadas discrepâncias entre o produto da área molhada pela velocidade comparada com as descargas líquidas da medição.

Sendo assim, após a análise dos gráficos acima mencionados, e feita a desconsideração da medição também supramencionada, a correlação entre as cotas e as vazões obtidas nas medições resultaram em um índice altamente satisfatório.

#### 4.3.1.3 Análise e traçado da curva-chave

Tendo sido descartada a medição supracitada, primeiramente foi avaliada a curva-chave já existente para a estação (cedidas pela operadora da rede hidrométrica), mas esta apresentou desvios acima de 20%, entre as vazões medidas e calculadas pela mesma, logo, nesse contexto, houve a necessidade de ajustar uma nova curva-chave. De acordo com as diretrizes e orientações da ANA, desvios até 10% são considerados satisfatórios, no entanto, para esse caso, considerou-se medições com desvios até 20%, pois o número de medições é limitado, e tomou-se

como base para esse limite máximo a publicação em nota técnica nº 245/2011/SGH-ANA que apresenta um exemplo de análise de desvios para curva-chave.

Sendo assim, a curva-chave reajustada obtida foi a seguinte:

$$Q = 5,5592 (H - 2,0903)$$

Com este reajuste, as vazões calculadas com a curva-chave apresentaram um desvio médio de -10,2% em relação às vazões medidas, e o desvio máximo foi de 20%.

Para uma verificação da qualidade da curva foram correlacionadas ainda as vazões calculadas com a curva-chave e as vazões medidas, apresentando um coeficiente de determinação satisfatório de  $R^2 = 0,8783$ .

Por fim, foi verificada a amplitude de cotas observadas e medidas (Quadro 13) e constatou-se a necessidade de extrapolar a curva-chave e para tal, aplicou-se os três métodos descritos na metodologia: Logarítmico, Velocidade x Área e Stevens.

**Quadro 13 – Amplitude cotas medidas e observadas<sup>13</sup>.**

Cota	Cota observada (m)	Cota medida (m)
Máxima	3,43	2,67
Mínima	2,25	2,31
Amplitude	1,19	0,36

Fonte: Bueno, 2013.

O Quadro 14 apresenta os resultados obtidos pelo método da Velocidade x Área, Stevens e Logarítmico, assim como os desvios em relação a vazão medida na cota mais alta medida.

**Quadro 14 – Comparação entre os métodos de extrapolação.**

Cota máxima		Vazão calculada		
		CC	Stevens	VxA
Observada	3,43	7,45	6,96	10,78
Medida	2,67	3,22	3,14	3,36
Vazão medida		Desvios (%)		

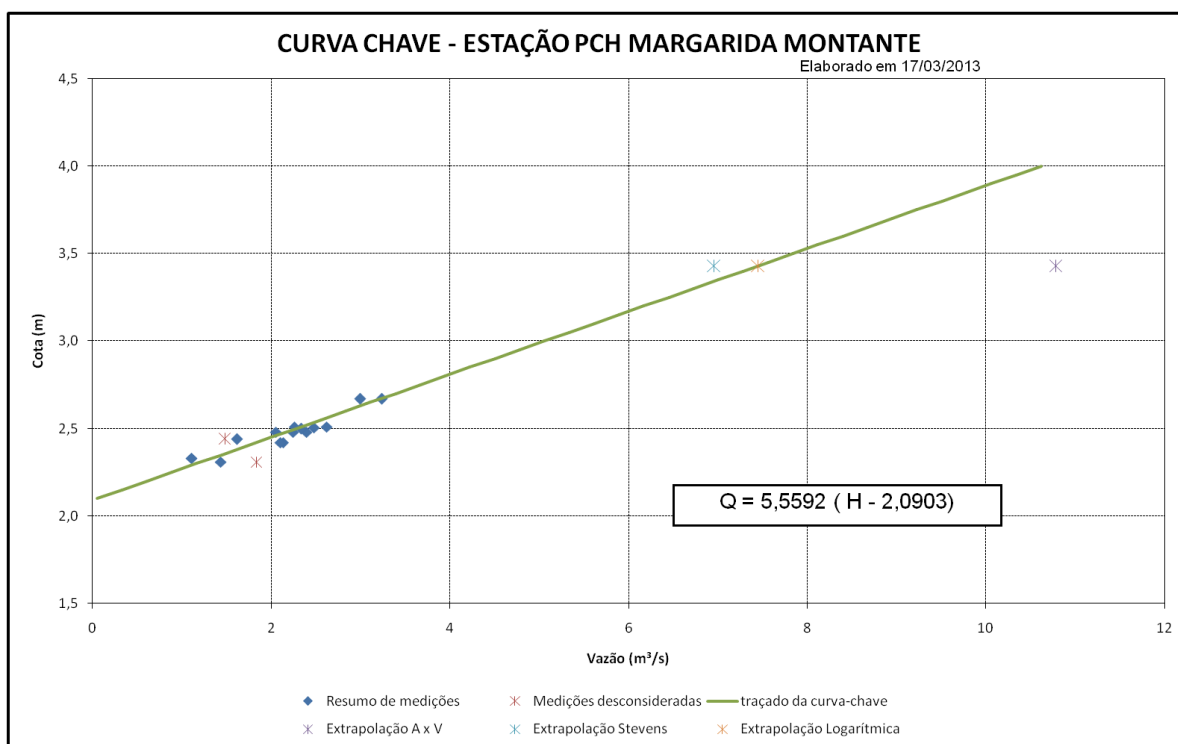
<sup>13</sup> Cotas medidas referem-se às cotas registradas pelos sensores automáticos; já as cotas medidas referem-se às cotas obtidas pelas medições realizadas em campo.

3,24	0%	-3%	4%
------	----	-----	----

Fonte: Bueno, 2013.

Comparando as vazões extrapoladas pelos métodos mencionados com a vazão obtida pela curva-chave é possível observar que o método da logarítmico apresentou-se como método mais preciso para extrapolar a vazão para as cotas mais altas.

O gráfico a seguir (Gráfico 2) apresenta a curva-chave estabelecida, as medições de descarga líquida e as vazões extrapoladas pelos métodos mencionados.



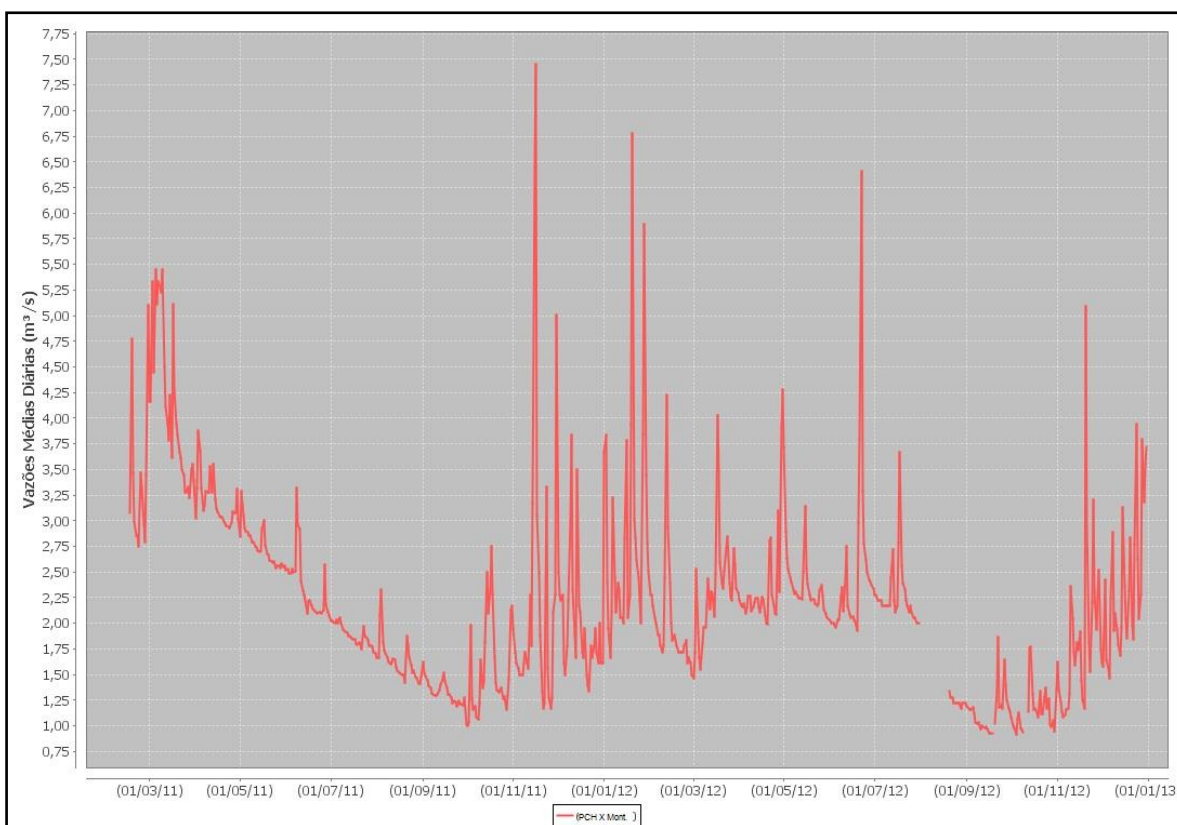
**Gráfico 2** - Curva-chave ajustada para a estação PCH Margarida Montante. Fonte: Bueno, 2013.

Logo se conclui que a curva-chave estabelecida para a estação PCH Margarida Montante, apesar de apresentar certa linearidade, o que se justifica por existir um número muito limitado de medições e que estas se dispõem graficamente de modo linear, ainda assim, a curva-chave obtida caracteriza bem a relação cota x vazão com base nas medições realizadas até dezembro de 2012 para a estação deste estudo; a mesma será reavaliada à medida que novas medições forem realizadas e de modo a cobrir possíveis alterações na amplitude das cotas.

#### 4.3.1.4 Avaliação das vazões médias diárias

Com a curva-chave gerada foi possível, conseqüentemente, gerar também a série de vazões médias diárias a partir das cotas médias diárias, brutas e consistidas, com auxílio do programa *Hidro 1.2*.

O hidrograma de vazões consistidas da estação PCH Margarida Montante - que é apresentado na sequência (Gráfico 3) - não pode ser comparado para análise de coerência com a série de vazões da estação de apoio “B”, a qual situa-se a jusante da primeira, porque a validação da curva da estação de apoio não tem amplitude para cobrir o período de dados da estação PCH Margarida Montante.



**Gráfico 3** - Série de vazões diárias da estação PCH Margarida Montante. Fonte: Bueno, 2013.

Todos os outros gráficos gerados pelo *Hidro 1.2* e *SIADH*, em conformidade com as orientações para consistência de dados fluviométricos da ANA, permitiram analisar e concluir que a série de vazões da estação PCH Margarida Montante apresenta coerência.

### **4.3.2 Estação PCH Margarida Jusante**

A estação hidrométrica PCH Margarida Jusante foi instalada e passou a ser operada em dezembro de 2007, e teve seus dados telemetrizados em janeiro de 2011.

Esta estação está localizada na margem esquerda do rio à jusante da PCH Margarida. A seção de escalas foi instalada na margem direita do rio, e é composta por 02 (dois) lances de escalas numa amplitude de 03 (três) metros. Lances: 3/4 metros e 4/6 metros.

A seção de medição foi escolhida a jusante da seção de escalas, local de margens com alta inclinação, de terreno arenoso/rochoso, em trecho de conformação retilínea, leito regular e apresentando um regime perene.

#### **4.3.2.1 Análise das cotas médias diárias**

O cotograma bruto da estação PCH Margarida Jusante apresentou apenas uma falha no dia 16/10/2010. Em primeira análise visual do gráfico permitiu observar um comportamento aparentemente regular, não sendo necessário desconsiderar nenhum dado a princípio.

Para a análise da consistência desta série, foram adotadas as cotas brutas das mesmas estações de apoio utilizadas para confronto com os dados da estação PCH Margarida Montante – estações de apoio “A” e “B”.

A partir da comparação com as estações de apoio, foi possível observar que ambos os cotogramas apresentam a mesma tendência de comportamento, percebeu-se que a estação principal apresenta um comportamento mais compatível com a série da estação de apoio “B”, exceto por algumas médias diárias em que a estação principal apresentou um comportamento inconsistente com o que é observado no seu comportamento regular ao longo de toda a série, e também distinto do comportamento das séries de ambas as estações de apoio.

Após a identificação dos dados inconsistentes na série da estação PCH Margarida Jusante levando-se em consideração a comparação das cotas diárias com o comportamento pluviométrico do local, bem como, com a comparação feita em relação ao comportamento das estações de apoio, analisou-se a correlação entre as mesmas. Entre a estação principal e a estação “A” obteve-se um coeficiente de determinação de  $R^2= 0,3425$  e com a estação “B” obteve-se  $R^2= 0,679$ .

Com isso, tem-se que ambos os valores obtidos na análise entre a estação principal e suas estações de apoio são baixos e insatisfatórios para preencher a falhas da estação PCH Margarida Jusante e consistir e/ou corrigir os dados da mesma.

Ainda assim, optou-se por desconsiderar os dados inconsistentes das médias diárias de cotas da estação PCH Margarida Jusante, já observados na análise que precedeu a obtenção dos índices de correlação, pois, tais registros de cotas apresentaram comportamento muito diferenciado e inconsistente com o de suas estações de apoio para o mesmo período, bem como, apresentaram-se incompatíveis com o histórico pluviométrico para o local na qual está inserida e o próprio comportamento regular da série observado graficamente.

O Quadro 15 apresenta o resumo dos períodos que foram descartados durante esta etapa da análise descrita acima.

**Quadro 15 - Resumo dos períodos desconsiderados da PCH Margarida Jusante.**

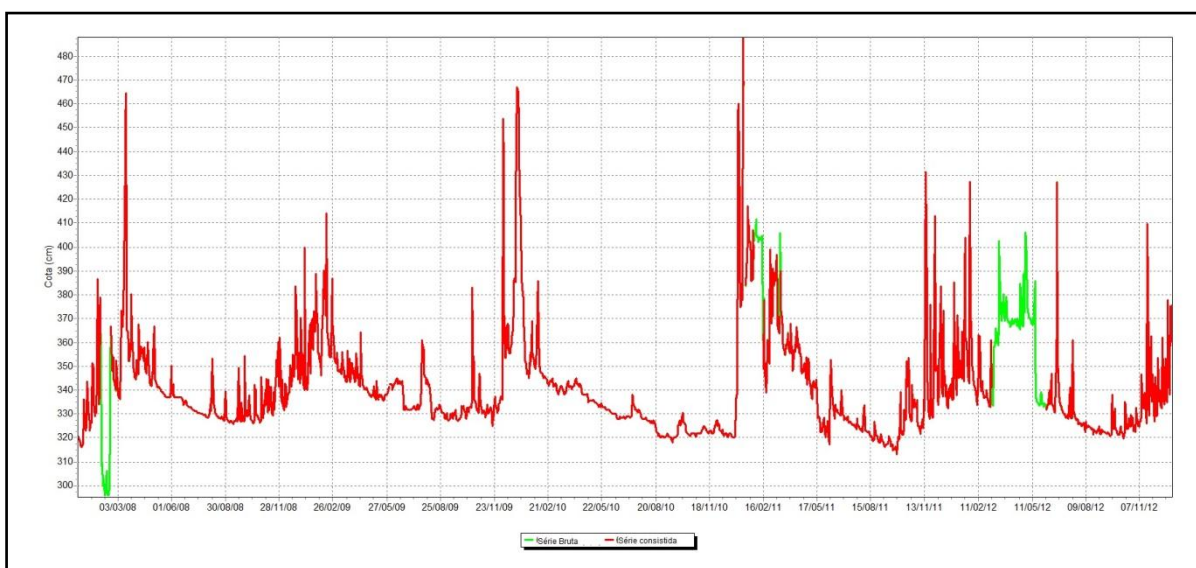
Período consistido	Observações
04/02/2008 a 20/02/2008	Período desconsiderado após análise de comparação com o comportamento pluviométrico da estação principal e em comparação com o comportamento pluviométrico das estações de apoio "A" e "B"
14/05/2009 a 24/07/2009	
16/01/2011	
01/02/2011 a 15/02/2011	
16/03/2011	
05/03/2012 a 02/06/2012	

Fonte: Bueno, 2013.

Por fim, a série de cotas da estação PCH Margarida Jusante foi fechada, como pode ser observado no gráfico a seguir (Gráfico 4) com os períodos inconsistentes da série bruta, em verde claro, que foram desconsiderados, e a série consistida, em vermelho, que, para este caso específico, foi considerada como consistida, levando em consideração somente as análises que puderam ser realizadas, ressaltando que foram encontradas dificuldades em obter uma

consistência precisa, pois, a distribuição gráfica dos pontos entre os dados comparados apresentaram relativa dispersão e devido também aos baixos índices de correlação entre a estação principal e as estações de apoio, que não permitiram usar este parâmetro para a análise de consistência da estação PCH Margarida Jusante.

Em análises futuras, em que seja possível comparar o cotograma da estação principal com as séries consistidas das estações de apoio, e de modo que estas cubram a amplitude necessária para a análise dos dados da PCH Margarida Jusante, os períodos descartados poderão ser corrigidos, assim como poderão ser preenchido o período de falha da mesma e poderá ser realizada uma análise mais precisa que garanta efetivamente a consolidação de dados consistentes para a estação PCH Margarida Jusante.



**Gráfico 4** – Série bruta e consistida da estação PCH Margarida Jusante. Fonte: Bueno, 2013.

#### 4.3.2.2 Análise das medições de descarga líquida

Desde o início da operação da estação foram realizadas 69 (sessenta e nove) medições – de dezembro de 2007 até dezembro de 2012. Quanto a cronologia das medições, destaca-se que em cada campanha foram realizadas duas medições, em alguns casos, mais que duas. Em caso destas medições apresentarem diferentes descargas líquidas para uma mesma cota medida, ou até mesmo diferentes cotas e

vazões medidas em um mesmo dia, considera-se que estas sejam analisadas e que seja desconsiderada aquela que se mostrou mais dispersa da nuvem de pontos de medição. No caso deste estudo foram admitidas, em primeira análise, todas as medições realizadas em todos os dias, para aproveitar-se do maior número de medições para o ajuste da curva-chave, descartando somente os pontos que no decorrer das etapas da análise apresentassem dispersão ou incoerência.

Em primeira análise, as cotas medidas foram comparadas com as cotas observadas consistidas e nenhuma diferença significativa foi encontrada, e, sendo assim, não foi necessário fazer nesta etapa da análise nenhuma desconsideração de dados, para que estes fossem analisados posteriormente segundo outros critérios.

Através dos gráficos de dispersão de pontos de cota por vazão e de vazão por cota foi possível verificar que houve um número considerável de pontos com dispersão acentuada e por isso, foram desconsiderados para que na aplicação na curva-chave constassem somente os pontos que apresentaram coerência nestas relações cota x vazão e vazão x cota. Não foram observadas discrepâncias entre o produto da área molhada pela velocidade comparada com as descargas líquidas da medição.

Sendo assim, após a análise dos gráficos acima mencionados, e feitas as desconsiderações das medições também supramencionada e identificadas nos gráficos, a correlação entre as cotas e as vazões obtidas nas medições resultaram em um índice altamente satisfatório, com  $R^2 = 0,9494$  (95%).

#### 4.3.2.3 Análise e traçado da curva-chave

Tendo sido descartadas as medições supracitadas, primeiramente foi avaliada a curva-chave já existente para a estação, mas esta apresentou desvios acima de 20%, entre as vazões medidas e calculadas pela mesma, logo, nesse contexto, houve a necessidade de ajustar uma nova curva-chave.

Sendo assim, a curva-chave reajustada obtida foi a seguinte:

$$Q = 11,3500 (H - 3,0512)^{1,2542}$$



Com este reajuste, as vazões calculadas com a curva-chave apresentaram um desvio médio de -7,6% em relação às vazões medidas, e o desvio máximo foi de 19%.

Para uma verificação da qualidade da curva foram correlacionadas ainda as vazões calculadas com a curva-chave e as vazões medidas, apresentando um coeficiente de determinação satisfatório de  $R^2 = 0,9519$ .

Por fim, foi verificada a amplitude de cotas observadas e medidas (Quadro 16) e constatou-se a necessidade de extrapolar a curva-chave e para tal, aplicou-se os três métodos descritos na metodologia: Logarítmico, Velocidade x Área e Stevens.

**Quadro 16 – Amplitude cotas medidas e observadas.**

Cota	Cota observada (m)	Cota medida (m)
Máxima	4,88	3,65
Mínima	3,13	3,23
Amplitude	1,75	0,42

Fonte: Bueno, 2013.

O Quadro 17 apresenta os resultados obtidos pelo método da Velocidade x Área, Stevens e Logarítmico, assim como os desvios em relação a vazão medida na cota mais alta medida.

**Quadro 17 – Comparação entre os métodos de extrapolação.**

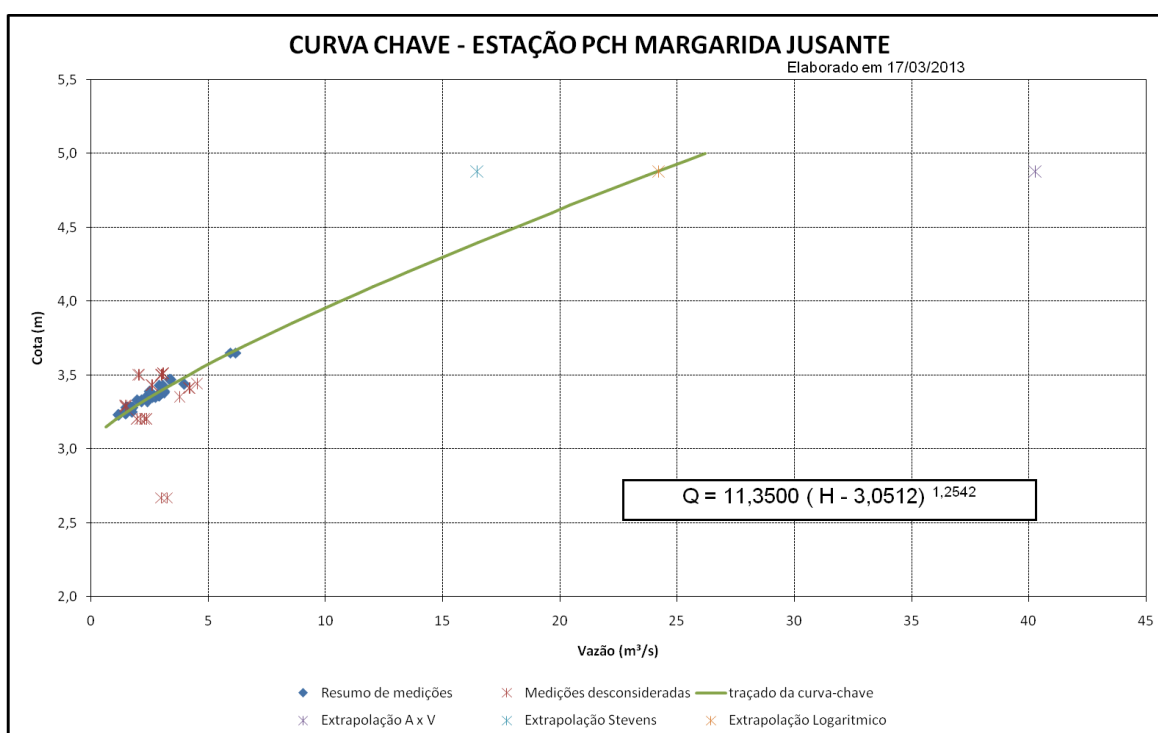
Cota máxima		Vazão calculada		
		CC	Stevens	VxA
Observada	4,88	24,20	16,47	40,28
Medida	3,65	5,97	5,26	6,29
Vazão medida		Desvios (%)		
6,17		-3%	-15%	2%

Fonte: Bueno, 2013.

Comparando as vazões extrapoladas pelos métodos mencionados com a vazão obtida pela curva-chave foi possível observar que o método logarítmico e o método Velocidade x Área, apresentaram um desvio muito baixo, o que faz de ambos, em primeira análise, serem considerados como satisfatórios.

Porém, analisando graficamente, o traçado da curva extrapolado pelo método logarítmico apresentou-se como o mais preciso e adequado para extrapolar a vazão para as cotas mais altas, ainda também levando-se em consideração que para utilizar o método da Velocidade x Área seria necessário uma série de levantamentos de perfil transversal para compreender a dinâmica do leito do canal, o que não seria possível para o caso da estação PCH Margarida Jusante, pois o mesmo só possui 1 (um) único levantamento de perfil realizado pela empresa operadora.

Na sequência, o Gráfico 5 apresenta a curva-chave estabelecida, as medições de descarga líquida e as vazões extrapoladas pelos métodos mencionados.



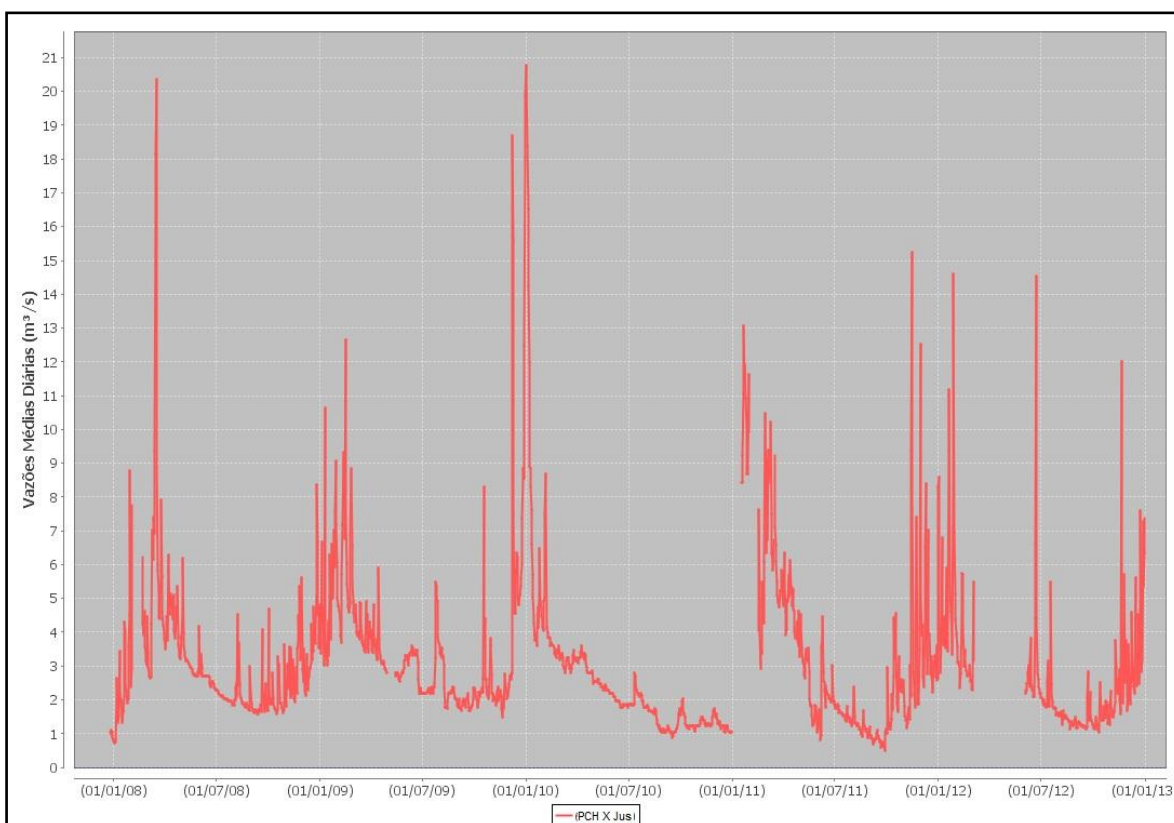
**Gráfico 5** - Curva-chave ajustada para a estação PCH Margarida Jusante. Fonte: Bueno, 2013.

Diante destas considerações que foram expostas até aqui e dos resultados obtidos, se conclui que a curva-chave estabelecida para a estação PCH Margarida Jusante, caracteriza bem a relação cota x vazão com base nas medições realizadas até dezembro de 2012 para a estação deste estudo; a mesma deverá ser reavaliada à medida que novas medições forem realizadas e de modo a cobrir possíveis alterações na amplitude de suas cotas.

#### 4.3.2.4 Avaliação das vazões médias diárias

Com a curva-chave gerada foi possível, conseqüentemente, gerar também a série de vazões médias diárias a partir das cotas médias diárias, brutas e consistidas, com auxílio do programa *Hidro 1.2*.

O hidrograma de vazões consistidas da estação PCH Margarida Jusante - que é apresentado na sequência (Gráfico 6) - não pode ser comparado para análise de coerência com as séries de vazões das estações de apoio "A", a qual situa-se a montante da primeira, e a estação de apoio "B", que situa-se à jusante da estação principal, porque a validação das curvas das estações de apoio não tem amplitude para cobrir o período de dados da estação PCH Margarida Jusante.



**Gráfico 6** - Série de vazões diárias da estação PCH Margarida Jusante. Fonte: Bueno, 2013.

Todos os outros gráficos gerados pelo Hidro 1.2 e SIADH em conformidade com as orientações para consistência de dados pluviométricos da ANA, permitiram analisar e concluir que a série de vazões da estação PCH Margarida Jusante apresenta coerência.

#### **4.4 Análise e consistência dos dados das estações pluviométricas**

Neste item são apresentadas as etapas de análise e consolidação dos dados das estações pluviométricas que compõem a rede hidrométrica da PCH Margarida.

##### **4.4.1 Estação PCH Margarida Montante**

Na primeira etapa de análise dos dados, a série de chuvas da estação PCH Margarida Montante, foi convertida, de dados horários em totais diários. Tendo feita esta conversão, os dados brutos foram revisados e como nenhum erro grosseiro foi registrado, nenhum dado foi desconsiderado, a princípio, bem como não foi reconhecido nenhum período de falha.

Em etapa posterior na análise dos dados, com intuito de observar a possibilidade de aplicar um dos métodos de análise da consistência de dados para a estação principal, da dupla massa com uma das estações de apoio selecionadas, a consistência dos dados da estação principal, a série de chuvas da estação PCH Margarida Montante foi comparada com 3 (três) estações de apoio<sup>14</sup> selecionadas, todas operadas pela Agência Nacional de Águas. Por ter apresentado para todas as comparações índices de correlação muito baixos, variando de 20% a 30%, observou-se que os meses de dezembro de 2011, janeiro e fevereiro de 2012 da

---

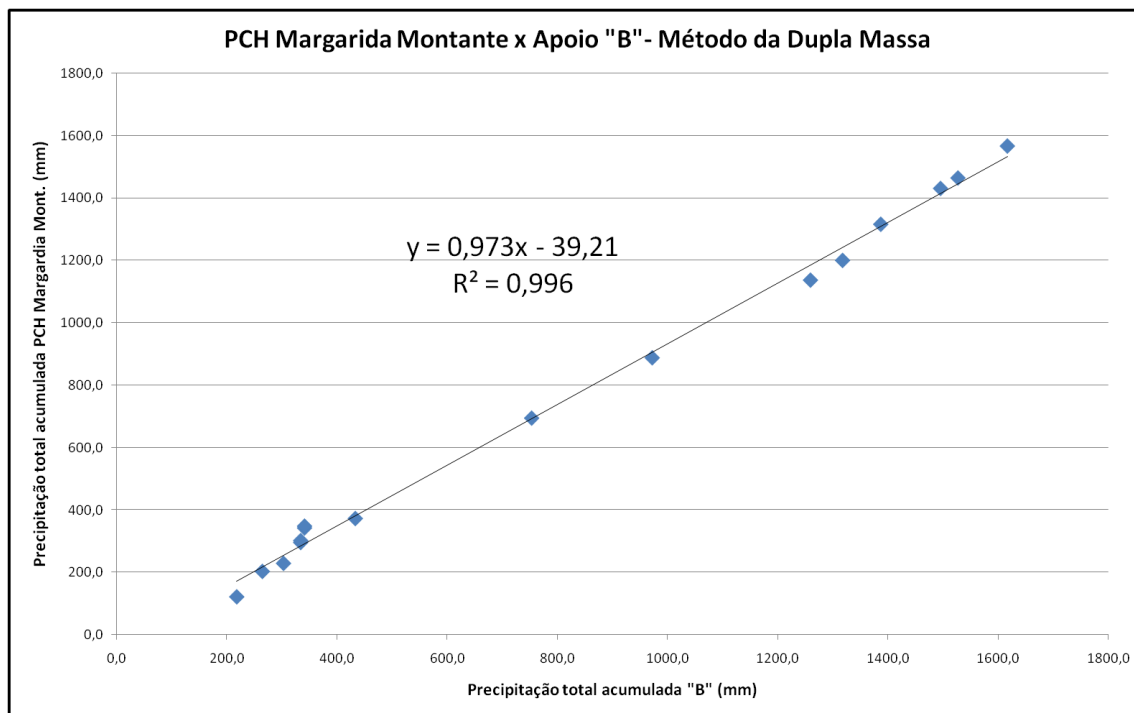
<sup>14</sup> A identificação das estações de apoio pluviométricas também foram suprimidas, utilizando nomes fictícios, por serem muito próximas à estação da rede hidrométrica da PCH "X", o que facilitaria assim a identificação do nome real da mesma.

estação principal – PCH Margarida Montante – apresentaram valores muito baixos e não condizentes, entendidos como um erro nessa etapa da análise, pois todas as estações vizinhas selecionadas como apoio apresentaram valores de precipitação mais elevados e próximos entre si, que, entendendo também do ponto de vista do comportamento pluvial para estes meses, realmente os valores de chuva são maiores.

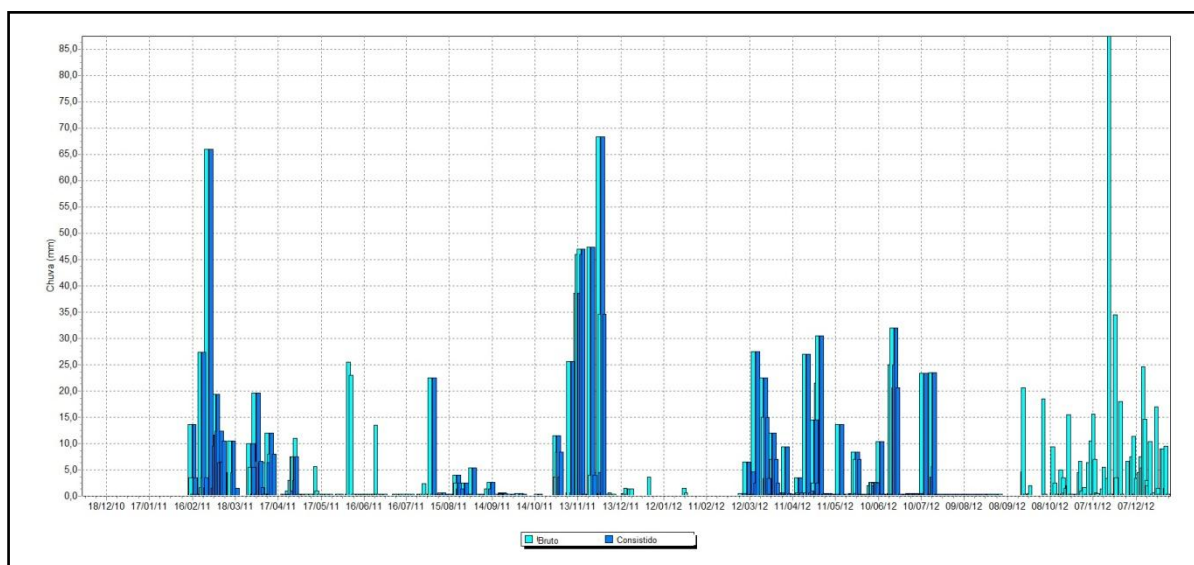
Sendo então admitidos como erros, estes dados mensais supracitados foram descartados e novamente foi aplicada a análise pela regressão linear entre as estações; como resultado, os índices de correlação apresentaram valores melhores que os obtidos na etapa anterior; mas, somente com a estação “B” a correlação foi realmente significativa, apresentando um valor de  $R^2 = 0,8069$  (acima de 80%).

Como não haviam falhas na série da estação principal, por fim, foi necessário somente realizar a análise de consistência dos seus dados. Para tal, foi possível somente aplicar o método da Dupla Massa, com a correlação entre as séries PCH Margarida Montante e a estação “B” como apoio, pois somente esta última tinha a série completa dos totais mensais, enquanto que as outras estações selecionadas como apoio – “A” e “C” - tinham períodos de falha em suas séries.

O resultado gráfico obtido pela aplicação do método da Dupla Massa é observado a seguir (Gráfico 7) e a série de dados consistidos resultantes da aplicação deste método podem ser observados no Gráfico 8 Gráfico , que apresenta a série bruta e consistida da estação PCH Margarida Montante.



**Gráfico 7** - Correlação pelo método de dupla massa entre a estação PCH Margarida Montante e a estação de apoio "B". Fonte: Bueno, 2013.



**Gráfico 8** - Séries diárias bruta e consistida da estação PCH Margarida Montante. Fonte: Bueno, 2013.

Com o resultado desta análise, aplicando o método da dupla massa, foi possível constatar uma consistência satisfatória dos dados da série de chuvas da PCH Margarida Montante, com um índice excelente de correlação, com  $R^2 = 0,9962$  (mais de 99%), e sem apresentar dispersão dos pontos no gráfico. Porém, é importante ressaltar que a disponibilidade dos dados de chuva da estação de apoio para a realização desta análise foi somente de sua série bruta; e também, que a

estação PCH Margarida Montante apresenta apenas cerca de 2 (dois) anos de dados (fev/2011 a dez/2012), sendo que em análises de consistência de dados pluviométricos indica-se a existência de dados de pelo menos 10 anos.

Sendo assim, como apontamento final, deve-se registrar a possibilidade e necessidade de que, em análises futuras, a consolidação da série de chuvas da referida estação seja realizada novamente, quando houver a disponibilidade de uma série maior de dados da estação principal, e a disponibilidade de dados consistidos da estação de apoio.

#### ***4.4.2 Estação PCH Margarida Jusante***

Na primeira etapa de análise dos dados, a série de chuvas da estação PCH Margarida Jusante, foi convertida, de dados horários em totais diários. Tendo feita esta conversão, os dados brutos foram revisados e como nenhum erro grosseiro foi registrado, nenhum dado foi desconsiderado, a princípio, bem como não foi reconhecido nenhum período de falha.

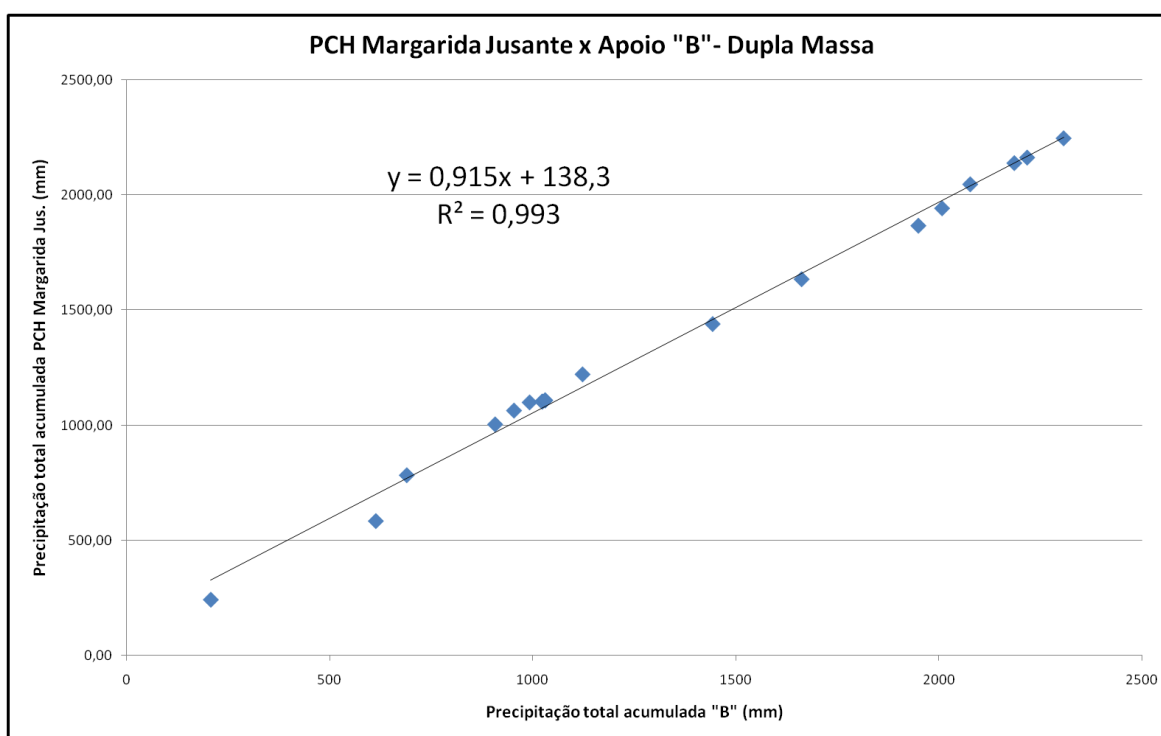
Em etapa posterior na análise dos dados, com intuito de observar a possibilidade de aplicar um dos métodos de análise da consistência de dados para a estação principal, da dupla massa com uma das estações de apoio selecionadas, a consistência dos dados da estação principal, a série de chuvas da estação PCH Margarida Jusante foi comparada com as estações de apoio selecionadas, sendo as mesmas utilizadas na análise da estação PCH Margarida Montante.

Por ter apresentado para todas as comparações índices de correlação muito baixos, variando de 3% a 30%, observou-se que os meses de dezembro de 2010; janeiro, fevereiro, março, abril e maio de 2011; outubro, novembro e dezembro de 2011; janeiro e fevereiro de 2012 da estação principal – PCH Margarida Montante – apresentaram valores muito baixos e não condizentes, entendidos como um erro nessa etapa da análise, pois todas as estações vizinhas selecionadas como apoio apresentaram valores de precipitação mais elevados e próximos entre si, que, entendendo também do ponto de vista do comportamento pluvial para estes meses, realmente os valores de chuva são maiores.

Sendo então admitidos como erros, estes dados mensais supracitados foram descartados e novamente foi aplicada a análise pela regressão linear entre as estações; como resultado, os índices de correlação apresentaram valores melhores que os obtidos na etapa anterior, mas somente com as estações “B” e “C” a correlação foi realmente significativa, apresentando valores de  $R^2 = 0,8444$  (acima de 84%) e de  $R^2 = 0,9695$  (acima de 96%) respectivamente.

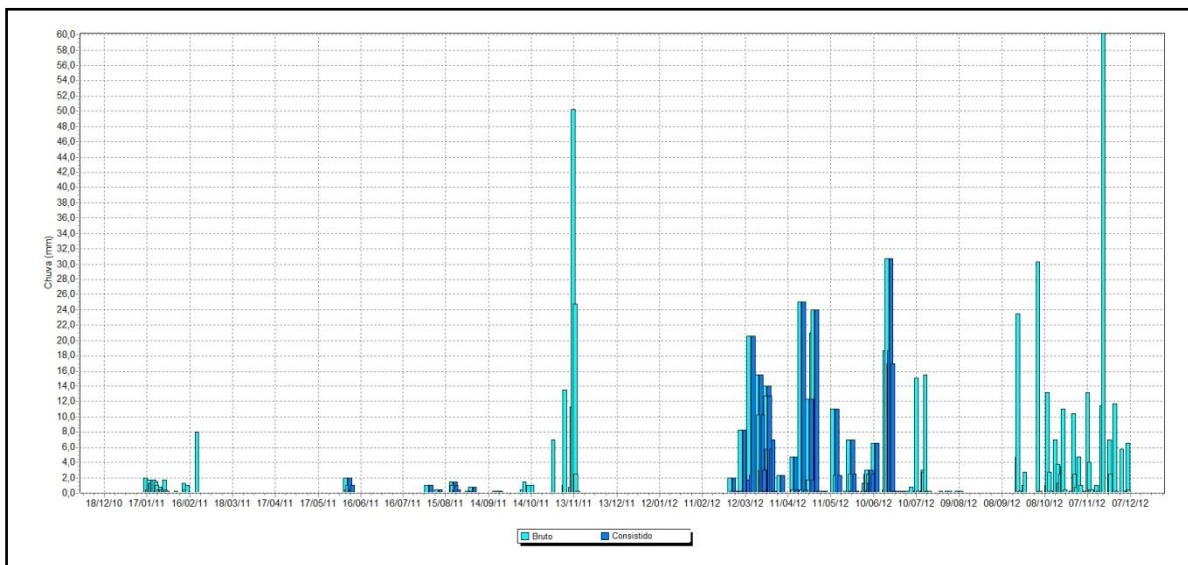
Como não haviam falhas na série da estação principal, por fim, foi necessário somente realizar a análise de consistência dos seus dados. Para tal, foi possível somente aplicar o método da Dupla Massa, com a correlação entre as séries PCH Margarida Jusante e a da estação “B” como apoio, pois somente esta última tinha a série completa dos totais mensais, enquanto que as outras estações selecionadas como apoio – “A” e “C” - tinham períodos de falha em suas séries.

O resultado gráfico obtido pela aplicação do método da Dupla Massa é observado no gráfico a seguir (Gráfico 9) e a série com os dados consistidos resultantes da aplicação deste método podem ser observados no Gráfico 10, que apresenta a série bruta e consistida da estação PCH Margarida Jusante.



**Gráfico 9** - Correlação pelo método de dupla massa entre a estação PCH Margarida Jusante e a estação de apoio “B”. Fonte: Bueno, 2013.





**Gráfico 10** - Séries diária bruta e consistida da estação PCH Margarida Jusante. Fonte: Bueno, 2013.

Com o resultado desta análise, aplicando o método da dupla massa, foi possível constatar uma consistência satisfatória dos dados da série de chuvas da PCH Margarida Jusante, com um índice excelente de correlação, com  $R^2 = 0,9934$  (mais de 99%), e sem apresentar dispersão dos pontos no gráfico. Porém, é importante ressaltar que a disponibilidade dos dados de chuva da estação de apoio para a realização desta análise foi somente de sua série bruta; e também, que a estação PCH Margarida Jusante apresenta pouco mais de 2 (dois) anos de dados (de dez/2010 a dez/2012), sendo que em análises de consistência de dados pluviométricos indica-se a existência de dados de pelo menos 10 anos. Sendo assim, como apontamento final, deve-se registrar a possibilidade e necessidade de que, em análises futuras, a consolidação da série de chuvas da referida estação seja realizada novamente, quando houver a disponibilidade de uma série maior de dados da estação principal, e a disponibilidade de dados consistidos da estação de apoio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de este trabalho ter adentrado muito pouco no mérito da discussão sobre os distintos significados e valores que o recurso natural, aqui nesta pesquisa tratando especialmente dos recursos hídricos, ainda assim, pela leitura que se fez, nota-se que o valor deste importante e indispensável recurso nos últimos tempos tem se “fundido” e por vezes vem amplamente ganhando novos significados relacionados a uma ótica de valoração econômica, de mercado.

Nessa mesma linha, os recursos hídricos ampliam esse significado e concepção, quando seu uso está voltado para a produção de energia, em especial no Brasil, onde esta atividade tem o maior destaque no setor energético do país. Apesar de esta constatação ampliar a discussão para uma gama diversa de ponderações sobre o assunto, nesta pesquisa optou-se por dar enfoque na importância do uso deste recurso na produção energética, demonstrando e ilustrando esta afirmação com dados que comprovam que ainda hoje, mesmo com certas inovações e evoluções nos estudos de aplicáveis na produção de energia via fontes alternativas, ainda é por meio da hidroeletricidade que a demanda energética brasileira é, quase que totalmente, suprida. Apesar das usinas de grande porte terem ainda um papel maior na produção energética, as pequenas centrais vêm ganhando espaço cada vez mais por todo o país.

Diante desse quadro energético brasileiro, as políticas ambientais e de gestão dos recursos hídricos do país entenderam e sistematizaram que, para além dos estudos de impactos que devem ser realizados antes mesmo da instalação de qualquer obra de geração de energia em ambientes hídricos, existe também a necessidade um monitoramento contínuo dos ambientes em que empreendimentos hidrelétricos estejam instalados. A partir disso, e por meio de agências governamentais regulamentadoras, foram estabelecidas normas para que se fizesse cumprir o monitoramento destes ambientes, tanto para fins de compreender a dinâmica dos ambientes e os possíveis impactos causados no decorrer da operação da geradora energética, mas também, para que o Brasil passasse a ter um banco de dados a nível nacional com estas informações, que viessem a se tornar públicas.

Seguindo esta lógica, foi publicada a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, que normatiza todos os aspectos referentes às exigências junto às

responsáveis pelas hidrelétricas para que sejam monitorados os ambientes hídricos onde estas geradoras estejam instaladas e em operação.

Um apontamento importante é de que, de certa forma, a opção dominante pela geração hidrelétrica e a constante ampliação destes empreendimentos, forçaram também as políticas nacionais, especialmente no setor voltado aos recursos naturais, a dar uma atenção especial ao assunto, resultando na criação das regulamentações para o monitoramento das águas no Brasil em maior escala, que são profundamente importantes em diversos aspectos, especialmente para a gestão ambiental e para as pesquisas ambientais, que necessitam de dados e informações que são possíveis de serem levantadas e tornadas públicas através das políticas criadas e já mencionadas.

Mas, apesar do Brasil ter avançado bastante no sentido, principalmente desta atenção voltada ao monitoramento “pós” instalação e operação das hidrelétricas, o país foi omissivo por muito tempo no monitoramento de suas águas, fato que pode ser comprovado, por exemplo, quando se buscam dados de monitoramento dos ambientes em que se encontram hidrelétricas em operação e não são encontrados ou são poucos os dados do monitoramento realizado nas áreas próximas antes da instalação de um dado empreendimento.

Outro apontamento mais crítico que cabe aqui ser colocado está no questionamento da real capacidade das agências brasileiras, mais especificamente, a Agência Nacional de Águas no sentido de ter condições de receber, analisar, sistematizar e divulgar dados em um montante tão grandioso como espera-se ser recebido no ano de 2014, para finalmente o Brasil dar o pontapé inicial na elaboração e divulgação à público de um banco de dados com informações hidrológicas de todas as estações que estão sendo operadas no Brasil, tendo em vista que o país possui um número relevante de empreendimentos hidrelétricos, e cada um desses possuindo sua rede hidrométrica associada, é nítido que o acúmulo de dados e informações é bastante elevado.

Como o trabalho de certa forma ficou dividido em duas partes – uma mais voltada à importância dos recursos hídricos na produção energética e a importância do monitoramento destes ambientes, apresentando as estruturas políticas criadas para tal; e a segunda parte, apresentando materiais e métodos para atendimento de uma das normativas de monitoramento criadas – a Resolução conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 – bem como, apresentando também um exemplo de estudo de caso para

atendimento a esta resolução, - as considerações apresentadas a seguir são direcionadas a esta segunda parte do trabalho.

Após o levantamento, organização e análise de consistência dos dados das estações da rede hidrométrica do aproveitamento PCH Margarida pode-se concluir que as séries de dados apresentaram um resultado bastante satisfatório quanto à confiabilidade e coerência, resultantes do monitoramento contínuo destas estações.

Algumas dificuldades foram enfrentadas durante o processo de consolidação dos dados, que se referem, em suma, à falta de disponibilização de dados consistidos de estações selecionadas como apoio, ou até mesmo de dados brutos, junto às entidades operadoras destas estações, principalmente quando são operados por outras entidades que não são a ANA – Agência Nacional de Águas (a qual disponibiliza na página “HidroWEB” as séries das estações as quais opera, ainda que algumas não tenham dados consistidos até o período necessário para a consolidação dos dados das estações apresentadas neste relatório). Mas, mesmo diante destas dificuldades, foi possível realizar quase todas as etapas de análises indicadas para a consolidação dos dados pluviométricos e fluviométricos das estações abordadas neste estudo.

Para o fechamento de séries de cotas consistidas, a estação PCH Margarida Montante teve um resultado mais preciso que o obtido para a estação PCH Margarida Jusante, tendo em vista que na análise de correlação com as estações vizinhas, somente a primeira apresentou índices satisfatórios, precisamente em relação à estação de apoio “B”, sendo que na análise de correlação entre a estação PCH Margarida Jusante com as estações de apoio selecionadas, ambos resultaram em índices baixos e insatisfatórios para preencher falhas e consistir e/ou corrigir os dados da mesma. Ainda assim, pelas análises que se realizaram, pode-se obter uma série de dados consistida considerada satisfatória para ambas as estações.

Já na análise da série de chuvas, não foi possível chegar a uma consistência plenamente satisfatória; isto devido à falta de dados consistidos das estações de apoio, para dar confiabilidade a estas séries e a partir delas correlacionar com as estações deste estudo, bem como as séries das estações de apoio não terem a amplitude necessária para estas análises de consistência. Somado a esses fatores, ainda tem-se o fato de que as séries das estações PCH Margarida Montante e PCH Margarida Jusante terem uma amplitude temporal muito restrita (em torno de 2 (dois) a 3 (três) anos de dados), visto que em análises de consistência de dados

pluviométricos, indica-se que existam dados de, no mínimo, uma série de 10 (dez) anos.

Quanto às curvas-chave das seções onde são operadas as estações supramencionadas, observou-se que as mesmas necessitaram de reajuste, pois apresentaram cotas maiores que a amplitude que cobria a curva-chave estabelecida em análises anteriores para as estações estudadas. A extrapolação de curva-chave de ambas as estações PCH Margarida Montante e PCH Margarida Jusante foram feitas pelo método logarítmico. Diante desse ajuste, ambas as curvas definidas caracterizam bem a relação cota x vazão para as seções fluviais das estações e proporcionaram o estabelecimento da série de vazões para os mesmos. À medida que novas medições forem realizadas estas curvas serão novamente avaliadas e possivelmente ajustadas para cotas mais elevadas e/ou mais baixas.

Considera-se, por fim, que as análises aqui apresentadas foram concluídas apropriadamente, mas que, junto às séries das estações abordadas neste estudo, deverão ser acrescentados novos dados resultantes de futuros levantamentos, possíveis por meio de novas medições pontuais e pelo registro com uma amplitude temporal maior dos dados obtidos pelo monitoramento telemétrico das estações, para que futuramente haja divulgação a público de séries consistidas plenamente satisfatórias.

Ainda que os resultados obtidos pela operação da rede hidrométrica e os dados analisados e consolidados referentes a esta tenham sido concluídos de forma satisfatória, nota-se que, não somente para o caso deste estudo, mas numa perspectiva mais ampla, pensando no contexto em que o monitoramento hidrológico vem sendo realizado no Brasil, percebe-se que ainda o país não tem utilizado das melhores técnicas e práticas e/ou do melhor preparo técnico daqueles que se dedicam a estes estudos e análises, e principalmente, equipamentos mais avançados já disponíveis no mercado, que possibilitariam análises mais precisas e confiáveis; nesse sentido é notável certo atraso do país, que ainda encaminha-se para um melhoramento deste setor, algo crucial para a adequada gestão hídrica, ambiental e energética do país.

Como última consideração na conclusão desta pesquisa, por se tratar de um trabalho de conclusão de curso, no caso, de Geografia com habilitação em bacharelado, cabe uma importante constatação sobre a reflexão necessária no que diz respeito à formação e atuação do geógrafo. Estudos como o que foi aqui

apresentado exigem do pesquisador uma visão e formação bastante ampla e conhecimentos variados, incluindo a capacidade de trabalhar em equipe e ter domínio sobre métodos de análise tanto quantitativos quanto qualitativos e de análise espacial, exigindo conhecimentos mínimos de estatística, geomorfologia, climatologia, hidrologia, entre outros; conhecimentos estes que são indispensáveis na formação de um profissional em geografia. Sendo assim, a conclusão desta pesquisa configurou-se como um importante aprendizado, aliando teoria e prática, enriquecedor tanto na perspectiva acadêmica quanto na atuação do profissional geógrafo.

## 6. REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Monitoramento hidrológico no setor hidrelétrico**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/monitoramentohidro.aspx>>. Acesso em: nov, 2013.

\_\_\_\_\_. **Orientações para elaboração do Projeto de instalação de estações hidrométricas**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ManualparaElaboracaodeProjetoDeInstalacaodeEstacoes.pdf>>. Acesso em: nov, 2013.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Energia Hidráulica. (Capítulo 3). **Atlas da energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília-DF: 2008. p. 49 – 61. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689)>. Acesso em: out, 2013.

\_\_\_\_\_. **Informações gerenciais** (Relatório publicado no mês de março de 2012). Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/informacoes\\_gerenciais\\_Mar\\_2012.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/informacoes_gerenciais_Mar_2012.pdf)>. Acesso em: nov, 2013.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL/ANEEL)**. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/sigel.html>>. Acesso em: nov, 2013.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 2013. p. 849 - 875.

BESSA, M. da R. M. Monitoramento e modelagem em reservatórios. In: CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. (Org.). **Gestão de reservatórios de hidrelétricas**. São Paulo-SP: Oficina de textos, 2012. p. 75 – 86.

BRASIL. ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução nº 396/1998**, de 04 de dezembro de 1998. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES1998396.PDF>>. Acesso em: outubro, 2013.

BRASIL. ANEEL/ANA. Agência Nacional de Energia Elétrica/Agência Nacional de Águas. **Resolução Conjunta nº 03/2010**, de 20 de outubro de 2010. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta\\_n\\_003-2010.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf)>. Acesso em: outubro, 2013.

BUENO, K. **Características hidrológicas da bacia do Rio Guabiroba (Guarapuava-PR)**: Estudo de vazão e propriedades hidrométricas de seção transversal. 2009. 52 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia

Licenciatura). – Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR, 2009.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 2013. p. 485 - 525.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2002.

FERREIRA, L. **Simulação hidrológica utilizando o modelo TOPMODEL em bacias rurais**: estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins – seção Monjolinho – SP. 2004. 413 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2004. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000333050>>. Acesso em: out, 2010.

IBIAPINA, A. V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D. C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M. C. A. M.; GUIMARÃES, V. S. **Evolução da hidrometria no Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>>. Acesso em: set, 2009.

JACCON, G.; CUDO, K.J. **Curva-chave**: Análise e traçado. Brasília; DNAEE; 1989.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O monitoramento da água no Brasil: instituições, iniciativas e banco de dados. In: \_\_\_\_\_. **Indicadores ambientais e recursos hídricos**: Realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil, 2007. p. 145 a 170.

MARGULIUS, S. Introdução à economia dos recursos naturais. In: \_\_\_\_\_. **Meio Ambiente**: aspectos técnicos e econômicos. Brasília: IPEA, 1996. p. 157 – 177.

MÜLLER, A. C. O potencial hidrelétrico brasileiro. (capítulo 2). In: \_\_\_\_\_. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo-SP: Makron Books, 1995. p. 05 – 44.

PEREIRA, R. da S.; SILVA NETO, A. da; TUCCI, C. E. M. **Princípios da Hidrometria**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2003. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>>. Acesso em: jul, 2010.

PORTUGAL JUNIOR, P. dos S.; PORTUGAL, N. dos S.; ABREU, G. A. Valoração econômica ambiental: um estudo analítico e teórico dos métodos e suas multi-aplicabilidades. **Anais SEGeT 2011**. Simpósio de Excelência em Gestão e



Tecnologia. Resende, 2011. 15 p. Disponível em: <[http://www.aedb.br/seget/artigos08/196\\_196\\_196\\_VALORACAO\\_ECONOMICA\\_AMBIENTAL.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos08/196_196_196_VALORACAO_ECONOMICA_AMBIENTAL.pdf)>. Acesso em: nov, 2013.

RIBEIRO, W. C. Distribuição política da água. (capítulo 1). In: \_\_\_\_\_. **Geografia Política da Água**. São Paulo-SP: Annablume, 2008. p. 23 – 52.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SILVA, José Roselito Carmelo da. **Recursos Naturais e Meio Ambiente**. (Org.). Notas de aula da disciplina. UNINORTE – Centro Universitário do Norte. Manaus, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABB5wAF/texto-01-recursos-naturais-concepcoes>>. Acesso em: março, 2012.

Teixeira, C. A. **Apostila de Hidrologia Aplicada**, 2010. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <[http://pessoal.utfpr.edu.br/mannich/arquivos/hidro\\_celimar.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/mannich/arquivos/hidro_celimar.pdf)>. Acesso em fev, 2013.

## **7. APÊNDICE**

### **7.1 7.1 Termos de autorização**





## ***7.2 Termo de responsabilidade pela autoria***



## **8. ANEXOS**

### **8.1 *Resolução Conjunta ANA/ANEEL n° 03/2010***