



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO TRAÇADO E
EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE
ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO ITAPICURU-
BA**

THIAGO DIAS MARQUES

Cruz das Almas, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO TRAÇADO E
EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE
ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO ITAPICURU-
BA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado para Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia como parte do requisito
para obtenção do título de Engenheiro
Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Andrea Sousa

Fontes

THIAGO DIAS MARQUES

Cruz das Almas, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO TRAÇADO E
EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE
ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO ITAPICURU-
BA**

Aprovada em: ____/____/____

EXAMINADORES:

Prof^a. Dr^a. Andrea Sousa Fontes

Prof^o. Dr. Jaildo Santos Pereira

Prof^o. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade

Sumário	
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos	19
3.2 Medição de Vazão.....	23
3.3 O Uso da Curva-Chave	27
3.4 Comportamento da Calha Do Rio.....	31
3.5 Métodos de Traçado da Curva-Chave.....	34
3.5.1 Método da calibragem unívocas transitórias (Traçado).....	34
3.5.2 Método do Remanso (Traçado).....	35
3.5.3 Método de Boyer (Desnível normal) (Traçado)	35
3.5.4 Método do Gradiente Linimétrico (Lamagat) (Traçado).....	36
3.5.5 Métodos dos Mínimos Quadrados (Traçado e extrapolação) .	36
3.5.6 Leitura de Cotas Simultâneas em Outra Estação próxima com Curva de Descarga Melhor Definida (Traçado e extrapolação)	37
3.5.7 Método Logarítmico (Extrapolação)	37
3.5.8 Velocidade Média e Determinação da Área por Levantamento Topobatimétrico da Seção de Medição (Extrapolação)	38
3.5.9Método de Stevens (Extrapolação)	39
3.6 Dificuldades e Erros Apresentados na Geração de curva-chave .	41
4 MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Itapicuru.....	43

4.2 Caracterização das Estações Fluviométricas	44
4.2.1 Estação 50420000	45
4.2.2 Estação 50430000	46
4.2.3 Estação 50380000	47
4.2.4 Estação 50465000	47
4.3 Seleção das Estações Estudadas	48
4.4 Levantamento e Consistência dos Dados das Estações que Serão Utilizadas	48
4.5 Calibração da Curva-Chave	50
4.6 Análise do Erro na Elaboração da Curva-Chave	52
5.5 Medição em Campo da Estação 50420000	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. Análise do Perfil Transversal Das Estações	56
5.2 Análise dos Dados da Série Histórica Diária das Estações Fluviométricas	59
5.3 Método de Potência (Traçado)	69
5.4 Método de Stevens (extrapolação de vazão alta)	78
5.5 Comparação Entre a Série Histórica de Vazão Gerada e a Série Histórica da ANA	82
5.6 Análise dos Hidrogramas da Série Histórica Gerada.	88
5.7 Medição de Vazão Realizada em Campo na Estação 50420000.	91
5.8 Avaliação do Traçado e extrapolação da Curva-Chave para auxiliar a informação sobre recursos hídricos.	94
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	96

Lista de Figuras

Figura 1 - Molinete com hélice e molinete com concha respectivamente.....	25
Figura 2 - Verticais de medições de velocidade	25
Figura 3 - Exemplo de medição com ADCP.....	27
Figura 4 - Tipos de curva-chave.....	29
Figura 5 - Aquisição de dados de vazão a partir dos dados de cota	30
Figura 6 - Influência do assoreamento da calha do rio na curva-chave	33
Figura 7 - Localização da bacia do Itapicuru em relação ao estado da Bahia..	44
Figura 8 - Mapa da Bacia do Itapicuru-Ba com as localizações das estações estudadas e principais barragens.....	45
Figura 9 - Estação 50420000	46
Figura 10 - Estação 50430000	46
Figura 11 - Estação 50380000	47
Figura 12 - Estação 50465000	48
Figura 13 - Gráfico do Método de Extrapolação de Stevens.....	52
Figura 14 - Perfil de Velocidade Típico em Rios	54
Figura 15 - Validade da Velocidade na Vertical 2.....	55
Figura 16 - Medição de Vazão pelo Método do Molinete	55
Figura 17 - Perfil Transversal estação 50380000.....	56
Figura 18 - Perfil Transversal Estação 50420000	57
Figura 19 - Perfil Transversal Estação 50430000	58
Figura 20 - Perfil Transversal Estação 50465000	59
Figura 21 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50380000 e da chuva na Estação pluviométrica 01040027	60
Figura 22 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50420000 e da chuva na Estação pluviométrica 1140011	61
Figura 23 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50430000 e da chuva na Estação pluviométrica 1140011	62
Figura 24 - Hidrograma das estações 50465000 e o somatório das estações 50380000 e 50430000.....	63
Figura 25 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2012-2015 para Estação 50380000	70

Figura 26 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1989-1992 para Estação 50380000	71
Figura 27 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1998-1999 para Estação 50420000	74
Figura 28 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2009-2015 para Estação 50430000	75
Figura 29 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1989-1992 para Estação 50430000	76
Figura 30 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2006-2015 para Estação 50465000	77
Figura 31 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1994-2005 para Estação 50465000	78
Figura 32 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50380000 para período 1993-2005.....	79
Figura 33 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50420000 para período 2000-2005.....	80
Figura 34 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50430000 para os Anos de 1989 a 2015.....	80
Figura 35 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50430000 para período 1997-2005.....	81
Figura 36 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50465000 para período 1989-1993.....	82
Figura 37 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50380000	83
Figura 38 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50380000	83
Figura 39 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50420000	84
Figura 40 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50420000	85
Figura 41 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50430000	86

Figura 42 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50430000	86
Figura 43 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50465000	87
Figura 44 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50465000	88
Figura 45 - Hidrograma entre as Estações 50420000 e a Estação 50430000 para Período Entre 2006 e 2015	89
Figura 46 - entre as Estações 50420000 e a Estação 50430000.....	89
Figura 47 - Hidrograma entre as Estações 50465000 e o Somatório 50380000 50430000 para Período Entre 2006 e 2015	90
Figura 48 - Hidrograma entre as Estações 50465000 e o Somatório 50380000	91
Figura 49 - Perfil transversal medido em campo estação 50420000.....	92

Lista de Quadros

Quadro 1 - Resumo das Metodologias de Traçado e Extrapolação da Curva-Chave	40
Quadro 2 - Classificação dos postos fluviométricos para valores máximos	49
Quadro 3 - Classificação dos postos fluviométricos para valores mínimos	50

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores experimentais do coeficiente de Manning	33
Tabela 2 - Número e Posição de Pontos de Medição na Vertical	54
Tabela 3 - Valores e Classificação da Consistência da Cotas Máximas pelo Método de Tucci para Estação 50380000	63
Tabela 4 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máximas pelo Método de Tucci para Estação 50380000	64
Tabela 5 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50380000	64
Tabela 6 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50420000	65
Tabela 7 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50420000	65
Tabela 8 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50420000	66
Tabela 9 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50430000	66
Tabela 10 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50430000	67
Tabela 11 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50430000	67
Tabela 12 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50465000	68
Tabela 13 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50465000	68
Tabela 14 - Valores e Classificação da Consistência da Cotas Mínimas pelo Método de Tucci para Estação 50465000	68
Tabela 15 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50380000 para os Anos de 1989 a 2015	70

Tabela 16 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50420000 para os Anos de 1990 a 2015	72
Tabela 17 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2010-2015 para Estação 50420000	Erro! Indicador não definido.
Tabela 18 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1998-1999 para Estação 50420000	74
Tabela 19 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50465000 para os Anos de 1989 a 2015	76
Tabela 20 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50380000 para os Anos de 1989 a 2015.....	79
Tabela 21 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50420000 para os Anos de 1990 a 2015.....	79
Tabela 22 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50465000 para os Anos de 1989 a 2015.....	81
Tabela 23 - Medidas Realizadas em Campo na Estação 50420000.....	93
Tabela 24 - Valores das Vazões medidas e estimadas para o dia 26/08/2015	94

Lista de Siglas

ANA: Agência Nacional de Águas

CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CPRM: Serviço Geológico do Brasil

INEMA: Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

MMA: Ministério do Meio Ambiente

SISRH: Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos

SRH: Secretária de Recursos Hídricos

RESUMO

Um dos gargalos da gestão de recursos hídricos das regiões semiáridas do nordeste brasileiro é a disponibilidade de informação. No caso dos recursos hídricos do semiárido é a indisponibilidade de dados consistentes de vazão dos mananciais que dificulta a gestão eficiente das águas. Esse problema se agrava pela dinâmica fluvial característica de rios intermitentes. Nesse contexto destaca-se o rio Itapicuru-BA que está localizado na região semiárida do estado da Bahia e que vem sofrendo uma grande pressão que é intensificada por constantes períodos de estiagem que foram verificados principalmente nos anos de 2012 e 2013. Ao longo desse rio existem 13 estações fluviométricas para o seu monitoramento, entretanto em algumas existem períodos extensos de falhas dificultando a avaliação do comportamento hidrológico do rio. Neste sentido o presente trabalho objetiva avaliar o traçado e extrapolação da curva-chave para estimativa da vazão de rio de semiárido no âmbito do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado da Bahia. Para traçado da curva chave foi utilizado o método de potência e para extrapolação o método de Stevens, realizando-se uma medição de vazão pelo método molinete na estação fluviométrica 50420000 para complementação das análises. Os resultados mostram que a curva-chave tem uma relevância em diversos aspectos da gestão e planejamento dos recursos hídricos. Sendo necessário, bons ajustes da curvas de calibragem para as vazões geradas serem mais próximas das vazões reais e conseqüentemente refletir o comportamento real da bacia. Para que isto ocorra existe a necessidade de obtenção de dados consistente que foi uma dificuldade encontrada para os traçados das curvas-chave. Os hidrogramas gerados a partir da curva-chaves geradas demonstraram coerência na maior parte do tempo. Um outro aspecto importante é a necessidade de medições em eventos extremos de cheias e secas para uma melhor calibragem das extrapolações. Os resultados apresentados podem fornecer informação contribuindo para o sistema de informação sobre recursos hídricos.

Palavras-Chave: Curva-chave, Rios de Semiárido e Sistema de Informação.

Abstract

One of the bottlenecks management of water resources in semi-arid regions of northeastern Brazil is the availability of information. In the case of water resources in the semiarid region is the availability of consistent data flow of the springs that hampers the efficient management of water. This problem is aggravated by the dynamic fluvial feature intermittent rivers. In this context it highlights the Itapicuru-BA river which is located in the semiarid region of Bahia state and has suffered a great pressure is intensified by constant drought periods that were mainly recorded in the years 2012 and 2013. Along the river there are 13 gauged stations for your monitor, though in some there are extended periods of failures hindering the assessment of the hydrological behavior of the river. In this sense the present study aims to evaluate the route and extrapolation of key curve to estimate the semiarid river flow in the Information System of the State of Bahia Water Resources. For layout of the rating curve was used the power and method for extrapolating the Stevens method, performing a flow measurement by the reel method in fluviometric station 50420000 for complementation analysis. The results show that the curve has a key importance in various aspects of management and planning of water resources. If necessary, fine adjustments of the calibration curves for the flows generated are closer to the actual flow rates and thus reflect the actual behavior of the basin. For this to happen there is a need to obtain consistent data which was a difficulty to the strokes of the key curves. The hydrograms generated from the curve shown consistency key generated in most of the time. Another important aspect is the need for measurements in extreme flood events and dried for better calibration of extrapolations. The results can provide information contributing to the information system on water resources.

Keywords: Turn-Key, Rivers Semiarid, Information System.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos tem como principal finalidade equacionar os diversos problemas relacionados aos múltiplos usos da água, sendo assim foi criada a Lei Federal 9433/97 que traz as prioridades do uso da água e os diversos instrumentos para auxiliar na gestão e no planejamento deste recurso.

Um dos gargalos da gestão de recursos hídricos do semiárido é a indisponibilidade de dados consistentes de vazão dos mananciais que dificulta a gestão eficiente das águas. Esse problema se agrava pela dinâmica fluvial característica de rios intermitentes (duas fases de perturbação hidrológica (a cheia e a seca) com efeitos importantes na variação do substrato (Pedro e Maltchik, 1996 apud Maltchik, 2016) que exige um processo contínuo de monitoramento das vazões pela constante alteração da geomorfologia das suas calhas.

No cenário atual podemos observar que existe um aumento populacional e uma expansão da agricultura e conseqüentemente um aumento da demanda sobre os recursos hídricos o que aumenta a pressão sobre os mesmos. A partir deste cenário pode-se concluir que as interferências causadas pelo ser humano estão provocando uma alteração nos sistemas fluviais e no comportamento dos rios. Para que se consiga atender de modo eficaz e definir a quantidade que pode ser utilizada no atendimento das demandas existente, há necessidade de se conhecer a vazão do rio (SOUSA et al ,2014).

A medição de vazão é realizada por diferentes métodos, com determinação da velocidade da água e o levantamento topográfico da seção transversal e definição da área molhada do canal do rio. Pode-se proceder essa medição de forma direta ou indireta. Entretanto, os métodos diretos têm uma logística complexa e custos elevados o que torna o processo impossível de ser realizado diariamente o que não ocorre com as medições indiretas, nas quais a vazão é determinada pela cota do rio e utilização de uma equação matemática que relacione cota - vazão, conhecida como curva-chave da seção transversal do rio.

Os dados obtidos com o monitoramento são organizados no Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNRH) um dos instrumentos da política de Recursos hídricos (Lei 9433/97) visando sistematização e disponibilização para a população dos dados de quantidade e qualidade da água nas bacias hidrográficas, fornecendo subsídios para a gestão, tomada de decisão e resolução de eventuais conflitos pelo uso dos recursos hídricos. É de responsabilidade das entidades outorgantes, como sejam a ANA, no âmbito nacional e entidades estaduais, como o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) na Bahia implantar, organizar e gerenciar o sistema. (BRASIL, 2006)

Nesse contexto, destaca-se o rio Itapicuru-BA que está localizado na região semiárida do estado da Bahia e que vem sofrendo uma grande pressão sobre os recursos hídricos que tem sido intensificada por constantes períodos de estiagem. Ao longo desse rio existem 13 estações fluviométricas para o seu monitoramento, entretanto em algumas existem períodos extensos de falhas dificultando a avaliação do comportamento hidrológico do rio.

No sentido de contribuir com as informações existentes e ampliar a avaliação do comportamento hidrológico do rio Itapicuru para melhor gestão de suas águas, o presente trabalho busca avaliar os traçados e extrapolação das curva-chaves para estimativa de vazão existente neste manancial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliação do traçado e extrapolação da curva-chave para estimativa da vazão de rio de semiárido no âmbito do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado da Bahia.

2.2 Objetivos Específicos

- Seleção dos métodos para traçado e extrapolação da curva-chave na bacia hidrográfica do rio Itapicuru-Ba.
- Construção da curva chave para trechos do rio Itapicuru para diferentes períodos.
- Avaliação qualitativa dos erros e incertezas na estimativa de vazão do rio Itapicuru.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

Em recursos hídricos, o planejamento pode ser definido como o conjunto de ações que visam o atendimento das demandas consultivas ou não, considerando a disponibilidade limitada deste recurso, configurando um processo complexo (SETTI et al, 2001)

Visando melhorar a gestão e planejamento dos recursos hídricos foi criado o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos (SINGREH), instituído pela Lei Federal 9433/1997, conhecida como “Lei das Águas” e que traz diretrizes e princípios da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2006) e os instrumentos legais e necessários para uma gestão adequada dos recursos hídricos.

Como um dos instrumentos de auxílio a gestão e planejamento das águas a Lei federal 9433/97 traz no seu artigo 6º os planos de recursos hídricos que são dispostos em três esferas: federal, estadual e bacia hidrográfica. Estes visam fundamentar e orientar a política nacional de recursos hídricos, bem como o gerenciamento de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Os planos de recursos hídricos são de longo prazo e, segundo o artigo 7º da Lei 9433/1997 (BRASIL, 1997), tem como conteúdo mínimos seguintes itens:

- Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos;
- Análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo;
- Balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais;
- Metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis;

- Medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados, para o atendimento das metas previstas;
- Prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos;
- Diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; e
- Propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Outro instrumento previsto na Lei 9433/97 é o enquadramento de corpos d'água que tem como principal objetivo indicar metas de qualidade da água em uma determinada bacia hidrográfica em um tempo determinado, em qual classe este corpo da água deve se enquadrar ou permanecer visando garantir as futuras gerações que suas demandas sejam atendidas (BRASIL, 1997). O enquadramento deve ser estabelecido pela agência de água e em caso de ausência pelo órgão gestor de recursos hídricos no caso do estado da Bahia o INEMA, após a elaboração deve ser compactuada pelo comitê de bacia, que por sua vez, deverá submetê-la à aprovação do respectivo conselho (BRASIL, 2013).

A Lei 9433/97 estabelece ainda como um instrumento da gestão de recursos hídricos a outorga de uso da água, ato administrativo pelo qual a autoridade competente concede ao outorgado o direito ao uso do recurso hídrico em uma quantidade determinada e também por um prazo determinado de acordo com termos e condições expressas no ato. Tem como principal meta assegurar um controle qualitativo e quantitativo da água, pode-se afirmar que este instrumento é preventivo ou resolutivo, no caso de conflitos pelo uso da água (BRASIL, 1997).

Brasil (1997) também estabelece a cobrança pelo uso da água como instrumento da PNRH que tem como principais objetivos: reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivar a racionalização do uso da água, obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. O valor cobrado é em função da qualidade e da quantidade

existente e a que uso de destina. A lei prevê que este recurso financeiro obtido através da cobrança deve ser investido prioritariamente na própria bacia no financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos Planos de Recursos Hídricos, pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Para prover informação a esses instrumentos foi estabelecido o SISRH - Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, um sistema de coleta, tratamento, armazenamento, recuperação e divulgação de informações sobre recursos hídricos, que tem como objetivo principal auxiliar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos. A principal função é produzir, sistematizar e disponibilizar dados e informações que caracterizam as condições hídricas da bacia em termos de quantidade e qualidade da água para os diversos usos, e em termos das condições do ecossistema, traduzido pelas pressões antrópicas nela existentes. (BRASIL, 2006)

Para implementar um sistema de informações em recursos hídricos são necessárias a realização de diferentes atividades, entre elas pode-se citar o monitoramento intensivo de precipitação, evaporação, vazão, qualidade da água nos rios, e cotas utilizando-se de elevado grau de tecnologia para transmissão e processamentos das informações geradas, vale destacar que existe um envolvimento da sociedade em todas as etapas do processo (Silva e Reis, 2010).

Os SISRH são essenciais para favorecer uma administração eficaz dos recursos hídricos, pois as informações sistematizadas geram subsídios para intervenções necessárias na bacia hidrográfica.

No Brasil, vem sendo realizado um conjunto de ações para fortalecer o SINGRH - Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos que tem coordenação do CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos através da SRH - Secretária de Recursos Hídricos integrante do MMA - Ministério do Meio Ambiente. E significativa participação da ANA- Agência Nacional de Águas (Silva e Reis, 2010).

De acordo com Silva e Reis (2010) princípios básicos para o funcionamento do SISRH de acordo com a Lei 9433/97 os itens abaixo:

- “Descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- Coordenação unificada do sistema; e
- Acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade” (SILVA; REIS, 2010 p.146).

Ainda de acordo com Silva e Reis (2010) além dos princípios o SISRH tem como metas os itens a seguir:

- “Reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil;
- Atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional; e
- Fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos” (SILVA; REIS, 2010 p.146).

Na Bahia foi criado o SEGREH - Sistema estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, instituído pela Lei Estadual 10432/06 e traz como um dos seus instrumentos o Sistema Estadual de Informações de Recursos Hídricos (SEIRH) com seus objetivos descritos no artigo 26, a seguir listados:

- “Reunir, dar consistência e divulgar dados e informações sobre a situação quantitativa e qualitativa do uso das águas no Estado da Bahia;
- Manter permanentemente atualizada a base de informações; e
- Fornecer subsídios para o planejamento e o gerenciamento.” (BAHIA, 2009, p.8)

Verifica-se a necessidade de dados de quantidade e qualidade da água consistentes para aplicação dos instrumentos da Lei 9433/97. Se tratando de quantidade de água é fundamental séries históricas de vazão consistentes que são obtidas através de uma curva de calibragem de qualidade. Por tanto, existe

a necessidade de revisões periódicas na mesma para mantê-las atualizadas. Além disto, para previsões futuras e para verificação de frequência de eventos extremos que possam dificultar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos (Grison e Kobiyama, 2009).

3.2 Medição de Vazão

Segundo Tucci (2007), a medição de vazão é um método empírico utilizado para medição de descarga líquida em um rio. No que se refere a um corpo d'água, medir vazão é quantificar o volume de água que passa na seção transversal do leito do rio em um determinado tempo. Para se alcançar esse valor pode-se proceder de diferentes formas que são as medições diretas ou indiretas. O método direto é realizado através do conceito velocidade x área da seção transversal do rio. As medições diretas podem ser realizadas por diferentes princípios (TUCCI, 2007).

Os principais métodos destacados por Santos et al (2001) são:(i) método volumétrico; (ii) método químico, (iii) canais artificiais, de geometria regular (vertedores e calhas Parshal); (iv) medição e integração da distribuição da velocidade e (v) método acústico. Ainda pode-se destacar que a escolha do método tem que levar em conta diversas variáveis, dentre elas destacam-se o tamanho e localização do rio, facilidade de aplicação do método, e eficiência nas medições.

O método volumétrico é um dos mais eficientes e tem como princípio encher um reservatório de volume conhecido e realizar a medição do tempo para o mesmo ser preenchido. Entretanto, esta metodologia é aplicada apenas em volumes que possam ser controlados, sendo inviável sua aplicação em rios de devido à dificuldade de armazenar volumes de água (Cidreira, 2014).

O método químico utiliza-se de uma injeção de um traçador químico, que se conheça a concentração em um ponto do rio e posterior verificação deste produto em um ponto a jusante e de distância conhecida, verificando a sua diluição. É importante destacar que este produto químico não pode reagir com água, sendo a vazão determinada pela diferença de concentração nos pontos

medidos. Este método é mais utilizado em rios com leito irregular e muita turbulência onde é difícil a aplicação de outros métodos (TUCCI, 2007).

O método de utilização de canais ou estruturas regulares como vertedores e calhas permite a medição de vazão de acordo com a altura da lamina d'água durante o escoamento sobre estes elementos. Pode-se destacar que a ação deste método é limitada a rios com menor porte, porque exigiriam grandes estruturas o que tornaria a medição inviável economicamente (CIDREIRA, 2014).

As medições a partir da integração da distribuição da velocidade são realizadas por equipamentos chamado de molinetes e universalmente utilizadas. Consiste em determinar duas grandezas que são velocidade do escoamento e a área da seção transversal do leito do rio, determinando a vazão pela seguinte equação:

$$Q = V_m \cdot A \quad (1)$$

Onde,

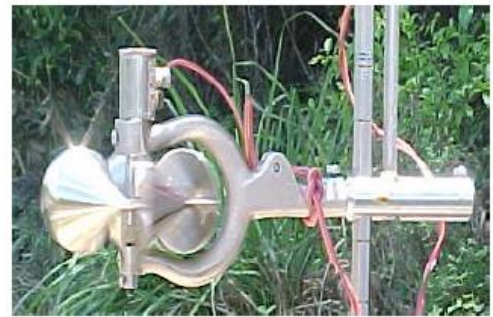
Q = vazão (m³/s);

V_m = Velocidade média de escoamento da água;

A = área da seção transversal do leito do rio.

A velocidade média do escoamento da água é determinado através de diversas medidas de uma margem a outra e em diferentes profundidades com a utilização do molinete (Figura 1), que é constituído por um corpo rígido com cauda e uma parte móvel que gira movida pelo escoamento (CIDREIRA,2014).

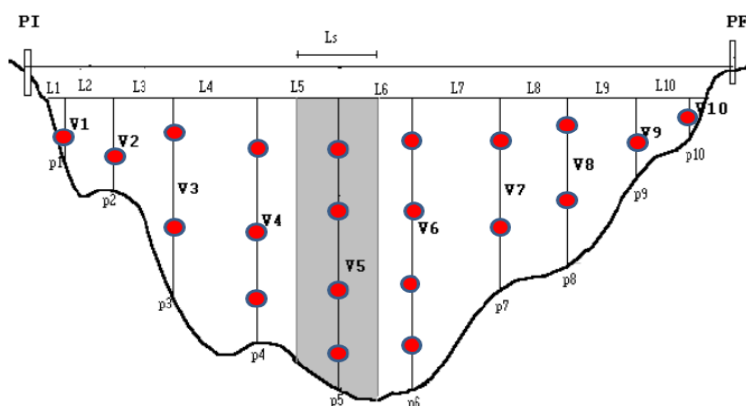
Figura 1 - Molinete com hélice e molinete com concha respectivamente



Fonte: Cidreira, 2014

Através da quantidade de giros em um determinado intervalo de tempo é determinada a velocidade da água no ponto. Após a amostragem em uma quantidade significativa de pontos pode-se determinar a velocidade média do escoamento. Em cada vertical de amostragem da velocidade também é realizada a medição da profundidade em relação aos referenciais fixo que são o PI (Ponto inicial da seção transversal do rio) e o PF (Ponto final da seção transversal do rio). Esses pontos são utilizados para garantir que as medidas sejam realizadas na mesma seção transversal conforme demonstrado na Figura 2 (CIDREIRA, 2014).

Figura 2 - Verticais de medições de velocidade



Fonte: Cidreira, 2014

Desta forma, em cada vertical de amostragem é obtido um valor da velocidade média de escoamento, que multiplicado pela área de influência da vertical fornece um valor parcial da vazão. Somando-se os valores dessas vazões parciais obtém-se o valor da vazão naquela seção transversal. (Cidreira, 2014).

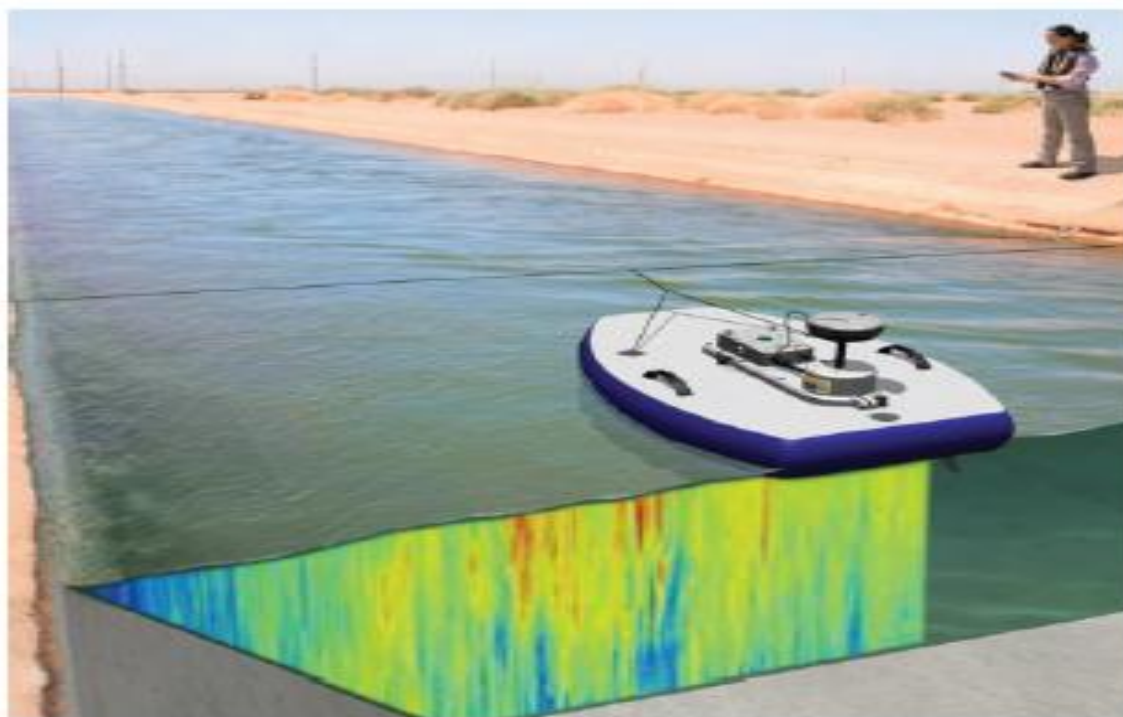
A velocidade máxima medida por molinete é cerca de 5 m/s e considera-se que acima deste valor o procedimento configura risco elevado para o operador. Em condições ideais considera-se uma precisão relativa da descarga líquida medida em torno de 5%, (TUCCI, 2007).

O método acústico (ADCP ou ADP) utiliza os perfiladores Acústicos Doppler, inicialmente desenvolvido para estudos oceanográficos de correntes marítimas em que a medição com molinetes é considerada de alta dificuldade. Ainda pode-se destacar que esses equipamentos podem determinar a avaliação da direção da velocidade e determinar o valor da cota de maneira mais precisa e ainda apresentar vantagens em relação à precisão das medições realizadas, o equipamento embarcado ser mais leve e dispensar a instalação de cabos de aço e a utilização de lastro (SANTOS et al, 2001).

Esses equipamentos têm como princípio o mesmo do molinete que é a medição dividida em duas etapas: determinação da velocidade média do escoamento e a determinação da área da seção transversal do leito do rio (CIDREIRA, 2014). O ADCP (Figura 3) baseia-se no princípio acústico do efeito Doppler, que consiste em uma aparente mudança de frequência recebida de uma onda sonora em ocorrência do movimento ocorrido entre a fonte emissora e receptora (CIDREIRA, 2014).

Baseado nas medidas de velocidade do fluxo da água e o levantamento batimétrico da seção transversal do leito do rio e usando a equação (1) encontra-se a vazão na seção transversal. (SANTOS et al, 2001).

Figura 3 - Exemplo de medição com ADCP



Fonte: Cidreira, 2014

3.3 O Uso da Curva-Chave

Nota-se que as medições diretas envolvem um custo elevado, sendo um processo de logística complexa e que envolve equipamentos e técnicos especializados, de modo que sua realização, diariamente, torna-se economicamente inviável (SOUSA et al, 2014).

Métodos indiretos são realizados no Brasil, sendo mais utilizada a curva-chave que é a relação matemática entre altura da lâmina d'água (cota) e vazão, conhecida também como curva de calibragem. Essa curva permite o cálculo indireto de vazão em uma determinada seção de um rio a partir da observação diária do nível de água na seção e pode ser representada de três maneiras distintas: Tabela de calibragem, forma gráfica e equação matemática (SEFIONE, 2002). A curva-chave é obtida através de campanhas realizadas periodicamente para se obter dados de vazão através de medições direta para diversos níveis de cota (resumo de descarga). Uma observação importante é que vários fatores influenciam na vazão do rio, tais como declividade e forma

da seção transversal, sendo assim, a curva-chave pode ser alterada ao longo tempo de acordo com o comportamento destes fatores (Jaccon e Cuddo, 1989).

Diante da necessidade de medições em várias faixas de vazão e da logística necessária a realização dessa medição, e comum existir situações que se faz necessário o uso de uma extrapolação para a curva-chave. Em algumas estações de grande instabilidade é impossível determinar com precisão todos os trechos da curva -chave, então se faz necessário a extrapolação da curva-chave, entretanto este é um processo complexo existindo diversas metodologias para extrapolação das curvas. Cabe observar que as metodologias para extrapolação das vazões de cheias são diferentes da extrapolação das vazões baixas, o que torna o processo mais complexo (JACCO E CUDO, 1989).

Em geral, alcança-se a construção de uma curva-chave de qualidade utilizando-se as etapas a seguir(SEFIONE,2002):

É escolhido um local no rio através de uma série de critérios hidráulicos (estabilidade da seção transversal, cota de extravasamento do perfil transversal, existência de um controle hidráulicos entre outros) e logísticos e que seja de interesse se conhecer a vazão naquele lugar. Se instala uma estação fluviométrica que é composta por régua limimétrica ou linigráfos para se obter uma série de cotas observadas (Cotas medidas diariamente) ou cotograma.

Periodicamente são realizadas campanhas de medição de vazão através de um método direto e se relaciona com uma cota medida (Cota registrada no momento da medição) gerando diversos pontos vazão x cota (Resumo de descarga). Procura-se dentro do possível se realizar essas medições em uma faixa de cota mais ampla possível.

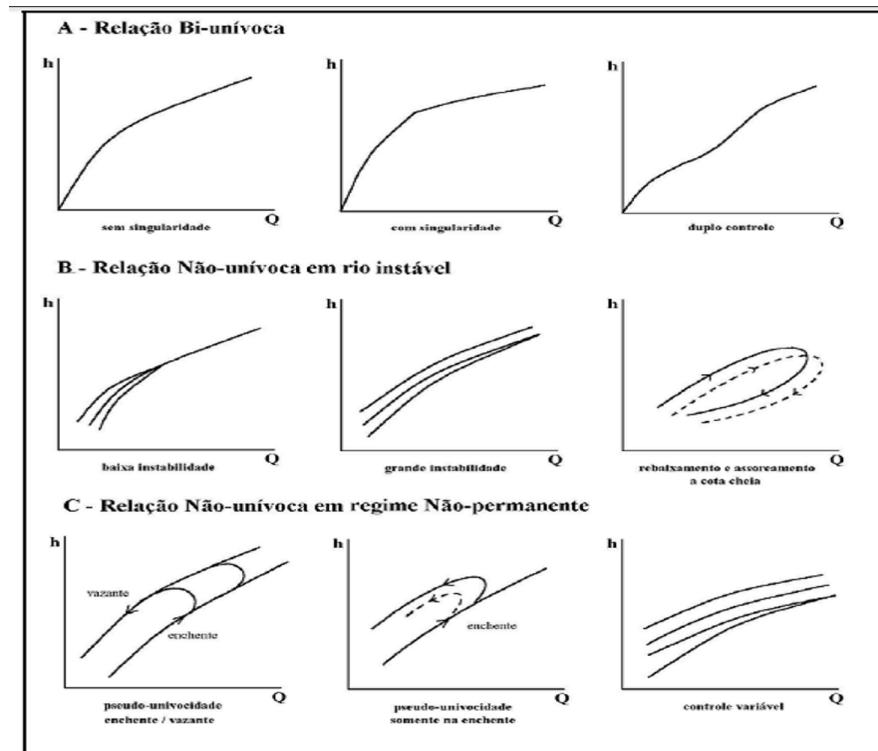
Análise do histórico da estação - trata-se de uma avaliação de dados da estação como localização da estação fluviométrica, área de drenagem, características e condições do trecho, e dos equipamentos hidrométricos, nesta etapa ocorre o levantamento dos dados de cota, perfil transversal e vazão e é

essencial a realização de uma análise da consistência dos dados com o objetivo de retirar dados duvidosos.

Análise da repartição dos pontos:

- Traça-se um gráfico cota x vazão e procura-se definir qual dos esquemas de acordo com a figura 4 a curva-chave pertence.

Figura 4 - Tipos de curva-chave

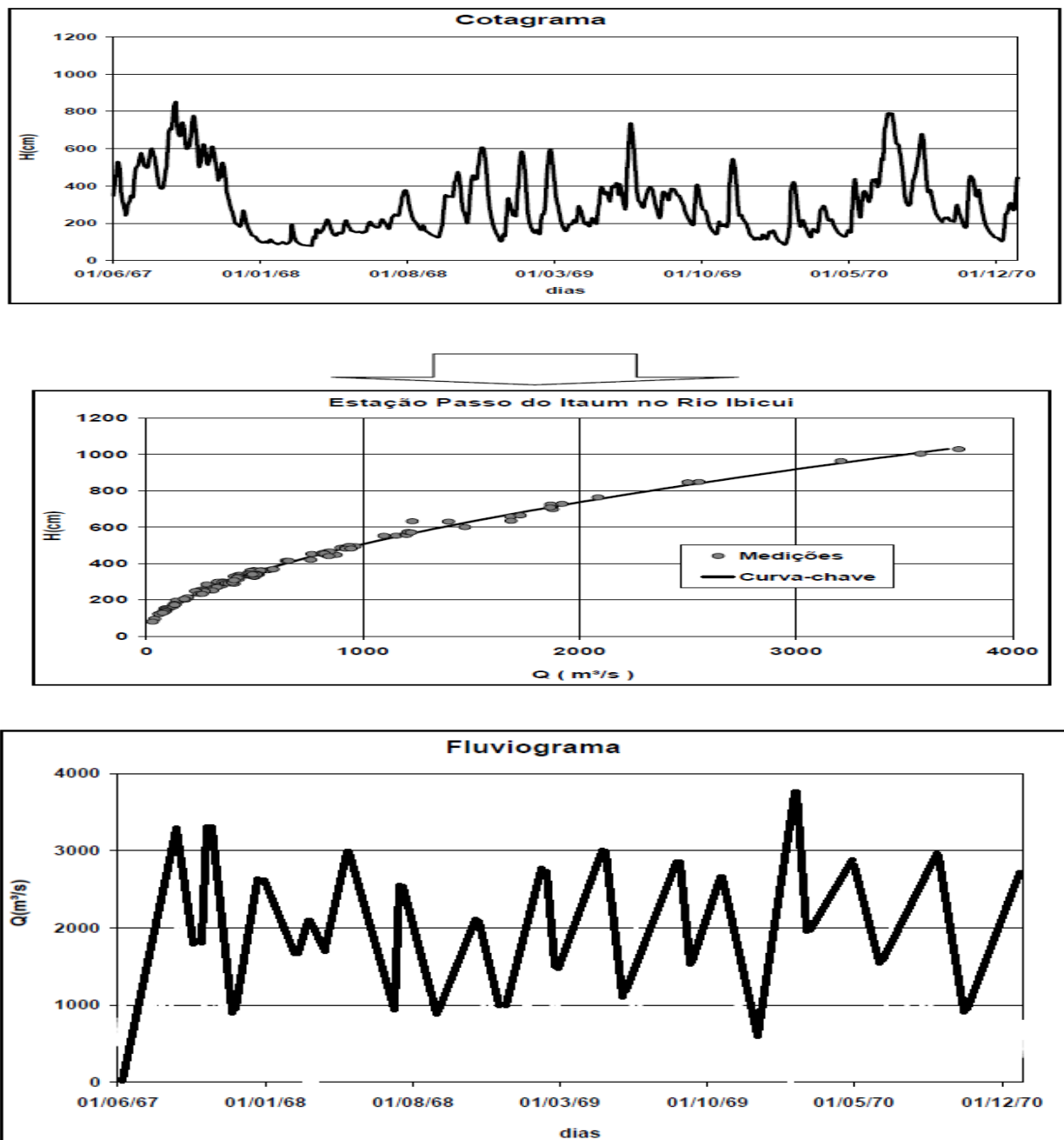


Fonte: Jaccon; Cuddo, 1989

- Utilizando-se de um programa ou uma planilha computacional procura-se interpolar os pontos do resumo de descarga, em geral isto é feito através do método dos mínimos quadrados e se tem como produto final uma equação matemática ou um gráfico cota x vazão;
- Por último converte-se, através da curva-chave gerada as cotas observadas ou o cotograma para vazões, gerando série histórica de vazão.

Levando em consideração que a curva-chave é um trabalho de interpretação hidráulica é necessário um relatório com cada passo do traçado da curva-chave evidenciando as hipóteses, alternativas e decisões tomadas, permitindo a atualização da curva-chave sem a necessidade de se refazer todo o trabalho (SEFIONE,2002). A Figura 5 apresenta um esquema de conversão de um cotograma em valores de vazão através de uma curva-chave.

Figura 5 - Aquisição de dados de vazão a partir dos dados de cota



Fonte: Sefione, 2002

3.4 Comportamento da Calha Do Rio

É importante perceber que raramente uma curva-chave vai satisfazer toda a estação, sendo comum se ajustar a curva-chave por períodos ou por faixas de cotas porque a seção transversal do rio está em constante alteração devido a erosão, deposição de sedimento, ação antrópica, uso e ocupação do solo, alteração da mata ciliar entre outros motivos o que obriga revisões periódicas na curva-chave (SEFIONE, 2002).

A curva-chave depende de forma intrínseca das condições de escoamento do curso d'água, sendo assim, existe a necessidade de se conhecer as características geométricas e hidráulicas da seção que está localizada a estação fluviométrica (SEFIONE,2002).

As intervenções provocadas em um rio podem ter como consequência grandes alterações na dinâmica hidrossedimentológica do mesmo, favorecendo processos erosivos, que aumentam a carga de sedimentos nos corpos d'água, comprometendo assim a quantidade e qualidade da água (SILVA et al, 2011).

As características do escoamento depende principalmente de dois fatores que são a geometria da seção transversal do corpo d'água e a rugosidade do leito do rio. Além desses fatores é necessário compreender a mobilidade do leito rio, ou seja, a variabilidade leito do rio em função do tempo e no espaço, para permitir, quando existe a necessidade, de revisão por períodos e por cotas na curva de calibragem (SEFIONE,2002).

Jaccon e Cuddo (1989) chamam atenção para o que se refere a geometria e divide estes aspectos em três itens:

Traçado da geometria –que se refere a planta do rio, se este rio tem curvas mais abertas ou mais fechadas, confluência e defluência, singularidades no traçado que influenciam em relação a curva-chave.

Perfil longitudinal- diz respeito a declividade do rio, reflexo da topografia na região, sendo os principais elementos: declividade do fundo e declividade da linha da água.

Seção transversal – é considerada uma seção vertical e perpendicular às margens do rio sendo os parâmetros mais importantes:(i) área molhada, medida através de levantamento batimétrico do rio e (ii) o raio hidráulico, medido por:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (2)$$

Onde,

R_h é o raio hidráulico;

A_m é a área molhada; e

P_m é o perímetro molhado.

A rugosidade do rio é a medida do quanto a superfície de contato do leito do rio com a água proporciona resistência ao fluxo com variação de acordo com o material e a granulometria do leito do rio. Uma forma de se expressar a rugosidade do rio é através do coeficiente de Manning. A equação empírica se expressa pela seguinte equação.

$$V = \frac{1}{\eta} R_h^{2/3} J^{1/2} \quad (3)$$

Onde,

V é a velocidade média do escoamento (m/s);

J é a declividade da linha da água (m/m);

R_h é o raio hidráulico;

η é o coeficiente de rugosidade de Manning que é tabelado de acordo com o material do leito do rio (Tabela 1).

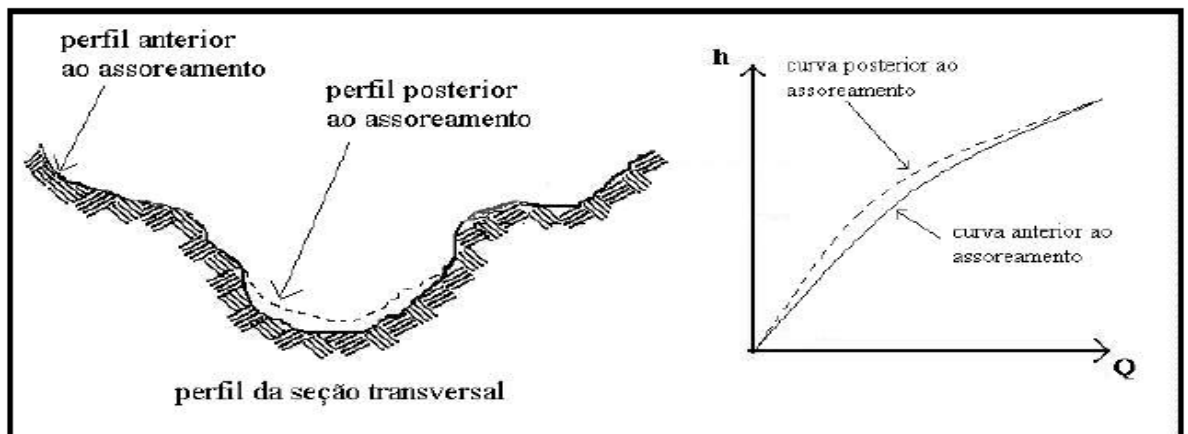
Tabela 1 - Valores experimentais do coeficiente de Manning

Natureza do leito	η	$K = 1/\eta$
Revestimento de concreto	0,013 a 0,015	77 a 67
Leitos naturais limpos de fundo liso e horizontal	0,020	50
Leitos naturais limpos de fundo rugoso	0,030	33
Leitos naturais com vegetação	0,050 a 0,100	20 a 10

Fonte: Jaccon e Cuddo (1989)

A mobilidade do leito de um curso d'água ocorre devido a processos de erosão ou de deposição de material na calha do rio. Pode-se notar que este processo ocorre de maneira mais forte em rios em que o seu leito é composto por materiais finos e pouco coesos. Além dos processos naturais, esses processos podem ocorrer por ações antrópicas (SEFIONE, 2002). Pode-se afirmar que este é um fator de grande influência e dificuldade para a construção e manutenção de uma curva-chave aceitável (Jaccon e Cuddo,1989), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Influência do assoreamento da calha do rio na curva-chave



Fonte: Sefione (2002)

Dessa forma a escolha da seção transversal para medição de vazão e posteriormente utilização da curva-chave representa decisão importante e deve levar em consideração os itens citados para que se possa obter dados de vazão mais precisos e seguros. Dessa forma, a depender das características da seção transversal monitorada, a determinação da curva-chave deve

contemplar procedimentos específicos, o que vai direcionar para escolha do método adequado para essa determinação.

3.5 Métodos de Traçado da Curva-Chave

A relação existente em uma seção transversal do rio entre cota e vazão (curva-chave) é uma função muito complexa que envolve diversas características hidráulicas do curso d'água. Visando um melhor ajuste de acordo com as características de cada rio foram desenvolvidos diversos métodos de traçado e extrapolação da curva de calibragem. Algumas dessas metodologias são descritas nos itens a seguir. (JACCON E CUDDO, 1989).

3.5.1 Método da calibragem unívocas transitórias (Traçado)

Este método consiste em traçar uma quantidade de curvas-chave relativa aos períodos homogêneos independente do tempo de duração do mesmo, ou seja, a cada uma dessas curvas é associado um período de calibragem. Dessa forma, a cada curva é associado a um período de validade. Sendo importante observar que cada uma dessas curvas tem que ser unívoca e que a passagem de uma curva para outra seja extremamente rápida.

A escolha do período de validade de cada curva não pode ocorrer de maneira aleatória. Ela implica na localização exata do que está causando a descalibragem da curva e considera o efeito da transformação das cotas em descargas sobre a continuidade do hidrograma.

Em geral, quando o fato que causa descalibragem tem uma origem artificial ocorre em períodos de águas baixas e quando tem causa natural ocorre em períodos de águas altas (JACCON E CUDDO, 1989).

Este método é aconselhável nas seguintes situações: baixa instabilidade geométrica da seção transversal do rio, grande instabilidade do trecho hidrométrico ou rápida modificação de um controle artificial, uma inversão de declividade (canal de enchimento e esvaziamento de uma represa quando o movimento da água é controlado por uma comporta, por exemplo) (JACCON E CUDDO, 1989).

3.5.2 Método do Remanso (Traçado)

Este método consiste em determinar curvas paramétricas em função da leitura da cota da régua a jusante da estação, por um cálculo convencional de remanso em canais até o local da régua montante (SANTOS et al, 2001).

O coeficiente de rugosidade de Manning são determinados através de vazões com uma cota conhecida, em geral através de uma medição direta (Resumo de descarga) (SANTOS et al, 2001).

3.5.3 Método de Boyer (Desnível normal) (Traçado)

Este método justifica-se pela fórmula de Manning e admite que o escoamento é permanente e pouco variado (JACCON E CUDDO, 1989).

Este método assume que as vazões para uma mesma leitura em duas réguas são proporcionais a uma potência resultando em

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \alpha \times \frac{d_1^m}{d_2^m} \quad (4)$$

Onde: $\frac{Q_1}{Q_2}$ é a razão da vazão na estação 1 e 2, $\frac{d_1}{d_2}$ é a razão do desnível entre as estações 1 e 2, α e m são constantes.

Este método considera um desnível de referência chamado Desnível normal (D_n) sendo que a vazão correspondente à D_n é chamada de vazão normal (Q_n) assim estabelecendo uma curva de descarga normal (para vazão normal) em função da leitura da régua principal e uma curva de correção para desníveis distintos determinando assim uma curva-chave em função da diferença de nível existente entre as duas réguas (SANTOS et al, 2001).

Este método é aplicado em estações com perfil estável e com conhecimento da declividade, entretanto, se a instabilidade do perfil transversal for de origem artificial este método pode ser aplicado em cada período homogêneo (JACCON E CUDDO, 1989).

Vale ressaltar que no caso particular $m = 1/2$ é uma variação do método de Boyer que se denomina método da raiz quadrada do desnível.

3.5.4 Método do Gradiente Linimétrico (Lamaçat) (Traçado)

Definido como a variação da cota linimétrica, na unidade do tempo expresso geralmente na unidade cm/dia.

$$G = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde G é a variação da cota em função do tempo; Δh é a variação da cota; Δt é a variação do tempo.

Método baseado na fórmula de Chezy:

$$Q = C \sqrt{R} \times S \quad (6)$$

Onde Q é a vazão; R é o raio hidráulico; S é a declividade da superfície; C é o coeficiente que depende geometria e rugosidade do canal.

A superfície de calibragem tem uma equação geral $f(h,G)$ e com G não nulo. A curva de calibragem tem equação:

$$Q = Q_0 (1 + KG)^{3/2} \quad (7)$$

Onde: Q é a vazão, Q_0 é a vazão referente a cota zero, K é uma pseudo constante, G é a variação da cota em função do tempo.

Método assume implicitamente que o canal é prismático e a celeridade da onda é crescente e só pode ser aplicado em casos de não unicidade da relação cota x descarga resultar exclusivamente do período não permanente durante as cheias (Santos et al 2001).

3.5.5 Métodos dos Mínimos Quadrados (Traçado e extrapolação)

Ajuste dos pontos medidos baseado em equações matemática dos tipos:

$$Q = K(h - h_0)^b \text{ (Potência)} \quad (8)$$

Ou

$$Q = ah^2 + bh + c \text{ (Exponencial)} \quad (9)$$

Onde: Q é a vazão; h é a cota do nível da água; a , b e H_0 são parâmetros e constantes.

A equação de potência possui uma coerência hidráulica, por isso de maneira geral conduz a resultado melhores do que a equação exponencial, entretanto, devido ao expoente hidráulico n não ser constante, esse procedimento nem sempre conduz a resultado satisfatórios. No caso da equação exponencial não existe uma física para adota-la apenas a aparência gráfica sugere um ajuste por uma parábola (SANTOS et al, 2001).

3.5.6 Leitura de Cotas Simultâneas em Outra Estação próxima com Curva de Descarga Melhor Definida (Traçado e extrapolação)

Este método é muito utilizado em estações onde se tem uma régua próxima com uma curva-chave bem definida e consiste em plotar no gráfico as leituras de réguas simultâneas das duas estações e estabelecer uma relação empírica (SANTOS et al, 2001).

$$H_1 = g(h_2) \quad (10)$$

Assim podemos obter a curva-chave da estação desejada através da seguinte equação:

$$Q_2 = \alpha * f_1 [g(h_2)] \quad (11)$$

f_1 – Relação cota- descarga da estação 1; α é o Coeficiente corretor de vazões, geralmente assumido igual a relação entre as respectivas áreas de drenagem.

3.5.7 Método Logarítmico (Extrapolação)

Este método é provavelmente o mais utilizado do Brasil por ser um método de fácil aplicação e é baseado que a curva obedece a seguinte equação:

$$Q = C(h - h_0)^n \quad (12)$$

A equação acima corresponde a lei de descarga de vertedor com soleira, cuja a forma geométrica é definida por uma equação do tipo:

$$B = a \times y^m \quad (13)$$

B é a largura da crista; Y é a altura sobre o ponto mais baixo da crista; A , m são Constantes.

Para extrapolação através deste método é necessário desenhar o trecho definido da curva em um papel bilogarítmico e soma-se ou subtrai-se ordenadas do trecho alto da curva, uma constante escolhida por tentativa e erro, de tal forma que esse trecho se torne uma reta no gráfico bi-log. Extrapolam-se a reta e retorna-se a curva pelo processo inverso (SANTOS, 2001).

3.5.8 Velocidade Média e Determinação da Área por Levantamento Topobatimétrico da Seção de Medição (Extrapolação)

Método consiste na determinação da área em função da altura da lamina da água a partir de um levantamento topobatimétrico da seção de medição ao redor dessa curva, marcam-se os valores obtidos para a área a partir das medições de descarga. Paralelamente, locam-se os valores de velocidade média na seção, procurando interpolá-los por uma curva contínua; Em seguida, extrapola-se o gráfico da velocidade média em função da cota, uma observação importante é não ultrapassar a cota correspondente a área nula. De forma geral esse tipo de gráfico tem forma de "S" (SANTOS, 2001).

Vale ressaltar que este método de extrapolação tem dados bons resultados para parte inferior da curva-chave, entretanto, para parte superior os resultados nem sempre são razoáveis pois falta diretriz para extrapolar a velocidade média que em vazões altas nem sempre são previsíveis (SANTOS, 2001).

3.5.9 Método de Stevens (Extrapolação)

Método utiliza-se da forma de Chezy para o escoamento uniforme em canais ou de Manning para escoamento uniformes em canais a forma mais utilizada é o método de Stevens que se baseia na fórmula de Chezy, expressar:

$$Q = C_x A \sqrt{R x i} \quad (14)$$

Onde: Q é a vazão em; A é a área da seção transversa em ; R é o raio hidráulico; i é a declividade superficial; C é o coeficiente dimensional.

Pode-se considerar que $C\sqrt{i} = K$ (Constante) e $A\sqrt{R}$ é uma função apenas das características geométricas e pode ser obtida através do levantamento topobatimétrico. o sucesso da do traçado e extrapolação por este método depende da constante K para tanto se constrói um gráfico com $A\sqrt{R}$ em função da vazão medida teoricamente esses pontos devem seguir uma reta o que pode não ocorrer em toda extensão da curva (SANTOS, 2001).

Pode-se utilizar a fórmula de Chezy ou de Manning obtendo-se:

$$Q = K_x A_x R^{2/3} \quad (15)$$

Onde $K = \frac{i^{1/2}}{n}$; n é coeficiente de rugosidade de Manning

O quadro 1 faz uma comparação entre as metodologias que foram descritas anteriormente.

Quadro 1 - Resumo das Metodologias de Traçado e Extrapolação da Curva-Chave

Método	Dados necessários	Observações
<ul style="list-style-type: none"> Método do Remanso 	Utilização de duas réguas; Resumo de descarga; Método eficiente para o cálculo de remanso	- Método eficiente por apresentar coerência hidráulica
<ul style="list-style-type: none"> Método de Boyer 	Utilização de duas réguas; Série histórica de vazão.	- Dispensa levantamento batimétrico Método repetitivo podendo ser refinado.
<ul style="list-style-type: none"> Método do gradiente linimétrico 	Utilização de uma única régua; Série histórica do resumo de descarga	- O método assume que o canal é prismático; - O método assume que a celeridade da onda é crescente; - Caso de não-unicidade da relação cota-descarga resultar em regimes não permanentes durante cheias - Não se aplica em caso de alterações produzidas por reservatórios
<ul style="list-style-type: none"> Métodos dos mínimos quadrados 	Método de fácil aplicação	- Nem sempre conduz a bons resultados
<ul style="list-style-type: none"> Método Leitura de cotas simultâneas em outra estação próxima, com curva de descarga melhor definida 	Curva-chave bem definida na estação referência.	- Importante que haja proximidade entre as réguas sem que haja contribuições importantes de vazão entre os locais; - Utilizado em locais próximos onde se tem uma estação com curva de descarga bem definida; - Nem sempre se alcança resultados satisfatórios por utilizar uma relação empírica entre estações.
<ul style="list-style-type: none"> Método do logarítmico 	Série histórica do resumo de descarga	- Método mais utilizado no Brasil para extrapolação superior; - Método Simples; - Método utilizado apenas para extrapolação superior.
Extrapolação da velocidade média e determinação da área por levantamento topobatimétrico da seção de medição	Levantamento topobatimétrico; Série histórica do resumo de descarga.	- Processo utilizado para extrapolação da parte inferior da curva - Necessidade de um levantamento topobatimétrico
Método de Stevens	Levantamento topobatimétrico; Série histórica do resumo de descarga.	- Sucesso depende da constante $C\sqrt{i}$

Fonte: Própria

3.6 Dificuldades e Erros Apresentados na Geração de curva-chave

Segundo Moreira et al (1996) apud Sefione (2002), as principais dificuldades apresentadas na geração de uma curva-chave são: (i) a relação cota x vazão não é perfeitamente estável principalmente por causa dos processos cíclicos de erosão e assoreamento dos leitos dos rios que altera o traçado e o comportamento da curva-chave; (ii) a maioria das estações apresenta mais de um controle hidráulico em especial as que tem formato irregular, localizam próximos a pontes, ou ainda as que estão sujeitas a extravasamento o que tem como consequência uma descontinuidade da curva-chave e terá um ajuste menos preciso; (iii) na maioria das estações há uma carência de medições principalmente de cotas altas e uma má distribuição das medições ao longo do tempo o que dificulta a identificação do período válido para a curva-chave.

Vale ressaltar que a realização do traçado de uma curva de calibragem é uma tarefa extremamente complexa e que envolve diversas variáveis que foram citadas anteriormente exigindo do hidrólogo uma grande sensibilidade e experiência para lidar com problemas e propor uma solução mais adequada, tendo em vista que por mais semelhante que sejam duas estações fluviométricas elas nunca serão iguais implicando que por maior que seja essa semelhança pode ser traçadas curvas-chave completamente diferentes (SEFIONE, 2002).

De acordo com Chow et. al. (1988) apud Lima et al (2007) as incertezas relacionadas à curva-chave podem ser separadas em três categorias: incertezas naturais, as quais resultam da variabilidade aleatória dos fenômenos hidrológicos; incertezas do método utilizado, que são referentes as aproximações e hipóteses assumidas para representar os fenômenos físicos e incertezas nos parâmetros, as quais originam-se da falta de conhecimento dos coeficientes das equações. Velasco e Cook (2011) ainda ressalta que apesar de existir uma extensa pesquisa acadêmica em relação a curva cota-vazão os fundamentos físicos não são completamente considerados, isso ocorre em função da maioria das pesquisas ter como objetivo a aplicação do método e não a física governante.

Segundo Melati e Marcuzzo (2014), os erros de medição de vazão se bem executadas não deve ultrapassar os 5% e são em 2% devido a distância atribuída entre uma margem e outra e as verticais, 2% devido as medições das cotas e da calha do rio e 1% nas medições de velocidade. Vale ressaltar que a curva-chave é feita em função das medidas de campo sendo assim, pode-se afirmar que as medições têm influência direta em uma curva de calibragem de qualidade.

Existem ainda os erros de transcrição dos dados que ocorre durante a transferência e manipulação dos dados de forma involuntária. Na maioria dos casos ocorre por erro humano e em menor proporção por falhas do equipamento de processamento de dados (MELATI E MARCUZZO, 2014).

É importante ressaltar a importância da realização da análise e consistência dos dados com o objetivo de eliminar dados duvidosos que podem acarretar em erros grotescos no traçado da curva-chave.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

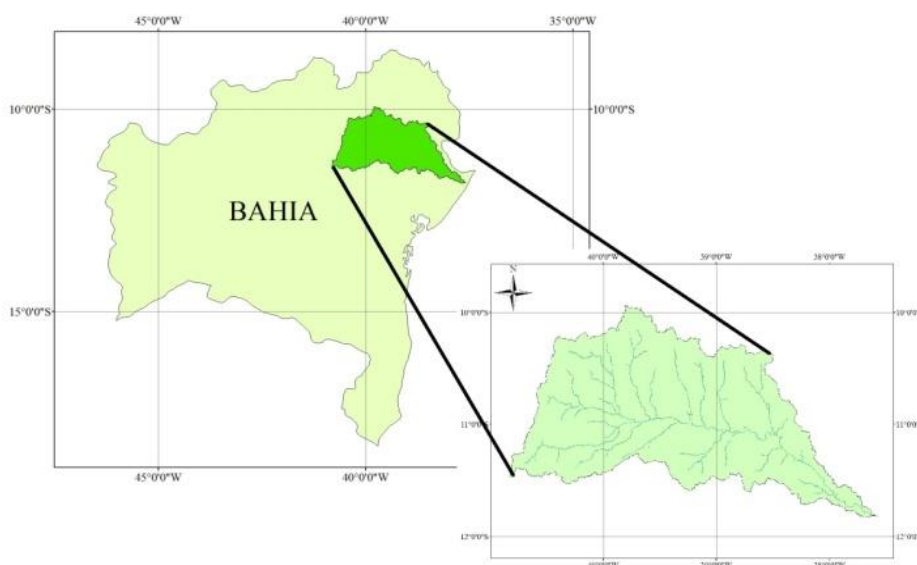
4.1 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Itapicuru

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Itapicuru-BA que está localizado no estado da Bahia e possui uma área de drenagem 42.901 km² o que corresponde a 6,51% da área total da Bahia e sua localização é entre as coordenadas 10° 00' e 12° 00' de latitude Sul e 37° 30' e 40° 45' de longitude Oeste. Além disto, está bacia abrange 54 municípios e tem uma população de 1.071.963 habitantes o que torna esta área relevante economicamente (BAHIA, 2012).

O rio Itapicuru possui sua nascente ao norte da cidade de Senhor do Bonfim, nas serras da Tiririca e do Ango, onde recebe o nome de Itapicuru-Açu. Esse nome se mantém até a confluência com o rio Itapicuru Mirim, que possui sua nascente no Município de Miguel Calmon, então o rio passa a se chamar Itapicuru. O seu leito principal possui uma extensão de aproximadamente 350 Km até desaguar no oceano Atlântico no litoral norte da Bahia no município de Conde. Este rio recebe contribuição de diversos outros afluentes, os principais são rio Peixe e o rio Jacurici (BAHIA, 2004).

A Figura 7 mostra a localização da bacia hidrográfica do Itapicuru em relação ao estado da Bahia.

Figura 7 - Localização da bacia do Itapicuru em relação ao estado da Bahia



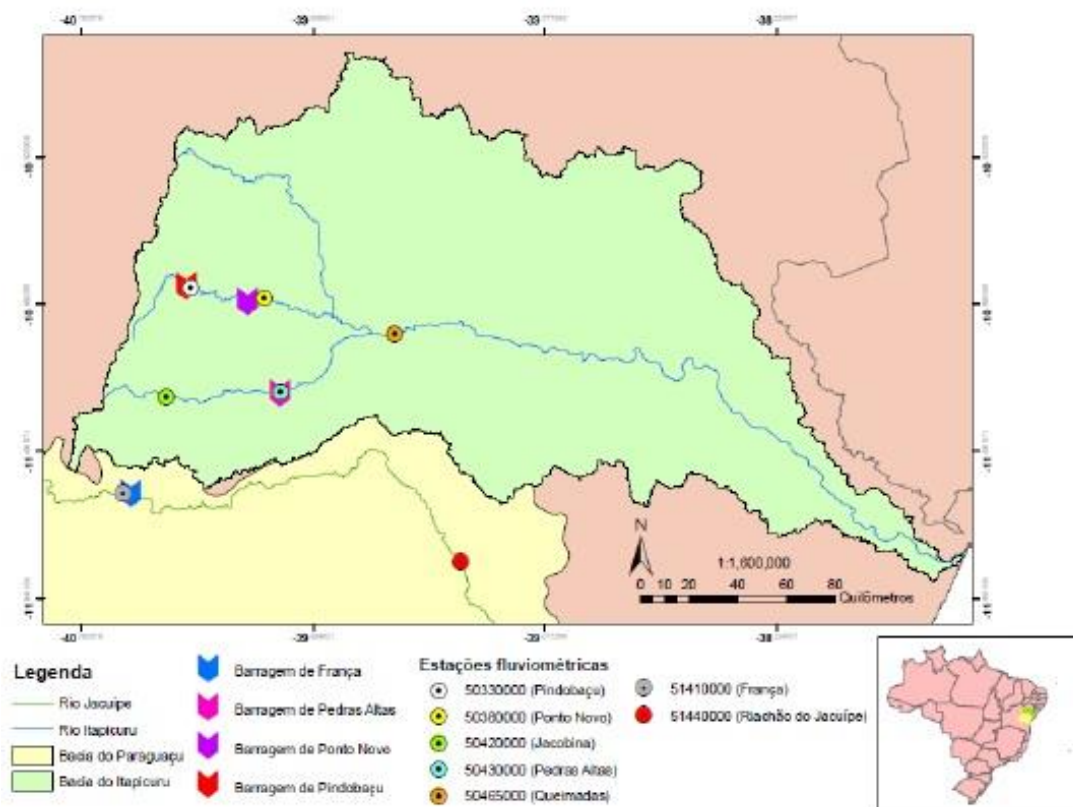
Fonte: Cruz (2013)

4.2 Caracterização das Estações Fluviométricas

A caracterização das estações fluviométricas consideradas no presente trabalho foi realizada com base na declividade, inclinação das margens, mata ciliar e composição da calha do rio, disponíveis nas fichas técnicas de cada estação complementadas com visita de campo realizada entre os dias 25/08/2015 e 28/08/2015.

A escolha das estações ocorreu devido localização das mesmas com a intenção de possibilitar a visita técnica.

Figura 8 - Mapa da Bacia do Itapicuru-Ba com as localizações das estações estudadas e principais barragens



Fonte: Silva (2015) Apud Fontes (2015)

4.2.1 Estação 50420000

Localizada na cidade de Jacobina, a jusante 6 km da sede do município, no rio Itapicuru-Mirim, apresenta cinco réguas limimétricas em bom estado de conservação. Nesse trecho o rio é curvo e de leito regular. Verificou-se ainda a presença de arbustos nas margens esquerda e direita do rio, apesar de na ficha da CPRM existir apenas registro de presença de vegetação rasteira. A inclinação da margem esquerda é alta e que natureza do leito do rio, além de areno-argilosa, contém pedregulhos. O croqui disponível na ficha da CPRM está de acordo com o estado atual da estação a figura 9 a estação 50420000(CPRM, 2011).

Figura 9 - Estação 50420000



Fonte: Própria

4.2.2 Estação 50430000

Localizada no município de Capim Grosso, jusante à barragem de Pedras Altas e no rio Itapicuru-Mirim. Foi verificado que as quatro réguas em bom estado de conservação e que o trecho do rio é retilíneo. O seu leito é regular de areia e pedra, as inclinações das margens altas e a natureza das margens são arenosas sem vegetação de acordo com a ficha CPRM. O croqui foi alterado pelo surgimento de novas ilhas de pedra, uma árvore no rio e a presença de uma régua do INEMA. A figura 10 mostra uma régua submersa da estação 50430000 (CPRM, 2011).

Figura 10 - Estação 50430000



Fonte: Própria

4.2.3 Estação 50380000

Localizado no município de Filadélfia e no rio Itapicuru- Açú. Foi verificado que as quatro réguas estão em bom estado e com facilidade leitura. Foi verificado que as margens têm inclinação média e são argilosas sem vegetação, natureza do leito é arenoso e regular e a conformação do trecho é retilínea confirmando que está na ficha da CPRM. O croqui foi mantido sendo, o mesmo da ficha da CPRM, não surgindo nenhum elemento novo A figura 11 mostra a a estação 50380000 (CPRM,2011).

Figura 11 - Estação 50380000



Fonte: Própria

4.2.4 Estação 50465000

Localizado no município de Queimadas e no rio Itapicuru. Foi verificado que neste trecho o rio é retilíneo, o leito regular e as inclinações das margens são altas como está na ficha da CPRM. A margem esquerda é arenosa com vegetação e a direita rochosa com vegetação, leito de areia e pedra. Foi observado a presença de erosão e uma quantidade significativa de lixo. A figura 12 mostra as réguas da estação 50465000 e o rio Itapicuru (CPRM, 2011).

Figura 12 - Estação 50465000



Fonte: Própria

4.3 Seleção das Estações Estudadas

Foram selecionadas quatro estações escolhidas devido à localização com a finalidade de facilitar a visita técnica das mesmas, além de sua distribuição geográfica pertencendo uma no afluente Itapicuru-Açu (50380000), duas estações no rio Itapicuru-Mirim (50420000 e 50430000) e uma estação no curso do rio principal da bacia (50465000). Contemplando os principais afluentes do curso principal e o rio principal.

As estações escolhidas estão funcionando e com medições periódicas de dados (vazão, cota, resumo de descarga e perfil transversal). Existem dados medidos pelo menos a partir do ano 1989, permitindo a realização do traçado e a extrapolação das curvas-chave.

4.4 Levantamento e Consistência dos Dados das Estações que Serão Utilizadas

Em seguida foi realizado o levantamento dos dados necessários para o traçado da curva-chave para as estações selecionadas, cota observada (cotas medidas diariamente), cota medida (cotas medidas quando há campanhas de medição de vazão), vazão observada (vazão calculada utilizando a cota observada), vazão medida (vazão medida em campanhas de medição), perfil

da seção transversal (perfil da calha do rio medido durante as campanhas de medição) e outros dados eventualmente necessários. Esses dados são disponibilizados no site da ANA, através do banco de dados, Hidroweb.

Foram utilizadas fichas de campos disponibilizadas pelo, Serviço Geológico do Brasil – CPRM para ser feita a caracterização da estação com o objetivo de se perceber alguns eventos que podem ter influência no resultado final do traçado da curva-chave. Entretanto, pode-se notar na visita de campo que algumas características das estações fluviométrica foram alteradas.

Para análise de consistência dos dados foi realizado uma avaliação comparativa entre as cotas observadas através de um cotograma com a precipitação diária, com o objetivo de realizar uma correlação entre as cotas e os períodos úmidos e secos.

Ainda foi utilizada para análise de consistência dos dados a metodologia do IPH (1983) Apud TUCCI (2007), que consiste em uma classificação das estações fluviométrica para valores de vazão máxima e cota máxima, de acordo com o quadro abaixo:

Quadro 2 - Classificação dos postos fluviométricos para valores máximos

DESCRIÇÃO	H	Q	Cota
Posto fluviométrico de característica excelente cujas descargas máximas médias estão dentro de 10 a 15% de valor máximo de cheia observada, com uma boa seção transversal. Para extrapolar, sem transbordamento e estável	1,15 ≤	1,15 ≤	
Postos bons com extrapolação da curva de descarga menor que 50% de valor máximo medido de vazão. Seções transversais boas, sem extravasamento e estável.	1,25 ≤	1,50 ≤	
Postos aceitáveis com extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos.	1,75 ≤	2,5 ≤	
Postos geralmente inaceitáveis pela grande extrapolação da curva de descarga e transbordamento excessivo na seção.	2,00 ≤	3,00 <	
Postos com extrapolação inadequada da curva de descarga. Devem ser considerados no estudo somente se o número de postos for reduzido.			

Fonte: TUCCI (2007)

$$H = \frac{H_o}{H_m} \quad (16)$$

$$Q = \frac{Q_o}{Q_m} \quad (17)$$

Onde:

Ho = cota máxima observada, Hm = cota máxima medida, Qo = vazão máxima observada e Qm = vazão máxima medida

Para classificação das estações segundo valores de vazão mínima, calcula-se a diferença entre cotas observada e medida, enquadrando-as nas classes definidas no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação dos postos fluviométricos para valores mínimos

DESCRIÇÃO	OTA
Pouca ou nenhuma extrapolação inferior da curva chave (< 50cm); existência de uma única curva chave na parte baixa, demonstrando estabilidade na seção de medição, especialmente do fundo. Boa cobertura de medições de vazão na parte inferior da curva.	A
Extrapolação de alguma importância (entre 50cm e 1m). Algumas alterações do talvegue e do fundo sem grandes migrações; dispersão das medições das vazões na parte inferior da curva chave. Oscilações da área de seção de escoamento.	B
Extrapolação grande da curva chave (> 1,00m). Grandes alterações do fundo do rio e pequenas modificações do talvegue; dispersão das medições das vazões. Existência de duas ou mais curvas chaves na parte inferior. Aceitável com restrições.	C
Grandes extrapolações inferiores da curva chave (≤ 1,20m); Alteração total do talvegue e do fundo do rio. Grandes dispersões de medições. Inaceitável para regionalização.	D

Fonte: TUCCI (2007)

4.5 Calibração da Curva-Chave

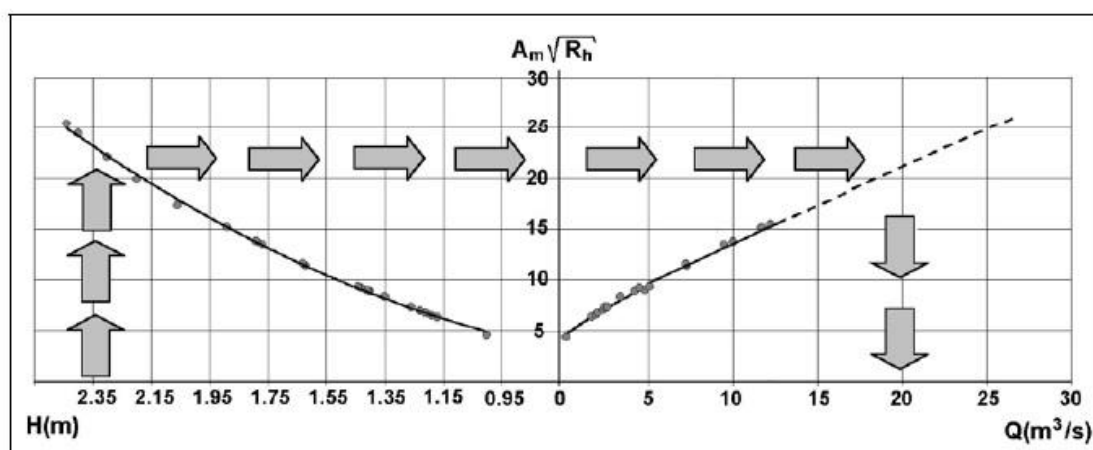
Em geral, é comum ajustar mais de uma curva chave, tendo em vista que, uma única curva não atende a todos os períodos. Isso é mais agravante em regiões semiáridas onde há uma alteração significativa da seção

transversal do rio em função da irregularidade das chuvas e sua intensidade. Dessa forma são necessárias a divisão da curva-chave por períodos e a divisão por faixas de cotas. Essa divisão será feita através de uma análise do perfil transversal da estação observando-se os períodos de maior variação do mesmo, indicando assim o período que a curva de calibragem precisa ou não ser modificada.

Segundo Sefione (2002), uma das metodologias mais utilizadas é a de potência, definida pela função matemática $Q=a(h-h_0)^b$ equação (8), na qual a e b são constante, h é a cota referente a vazão e h_0 é a cota referente a vazão nula. A equação de potência tem um embasamento hidráulico de canais, pois é baseada na ideia do expoente hidráulico de Bakmeteff. (Santos, 2001).

A extrapolação da parte alta da curva-chave foi realizada pelo método de Stevens que é baseado na fórmula de Chezy, $Q= CA\sqrt{Ri}$, equação (13), na qual Q é a Vazão, A é a Área da seção transversal, R é o Raio Hidráulico, i – é a Declividade e C é o Coeficiente dimensional. Como $C\sqrt{i}$ é constante a vazão fica em função de $A\sqrt{R}$ que é características geométricas da seção transversal e pode ser obtido através de um levantamento topobatimétrico. Para aplicação deste método é necessário a construção de um gráfico cota x $A\sqrt{R}$ que devem seguir uma parábola e um outro gráfico Q x $A\sqrt{R}$ esses pontos devem seguir uma reta. Gerando uma equação do tipo $Am\sqrt{Rh}= a*Q+B$. A figura 13 mostra graficamente o método de Stevens. Vale ressaltar, que para extrapolação Stevens foram utilizados apenas as três maiores vazões do resumo de descarga. Pois, ao utilizar os pontos mais baixos a curva-chave poderia tender para os valores mais baixos influenciando na extrapolação.

Figura 13 - Gráfico do Método de Extrapolação de Stevens



Fonte: Sefione (2002)

4.6 Análise do Erro na Elaboração da Curva-Chave

Os erros foram analisados através da comparação das vazões geradas com as descargas que estão disponíveis no site da Hidroweb. Essa comparação será feita através de dois métodos já consagrados da estatística que são:

- Erro relativo - é a razão entre o erro absoluto ($Q_r - Q_c$) e a vazão real (Q_r) e é dado pela seguinte fórmula:

$$E_r = \frac{E_a}{Q_r} \quad (18)$$

Onde: E_r é o erro relativo, E_a é o erro absoluto, Q_r é a vazão Real, Q_c é a Vazão Calculada.

- Desvio padrão - é a raiz quadrada da média dos quadrados dos desvios individuais. Onde a desvio médio individual é calculado pela seguinte fórmula $d_1 = Q_c - Q_{cm}$ onde d_1 é a desvio padrão individual, Q_c vazão calculada e Q_{cm} é a média das vazões calculada. O desvio padrão é dados pela seguinte fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}} \quad (19)$$

Onde: σ é o desvio padrão, d^2 é o quadrado dos desvios padrões individuais, e n é o número de medições.

Um outro parâmetro utilizado será o valor de b , na equação (8), $Q=a(h-h_0)^b$, que não se afastar muito de 5/3 sendo aceitáveis valores próximos a 2 ou 3 sendo considerado que a curva-chave se aproxima de uma parábola de segundo ou terceiro grau (CPRM, 2013).

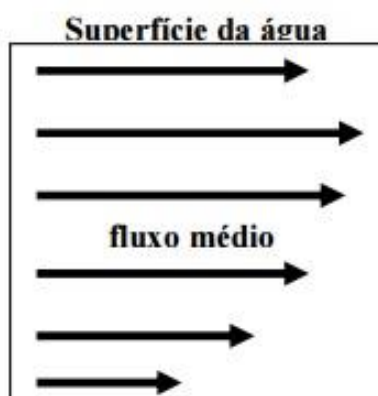
Uma outra maneira de analisar a consistência dos dados gerados é a realização do hidrogramas para avaliação da coerência entre as vazões de estações fluviométrica localizadas em um mesmo curso d'água, sendo levado em consideração os fatores que influenciam na mesma como barramentos ou pontos de captação, entre outros fatores. Para este trabalho foi realizado comparação dos hidrogramas das estações 50420000 e 50430000 e das soma das vazões das estações 50430000 e 50380000 com o da estação 50465000 para o período de 2006 a 2015. Além disto, foi realizado a comparação da série histórica de vazão gerada com a série histórica da ANA no período 2006 a 2015, períodos que existe apenas dados brutos.

5.5 Medição em Campo da Estação 50420000

No dia 26/08/2015 foi realizada uma medição de vazão direta em conjunto com a CPRM. Esta medição foi feita pelo método do molinete que são instrumentos projetados para girar em velocidades diferentes, de acordo com a velocidade da água e de acordo com a quantidade de giros da hélice se mede a velocidade do fluxo d'água.

É importante lembrar que as velocidades são diferentes nas várias faixas do rio sendo, maior no centro e menor juntos as margens, tornando importante a realização de várias medidas de velocidades para uma melhor representação da velocidade do perfil transversal medido. Uma outra variável importante é que velocidade do fluxo tem uma variação de acordo com a altura da lâmina d'água como podemos verificar na figura 14 (ANA, 2009).

Figura 14 - Perfil de Velocidade Típico em Rios



Fonte: Carvalho (2008)

O número de medições por vertical varia de acordo com a altura da lâmina d'água como pode ser verificado na tabela 2. Foram realizadas 6 medições de velocidade variando a cada um metro de distância. Foi feita uma medida a cada vertical a 60% da altura da lâmina da água de acordo com a tabela 2. Vale ressaltar, que foram tomados alguns cuidados, molinete sempre mantido na vertical evitando que o mesmo ficasse inclinado e a pessoa que realizou a medição ficou sempre jusante ao molinete em relação ao fluxo. Essas medidas foram efetuadas com a finalidade de evitar interferência nas medições realizadas (ANA, 2009).

Tabela 2 – Número e Posição de Pontos de Medição na Vertical

Tabela 2 - Número e Posição de Pontos de Medição na Vertical

Profundidade (m)	Número de pontos	Posição dos pontos
0,15 a 0,60	1	0,6 p
0,60 a 1,20	2	0,2 e 0,8 p
1,20 a 2,00	3	0,2; 0,6 e 0,8 p
2,00 a 4,00	4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p
> 4,00	6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F

Fonte: Santos et al (2001)

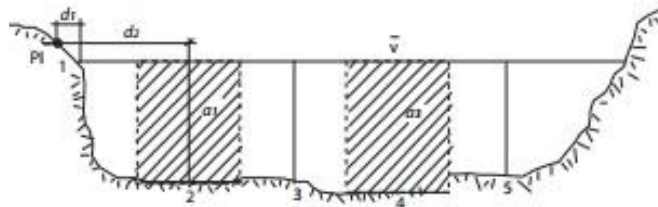
A realização do levantamento topobatimétrico foi feita com a régua contida no molinete com cuidado de manter o mesmo sempre na vertical. Foram medidas as profundidades a cada 0.5 m. O cálculo da área foi realizada

considerando que cada subárea é aproximadamente um trapézio e pode ser calculado pela soma de retângulo e um triângulo. Considerando que a velocidade média calculadas em uma vertical é válida numa área próxima a mesma de acordo com a figura 15. Então podemos obter a vazão do rio pela fórmula (ANA, 2009).

$$Q = \sum V_i A_i \quad (20)$$

Onde: Q é a vazão, V_i é a velocidade na vertical, A_i é a área na vertical.

Figura 15 - Validade da Velocidade na Vertical 2



Fonte ANA (2009)

A figura 16 apresenta a realização da medição de vazão realizada na estação fluviométrica 50420000 pelo método do molinete em conjunto com a CPRM no dia 26/08/2015.

Figura 16 - Medição de Vazão pelo Método do Molinete



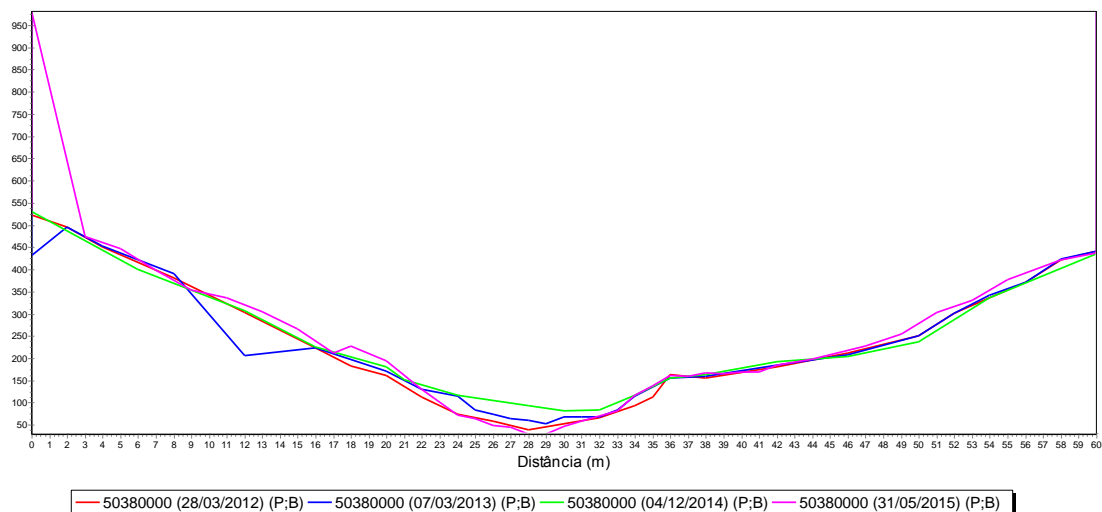
Fonte: Própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise do Perfil Transversal Das Estações

A estação fluviométrica 50380000 está localizada no município de Filadélfia e no rio Itapicuru-Açu e tem um área de drenagem de 2400km². A figura 17 representa o perfil transversal da estação, se apresentando estável. Entretanto, observa-se uma alteração no leito menor da calha do rio e na margem esquerda indicando a necessidade de proposição de curvas-chave por período.

Figura 17 - Perfil Transversal estação 50380000

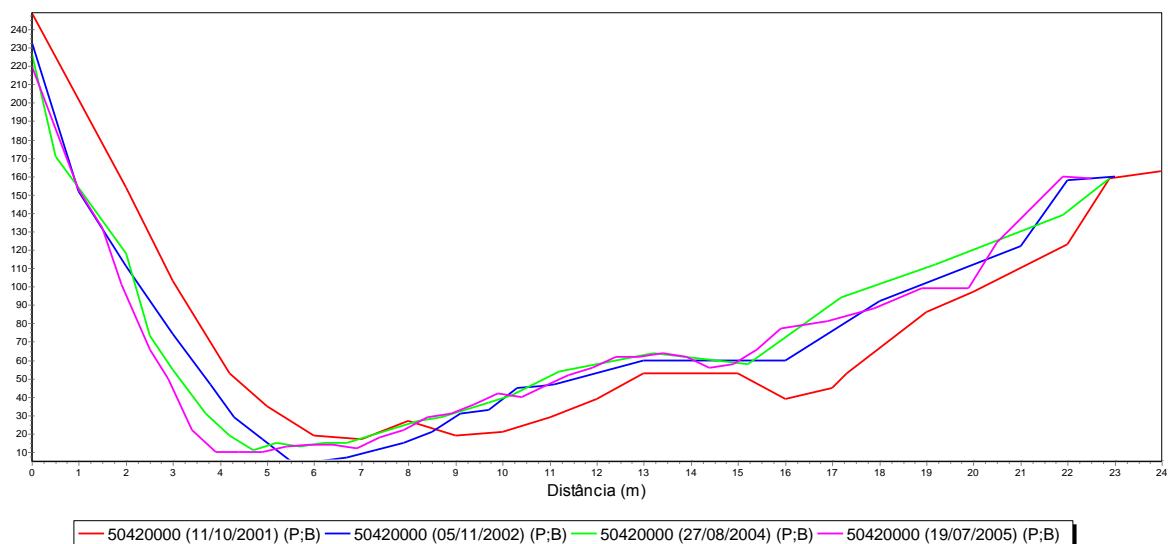


Fonte: Própria

A estação fluviométrica 50420000 localizada no rio Itapicuru-Mirim apresenta perfil transversal instável conforme apresentado na figura 17 que é bem característico em rios da região Nordeste. Considerando dados consistidos e os dados brutos, isso revela necessidade de proposição de curva-chave por período. Esse comportamento do rio é influenciado pelas margens do curso d'água nesse trecho, composta por material areno-argiloso com pedregulhos.

A figura 18 mostra o perfil transversal que abrange o leito menor e o leito de inundação do rio e confirma a alta inclinação na margem esquerda em relação à direita.

Figura 18 - Perfil Transversal Estação 50420000



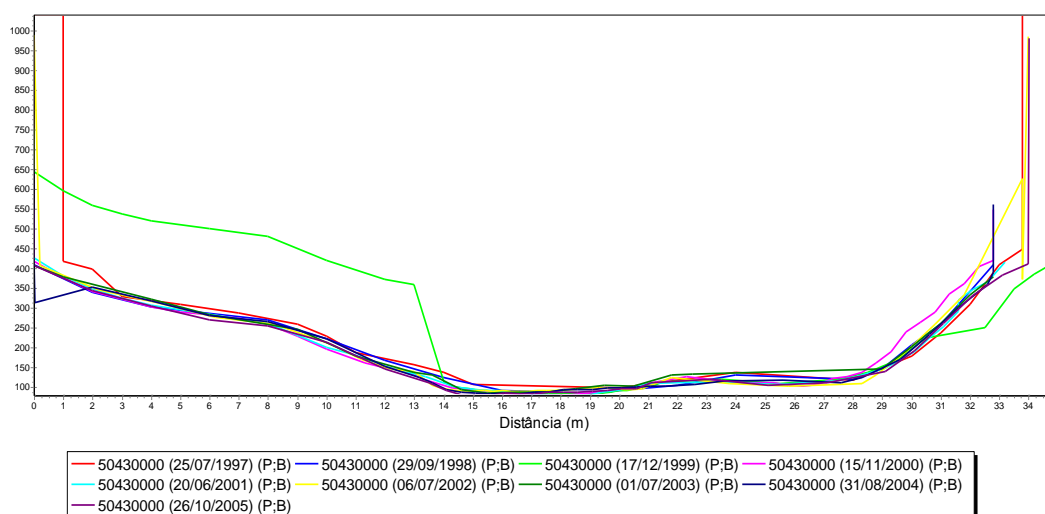
Fonte: Própria

A estação 50430000 também está localizada no rio Itapicuru-Mirim na cidade de Capim Grosso e a jusante da estação 50420000 sua operação é realizada pela CPRM, tem uma área de drenagem de 2500km²conforme a figura 19, ambas as margens do leito de inundação tem inclinação alta e natureza das margens são arenosa sem vegetação (CPRM,2013).

A Figura 18 apresenta ainda maior estabilidade do perfil em relação ao trecho monitorado no rio Itapicuru-mirim pela estação 50420000 (a montante).

Figura 19– Perfil Transversal Estação 50430000

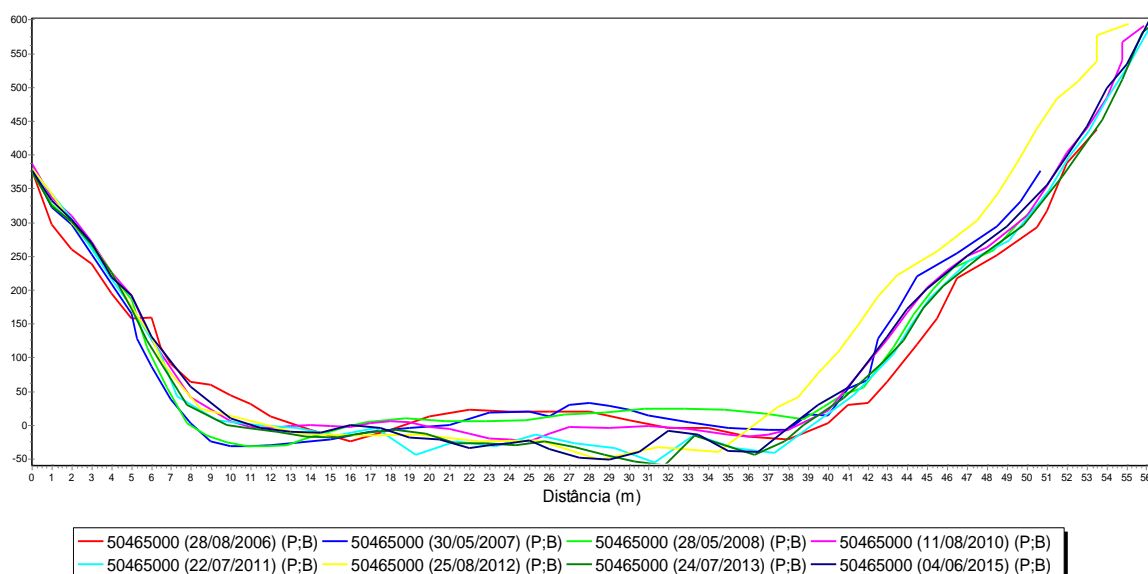
Figura 19 - Perfil Transversal Estação 50430000



Fonte: Própria

A estação fluviométrica 50465000 está localizada no rio Itapicuru na cidade de Queimadas após a confluência dos rios Itapicuru-Mirim e Itapicuru-Açu e sua operação é realizada pela CPRM. Essa seção do rio tem uma área de drenagem de 11825km². E apresenta um perfil transversal bastante estável como pode-se observar na figura 20 entretanto, existe alterações significativas no fundo do canal afetando a utilização da mesma curva-chave para todos os períodos.

Figura 20 - Perfil Transversal Estação 50465000

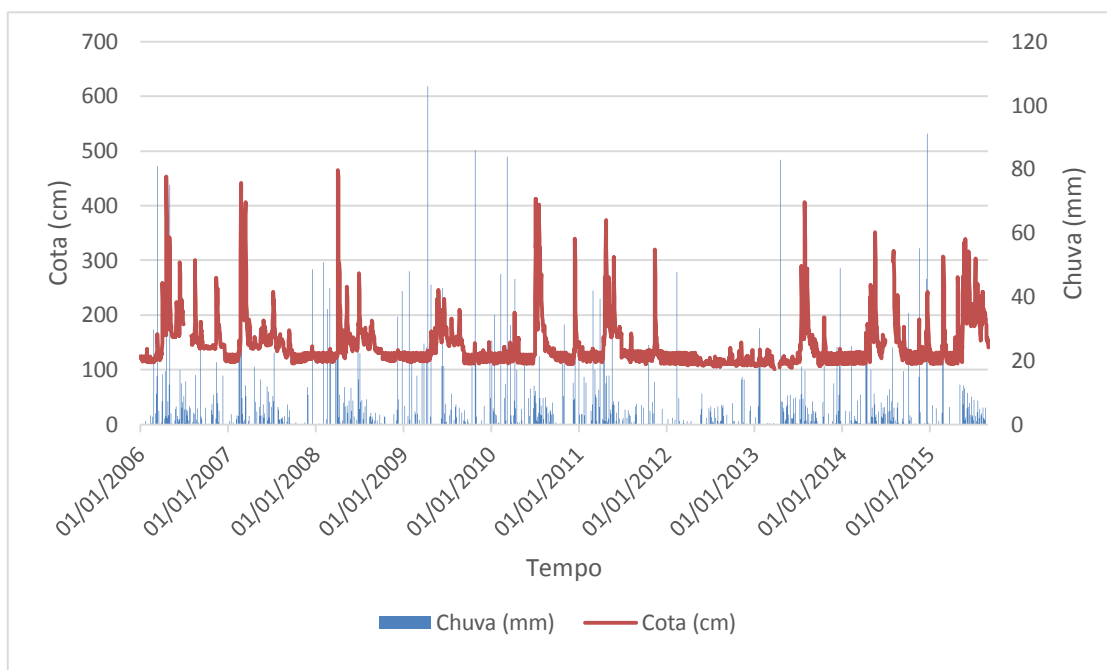


Fonte: Própria

5.2 Análise dos Dados da Série Histórica Diária das Estações Fluviométricas

Na comparação entre os dados de chuva da estação pluviométrica 01040027 localizada na cidade de Senhor do Bomfim e os dados de cota da estação fluviométrica 50380000 localizada no município de Caldeirão Grande (Figura 21). Percebe-se uma coerência dos valores de cotas e chuva observados com relação a sazonalidade e ao comportamento hídrico. Vale ressaltar, que nos dias de precipitação existe um aumento no nível d'água e consequentemente na vazão reforçando a consistência dos dados.

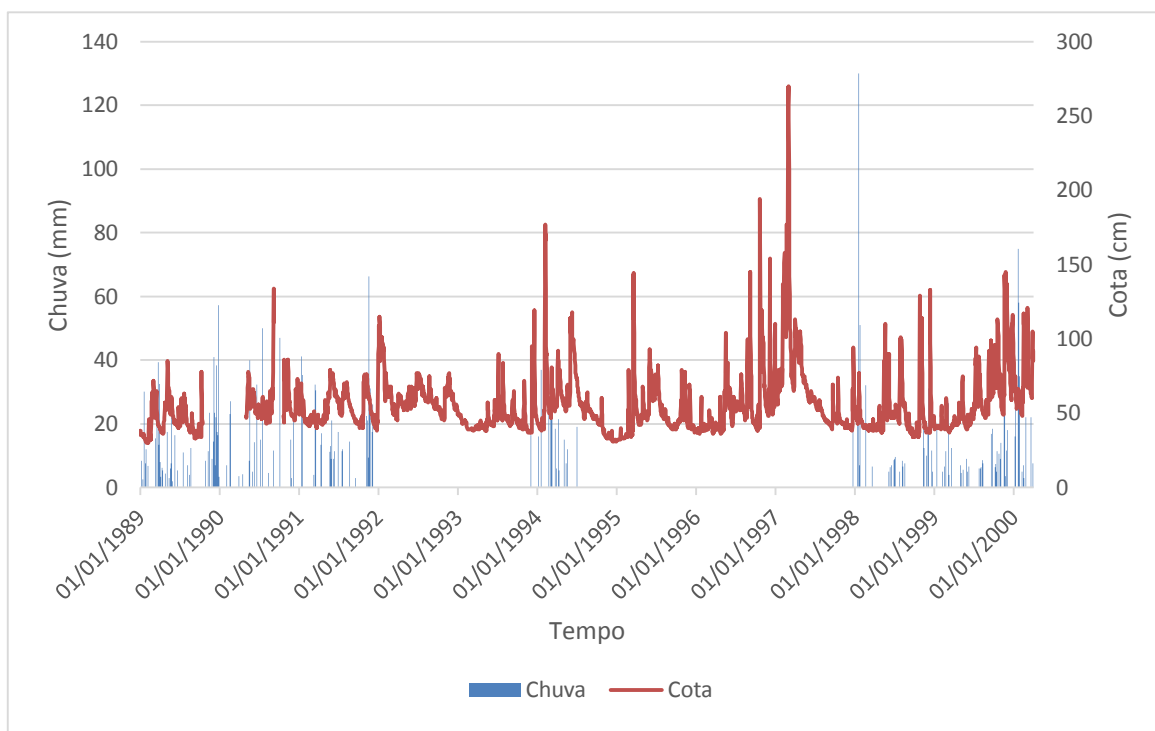
Figura 21 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50380000 e da chuva na Estação pluviométrica 01040027



Fonte: Própria

Na comparação entre os dados de chuva da estação pluviométrica 1140011 localizada na cidade de Jacobina, e a estação fluviométrica 50420000 localizada no mesmo município (figura 22). Nota-se que apesar de existir um longo período de falhas nos dados de chuva, pode-se observar a coerência entre os dados pluviométricos e cotas das estações, além da influência da chuva na geração do escoamento no rio. Nos dias que ocorrência precipitação existe também aumento no nível d'água no rio demonstrando uma relação nos dados de cotas e consequentemente vazão. Vale ressaltar, que essa coerência não é observada no início do ano de 1998.

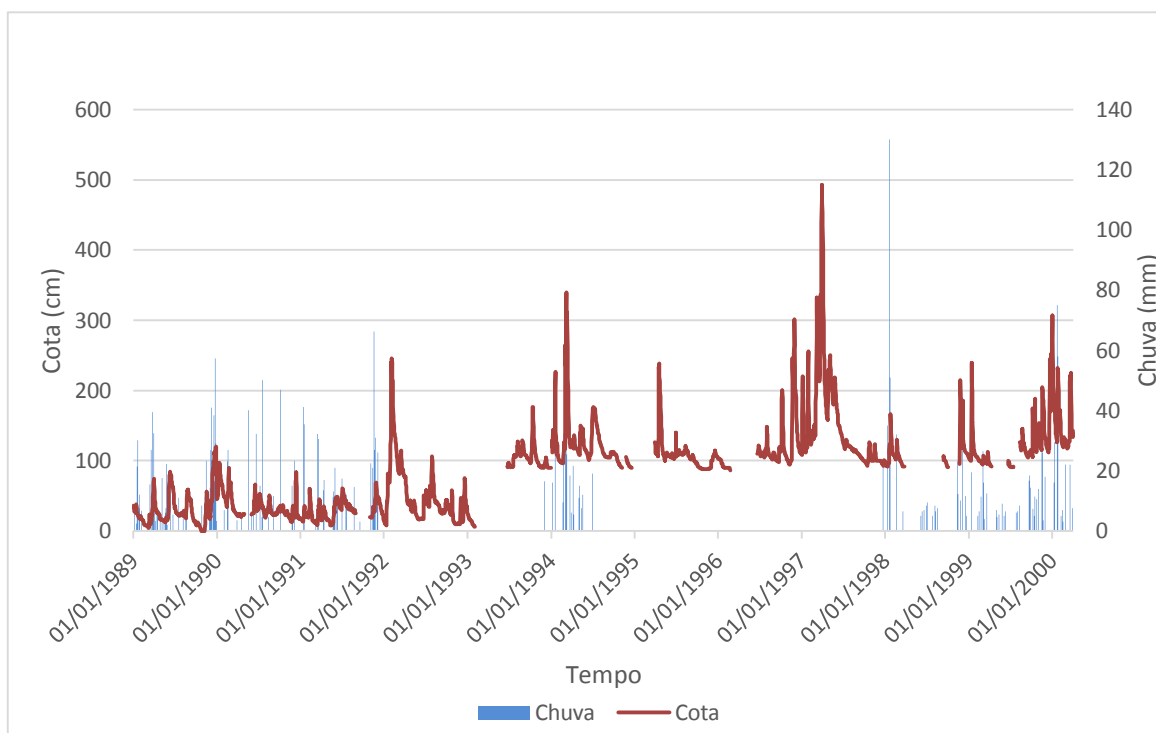
Figura 22 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50420000 e da chuva na Estação pluviométrica 1140011



Fonte: Própria

Na comparação entre os dados de chuva da dessa estação pluviométrica 1140011 e a estação fluviométrica 50430000, localizada no município de Capim Grosso, verifica-se uma coerência dos valores observados com relação a sazonalidade e comportamento hídrico. Apesar do número significativo de falhas verifica-se a mudança no referencial de nível a partir do ano 1994 como pode-se verificar na figura 23.

Figura 23 - Variabilidade sazonal das cotas nas estações 50430000 e da chuva na Estação pluviométrica 1140011

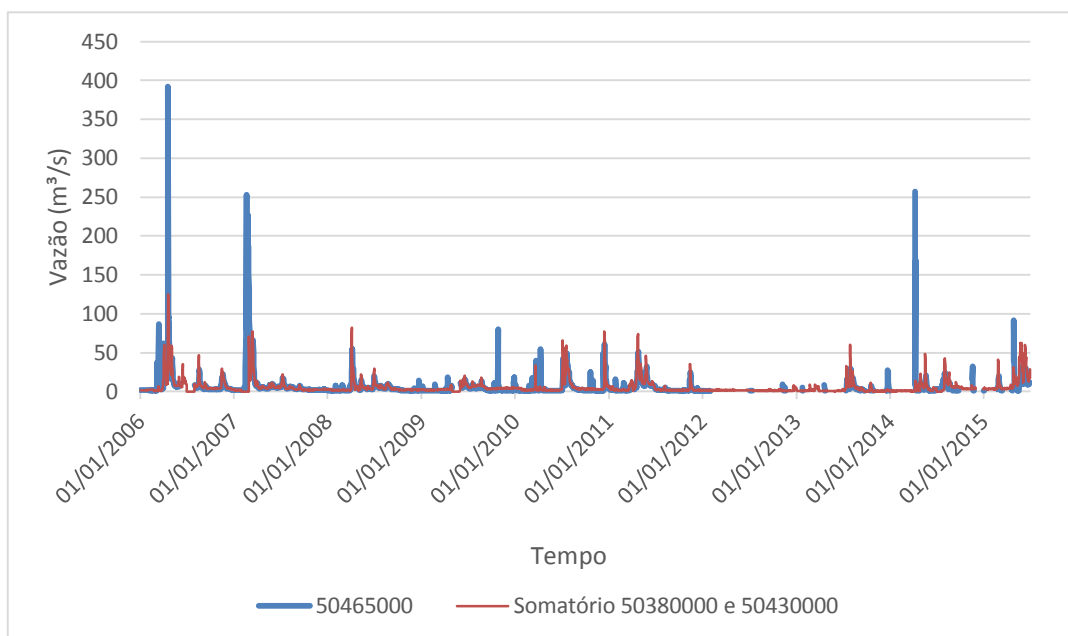


Fonte: Própria

Para a análise dos dados disponíveis para a estação fluviométrica 50465000 foi utilizado o hidrograma com a soma as vazões dos postos 50430000 e 50380000 com a estação 50465000. Como a estação 50465000 está localizada depois da confluência do rios Itapicuru-Mirim e o Itapicuru-Açu, a vazão da mesma deve ser maior que a soma das estações 50430000 localizada no Itapicuru-Mirim e 50380000 localizada no Itapicuru-Açu. E isso pode ser observado na figura 24 indicando uma consistência nos dados.

Houve uma verificação de alguns períodos com valores duvidosos. Pois, os mesmos tinham uma variação brusca de variação de vazão em apenas um dia como pode ser observado na figura 23.

Figura 24 - Hidrograma das estações 50465000 e o somatório das estações 50380000 e 50430000



Fonte: Própria

Na classificação da consistência dos dados proposta por Tucci (2007) pode-se verificar na estação 50380000 que a classificação para as cotas máximas tem uma variação entre D e E (Tabela 3), sendo assim, verifica-se novamente a necessidade de medições de cotas em eventos extremos de cheia. E uma extrapolação inadequada da parte superior da curva-chave.

Tabela 3 - Valores e Classificação da Consistência da Cotas Máximas pelo Método de Tucci para Estação 50380000

Consistência dos Dados de Cota Máxima - 50380000		
Período	Valor	Classificação
1989-1992	1.89	D
1993-2005	1.99	D
2006-2011	2.50	E
2012-2015	1.79	D

Fonte: Própria

Em relação aos eventos de vazões máximas revela-se a situação é ainda mais grave, já que todos os períodos tem classificação E como pode ser verificado na tabela 4 que revelando uma estação fluviométrica de difícil extrapolação da parte superior da curva-chave. Vale observar que para o período de 2012 – 2015 o valor ficou abaixo de 1, demonstrando uma

incoerência nos dados de vazão deste período, já que não é possível se obter um valor medido maior do que um valor observado nesse mesmo período, uma vez que o maior valor medido deve compor a série de dados observados.

Tabela 4 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máximas pelo Método de Tucci para Estação 50380000

Consistência dos Dados de Vazão Máxima – 50380000		
Período	Valor	Classificação
1989-1992	5.75	E
1993-2005	5.26	E
2006-2011	7.18	E
2012-2015	0.39	X

Fonte: Própria

Em relação as cotas mínimas todos os períodos tem classificação A (tabela 5) indicando pouca ou nenhuma necessidade de extrapolação da parte inferior da curva-chave.

Tabela 5 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50380000

Consistência dos Dados de Cota Mínima – 50380000		
Período	Valor	Classificação
1989-1992	19.00	A
1993-2005	6.00	A
2006-2011	7.00	A
2012-2015	12.00	A

Fonte: Própria

Na classificação de consistência dos dados proposta por Tucci (2007) pode-se verificar na tabela 6 que a estação fluviométrica 50420000 tem classificação para as cotas máximas entre C e E indicando que o posto tem extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos ou extrapolações inadequadas. Variando com os períodos, sendo assim, pode-se perceber a necessidade de medições de cotas em eventos extremos de cheia.

Tabela 6 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50420000

Consistência dos Dados de Cota Máxima - 50420000		
Período	Valor	Classificação
1990 a 1993	1.61	C
1994 a 1995	1.62	C
1996	1.75	C
1997	3.46	E
1998 a 1999	2.23	D
2000 a 2005	4.55	E
2006 a 2009	3.15	E
2010 a 2014	4.55	E

Fonte: Própria

A situação fica ainda mais crítica quando verifica-se os dados de vazões máximas na tabela 7 que tem classificação E indicando extrapolações inadequadas dos postos fluviométricos em todos os períodos com exceção de 1997, Esses valores ocorreu pois, as vazões observadas tem valores muito maiores que os valores medidos revelando a necessidade de contemplação de medição em campo de eventos de volumes extremos para verificação das extrapolações das curvas-chave.

Tabela 7 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50420000

Consistência dos Dados de Vazão Máxima - 50420000		
Período	Valor	Classificação
1990 a 1993	9.19	E
1994 a 1995	4.07	E
1996	3.3	E
1997	2.39	D
1998 a 1999	31.24	E
2000 a 2005	108.24	E
2006 a 2009	7.08	E
2010 a 2014	15.65	E

Fonte: Própria

Para valores de cotas mínimas observa-se na tabela 8 a classificação A em todos os períodos, isso ocorre pois este rio está localizado em uma região semiárida e permanece com cotas baixas na maior parte do ano, aumentando significativamente a probabilidade uma medição com cotas baixas. Indicando pouca necessidade de extrapolação da parte inferior da curva-chave.

Tabela 8 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50420000

Consistência dos Dados de Cota Mínima - 50420000		
Período	Valor	Classificação
1990 a 1993	4	A
1994 a 1995	5	A
1996	5	A
1997	7	A
1998 a 1999	2	A
2000 a 2005	5	A
2006 a 2009	3	A
2010 a 2014	3	A

Fonte: Própria

Na classificação de consistência dos dados proposta por Tucci (2007) pode-se verificar na tabela 9 para estação fluviométrica 50430000 que a classificação para as cotas máximas tem uma variação entre C e E indicando novamente que o posto tem extrapolação adequada da curva de descarga e com eventuais transbordamentos ou extrapolações inadequadas. Variando com os períodos, sendo assim, pode-se perceber novamente a necessidade de medições de cotas em eventos extremos de cheia.

Tabela 9 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50430000

Consistência dos Dados de Cota Máxima -50430000		
Período	Valor	Classificação
1989 a 1992	3.08	E
1994-1996	2.09	E
1997 - 2005	1.79	D
2006 - 2008	2.91	E
2009- 2015	1.39	C

Fonte: Própria

Em relação aos eventos de vazões máximas revela-se uma situação ainda mais grave, que é verificado na tabela 10. Com exceção do período 1997 – 2005 todos os períodos tem classificação E. Demonstrando uma dificuldade ainda maior na extrapolação da parte superior da curva-chave. Vale observar que para o período de 2009 – 2015 o valor ficou abaixo de 1, demonstrando uma incoerência nos dados de vazão deste período, já que não é possível se obter um valor medido maior do que um valor observado nesse mesmo

período, uma vez que o maior valor medido deve compor a série de dados observados.

Tabela 10 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50430000

Consistência dos Dados de Vazão Máxima – 50430000		
Período	Valor	Classificação
1989 a 1992	8.39	E
1994-1996	5.46	E
1997 - 2005	2.52	D
2006 - 2008	9.94	E
2009- 2015	0.64	X

Fonte: Própria

Em relação as cotas mínimas observa novamente na tabela 11 que todos os períodos tem classificação A como esperado de um rio localizado em uma região semiárida que tem muitos períodos de seca.

Tabela 11 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Mínima pelo Método de Tucci para Estação 50430000

Consistência dos Dados de Vazão Mínima - 50430000		
Período	Valor	Classificação
1989 a 1992	13	A
1994-1996	5	A
1997 - 2005	3	A
2006 - 2008	2	A
2009- 2015	2	A

Fonte: Própria

Na classificação da consistência dos dados proposta por Tucci (2007) pode-se observar na tabela 12 que para as cotas máximas que a estação fluviométrica 50465000 tem classificação E em todos os períodos, sendo assim, pode-se perceber mais uma vez que temos uma extrapolação inadequada e que existe uma grande necessidade de medições de cotas em eventos extremos de cheia.

Tabela 12 - Valores e Classificação da Consistência da Cota Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50465000

Consistência dos Dados de Cota Máxima -50465000		
Período	Valor	Classificação
1989-1993	4.28	E
1994-2005	2.24	E
2006-2015	3.60	E

Fonte: Própria

Para vazões máximas pode-se verificar na tabela 13 que todos os períodos tiveram classificação E. Indicando novamente que a extrapolação da parte superior da curva de calibragem é inadequada aumentando a necessidade de medições de vazões em eventos extremos de cheia.

Tabela 13 - Valores e Classificação da Consistência da Vazão Máxima pelo Método de Tucci para Estação 50465000

Consistência dos Dados de Vazão Máxima -50465000		
Período	Valor	Classificação
1989-1993	15.37	E
1994-2005	7.79	E
2006-2015	3.44	E

Fonte: Própria

Em relação às cotas mínimas tabela 14 mostra que todos os períodos com a exceção 1994 a 2005 teve classificação A indicando pouca ou nenhuma extrapolação da parte inferior da curva. O período de 1994-2005 teve classificação B indicando necessidade de extrapolação e que pode ter ocorrido alterações no talvegue e do fundo da calha do rio medições e oscilações da área de seção de escoamento. Entretanto, sem grandes alterações das vazões mínimas.

Tabela 14 - Valores e Classificação da Consistência da Cotas Mínimas pelo Método de Tucci para Estação 50465000

Consistência dos Dados de Vazão Mínima -50465000		
Período	Valor	Classificação
1989-1993	38.00	A
1994-2005	76.00	B
2006-2015	11.00	A

Fonte: Própria

5.3 Método de Potência (Traçado)

A aplicação do método de potência foi realizada a partir dos dados de resumo de descarga (cota-vazão), cotas e vazão que foram levantados no site da Hidroweb. Com posse desses dados foram ajustadas as equações na planilha eletrônica Excel e foram encontrados os parâmetros H_0 , a e b . O primeiro encontrado por tentativa e erro e os demais a partir de Hogerando a equação (5). Em uma segunda etapa foram calculados os desvios relativos médios (DR) e os desvios padrões(DP) das vazões geradas.

Para avaliação do método de potência foram analisado o desvio relativo médio (DR) e o desvio padrão (DP) obtidos pela comparação do valor de vazão medido e do calculado. Além disto, as tabelas contém os número de medições utilizadas no ajuste (N), a faixa de validade de cada equação (cota em cm), valores dos parâmetros a , b e h_0 . O valor do desvio padrão foi utilizado para avaliar a dispersão dos dados. Para o presente estudo foi considerado aceitável um desvio relativo médio variando entre -10 e 10 e um valor do parâmetro b próximo a $5/3$ ou variando entre 2 e 3, conforme orientado pela CPRM (CPRM, 2013)

A Tabela 15 apresenta a curvas-chave propostas por período para estação avaliada, as curvas-chave da estação 50380000 que tem um desvio relativo médio fora do aceitável com a exceção do período 1989-1992. Entretanto, o valor do desvio padrão está dentro do que é considerado aceitável exceto o período 2012-2015. Em relação ao valor do parâmetro b observa-se que com a exceção do período 1989-1992 os valores estão próximo $5/3$ ou entre 2 e 3 que é considerado aceitável.

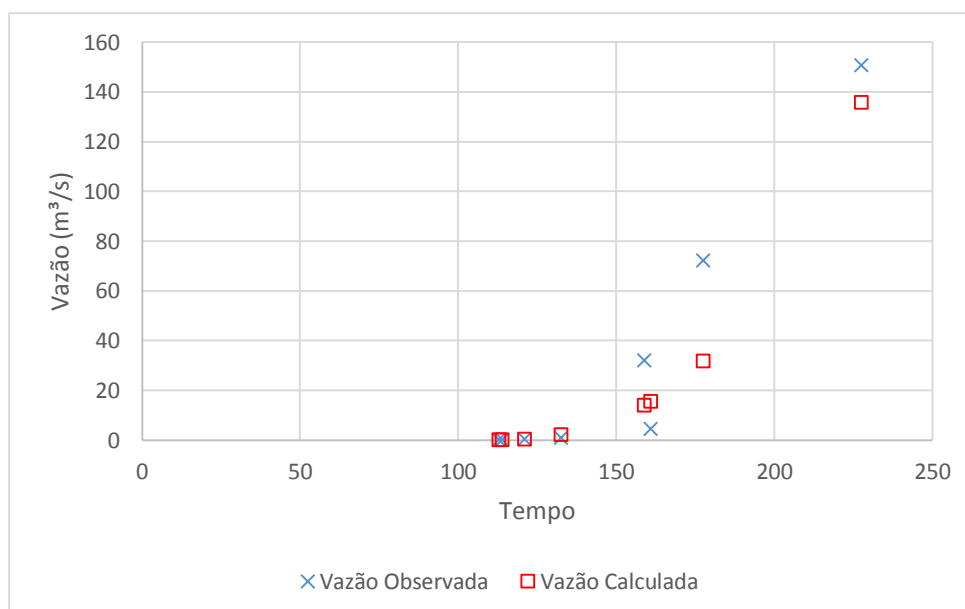
Tabela 15 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50380000 para os Anos de 1989 a 2015

50380000		Função Potencial					
Período	Cota (cm)		a	b	c	De	Desvio Padrão
						svio	
1 989-1992	140- 227		0. 1933	0.961	30	- 0.557	4.8 358
1 993-2005	107- 321	4	0.0 0616	1.659 3	04	- 15.3634	8.3 861
2 006-2011	117- 186	0	0.0 1835	1.560 57	14	- 30.1192	5.1 208
2 012-2015	113 -227.5		0. 000228	2.7 66038	05	- 31.7105	48 .7663

Fonte: Própria

A figura 25 mostra os valores das vazões observadas e as vazões calculadas para estação 50380000 para o período 2012-2015. Observa-se que a partir da cota 150 cm os dados medidos em campo tem uma distribuição de difícil ajuste interferindo na qualidade da curva-chave. Sugere-se uma reavaliação da curva de calibragem a partir da cota 150 cm para este período.

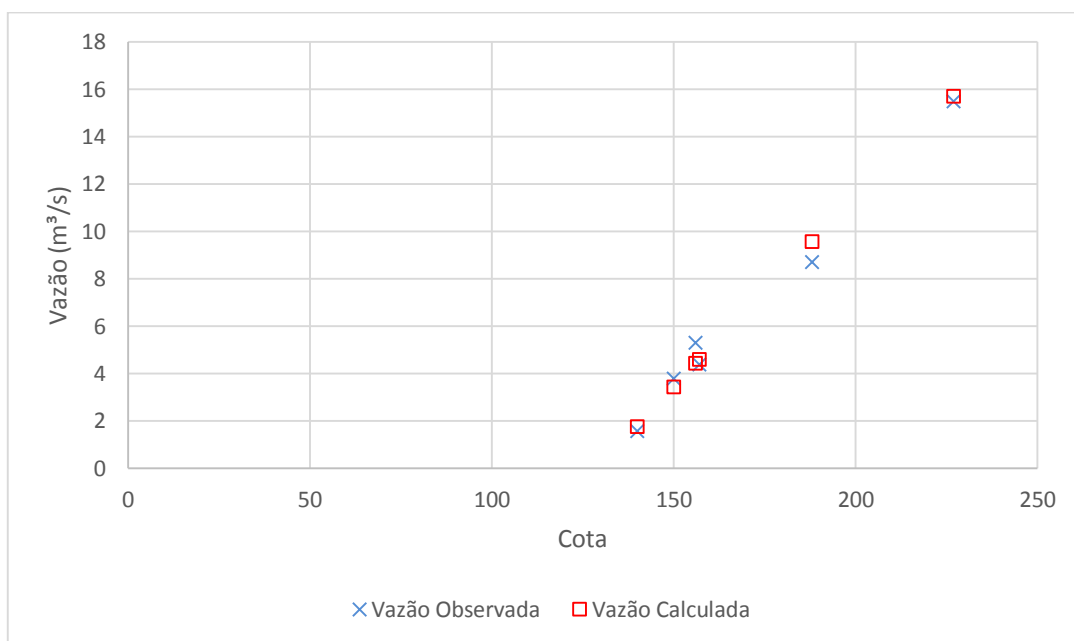
Figura 25 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2012-2015 para Estação 50380000



Fonte: Própria

A figura 26 mostra que valores de vazões calculados pela curva de calibragem estão próximos as vazões reais e consequentemente obteve-se um desvio relativo médio próximo a zero. Mostrando que esta curva-chave teve um ajuste aceitável.

Figura 26 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1989-1992 para Estação 50380000



Observando o valor dos desvios relativo médio (Tabela 16) dos períodos da estação 50420000 pode-se perceber que com a exceção do período 1998-1999 os demais tem desvio relativo médio entre -10 e 10 que são considerados aceitáveis. Entretanto, o período de 1998-1999 tem um desvio relativo médio -21.459 que pode ser justificado pelo valor elevado do desvio padrão refletindo uma dispersão dos dados e dificultando um ajuste adequado do traçado da curva de calibragem. Mesmo com um valor de B aceitável 1.8505, recomenda-se uma revisão do traçado da curva-chave para este período.

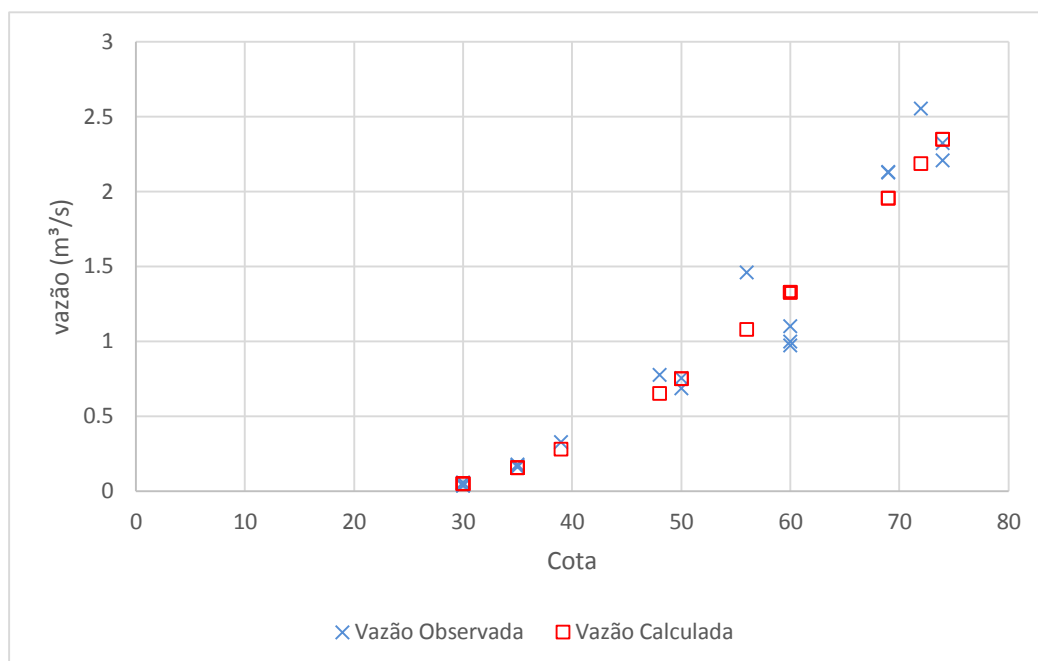
Tabela 16 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50420000 para os Anos de 1990 a 2015

50420000		Potencial					
Período	Cota (cm)		A	b	N	D esvio médio	D esvio Padrão
1990 a 1993	27 - 83	5	0.0 0003	2.9 2839	7	- 0.853	1 3.254
1994 a 1995	25 - 109	3	0.0 0044	2.1 1136	5	- 3.077	3 1.360
1996	37 - 111		0.0 0197	1.9 4293	7.2	- 0.037	- 0.292
1997	34 - 78		0.0 0512	1.6 9311	4	- 0.190	6. 453
1998 e 1999	20 - 65	6	0.0 0043	1.8 5054	0	- 21.459	9 4.938
2000 a 2005	20 - 91	9	0.0 0006	2.6 4657	0	- 9.913	5 4.582
2006 a 2009	25 - 65	2	0.0 0301	1.7 3510	5	- 0.885	1 4.421
2010 a 2015	30 - 74	0	0.0 032	1.6 972	5	- 1.599	1 9.002

Fonte: Própria

A figura 27 mostra os valores das vazões observadas e as vazões calculadas para estação 50420000 para o período 2010-2015. Observa-se pouca dispersão dos vazões observadas, refletindo um desvio padrão baixo e conseqüentemente um bom ajuste da curva-chave que pode ser verificado com um valor aceitável do desvio relativo médio baixo.

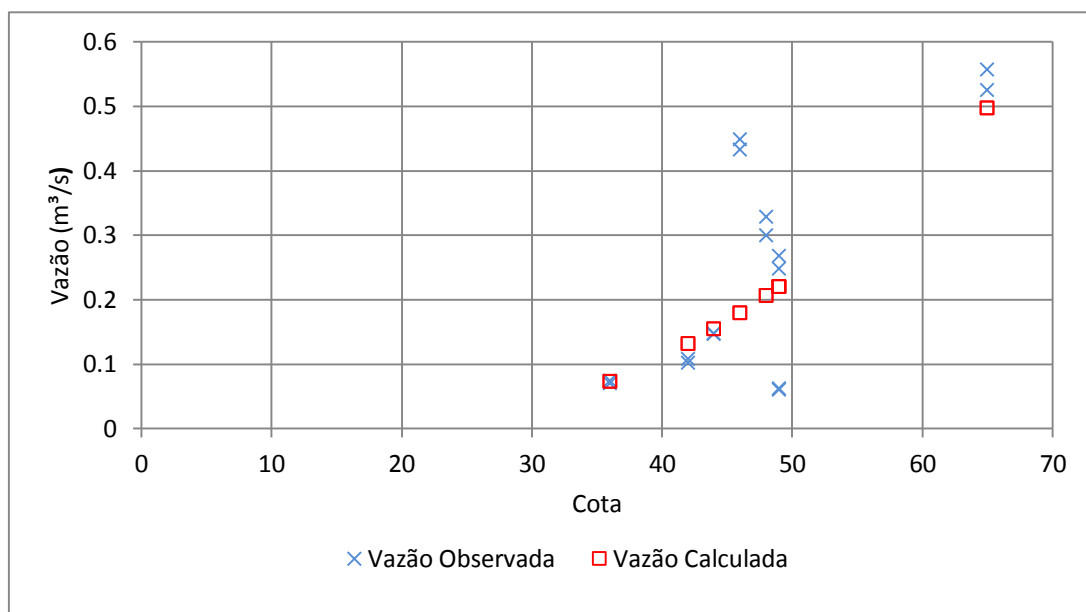
Figura 27 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2010-2015 para Estação 50420000



Fonte: Própria

A figura 28 mostra que a curva de calibragem não se ajustou bem aos dados do resumo de descarga e que os mesmos tem uma distribuição de difícil ajuste que pode ser verificado no valor elevado do desvio padrão. Refletindo em um curva-chave com ajuste ruim e um desvio relativo médio fora do aceitável. Sendo indicado, um novo estudo da curva-chave para este período na estação 50420000.

Figura 28 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1998-1999 para Estação 50420000



Fonte: Própria

A Tabela 18 apresenta a curvas-chave propostas por período para estação 50430000, pelo desvio relativo médio verifica-se que as curvas-chave da estação 50430000 estão aceitáveis com a exceção do período 2009-2015 que tem um desvio relativo médio menor que -10. Entretanto, um outro parâmetro utilizado é o valor de “b” que está próximo a 5/3, sendo considerado um bom ajuste.

Tabela 17 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1998-1999 para Estação 50420000

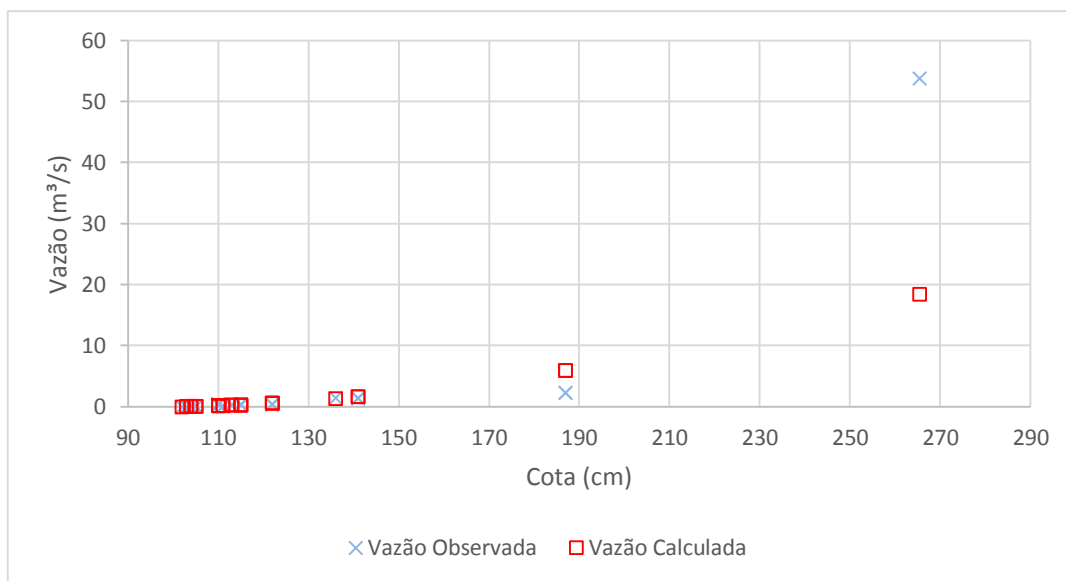
50430000		Função Potencial					
Período	Cota (cm)		a	b	o	Desvio relativo médio	Desvio Padrão
1989 - 1992	1 - 80		0,0111	1,4278	.2	-0,8452	12,7651
1994 - 1996	91 - 163	6	0,0102	1,478	1	-3,153	29,32

199 7 - 2005	94 - 347	9	0,00 58	1,57 2	4	8,4 23	33.2 7
200 6 - 2008	104 - 138		0,05 57	1,16 3	04	- 3,671	30.7 4
200 9 - 2015	99 - 265.5	8	0.00 19	1.79	8	- 33.63	45.8 1

Fonte: Própria

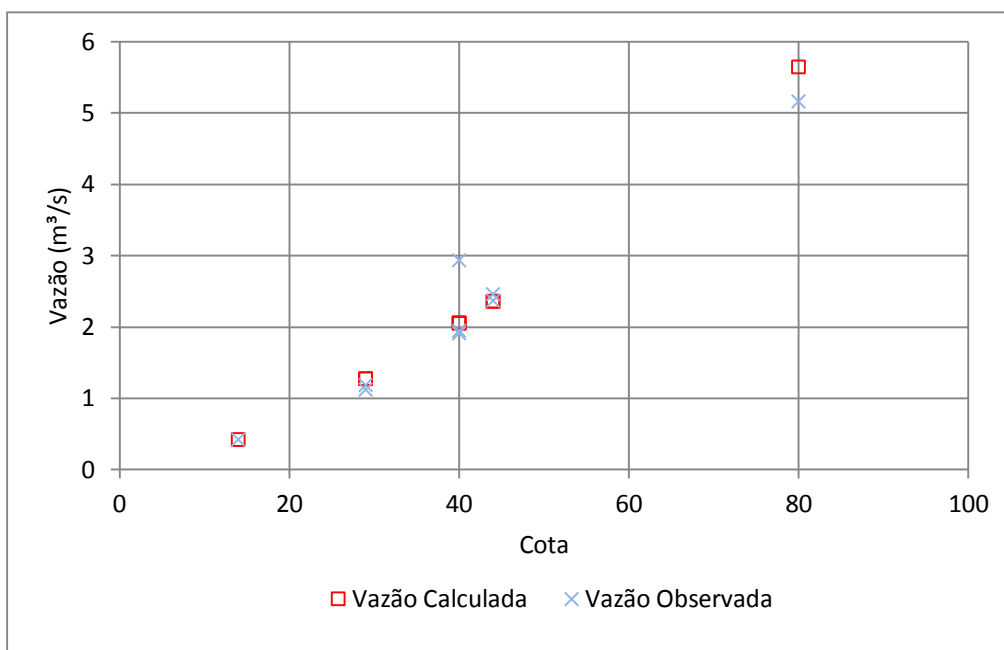
O figura 29 mostra os valores das vazões observadas e as vazões calculadas para estação 50430000 e o período 2009-2015. Pode-se observar que os pontos próximos as cotas 270 estão distantes um do outro refletindo em desvio médio alto. Refletindo a dificuldade de ajustar um traçado adequado mesmo dentro da faixa de ajuste. Indica-se uma reavaliação do limite superior de extrapolação da curva-chave para este período.

Figura 29 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2009-2015 para Estação 50430000



A figura 30 mostra que a curva-chave proposta para o período de 1989 a 1992 se ajustou aos dados medidos em campo. Refletindo em um desvio relativo médio próximo a zero atestando um ajuste adequado da curva de calibragem.

Figura 30 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1989-1992 para Estação 50430000



Fonte: Própria

A Tabela 18 apresenta a curvas-chave propostas por período para estação avaliada, as curvas-chave da estação 50465000 estão aceitáveis para o desvio relativo médio. Em relação ao valor do parâmetro b observa-se que com a exceção do período 2006- 2015 os valores estão próximo 5/3 ou entre 2 e 3 indicando um bom ajuste para estes períodos.

Tabela 18 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50465000 para os Anos de 1989 a 2015

Tabela 18 - Curvas-Chave Propostas por Período para a Estação 50465000 para os Anos de 1989 a 2015

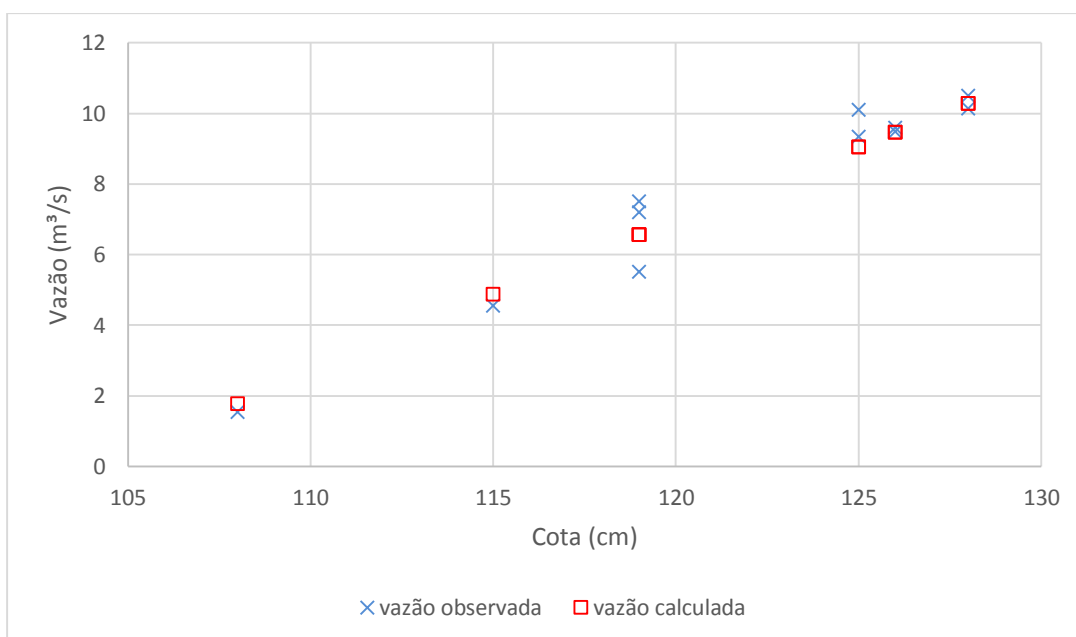
50465000		Função Potencial					
Pe ríodo	Cota (cm)		a	b	o	De svio rel ativo médio	De svio Padrão
19 89-1993	54- 127	3	0. 000123	2.7 24643	1	- 1.3249	10 .15
19 94-2005	12- 233	6	0. 143732	1.2 78516	8	- 1.2893	19 .62

20	108-	0.	0.9	-	2.		
06-2015	128	1	537314	33721	04.4	0.4446	69

Fonte: Própria

A figura 31 mostra os valores das vazões observadas e as vazões calculadas para estação 50465000 para o período 2006-2015. Observa-se que nos dados obtidos em campo pela ANA tem um desvio padrão baixo facilitando o ajuste da curva de calibragem e obtendo um valor do desvio relativo médio aceitável para este período.

Figura 31 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:2006-2015 para Estação 50465000

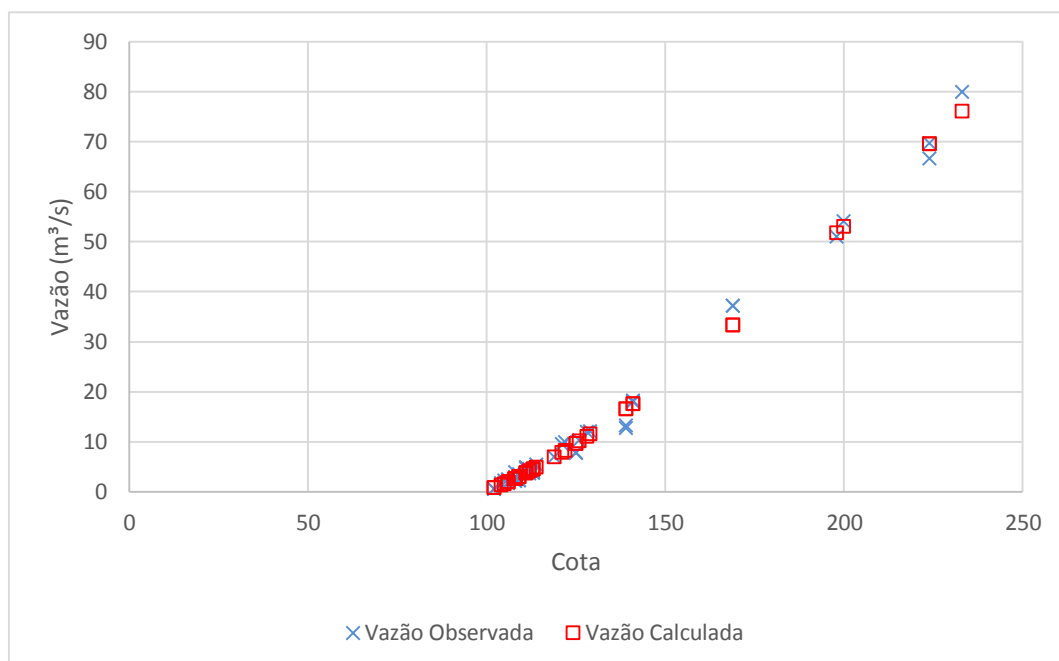


Fonte: Própria

A figura 32 mostra os valores das vazões observadas e as vazões calculadas para estação 50465000 para o período 1994 a 2005. Apesar da curva-chave ser validada para um longo período podemos observar que está bem ajustada e que tem um valor do desvio relativo médio aceitável isso reflete o comportamento estável do perfil transversal do rio para este trecho.

Figura 32 –Vazões Calculadas e Observadas no Período:1994-2005 para Estação 50465000

Figura 32 - Vazões Calculadas e Observadas no Período:1994-2005 para Estação 50465000



Fonte: Própria

5.4 Método de Stevens (extrapolação de vazão alta)

Visto a necessidade de extrapolação da parte alta da curva-chave pela análise da consistência dos dados proposta por TUCCI (2007) que teve classificação E, para uma parcela significativa dos dados de cotas e vazões máximas. Indicando uma extrapolação inadequada da parte alta da curva de calibragem. Foi testado método de Stevens para extrapolação da parte superior da curva-chave pela representatividade hidráulica e facilidade de aplicação nas estações fluviométrica estudadas.

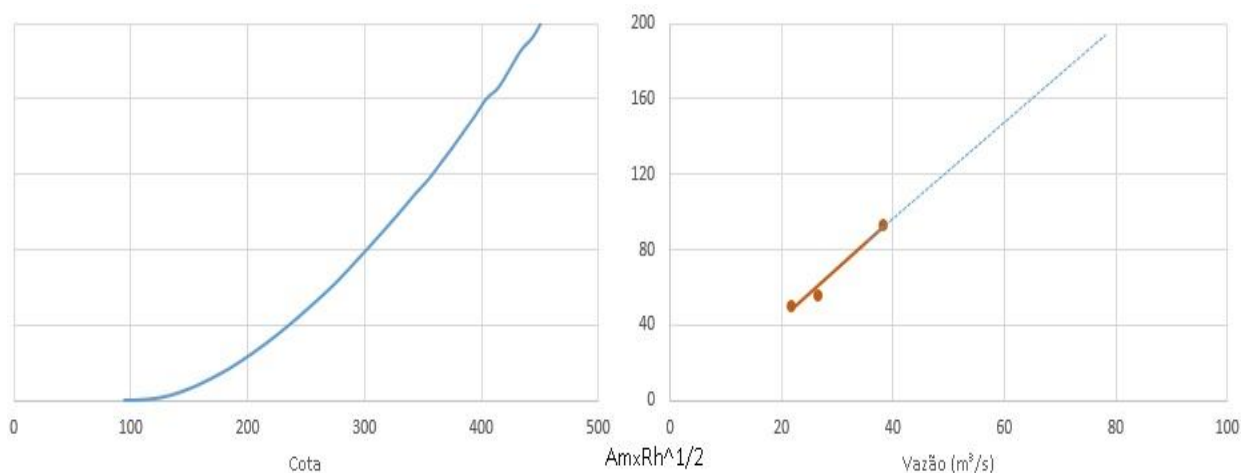
Destaca-se que não existe medidas de vazão realizada em campo para os valores extrapolados o que impossibilita a avaliação posterior da eficiência do método e uma melhor avaliação da metodologia, reforçando a necessidade de medições em campo para eventos extremos de cheia.

A tabela 19 apresenta os parâmetros a e b por período para extrapolação de Stevens na estação fluviométrica 50465000. Além disto mostra o valor de R^2 para reta de extrapolação. A figura 33 apresenta o gráfico de Stevens para estação 50380000 e o período de 1993 a 2005.

Tabela 19 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50380000 para os Anos de 1989 a 2015

Extrapolação Stevens - 50380000				
Período	N	A	B	R ²
1989 - 1992	6	2.578	- 8.1151	0.9994
1993-2005	42	2.703	- 10.835	0.9745
2006-2011	9	1.3756	7.3 305	0.8942
2012-2015	7	0.1626	2.6 344	0.9853

Figura 33 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50380000 para período 1993-2005



Fonte: Própria

A tabela 20 apresenta os parâmetros a e b por período para extrapolação de Stevens na estação fluviométrica 50420000. Além disto mostra o valor de R² para reta de extrapolação. A figura 34 apresenta o gráfico de Stevens para estação 50420000 e o período de 2000 a 2005.

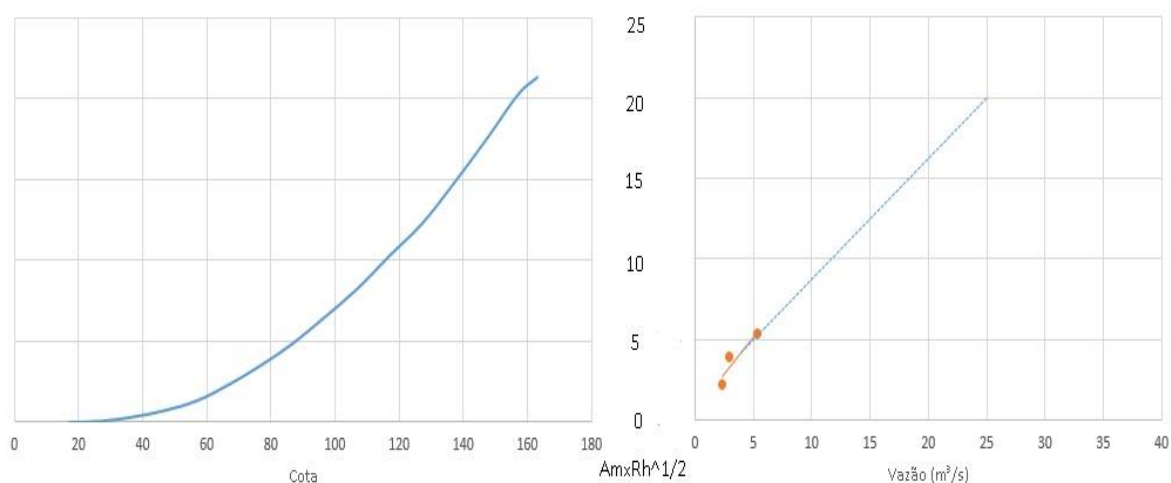
Tabela 20 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50420000 para os Anos de 1990 a 2015

Extrapolação Stevens – 50420000				
Período	N	A	B	R ²
1990 a 1993	7	0.7209	0.55 09	0.9757
1994 a 1995	8	1.6983	- 1.2087	0.9994

1996	6	0.7516	1.48 44	0.9971
1997	5	0.9367	0.20 08	0.9815
1998 e 1999	7	5.6876	- 1.4296	0.661
2000 a 2005	16	0.9367	0.54 8	0.8746
2006 a 2009	7	0.685	0.69 78	0.7952
2010 a 2014	9	0.7662	1.06 97	0.9172

Fonte: Própria

Figura 34 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50420000 para período 2000-2005



Fonte: Própria

A tabela 21 apresenta os parâmetros a e b por período para extrapolação de Stevens na estação fluviométrica 50430000. Além disto, mostra o valor de R^2 para reta de extrapolação. A figura 35 apresenta o gráfico de Stevens para estação 50430000 e o período de 1997 a 2005.

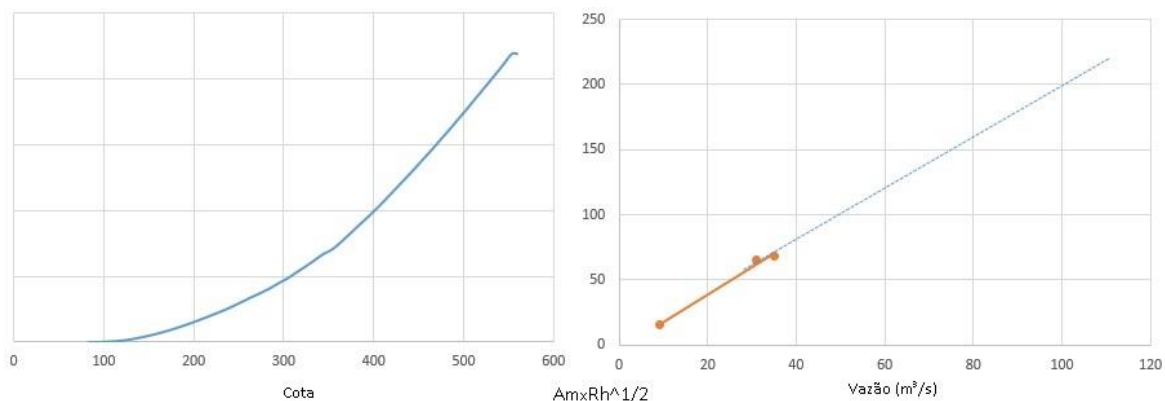
Figura 35 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50430000 para os Anos de 1989 a 2015

Extrapolação Stevens - 50430000				
Período	N	A	B	R^2
1989 - 1992	5	2.3569	- 3.0764	0.948
1994-1996	8	1.3757	- 0.7394	0.9957
1997-2005	29	2.1099	- 3.1481	0.9893
2006-2008	4	0.9279	1.0	0.953

			373	
2009-2015	13	0.5323	6.9 931	0.9389

Fonte: Própria

Figura 36 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50430000 para período 1997-2005



Fonte: Própria

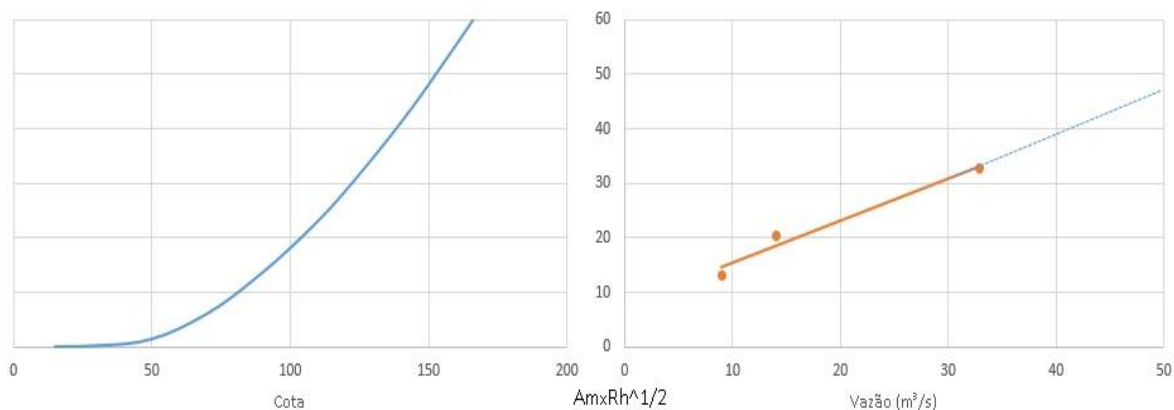
A tabela 21 apresenta os parâmetros a e b por período para extrapolação de Stevens na estação fluviométrica 50465000. Além disto mostra o valor de R^2 para reta de extrapolação. A figura 36 apresenta o gráfico de Stevens para estação 50465000 e o período de 1989 a 1993

Tabela 21 - Extrapolação pelo Método de Stevens Proposta por Período para a Estação 50465000 para os Anos de 1989 a 2015

Extrapolação Stevens - 50465000				
Período	N	A	B	R^2
1989-1993	7	0.7723	0.7 723	0.9674
1994-2005	28	3.6264	208 .27	0.9272
2006-2015	8	0.8518	14. 537	0.3635

Fonte: Própria

Figura 37 - Gráfico de Stevens para Estação Fluviométrica 50465000 para período 1989-1993



5.5 Comparação Entre a Série Histórica de Vazão Gerada e a Série Histórica da ANA.

Foi realizada uma comparação entre a série histórica de vazão gerada (as cotas que estavam na faixas de ajuste foram calculadas pelo método de potência, vazões máximas foram extrapoladas pelo método de Stevens e as vazões mínimas foram desconsideradas) e a série histórica da ANA (disponível no Hidroweb) Para o período entre 2006 e 2015 onde existem apenas dados brutos.

A Figuras 37 e 38 apresentam uma comparação entre a vazão estimada proposta com a série gerada e a série histórica disponível no banco de dados da ANA para estação fluviométrica 50380000. Pode-se verificar que apesar de superestimar a vazão existe uma correlação nos dados até o ano de 2013. A partir do ano de 2014 existe um período de vazões máximas (vazões acima da cota de ajuste) com uma diferença significativa entre as vazões geradas e as vazões da ANA como demonstrado na figura 37. Sugere-se uma análise mais aprofundada da extrapolação da parte superior da curva-chave para vazões extremas neste posto fluviométrico.

Figura 38 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50380000

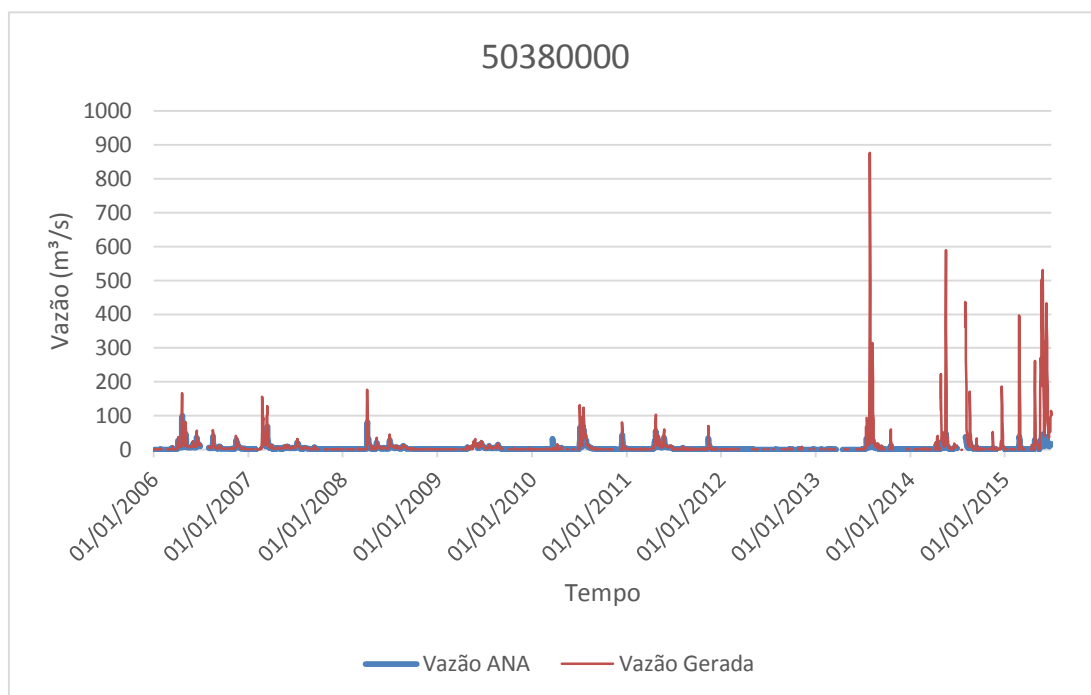
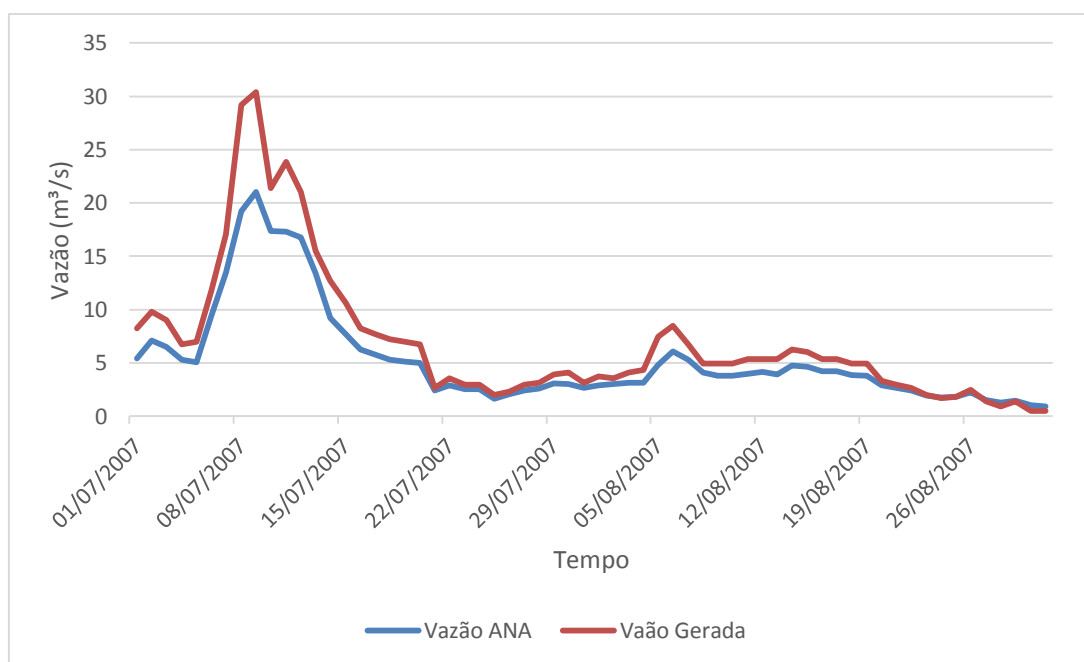


Figura 39 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50380000

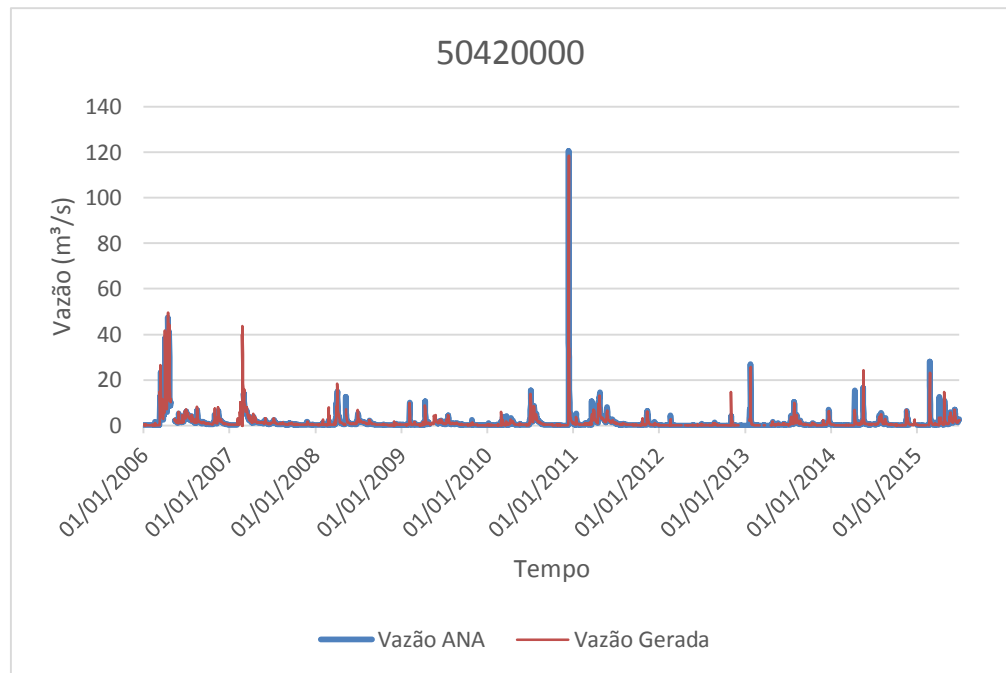


Fonte: Própria

As Figuras 39 e 40 apresentam uma comparação entre a vazão estimada proposta com a série gerada e a série histórica disponível no banco

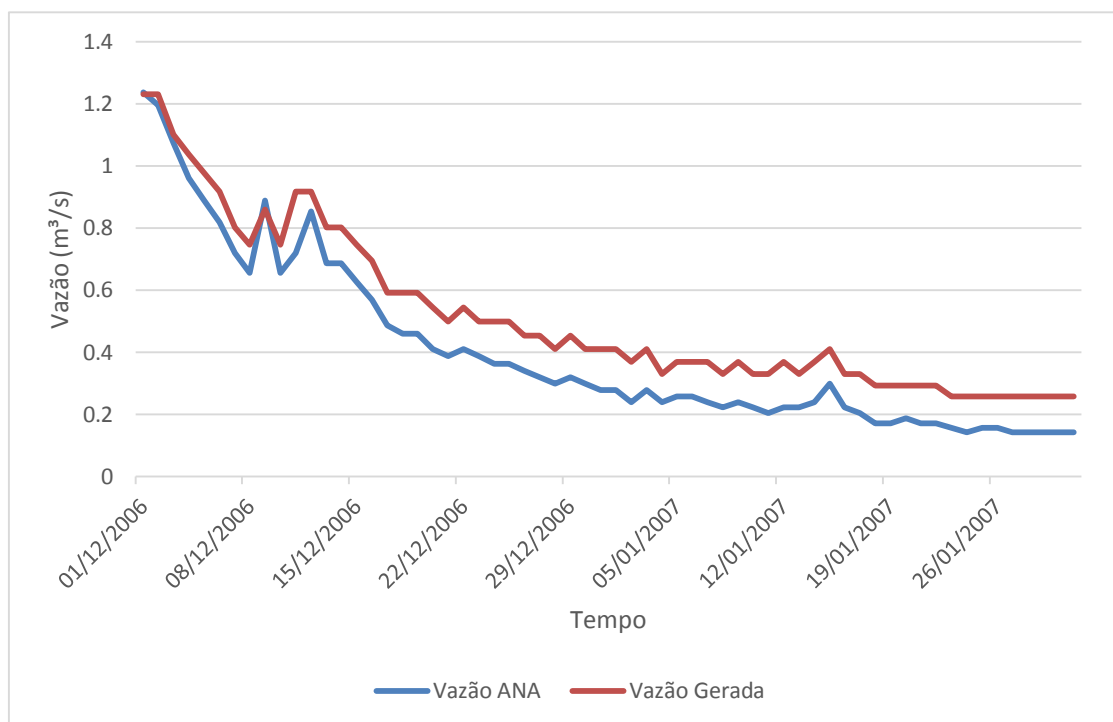
de dados da ANA. Para estação fluviométrica 50420000. As vazões geradas tem valores próximos ao da ANA em todo período mostrando revelando uma consistência na série histórica gerada. Nota-se na figura 39 uma vazão de pico próxima a 120m³/s que foi considerado inconsistente. Sendo necessário, uma avaliação dos dados que geraram esta vazão.

Figura 40 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50420000



Fonte: Própria

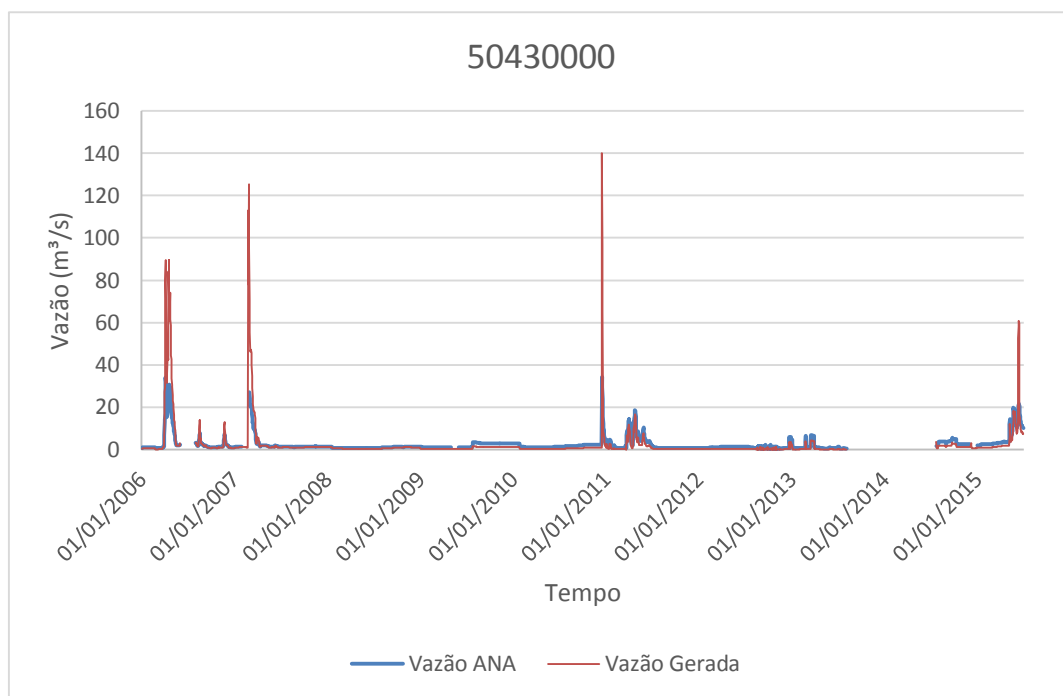
Figura 41 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50420000



Fonte: Própria

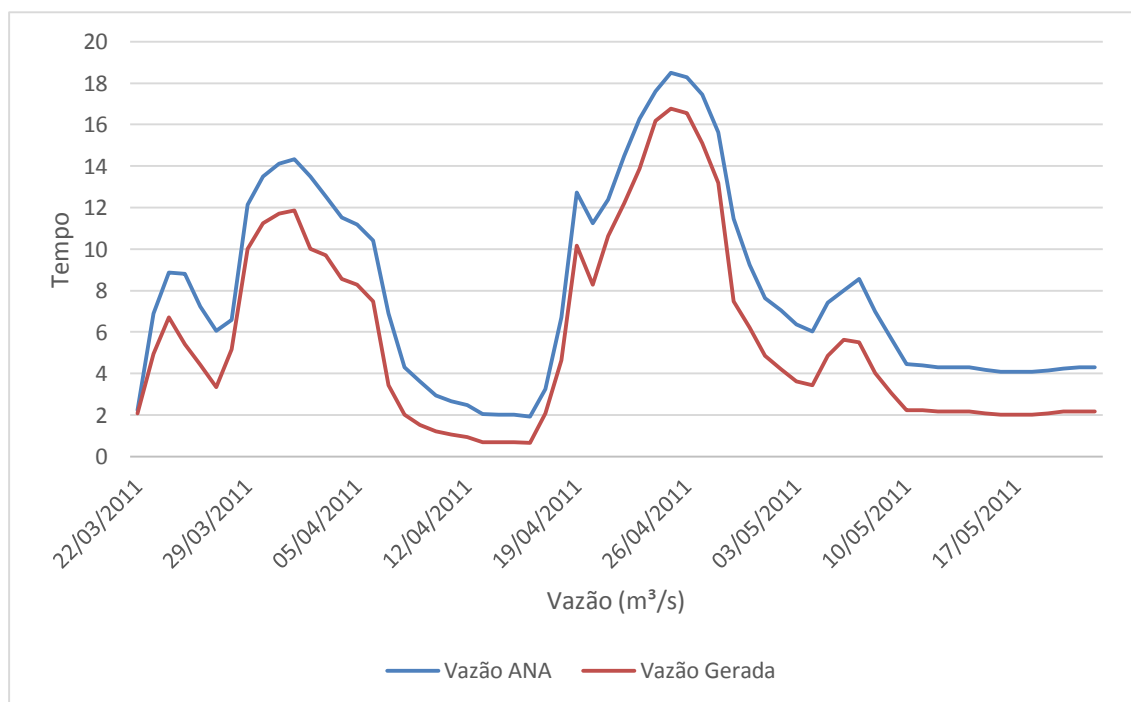
As Figuras 41 e 42 apresentam uma comparação entre a vazão estimada proposta com a série gerada e a série histórica disponível no banco de dados da ANA para estação fluviométrica 50430000. Pode-se verificar um extenso período de falhas entre os anos de 2013 e 2014. Vale ressaltar, que as vazões geradas dentro da faixa de ajuste subestima as vazões da ANA e as vazões geradas a partir da extrapolação superestima as vazões da ANA.

Figura 42 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50430000



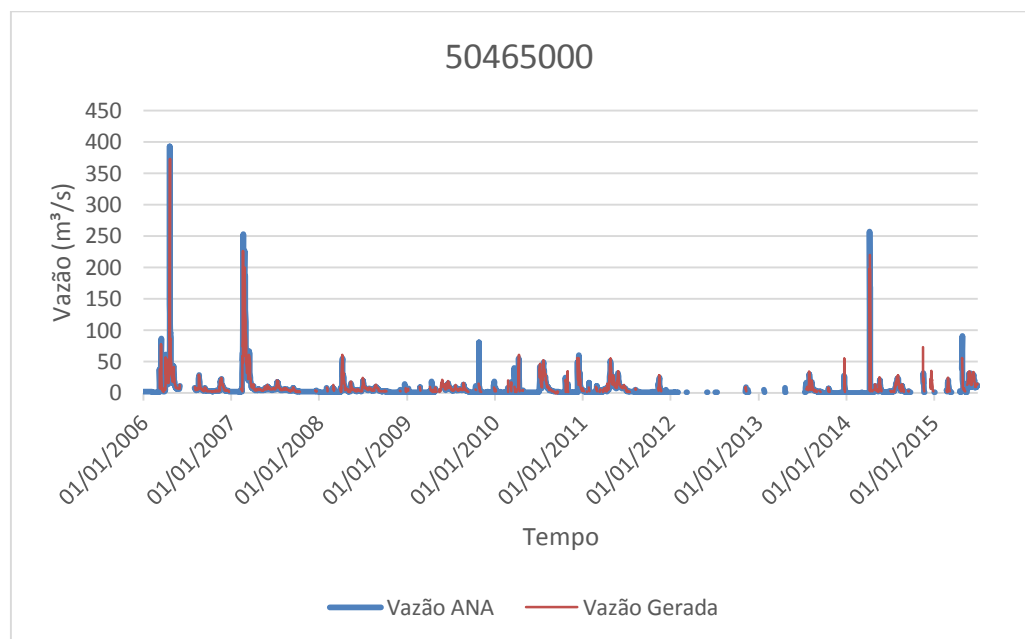
Fonte: Própria

Figura 43 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50430000



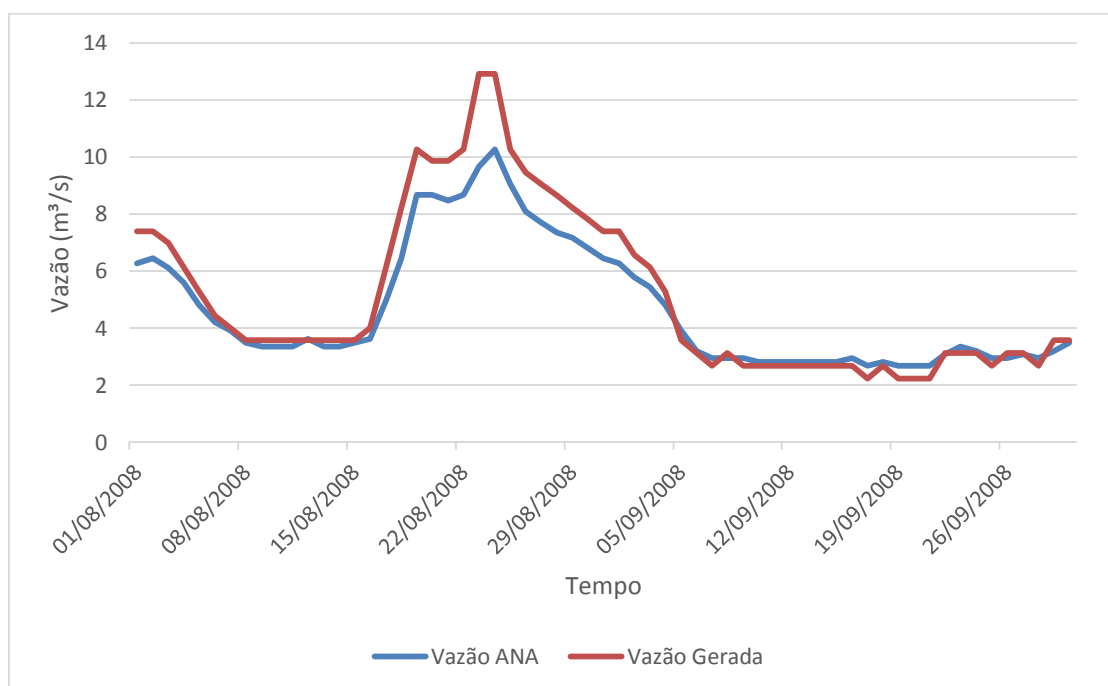
A Figuras 43 e 44 apresentam uma comparação entre a vazão estimada proposta com a série gerada e a série histórica disponível no banco de dados da ANA para estação fluviométrica 50465000. Pode-se verificar que existe diversos período de falhas principalmente nos anos de 2012 e 2013 que foi um períodos de seca e houve uma quantidade significativa de cotas mínimas (cotas abaixo da faixa de ajuste) que não houve extrapolação da parte inferior da curva-chave. Sendo indicado para esta estação uma extrapolação inferior da curva-chave

Figura 44 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50465000



Fonte: Própria

Figura 45 - Comparação entre a série gerada e a série histórica disponível no Hidroweb para o posto 50465000

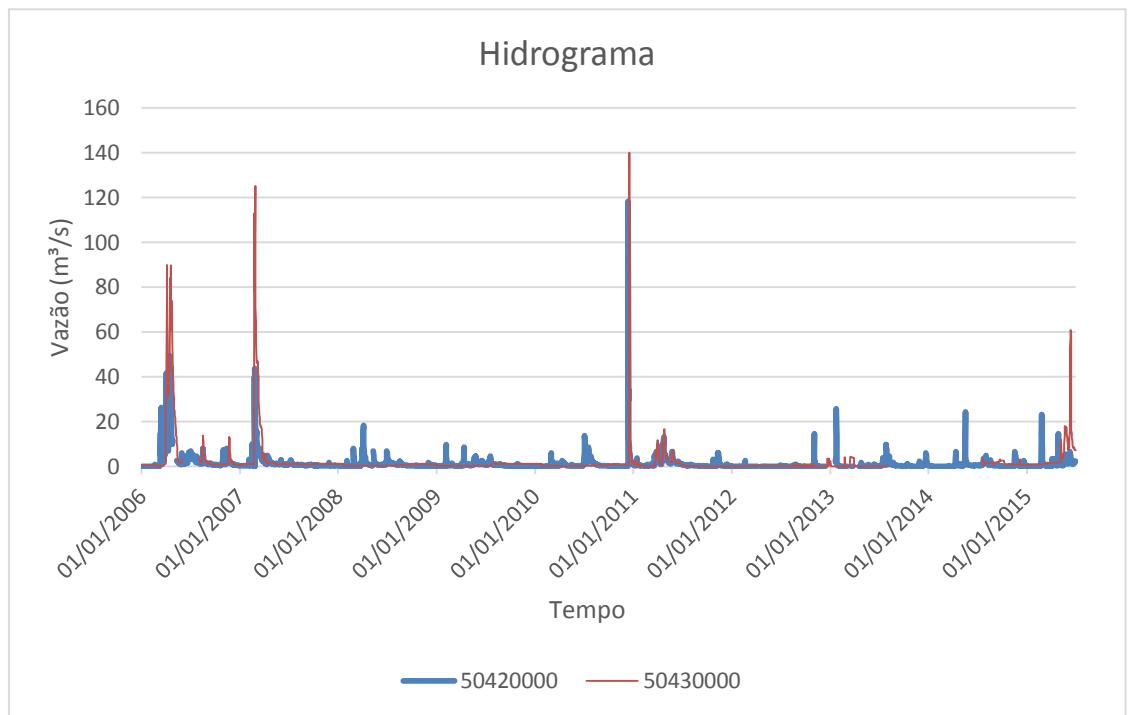


Fonte: Própria

5.6 Análise dos Hidrogramas da Série Histórica Gerada.

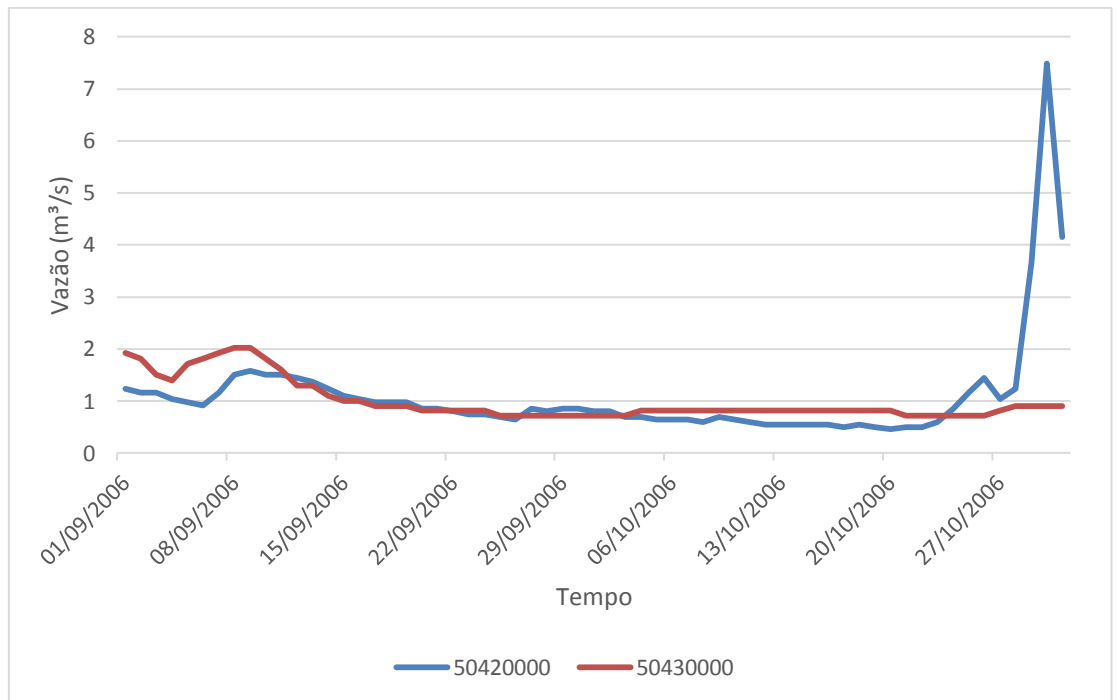
Foi gerado hidrogramas das estações fluviométrica entre as 50420000 (localizada no rio Itapicuru-Mirim montante a estação 50430000) e 50430000(localizada no rio Itapicuru-Mirim jusante a estação 50420000). Com a finalidade de observar se as vazões da estação 50430000 é maior que o posto 50420000 as figuras 44 e 45 mostra que isso não ocorre em uma parte significativa do tempo e esse comportamento pode ser justificado pela presença da barragem de pedras altas jusante a estação 50420000 e montante a estação 50430000. Uma observação importante é a regularidade da vazão na estação 50430000 que se deve ao barramento montante ao posto fluviométrico. Para uma melhor avaliação deve se comparar com as vazões defluentes da barragem de Pedras Altas.

Figura 46 - Hidrograma entre as Estações 50420000 e a Estação 50430000 para Período Entre 2006 e 2015



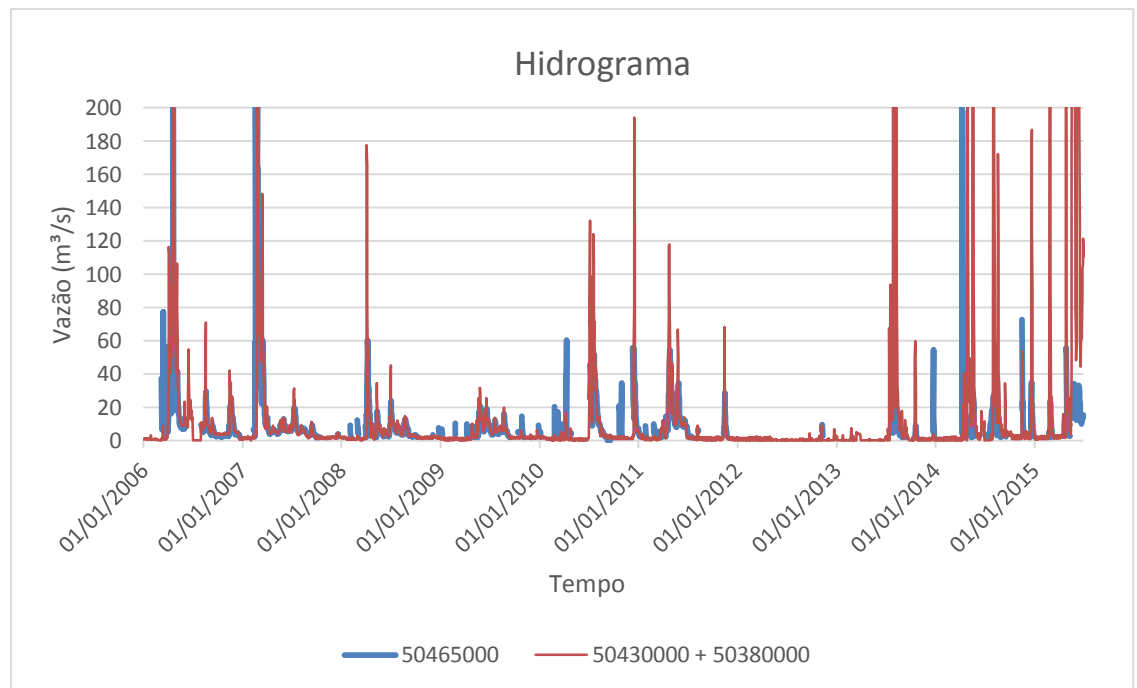
Fonte: Própria

Figura 47 - entre as Estações 50420000 e a Estação 50430000



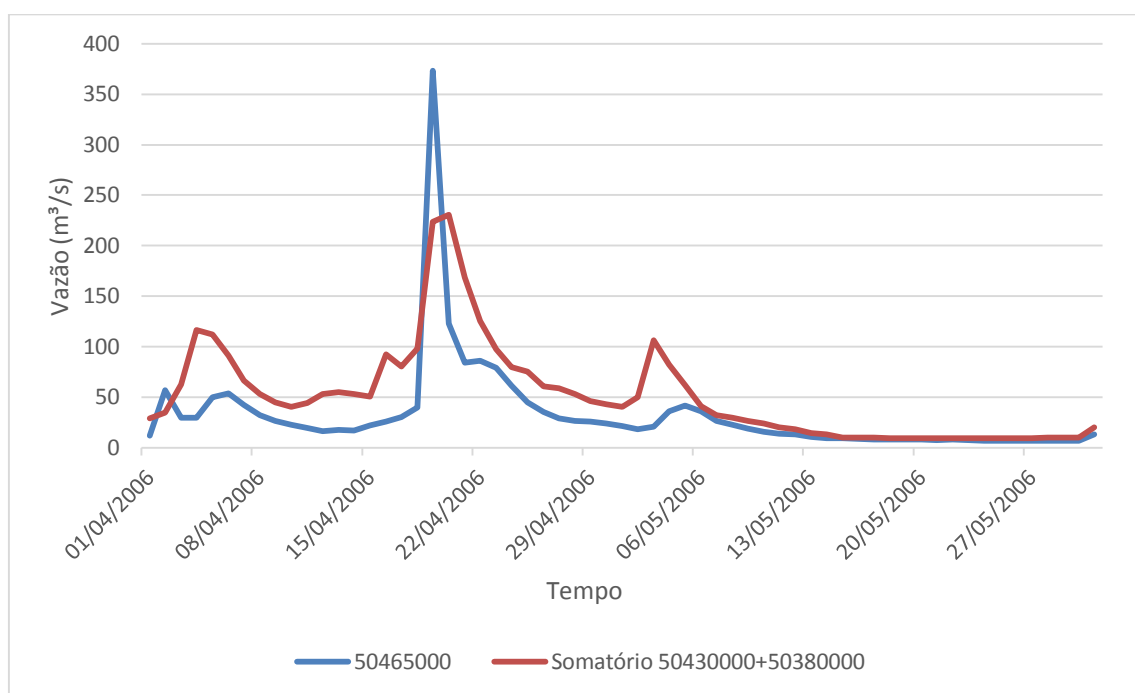
Foi gerado hidrogramas das estações fluviométrica entre as 50465000(localizado no rio Itapicuru após confluência dos rios Itapicuru-Mirim e Itapicuru-Açu) e a soma das estações 50380000 (localizado no rio Itapicuru-Açu) e 50430000 (localizado no rio Itapicuru-Mirim) com a finalidade de observar se as vazões da estação 50465000 superaram o somatório dos posto 50380000e 50430000. A figuras 46 e 47 mostram que isso não ocorre em uma parte significativa do tempo o que pode indicar uma retirada ou um barramento entre as estações. Cabe ressaltar, que existem vazões máximas na estação 50380000 que não refletem o comportamento sazonal do rio e que precisam ser estudadas mais profundamente.

Figura 48 - Hidrograma entre as Estações 50465000 e o Somatório 50380000 50430000 para Período Entre 2006 e 2015



Fonte: Própria

Figura 49 - Hidrograma entre as Estações 50465000 e o Somatório 50380000

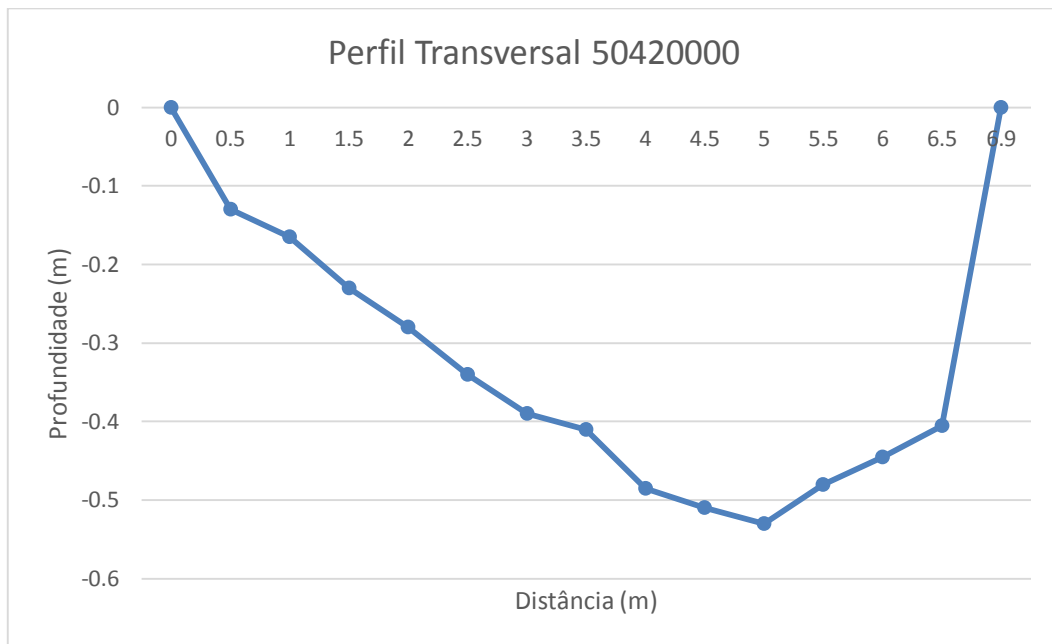


Fonte: Própria

5.7 Medição de Vazão Realizada em Campo na Estação 50420000

A figura 48 mostra o perfil transversal que foi medido e suas verticais com as respectivas profundidade que teve quinze verticais medidas com uma variação de 0.5m entre um ponto e outro. E sua profundidade máxima foi atingida na vertical número 11 atingindo 53 cm de profundidade e a largura do leito é de 6.9 m.

Figura 50 - Perfil transversal medido em campo estação 50420000



Fonte: Própria

Foi realizada uma Medição por técnicos da CPRM uma medição que foi incluída no Hidroweb que verificou que a vazão do neste trecho do rio era $1,46\text{m}^3/\text{s}$ e de acordo com a curva de calibragem da ANA a vazão estimada seria $1,113\text{m}^3/\text{s}$ existindo um desvio relativo de +31.2% maior que 10%. Sendo necessária uma nova medição para confirmação da vazão. O técnico da ANA informou que a última revisão da curva de calibragem havia ocorrido em 2007 justificando o elevado valor do desvio relativo médio e confirmando a necessidade de alteração na curva de calibragem da estação fluviométrica 50420000.

Em seguida foi feita uma medição própria com auxílio da CPRM pelo método do molinete realizando medições de velocidade a cada 1 metro e os valores estão na tabela 22 com a soma das vazões parciais foi calculado a vazão de $1.45\text{m}^3/\text{s}$ próxima a vazão medida pela CPRM de $1.46\text{m}^3/\text{s}$ comprovando a eficiência do método e o valor da vazão na seção transversal.

Tabela 22 - Medidas Realizadas em Campo na Estação 50420000

onto	(m)	(m)	Ve locidade (m/s)	Áreas Parciais (m ²)	Somatório áreas parciais (m ²)	Vazões Parciais(m ³ /s)
			0			
	.5	.13		0.0325		
		.165	0. 47	0.07375	0.205	0.09635
	.5	.23		0.09875		
		.28	0. 69	0.1275	0.2825	0.10695
	.5	.34		0.155		
		.39	0. 76	0.1825	0.3825	0.2907
	.5	.41		0.2		
		.485	0. 76	0.22375	0.4725	0.3591
0	.5	0.51		0.24875		
1		0.53	0. 7	0.26	0.5125	0.35875
2	.5	0.48		0.2525		
3		0.445	0. 46	0.23125	0.52475	0.241385
4	.5	0.405		0.2125		
5	.9			0.081		
		édia	0. 64		Vazão Final	1.453235

Fonte: Própria

A vazão calculada tem um desvio relativo de 22.06 % em relação a vazão medida. Esse desvio acima do aceitável para esta cota ocorre devido ao ajuste da curva-chave que para manter um desvio relativo médio menor que 10% subestimou as vazões maiores a figura 27 mostra esse cenário.

Entretanto, visualizando as figuras 39 e 40 de comparação com as vazões geradas. Verifica-se, que as curvas geradas para o período superam os valores brutos disponíveis no banco de dados da Hidroweb podendo ser observado também na tabela 23.

Tabela 23 - Valores das Vazões medidas e estimadas para o dia 26/08/2015

Responsável	DAT A	Cota	Vazão Medida	Vazão Calculada
CPR M	26/0 8/2015	57 cm	1.46m ³ / s	1.11 m ³ /S
Própria	26/0 8/2015	57 cm	1.45m ³ / s	1.13m ³ /s

Fonte: Própria

5.8 Avaliação do Traçado e extrapolação da Curva-Chave para auxiliar a informação sobre recursos hídricos.

A curva-chave tem uma relevância em diversos aspectos da gestão e do planejamento dos recursos hídricos. Existindo a necessidade de bons ajustes da curvas de calibragem para as vazões geradas serem mais próximas das vazões reais e conseqüentemente refletir o comportamento real da bacia. Para que isto ocorra existe a necessidade de obtenção de dados consistentes que foi uma dificuldade encontrada para os traçados das curvas-chave. Um outro aspecto importante é a necessidade de medições em eventos extremos de cheias e secas para uma melhor calibragem das extrapolações.

Vale salientar, que a curva-chave é uma ferramenta importante de geração de dados de vazão. Um valor de vazão alto e sem consistência pode alterar de forma significativa os valores da vazão de referência que é base para diversas tomadas de decisões do plano de bacia como outorga e enquadramento. Levando a decisões equivocadas que podem não refletir as necessidades da bacia hidrográfica e o uso racional dos recursos hídricos.

Diante da importância desse procedimento é necessário ter disponível a curva-chave e os dados de ajuste que geraram a curva de calibragem pelo órgão gestor. Com a falta de informação mais detalhada e dúvidas na confiabilidade da informação disponível. Apenas o órgão responsável pelas medições estão aptos a estimar vazão.

Diante dos resultados obtidos verifica-se a necessidade de procedimentos criteriosos e consistente na geração da curva-chave. Uma vez que ajustar uma curva de calibragem não é um processo trivial e sim um procedimento complexo que envolve dúvidas e incertezas que se acumulam durante as etapas.

Vale ressaltar que a escolha do método aplicado e a consistência dos dados utilizados é de fundamental importância para um ajuste adequado da curva-chave.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho apresenta uma aplicação do traçado e extrapolação de curvas-chave pelos métodos de potência e Stevens, respectivamente. O principal objetivo desse estudo foi gerar uma série histórica de vazão a partir de uma curva-chave proposta e avaliar a consistência dos dados de vazão gerados.

O estudo dos perfis transversais revelou em todas as estações uma variação da calha do rio ao longo do tempo confirmando a necessidade de revisões periódicas das curvas-chave geradas com a finalidade de uma estimativa de vazão com um grau de precisão maior.

Observou-se nas estações 50380000, 50420000 e 50430000 uma correspondência entre os períodos chuvosos e o crescimento das cotas demonstrando uma correlação entre os dados, sinalizando uma boa consistência dos dados levantando no Hidroweb.

Foi averiguado através da avaliação da consistência dos dados da série histórica da ANA pelo método proposto por Tucci (2007) que não existe a necessidade de extrapolação da parte inferior da curva-chave. Todavia, na estação fluviométrica 50465000 foi constatado uma quantidade significativa de dados de vazão mínima principalmente no período entre 2012 e 2013 sendo sugerido a extrapolação da parte inferior da curva-chave para esta estação.

Analisando a consistência dos dados de vazão e cota máxima pela metodologia proposta por Tucci (2007) verifica-se uma necessidade de extrapolações da parte superior da curva-chave. Sendo sugerido medições em eventos extremos de cheia para uma estimativa mais precisa de cotas máximas.

Uma constatação importante é a presença de dados duvidosos nas séries histórica da ANA, sendo sugerido uma avaliações mais precisas das mesmas.

Verificou-se que o método de potência gerou uma série histórica de vazão com uma consistência adequada, entretanto, para extrapolações na faixa superior de vazões o método demonstrou ser inadequado.

Não existe a possibilidade de verificação dos erros nas extrapolações aumentando o grau de incerteza, reforçando a necessidade de medições de eventos de cheia com a finalidade de verificação se as estimativas geradas pelo método está com uma calibração adequada.

A Vazão gerada em sua maior parte mostrou-se e próximas as vazões do Hidroweb mostrando uma consistência nos dados de vazão gerados. Vale ressaltar, que para vazões máximas na estação 50380000 que o erro absoluto entre as vazões geradas e as vazões da ANA foram elevados sendo necessário estudos mais aprofundados para uma melhor avaliação da extrapolação da curva de calibragem.

Os Hidrogramas gerados a partir das curvas-chave calculadas demonstraram uma coerência. Vale destacar que em alguns períodos houve uma incoerência com as vazões montantes superiores as vazões jusantes. Recomenda-se um estudo mais profundo para verificação do traçado ou se há um motivo externo para esta incoerência em como um barramento ou uma retirada.

Os resultados apresentados podem fornecer informação contribuindo para o melhor desenvolvimento do SISRH e conseqüentemente contribuir para estudos hidrológicos e de gestão e planejamento dos recursos hídricos na bacia do rio Itapicuru. Assim como subsidiar definições de vazões de referência, necessárias para implantação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, como enquadramento, outorga e o Plano Nacional de Recursos Hídricos.

REFERÊNCIABIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). In: Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 10 Jan. 2015.

BAHIA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia - PERH. Relatório síntese, Rel. Téc., Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia, Salvador-Bahia. 2004;

BRASIL, Lei Federal N. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Síntese executiva, Brasília, 2006.

BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente, Agência Nacional de Águas (ANA). Cadernos de Capacitação em Recursos hídricos; Planos de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água. V.5 Brasília, 2013.

BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente, Agência Nacional de Águas (ANA). Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios, Brasília 2009.

CARVALHO T.M. Técnicas de Medições de Vazões por meio Convencionais e Não Convencionais. Revista Brasileira de Geografia Física, Vol 01 n.01 Recife – Pernambuco, 2008.

CIDREIRA, M. A. S. Efeito Do Fundo Móvel Em Medições Acústicas De Vazão No Trecho Sub Médio Do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Meio Ambiente, Água e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

CRUZ, G. R. Simulação da sazonalidade natural do rio Itapicuru. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas. 2013.

Fontes, A. S. Relatório: Viagem de Campo Projeto – Avaliação do Impacto Hidrológico de Grandes Barragens no Estado da Bahia. Cruz das Almas, 2015.

GRISON, F.; KOBIYAMA M. Erros e Incertezas na Estima de Vazões e no Traçado de Curva-Chave in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande – Mato Grosso do Sul, 22 a 26 de novembro de 2009.

JACCON, G.; CUDO, K.J. (1989). Curva-chave: análise e traçado, Brasília, DNAEE.

LIMA. G.; Análise de Incertezas de Observações Hidrológicas e sua Influência na Modelagem de Pequenas Bacias Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 12 n. 1 p. 107-116, Jan/Mar 2007

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo De Perfis De Estações 12Atributos Hidráulicos. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, 2014

MELO C. R.; SILVA J.F.R. Curso de Avaliações das Vazões Brutas, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Brasília 2013

RODRIGUES, N. C.; MARQUES; T. D.; SOUSA A. S. Estudo De Curva-Chave Para Definição De Vazão Do Rio Itapicuru-Mirim (BA). In Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal – Rio Grande do Norte, 04 a 07 de novembro de 2014.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F.C. Hidrometria Aplicada. Curitiba - Pr: Lactec, 2001.

SEFIONE, A. L. (2002). Estudo Comparativo de Métodos de Extrapolação Superior de Curvas-Chave. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SETTI, A. A. ET AL. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANEEL/ANA/OMM, 2^o edição, 2001.

SILVA, J. A. S.; REIS, C. H. Sistema de Informação Sobre Recursos Hídricos no Brasil. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 4, n. 2, p. 139-153, jul/dez. 2010

SILVA, M. G. DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DA VAZÃO DO RIO POXIM, SERGIPE.

TUCCI, M. C. E. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 4ª Edição, 2007

VELASCO, D. W.; COOK, M. J. Medição De Velocidade Do Escoamento Em Rios E Sua Aplicação Em Sistemas De Alerta. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió 2011