



# **REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

**ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE VAZÕES MÁXIMAS E A  
DEFINIÇÃO DAS COTAS PARA INSTALAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS AUTOMÁTICOS NA  
REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL DE REFERÊNCIA (RHNR)**

**Rio: Piranji  
Estação Fluviométrica: Catende  
Código: 39550000  
Município: Catende-PE**

**Recife  
2025**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

PROGRAMA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES

Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e  
Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

---

# **PROJETO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE VAZÕES MÁXIMAS E A DEFINIÇÃO  
DAS COTAS PARA INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS  
AUTOMÁTICOS NA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL DE  
REFERÊNCIA (RHNR)

Rio: Piranji

Estação Fluviométrica: Catende

Código: 39550000

Município: Catende - PE

---

Múcio Valença Virões

Eber José de Andrade Pinto



Recife  
2025

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **MINISTRO DE ESTADO**

Alexandre Silveira de Oliveira

### **SECRETARIA NACIONAL DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Ana Paula Bitencourt

### **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB**

#### **DIRETORIA EXECUTIVA**

##### **Diretor Presidente**

Francisco Valdir Silveira (interino)

##### **Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

##### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Francisco Valdir Silveira

##### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Alice Silva de Castilho (interina)

##### **Diretor de Administração e Finanças**

Alice Silva de Castilho (interina)

#### **COORDENAÇÃO TÉCNICA**

##### **Chefe do Departamento de Hidrologia**

Andrea de Oliveira Germano

##### **Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Emanuel Duarte Silva

Achiles Monteiro (*in memoriam*)

##### **Chefe do Departamento de Gestão Territorial**

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

##### **Chefe da Divisão de Geologia Aplicada**

Tiago Antonelli

##### **Coordenação Executiva do DEHID - Projeto Regionalização de Vazões**

Eber José de Andrade Pinto

#### **SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE RECIFE**

##### **Superintendente**

*Hortência Maria Barboza de Assis*

##### **Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial**

*Robson de Carlo da Silva*

##### **Gerente de Geologia e Recursos Minerais**

*Felipe José da Cruz Lima*

##### **Gerente de Infraestrutura Geocientífica**

*Douglas Silva Luna*

##### **Gerente de Administração e Finanças**

*Omar Jose Evangelista de Barros*

**REALIZAÇÃO**

Superintendência Regional de Recife

**AUTORES**

Múcio Valença Virões

Eber José de Andrade Pinto

**EQUIPE EXECUTORA**

Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo – SUREG/PA

Múcio Valença Virões – SUREG/RE

Paula Krsthina Cordeiro Freire – REFO

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPA**

Janaína Marise França de Araújo – SUREG/RE

**NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA**

Nelma Fabrícia da P. Ribeiro Botelho – SUREG/RE

Ficha Catalográfica  
Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

V813p Virões, Múcio Valença.

Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: análise de frequência de vazões máximas e a definição das cotas para instalação de equipamentos automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR): rio: Piranji, estação fluviométrica: Catende, código: 39550000, município: Catende - PE / Múcio Valença Virões, Eber José de Andrade Pinto. – Recife: Serviço Geológico do Brasil, 2025.

1 recurso eletrônico: PDF

Programa Gestão de Riscos e de Desastres.

Ação levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos hidrológicos críticos.

ISBN 978-65-5664-584-1

1. Hidrologia. 2. Vazões naturais. 3. Bacias hidrográficas. I. Pinto, Eber José de Andrade Pinto. II. Título.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nelma Botelho CRB-4 2341

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – SGB

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - SGB

[www.sgb.gov.br](http://www.sgb.gov.br)

<https://rigeo.sgb.gov.br>

[seus@sgb.gov.br](mailto:seus@sgb.gov.br)

## APRESENTAÇÃO

O projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras é uma iniciativa dentro do programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres que tem por objetivo ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade hídrica no território nacional, bem como, sobre a frequência de ocorrência das vazões e/ou das cotas.

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, o conhecimento da frequência é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola, abastecimento público e na adoção de políticas públicas.

Dentre os objetivos da ação dos Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos, destaca-se a realização de estudos de análise de frequência local das séries históricas de vazões máximas ou cotas máximas das estações fluviométricas.

A análise de frequência possibilita a determinação das vazões máximas ou cotas máximas associadas a uma probabilidade de ser igualda ou superada. Os resultados da análise, ou seja, os quantis, serão utilizados como valores de projeto no dimensionamento de diversas estruturas hidráulicas ou de aproveitamento dos recursos hídricos. Esta análise estatística também pode ser utilizada de forma inversa, ou seja, estimar a frequência de um evento de cheia ocorrido, definindo se o evento foi raro ou ordinário. Tipo de informação que é bastante útil para sistemas de alerta de cheias que poderão divulgar, além das previsões e dos valores observados, a raridade do evento acompanhado.

Este estudo apresenta os resultados da análise de frequência das vazões máximas observadas e a recomendação de cotas (níveis) para instalação de equipamentos automáticos no rio Piranji especificamente na estação fluviométrica Catende, código: 39550000. Esta estação fluviométrica faz parte Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) e constitui um ponto de acompanhamento das vazões e cotas nesta região, no Estado de Pernambuco.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	06
2 METODOLOGIA .....	11
2.1 Análise de Frequência Local .....	11
2.2 Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência .....	13
3 RESULTADOS .....	17
3.1 Análise de Frequência Local .....	17
3.2 Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência .....	18
4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	21
REFERÊNCIAS .....	23
ANEXO I – Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica.....	25
ANEXO II – Distribuições de Gumbel e Log-normal.....	29
ANEXO III – Dados utilizados, curvas chave e as estatísticas.....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização das estações fluviométricas da RHNR. ....	07
Figura 02 – Localização da estação fluviométrica de Catende. ....	08
Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Catende. ....	10
Figura 04 – Ajuste das distribuições empírica e teórica. ....	17
Figura 05 – Cota mínima de instalação de equipamentos. ....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Vazões em $m^3/s$ . ....	13
Tabela 02 – Riscos Hidrológicos. ....	15
Tabela 03 – Probabilidade de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de $T$ anos em $n$ anos de vida útil. ....	15
Tabela 04 – Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR. ....	16
Tabela 05 – Vazões associadas a diferentes tempos de retorno ( $m^3/s$ ).....	18
Tabela 06 – Cotas para instalação dos equipamentos da estação fluviométrica...	19

## 1 – INTRODUÇÃO

O estudo das águas superficiais é fundamental para adequada gestão dos recursos hídricos. Para que isto ocorra se faz necessário a implantação de uma rede de monitoramento hidrológico que seja eficiente e capaz de fornecer informações necessárias aos usos múltiplos das águas fluviais.

Conforme Maranhão e Pereira (2017), as primeiras iniciativas institucionais do estabelecimento da Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN, início do século XX, ocorrem através do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalando as primeiras estações no Brasil. Em 1934 o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) estende a atuação hidrológica pelo país. Em 1960 é criado o Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE) que recebe, entre suas atribuições, as atividades de hidrologia nacional. Porém em 1969, com novas competências relacionadas ao setor elétrico, passa a se chamar Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Também neste ano surge a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), através do Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969, absorvendo a atividade de manutenção e operação da RHN sob responsabilidade do DNAEE. Em 28 de dezembro de 1994, pela Lei nº 8.970, a CPRM passa a ser uma empresa pública, com funções de Serviço Geológico do Brasil (SGB).

Assim nasce a parceria entre a Agência Nacional de Águas (ANA), criada através da Lei nº 9.984/2000, art.4, inciso 13, e o Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), principal parceiro no planejamento, gerenciamento e operação da RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional, através do Acordo de Cooperação Técnica – ACT nº 003/2014, com o intuito de revitalizar a capacitação técnica dos profissionais envolvidos e revisar a rede de monitoramento existente no Brasil.

Em agosto de 2015, ANA e SGB/CPRM firmaram um Memorando de Entendimento com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, *United States Geological Survey*) dedicado à capacitação técnica dos seus profissionais. E a partir deste evento, foi definido pelos especialistas envolvidos a revisão da rede existente, construindo uma Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RHNR para atender com excelência as demandas da gestão de recursos hídricos brasileira, promovendo dados confiáveis e representativos. Esta rede deverá atender os interesses da União a partir de 06 objetivos gerais: Transferência e compartilhamento Interestaduais e Internacionais, eventos hidrológicos críticos, balanços e disponibilidades hídricas, mudanças e tendências de longo prazo, qualidade da água e regulação dos recursos hídricos.

A localização das 33 estações fluviométricas que compunham a RHNR em 2022 sob a responsabilidade da Superintendência Regional do Recife (SUREG-RE) está apresentada na Figura 01.



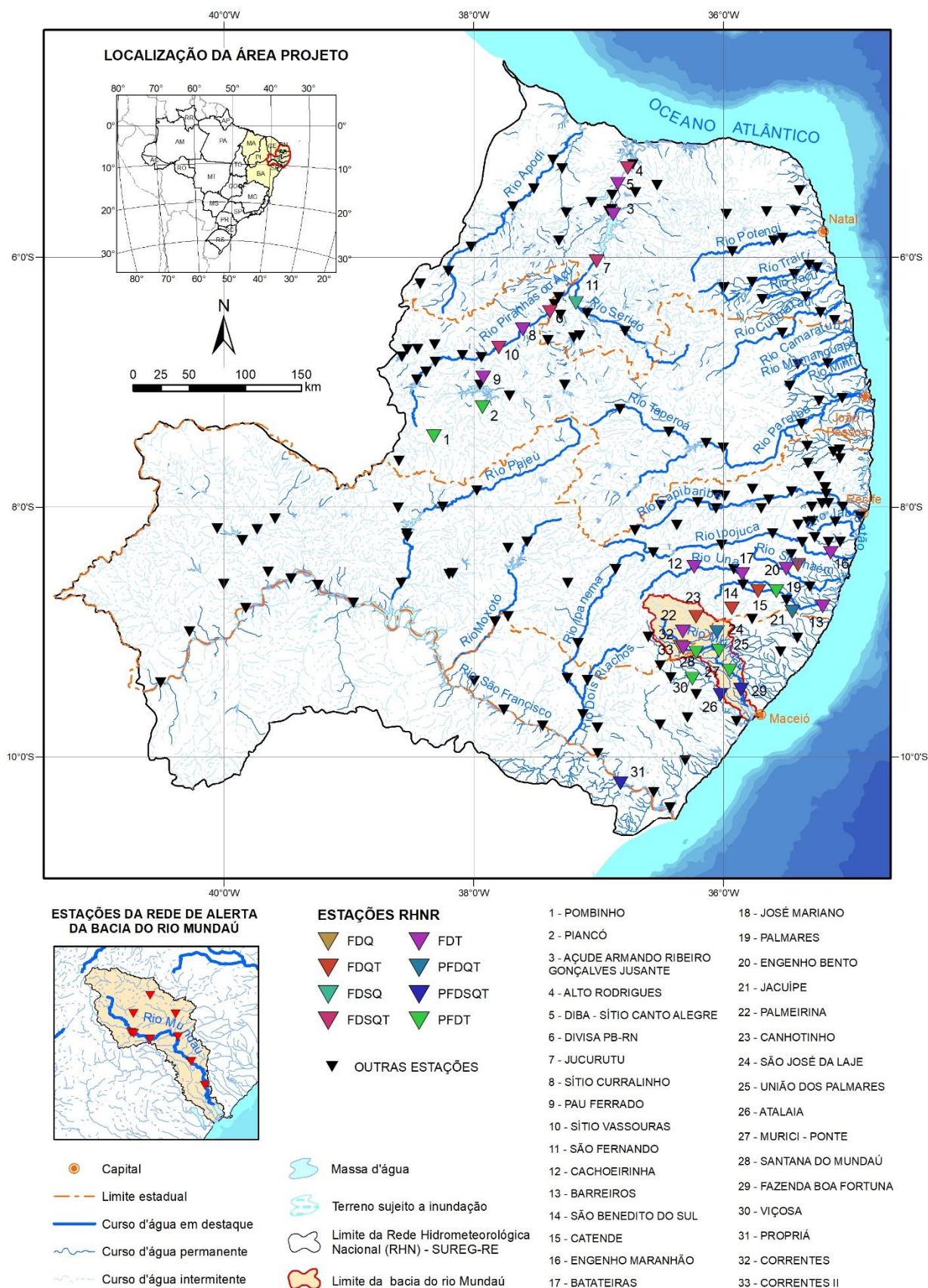


Figura 01 – Localização das estações fluviométricas da RHNR em 2022. Fonte: elaborado pela equipe do projeto.



A estação de Catende, código: 39550000, está localizada na Latitude 08°40'43"S e Longitude 35°43'26"O, no rio Piranji, e possui uma área de drenagem de 718,00 km². Com 72 km de extensão, o rio Piranji nasce no povoado de Pau de Ferro, município de Quipapá-PE. Perpassa as cidades pernambucanas de São Benedito do Sul, Maraial, Jaqueira, Catende, e deságua no rio Una, em Palmares-PE. Seu principal afluente é o rio Pannels, que deságua no município de Catende. A estação fluviométrica está instalada na rodovia PE-120, 40 metros à montante da ponte sobre o rio Piranji, margem esquerda do rio, com seção de medição na ponte. PI na margem esquerda e PF na margem direita, distanciados entre si em 75,65 m. A Figura 02 ilustra a localização da estação de Catende.

Desde setembro de 1999 existem réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias pelo observador dos níveis do rio Piranji, as 07 e as 17 h.

Nesta estação, desde abril de 2011, estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Piranji.

Ao longo do histórico da estação não houve mudança da cota do zero da régua, ou seja, não foram acrescidos 100 cm ou outro valor as cotas da estação. Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva que consta do Anexo 01.

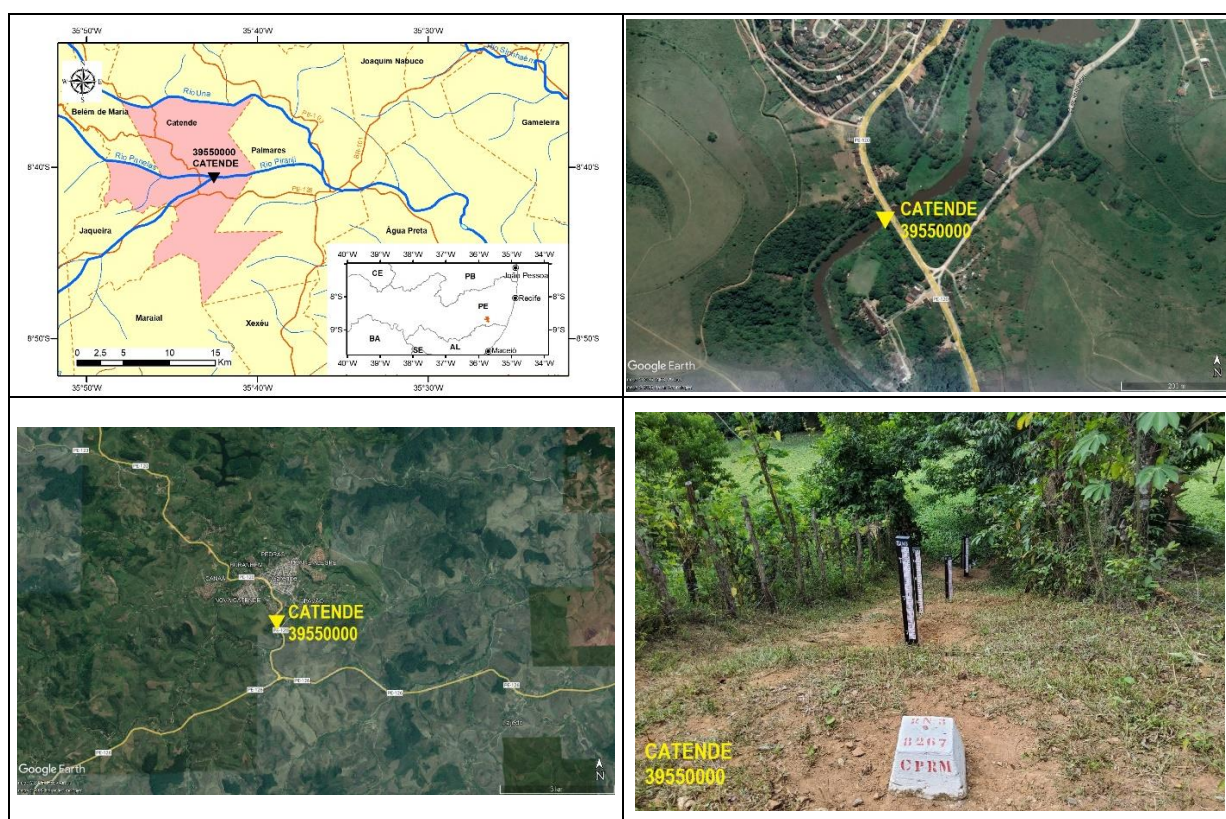


Figura 02 – Localização da estação fluviométrica de Catende. Fonte: Equipe do projeto, Google Earth (2025) e arquivo fotográfico do Projeto da RHN.

A Figura 03 apresenta o perfil da seção transversal na seção de réguas da estação. Esta figura apresenta as medições simultâneas de vazões e cotas realizadas entre junho/2000 e setembro/2022 e a máxima cota observada na série de cotas máximas anuais (730 cm 28/05/2017).

A diferença entre a máxima cota observada nas réguas, 730 cm, e a máxima cota com vazão medida (94,4 m<sup>3</sup>/s na cota 413 cm) é de 317 cm. No Anexo III observa-se que a série de cotas máximas por ano hidrológico (abril-março) apresenta 20 valores máximos, sendo 11 superiores a 413 cm (cota da vazão máxima medida). A razão entre a cota máxima observada e a cota máxima com medição de vazão é 1,77 (730 cm / 413 cm). Segundo Tucci (2002), a melhor curva-chave, aquela com menor extrapolação do ramo superior, possui a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25. Na Figura 03 também se observa baixa densidade de medições de vazões acima de 45,1 m<sup>3</sup>/s (348 cm). A seção de medição está localizada à jusante próxima à seção de réguas, como está apresentado na ficha descritiva da estação no Anexo I. A estação apresenta área de drenagem de 718,00 km<sup>2</sup>.

As características mencionadas no parágrafo anterior criam dificuldades a extrapolação do ramo superior da curva-chave e ampliam a incerteza na estimativa das vazões a partir das cotas superiores a 413 cm. Todavia, é necessário mencionar que as medições de vazões em cotas altas envolvem riscos à segurança dos técnicos que podem inviabilizar a realização do trabalho e, além disso, a frequência de ocorrência de grandes cheias pode ser baixa.

A análise de frequência foi realizada com a série de vazões máximas por ano hidrológico, pois as estações da RHNR podem sofrer deslocamentos para uma outra posição posteriormente. A reinstalação de réguas em outra seção, afastada do original, pode modificar a relação entre cota e vazão no ramo superior, afetando a análise de frequência de cotas máximas.

No entanto é importante frisar que tais modificações não afetarão a análise de frequência de vazões deste estudo, se estas alterações não gerarem significativos incrementos ou decréscimos na área de drenagem da estação associadas a grandes variações de vazões para um mesmo evento hidrológico, ou ainda outras modificações impactantes nas condições hidrológicas atual da estação. Nestes casos de modificações significativas se tratará de uma nova estação, o que demandará uma nova série histórica para um novo estudo de análise de frequência de máximas.

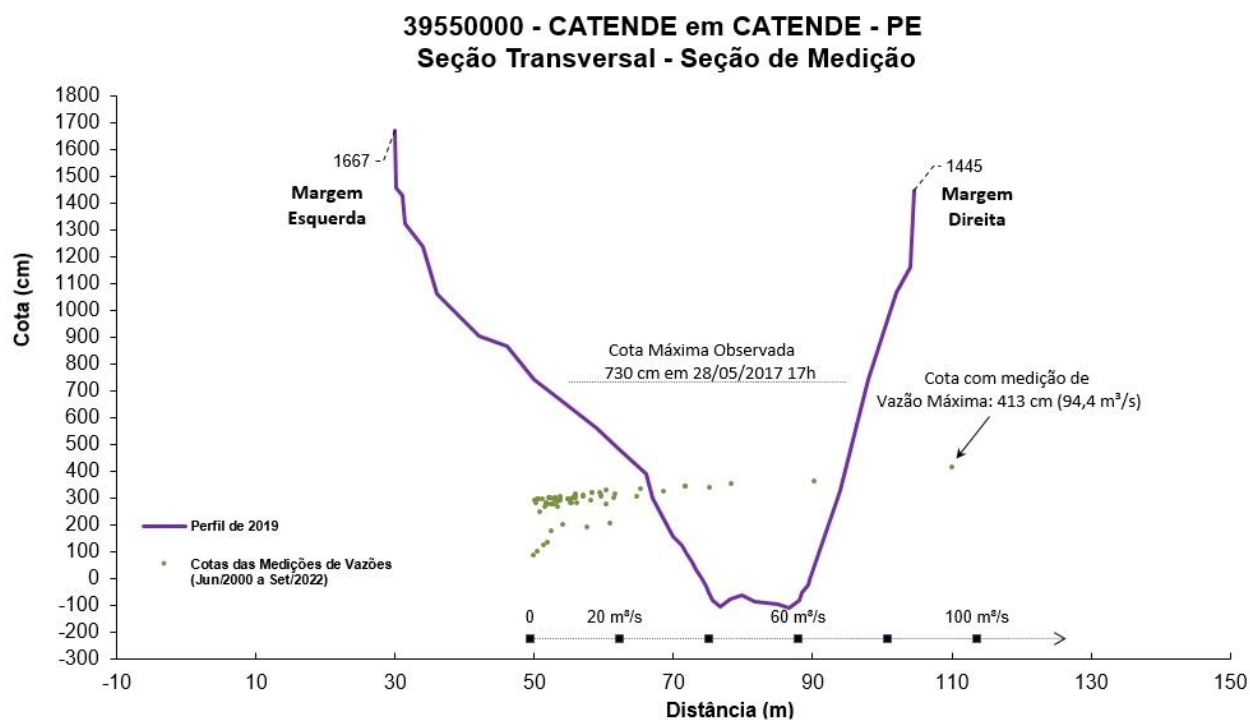


Figura 03 – Perfil da seção transversal da seção de réguas de Catende. Fonte: elaborado pelos autores.

## 2 – METODOLOGIA

### 2.1 – Análise de Frequência Local

A análise estatística deve ser realizada utilizando séries históricas representativas do processo analisado, sem a presença de erros acidentais ou sistemáticos e possuindo um número mínimo de elementos para garantir uma boa confiabilidade nas extrapolações. É recomendável o emprego de séries com pelo menos 30 anos hidrológicos ou civil e aceitável no mínimo 15 anos hidrológicos ou civil.

Considerando Pinto (2013) e Naghettini e Pinto (2007), foram definidas as seguintes etapas para análise de frequência local de máximos por ano hidrológico ou civil:

- Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas ou vazões máximas por ano hidrológico ou civil.

Na etapa de consistência procura-se identificar problemas com os registros de cotas ou vazões que poderiam desacreditar as informações. Para tanto podem ser realizados métodos consagrados no meio técnico, como por exemplo, verificar se há mudança do zero da régua (mudança de referência); verificar a presença de erro de metro nas cotas; verificar a presença de erro de 1/2 metro nas cotas; verificar a presença de erro de digitação; comparar a cota máxima com a cota média diária; avaliar o comportamento dos cotagramas das estações de montante e jusante; verificar as cotas máximas da série disponível nos bancos de dados com os boletins de campo; avaliar os dados que estão como duvidosos ou estimados; avaliar o preenchimento de falhas (média, linígrafo e PCD); verificar as medições de vazões; analisar as curvas-chaves; verificar a continuidades das vazões etc.

- Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*)

A presença de valores atípicos (superiores e inferiores) é avaliada com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ (Naghettini; Pinto, 2007, p. 39), e com o teste de Grubbs e Beck (Naghettini; Pinto, 2007, p. 287). O valor atípico pode ter origem em erros de medição ou de processamento, mas, também pode ser o produto de causas naturais indeterminadas. Se for identificado que o valor atípico é inconsistente, este deve ser excluído da amostra. Em caso de presença de *outliers* realmente observados deve-se avaliar a manutenção ou retirada destes pontos amostrais atípicos. Pois, a presença de pontos atípicos em uma dada amostra, pode afetar drasticamente o ajuste da distribuição de probabilidades.

- Avaliar a independência, a homogeneidade e a estacionariedade das séries.

A independência dos valores de uma série significa que nenhuma observação pode influenciar a ocorrência, ou não ocorrência, da observação seguinte. No projeto de Regionalização de Vazões do Brasil a hipótese de independência é avaliada com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943). A descrição detalhada deste teste é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 264).



Uma amostra é considerada homogênea quando todos os elementos provêm de uma única e idêntica população. A recomendação é avaliar a homogeneidade da série por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947), o qual está descrito em detalhes em Naghettini e Pinto (2007, p. 265).

A estacionariedade de uma série, de um ponto de vista intuitivo, está associada a não alteração das características estatísticas ao longo do tempo o que significa a não existência de tendências, saltos e outras propriedades. Nos trabalhos da Regionalização a verificação da estacionariedade das séries é efetuada pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).

- Estimar a distribuição empírica.

A estimativa da distribuição empírica é realizada com ordenação decrescente da série e o cálculo da posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos por ano hidrológico ou civil temos  $P(P > p) = m/(N + 1)$ , onde  $m$  é número de ordem e  $N$  o tamanho de amostra.

- Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das vazões ou cotas máximas por ano hidrológico ou civil.

A definição da distribuição teórica de probabilidade é de suma importância, pois valores calculados para um mesmo período de retorno podem apresentar grandes variações quando estimados por diferentes distribuições. Nos estudos de análise de frequência local de máximos por ano hidrológico ou civil do projeto de Regionalização são adotadas as distribuições candidatas de 02 parâmetros conforme recomendação de Hosking e Wallis (1997). As distribuições candidatas são as distribuições de Gumbel e Log-Normal.

- Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas.

A estimativa dos parâmetros das distribuições candidatas é efetuada pelo método dos momentos-L (Hosking; Wallis, 1997). O Anexo II apresenta as funções densidade e acumulada de probabilidades das distribuições candidatas e as equações para cálculo dos parâmetros.

- Definir a distribuição teórica que será adotada na modelagem das séries a partir da verificação da aderência à distribuição empírica.

A aderência da distribuição teórica candidata à curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A descrição detalhada destes testes é encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 275-278).

- Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

Após a conclusão das etapas anteriores, calcular os quantis associados a diferentes tempos de retorno de interesse.

## 2.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência

Segundo o relatório Maranhão e Pereira (2017), a implantação da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) buscará atender os interesses da União agrupados em 6 (seis) objetivos gerais. A Tabela 01 apresenta estes objetivos.

Tabela 01 – Objetivos Gerais da RHNR

Nº	Objetivos Gerais
1	Transferências e Compartilhamentos Interestaduais e Internacionais
2	Eventos Hidrológicos Críticos
3	Balanços e disponibilidades hídricas
4	Mudanças e tendências de longo prazo
5	Qualidade da água
6	Regulação dos Recursos Hídricos

Fonte: elaborado pelos autores.

A locação e instalação de uma estação fluviométrica que comporá uma rede deverá atender vários critérios como os descritos em Maranhão e Pereira (2017), World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010), ANA e SGB (2021), Kenney (2010) e Rantz *et al.* (1982). Em relação a instalação de equipamentos automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) o relatório da Maranhão e Pereira (2017), apresenta os seguintes critérios em relação ao posicionamento dos equipamentos:

Página 27 do arquivo PDF

“...A cota máxima é importante para a posição ideal da PCD, das referências de níveis - RNs e das quantidades de lances de réguas a serem instaladas na futura estação. ...”

Página 33 do arquivo PDF

“...73. Sobre o abrigo da PCD.

Deve estar localizada acima do nível de cheia; ...”

Além de Maranhão e Pereira (2017), destacam-se World Meteorological Organization (2010) e Sauer e Turnipseed (2010) como referências que tratam sobre este tema de locação de estação fluviométrica e posicionamento de equipamentos.

World Meteorological Organization (2010) sugere os seguintes critérios para posicionamento de equipamentos em uma estação fluviométrica: “...

- **Os instrumentos, abrigo e outra edificação devem estar acima de todos os níveis de inundação registrados. Sensores de nível devem permitir tanto a medição de inundações como de secas. ...**

Em relação aos níveis altos da água (cotas altas), World Meteorological Organization (2010), além do item acima, também afirma que “...devem ser pesquisadas as marcas de cheia de grandes enchentes do passado, bem como indagado aos moradores locais sobre os níveis de enchentes históricas. Essas informações deverão ser utilizadas pelo engenheiro para tomar uma decisão sobre a elevação na qual o



registrador de níveis (cotas) deve ser instalado para ficar acima de quaisquer enchentes que provavelmente ocorrerão no futuro. O abrigo do registrador deve ser instalado de forma a ser protegido de detritos transportados durante grandes enchentes. Também devem ser pesquisadas evidências sobre grandes mudanças no curso d'água, incluindo erosão e deposição nas margens que ocorreram durante enchentes notáveis do passado. Essas evidências, se encontradas, dão alguma indicação de mudanças que podem ser esperadas na ocorrência de grandes enchentes do futuro..." (Tradução livre).

Sauer e Turnipseed (2010) sugerem vários critérios para a escolha do local de instalação uma nova estação fluviométrica que fará parte da *USGS National Streamflow Information System (NSIP)*. Em relação ao posicionamento de equipamentos faz as seguintes menções: "...

- O poço tranquilizador, por exemplo o tubulão do linígrafo (se usado), e o abrigo do instrumento registrador dos níveis dá água (cotas) podem estar localizados em uma margem do curso d'água, ponte, represa ou outra estrutura adequada, desde que os outros critérios de seleção do local sejam atendidos. **Não instale a estrutura que abrigará os equipamentos registradores de nível (cota) onde ela possa sofrer danos durante enchentes.**
- ...
- **O abrigo de instrumentos deve ser instalado em uma cota alta o suficiente para estar acima do nível de inundação de 0,5% de excedência (200 anos), se possível. ...**

Analisando as recomendações de World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010) e Maranhão e Pereira (2017) fica claro a preocupação com o posicionamento dos equipamentos de forma a garantir a medição dos níveis (cotas) dos grandes eventos de cheias. Sauer e Turnipseed (2010) se diferenciam de World Meteorological Organization (2010) e Maranhão e Pereira (2017) ao definir que os equipamentos devem ser instalados, se possível, em uma cota alta o suficiente para estar acima do nível de inundação de 0,5% de excedência (200 anos), ou seja, um critério objetivo.

Ao se adotar um tempo de retorno,  $T$ , como referência na definição do nível mínimo para instalação dos equipamentos também se assume uma probabilidade de que pelo menos um evento igual ou superior a cheia de  $T$  anos possa ocorrer em  $n$  anos de vida útil. Essa probabilidade é o risco hidrológico,  $R = 1 - [1 - (1/T)]^n$ . No caso de uma estação fluviométrica, a vida útil é número de anos de operação. A Tabela 02 apresenta os riscos hidrológicos associados aos tempos de retorno de 100, 200 e 250 anos para diferentes vidas uteis.

Tabela 02 – Riscos Hidrológicos

T (anos)	“Vida Útil “, $n$ anos de operação da estação fluviométrica								
	20	30	50	69	100	138	173	200	250
100	18,2%	26,0%	39,5%	50,0%	63,4%	75,0%	82,4%	86,6%	91,9%
200	9,5%	14,0%	22,2%	29,2%	39,4%	49,9%	58,0%	63,3%	71,4%
250	7,7%	11,3%	18,2%	24,2%	33,0%	42,5%	50,0%	55,1%	63,3%

Fonte: elaborado pelos autores.

Quando o risco hidrológico supera 50%, a probabilidade de ocorrer pelo menos um evento igual ou superior a cheia de T anos em  $n$  anos de vida útil é maior que a probabilidade de não ocorrer pelo menos uma vez tal evento. Observa-se na Tabela 02, que o risco hidrológico para eventos de 100 anos de tempo de retorno passa a ser superior a 50% quando a vida útil é maior que 69 anos. No caso de eventos de 200 anos de tempo de retorno, o risco hidrológico será maior que 50% quando a vida útil superar 138 anos e, 173 anos no caso de tempo de retorno de 250 anos.

De forma inversa, a Tabela 03 apresenta as probabilidades de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de T anos em  $n$  anos de vida útil.

Tabela 03 – Probabilidade de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de T anos em  $n$  anos de vida útil

T (anos)	“Vida Útil “, $n$ anos de operação da estação fluviométrica								
	20	30	50	69	100	138	173	200	250
100	81,8%	74,0%	60,5%	50,0%	36,6%	25,0%	17,6%	13,4%	8,1%
200	90,5%	86,0%	77,8%	70,8%	60,6%	50,1%	42,0%	36,7%	28,6%
250	92,3%	88,7%	81,8%	75,8%	67,0%	57,5%	50,0%	44,9%	36,7%

Fonte: elaborado pelos autores.

Baseando-se nas recomendações de World Meteorological Organization (2010), Sauer e Turnipseed (2010) e Maranhão e Pereira (2017), considerando os objetivos gerais da RHN, bem como, a ocorrência das grandes cheias no Brasil, como por exemplo as enchentes de 2010 no rio Mundaú e em maio de 2024 no Rio Grande do Sul e com o objetivo de garantir a medição dos níveis (cotas) dos grandes eventos de cheias que podem ocorrer no futuro, sugere-se os critérios apresentados na Tabela 04 para definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR).

Tabela 04 – Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR

Objetivos gerais	<b>CRITÉRIO – Considerando o objetivo da estação fluviométrica, instalar os equipamentos de registro de níveis na maior cota entre as opções.</b>
Transferências e Compartilhamentos Interestaduais e Internacionais <sup>1</sup>	A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)
Eventos Hidrológicos Críticos <sup>2</sup>	A cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)
Balanços e disponibilidades hídricas <sup>3</sup>	A cota associada a cheia de 100 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)
Mudanças e tendências de longo prazo <sup>1</sup>	A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)
Qualidade da água <sup>1</sup>	A cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)
Regulação dos Recursos Hídricos <sup>3</sup>	A cota associada a cheia de 100 anos de tempo de retorno, ou a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)

1-O registro de grandes cheias é importante para garantir o atendimento dos objetivos, bem como, preservar os equipamentos caros dos efeitos deletérios da passagem de uma enchente.

2-Os eventos críticos da bacia do rio Mundaú em 2010 e de maio de 2024 no Rio Grande do Sul ensinaram a importância de não se perder os equipamentos na passagem de eventos raros.

3-O atendimento dos objetivos não será significativamente prejudicado se houver a perda do registro da passagem de eventos de grandes cheias.

Fonte: elaborado pelos autores.

## 3 – RESULTADOS

### 3.1 – Análise de Frequência Local

A análise de frequência local das vazões do rio Piranji em Catende, código: 39550000, foi efetuada utilizando a série de vazões máximas por ano hidrológico (01/Abr a 31/Mar) apresentadas no Anexo III. As duas distribuições de frequências candidatas, Gumbel e Log-Normal, não foram rejeitadas pelo teste de aderência. No entanto, a distribuição Log-Normal foi selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica. Seus parâmetros calculados pelo método dos momentos-L se apresentam no Anexo III. A Figura 04 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.

A inversa da distribuição Log-Normal é a calculada da seguinte forma:

$$x_T = EXP(\mu + \sigma.Z_{(1-1/T)}) \quad (01)$$

Onde:

$T$  é o tempo de retorno (anos)

$x_T$  é o quantil associado a tempo de retorno,  $T$

$Z_{(1-1/T)}$  é o valor da variável normal padrão associada a probabilidade  $(1 - 1/T)$ . Pode ser obtida em tabelas ou empregando métodos numéricos para inverter  $\Phi(x)$  apresentada no Anexo II.

$\mu$  é o parâmetro de posição (4,7658)

$\sigma$  é o parâmetro de escala (0,8911)

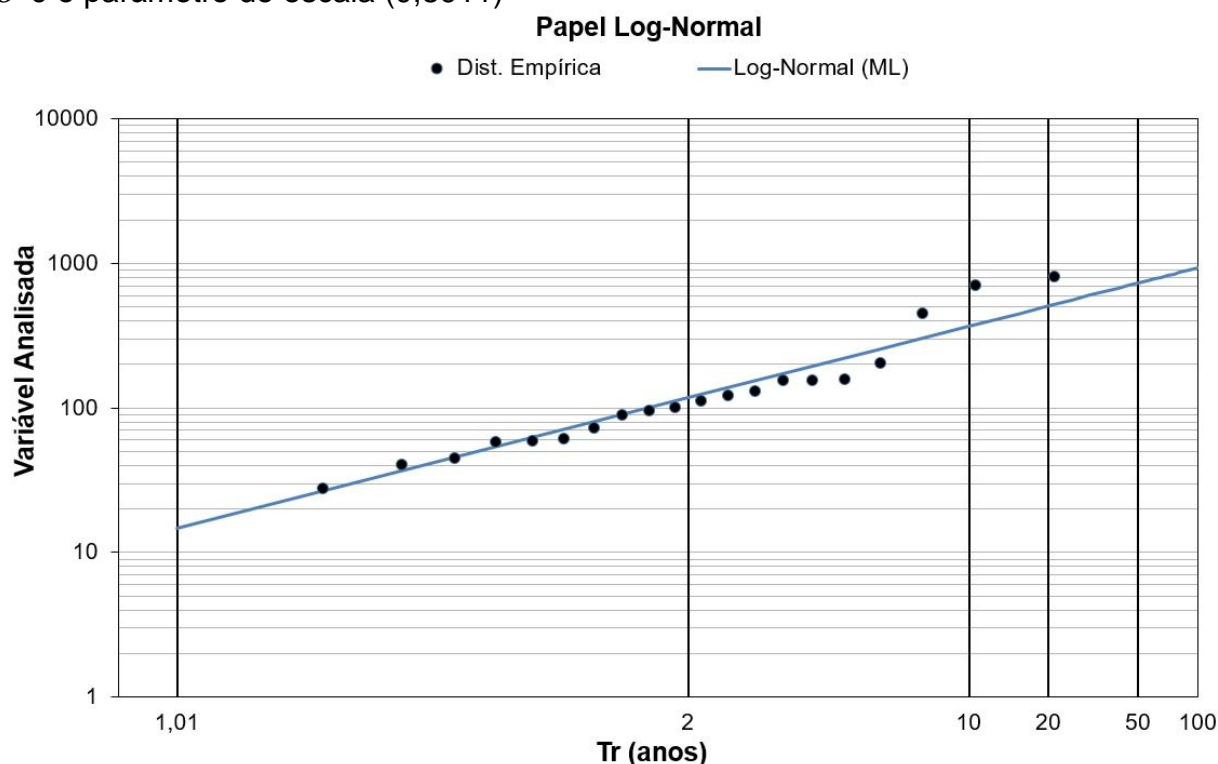


Figura 04 – Ajuste das distribuições empírica e teórica. Fonte: elaborado pelos autores.

A equação 01 permite o cálculo das vazões associadas a diferentes tempos de retorno. A Tabela 05 apresenta as vazões associadas a diferentes tempos de retorno.

Tabela 05 – Vazões associadas a diferentes tempos de retorno (m³/s)

	Tempo de Retorno, T (anos)											
	10	15	20	25	30	50	75	90	100	150	200	250
Vazões (m³/s)	368	447	508	559	602	732	846	901	933	1065	1166	1248

Fonte: elaborado pelos autores.

### 3.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência

Após o cálculo das vazões associadas a diferentes tempos de retorno é possível estimar as respectivas cotas invertendo a curva chave da estação fluviométrica.

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial como apresentada no Anexo III.

$$Q(h) = a (h - h_0)^n \quad (\text{AIII-01})$$

Onde:

$h$  é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$  é a vazão calculada para a cota  $h$  (m³/s);

$a$ ,  $n$  e  $h_0$  são parâmetros de ajustes.

A inversa da equação da curva chave é a seguinte:

$$h = \left(\frac{Q}{a}\right)^{1/n} + h_0 \quad (02)$$

Os parâmetros das curvas chave de diferentes períodos e amplitudes de cotas encontram-se no Anexo III.

Os critérios para definição das cotas mínimas de instalação dos equipamentos da RHNR, dependendo do objetivo da estação fluviométrica, estão apresentados na Tabela 04. Um critério comum a todos os objetivos das estações fluviométricas é “a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0 m (um metro)”.

A cota máxima observada na série de máximos da estação de Catende, código: 39550000, foi de 730 cm. A vazão associada a esta cota é de 813 m³/s como calculado no item 4-Exemplos de Aplicação.

Os outros critérios apresentados na Tabela 04 são as cotas associadas as cheias de 100, 200 e 250 anos de tempo de retorno. Estas vazões foram calculadas como ilustrado no item 4-Exemplos de Aplicação e os valores constam da Tabela 05. O cálculo

das cotas associadas a estas vazões é realizado empregando a equação (02) e adotando os parâmetros da curva chave mais recente apresentados no Anexo III.

Analisando o Anexo III observa-se que a curva chave mais recente tem período de validade de 07/11/2022 a 31/12/2022 e o ramo superior da curva chave tem uma amplitude de cotas de 591 a 650 cm. As estimativas de vazões associadas as cotas superiores a 413 cm são realizadas estendendo o ramo superior da curva chave até a cota de interesse. Dessa forma, quando necessária, a estimativa das cotas associadas às vazões de 100, 200 e 250 anos de tempo de retorno é calculada acima do limite superior de validade da curva chave.

A Tabela 06 resume os critérios de definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da estação de Catende, código: 39550000.

Tabela 06 – Cotas para instalação dos equipamentos da estação fluviométrica

CRITÉRIO	Q (m³/s)	Cota (cm)
Cota associada a cheia de 100 anos de tempo de retorno	933	763*
Cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno	1166	822*
Cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno	1248	841*
Cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)	1199*	830 cm (730 cm + 100 cm)

\* Estimativa a partir da extrapolação da curva chave.

Fonte: elaborado pelos autores.

A ficha descritiva da estação que se encontra no Anexo I não apresenta o objetivo ou objetivos da estação fluviométrica. Documentos internos do SGB informam que os objetivos gerais desta estação é avaliar eventos hidrológicos críticos, o que levaria a uma cota associada a um tempo de retorno de 250 anos. ***Sendo assim, com as informações disponíveis na elaboração deste relatório, sugere-se, para o momento, que a cota de instalação dos equipamentos seja superior a 841 cm. A Figura 05 ilustra o posicionamento dos equipamentos na seção de réguas da estação.***

A Figura 05 apresenta o perfil da seção transversal de régua levantada em 2019 com cota máxima de 1667 cm e 1445 cm, na margem esquerda e direita, respectivamente. Assim tal levantamento já atende a necessidade de extrapolação do ramo superior da curva chave caso ocorram cheias maiores que 730 cm, como a ocorrida em 2017, incluindo vazão associada à cota de instalação de 841 cm.

Além disso, mesmo com as dificuldades inerentes ao trabalho de operação de uma rede hidrometeorológica, quando houver uma oportunidade, ou seja, a ocorrência de cheias no rio Piranji, recomenda-se uma intensificação nas medições de vazões em cotas superiores a 413 cm para melhorar a extrapolação do ramo superior da curva chave.



Como indicado no relatório Maranhão e Pereira (2017), também se sugere que seja incluído na ficha descritiva os objetivos da estação fluviométrica de Catende, código: 39550000.

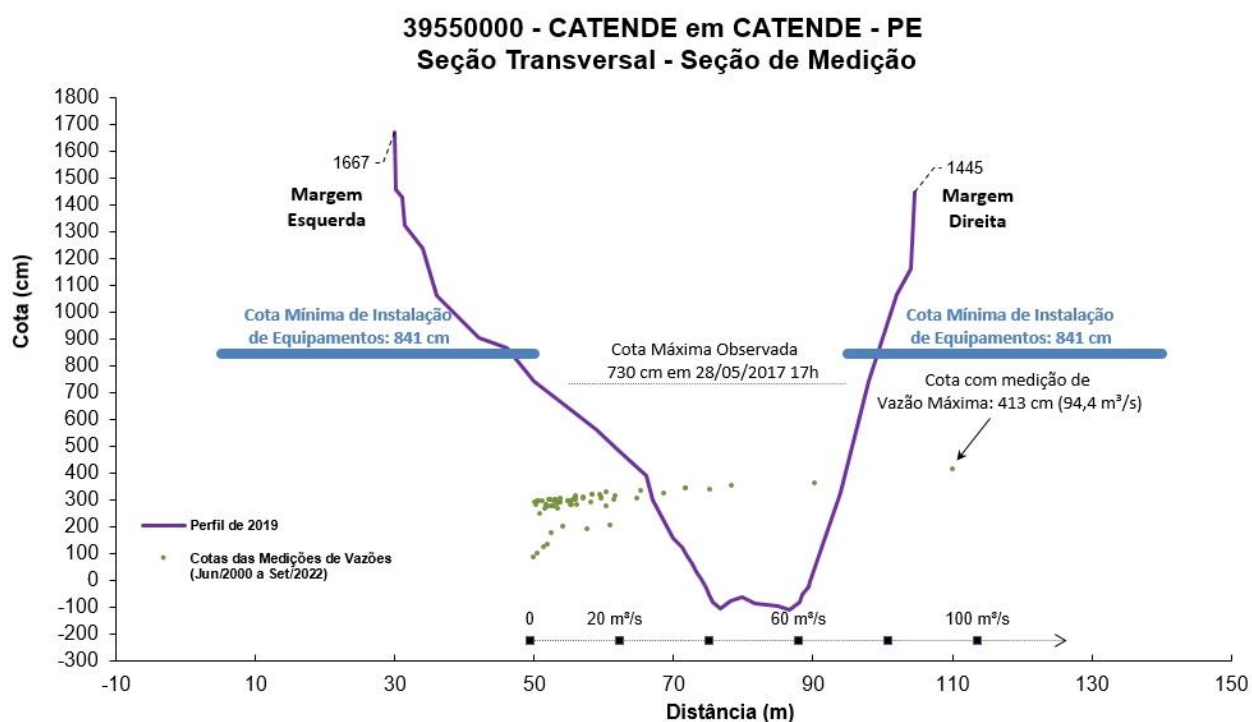


Figura 05 – Cota mínima de instalação de equipamentos. Fonte: elaborado pelos autores.

## 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) O rio Piranji em Catende, código: 39550000, alcançou a cota de 730 cm durante a cheia em 28/05/2017. Qual é o tempo de retorno da vazão associada a esta cota?

Resp: Inicialmente, será necessário calcular a vazão associada à cota de 730 cm com a curva-chave válida para a data de 28/05/2017 utilizando a equação AIII-01 (Anexo III) com amplitude de cotas de 319 a 650 cm (Ramo 02).

Para a cota 730 cm os parâmetros são  $a = 27,6350$ ,  $h_0 = 2,34$  m e  $n = 2,112$  (Anexo III). Dessa forma, se valendo da extrapolação da cota máxima para curva, temos:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n$$

$$Q(730\text{cm}) = 27,6350 (730/100 - 2,34)^{2,112}$$

$$Q(730\text{cm}) = 813 \text{ m}^3/\text{s}$$

Numa segunda etapa, para se calcular o tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 01. Dessa forma temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (02)$$

A vazão calculada foi de  $813 \text{ m}^3/\text{s}$ , o parâmetro de posição é  $\mu = 4,7658$ , e o de escala é  $\sigma = 0,8911$ . Substituindo os valores na equação 02 temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} = \frac{(\ln(813) - 4,7658)}{0,8911} = 2,17213$$

Levando o valor 2,17213 em uma tabela de inversa da distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMMP.N do Excel obtém-se:  $P(Z \leq 2,17213) = 0,98508$ .

O tempo de retorno será:

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} = \frac{1}{1 - 0,98508} = 67 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 67 anos corresponde à probabilidade de 1,49% da vazão  $813 \text{ m}^3/\text{s}$  (associada à cota 730 cm) ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(x_T \geq 813 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{67} 100 = 1,49 \%$$

- b) Qual é o tempo de retorno da vazão associada à cota registrada com medição da maior vazão em Catende, código: 39550000?

Resp: A cota registrada com medição da maior vazão em Catende, código: 39550000, é 413 cm / 94,4 m<sup>3</sup>/s (15/06/2005). Considerando a curva-chave desta data e substituindo esta cota na equação AIII-01 (Anexo III), obtém-se a vazão de 94,5 m<sup>3</sup>/s (Ramo Único). Com a vazão calculada e os parâmetros da distribuição de Log-Normal a partir da equação 02 se obtém  $Z_{(1-1/T)}$  e por consequência  $P(Z \leq z)$ . Por fim, como no primeiro exemplo, temos que o tempo de retorno da vazão associada à cota de 413 cm é de 1,68 anos. A probabilidade da maior vazão medida com cota registrada de ser igualada ou superada em um ano qualquer é de 59,62%.

- c) Qual a vazão com tempo de retorno de 100 anos em Catende, código: 39550000?

Resp: Considerando os parâmetros de posição e de escala da curva de distribuição obtida no estudo (Log-Normal), calcula-se a inversa da distribuição Normal Padrão para  $T=100$  anos (INV.NORMP do Excel), obtendo-se  $Z_{(1-1/T=0,99)} = 2,32635$ . Aplicando a equação (01) obtém-se a vazão de 933 m<sup>3</sup>/s.

$$x_T = EXP(4,7658 + 0,8911 \cdot 2,32635) = 933 \text{ m}^3/\text{s}$$

O tempo de retorno de 100 anos corresponde à probabilidade de 1,0% da vazão 933 m<sup>3</sup>/s ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou

$$P(x_T \geq 933 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{100} 100 = 1 \%$$

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Levantamentos topobatimétricos e geodésicos aplicados na Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN)**. Brasília, DF: ANA: CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22628> . Acesso em: 9 out. 2024.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L-moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- KENNEY, T. A. **Levels at gaging stations**: section A, Surface-Water Techniques. [S.l.]: U.S. Geological Survey, 2010. cap. 3., 60 p. (Techniques and Methods 3 – A19). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/tm/tm3A19/tm3A19.pdf>. Acesso em: 9 out. 2024.
- MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On the test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.
- MARANHÃO, N.; PEREIRA, S. P. (coord.). **Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência – RHNR**: relato do planejamento da RHNR e a definição das estratégias de implementação para os próximos anos (5 anos). [Brasília]: [CPRM: ANA], 2017. Grupo de Trabalho ANA-CPRM. Portaria ANA n. 151, de 31 de março de 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22172>. Acesso em: 9 out. 2024.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454>. Acesso em: 9 out. 2024.
- PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil**: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico. Belo Horizonte: CPRM, 2013. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/11560>. Acesso em: 9 out. 2024.
- RANTZ, S. E. *et al.* **Measurement and computation of streamflow**: volume 2. Computation of discharge. Washington: USGS, 1982. v. 2, 631 p. (Geological Survey Water-Supply Paper 2175). Disponível em: [https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/wsp2175\\_vol2.pdf](https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2175/wsp2175_vol2.pdf). Acesso em: 9 out. 2024.
- SAUER, V. B.; TURNIPSEED, D. P. **Stage measurement at gaging stations**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2010. cap. 3, 45 p. (Techniques and Methods 3–A7). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/tm/tm3-a7/tm3a7.pdf>. Acesso em: 9 out. 2024.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Brasília: ABRH, 2002. 256 p.
- WALD, A.; WOLFOWITZ, J. An exact test for randomness in the non-parametric case based on serial correlation. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 14, n. 4, p. 378-388,

1943. DOI: 10.1214/aoms/1177731358. Disponível em:  
<https://projecteuclid.org/journals/annals-of-mathematical-statistics/volume-14/issue-4/An-Exact-Test-for-Randomness-in-the-Non-Parametric-Case/10.1214/aoms/1177731358.short>. Acesso em: 9 out. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on stream gauging**. Geneva: WMO, 2010. v. 1. (Fieldwork WMO-No. 1044). Disponível em:  
<https://library.wmo.int/idurl/4/35848>. Acesso em: 9 out. 2024.

## ANEXO I

### Ficha Descritiva

Estação Fluviométrica de Catende, código: 39550000



## FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

### Identificação

Código:	39550000	Estação:	Catende	Tipo:	FDT
Região hidrográfica:	Atlântico Trecho Norte/Nordeste			Sub-bacia:	39
Rio:	Rio Pirangi			Bacia local:	Una
Município:	Catende	Estado:	PE	Roteiro:	14
Latitude:	-8.6787	Longitude:	-35.7239	Altitude (m):	151
Instrumento:	GPS	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km²):	718	Instalada em:	14/09/1999	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM/SUREG RE		
Código da folha:	1807	Nome da folha:	PALMARES		
Orgão executor:	SUDENE	Ano:	1999	Escala:	1:100.000

### Localização

Na rodovia PE-120, 40 metros à montante da ponte sobre o rio Pirangi, margem esquerda.

### Acessibilidade

Partindo de Palmares/PE, utilizar rodovia BR-101, sentido Divisa PE/AL, e acessar rodovia PE-126 (via Catende). Seguir até entroncamento com a rodovia PE-120, onde há um posto da polícia rodoviária, e acessar a rodovia PE-120. Seguir 1,8 km, até ponte sobre o rio Pirangi, no município de Catende/PE, onde a estação está locada, a 40m à montante.

### Altitudes Ortométricas

### Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas:

7 lances de réguas de alumínio, graduadas em centímetros, fixadas em suporte de madeira. Lances: 200/300, 200/400, 400/500, 500/600, 600/700 e 700/800 cm.

Equipe: Francisco Sergio Martins de Moura  
Estação: Catende

Data: 11/02/2025  
Código: 39550000

# FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

## Referências de nível

RN-1: 11256 mm. Parafuso chumbado no pilar da ponte, lado jusante, margem esquerda;  
 RN-2: 8258 mm. Parafuso chumbado no pilar da ponte, lado esquerdo próximo ao RN-1;  
 RN-3: 8267 mm. Parafuso chumbado em bloco de concreto, próximo ao lance 700/800 cm.

## Seções e processos de medição

Localizada na ponte, lado montante, definida por PI na margem esquerda e PF na margem direita, distanciados entre si 75,00m.

Processo de medição: Ponte/Barco

## Potamografia

Com aproximadamente 72 km de extensão, o Rio Pirangi nasce no povoado de Pau de Ferro, município de Quipapá. Perpassa as cidades pernambucanas de São Benedito do Sul, Maraial, Jaqueira, Catende e deságua no Rio Una, em Palmares. É um dos principais afluentes do rio Una. Seu principal afluente é o Rio Panelas, que deságua no município

## Características do trecho

Regime: Perene Conformação: Retilínea Fundo: Regular

## Posição em relação à rede

Montante: São Benedito do Sul Jusante: Palmares

## Natureza e inclinação das margens

Esquerda: Alta Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte  
 Direita: Alta Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte

## Leito

Natureza: Argilosa Sem Vegetação

## Controle

Controle: Barragem Localização: Jusante Distância 730

Equipe: Francisco Sergio Martins de Moura

Data: 11/02/2025

Estação: Catende

Código: 39550000



ANEXO II  
Distribuição de Gumbel e Log-Normal.

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{x-\beta}{\alpha} - \exp \left( -\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]$$

$\alpha$  = Parâmetro de escala       $\beta$  = Parâmetro de posição

Limites:  $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right]$$

- Inversa da função acumulada

$$x = \beta - \alpha \ln[-\ln(F(x))]$$

- Momentos L

$$\lambda_1 = \beta + \alpha \gamma_E \quad \lambda_2 = \alpha \ln(2) \quad \lambda_3 = \alpha [2 \ln(3) - 3 \ln(2)] \quad \lambda_4 = \alpha [5 \ln(4) - 10 \ln(3) + 6 \ln(2)]$$

$$\tau_3 = 0,1699 \quad \tau_4 = 0,1504$$

- Estimativa dos parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\alpha} = \frac{l_2}{\ln(2)} \qquad \hat{\beta} = \frac{l_1}{\gamma_E \hat{\alpha}}$$

Onde  $l_1$  e  $l_2$  são os momentos-L amostrais e  $\gamma_E = 0,5572157$  é a constante de Euler.  
Fonte: Hosking e Wallis (1997)

## ANEXO II

### DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Os dados transformados pelo logaritmo natural,  $\ln(x)$ , se distribuem como uma normal

### DISTRIBUIÇÃO NORMAL

- Função Densidade de Probabilidade

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right)$$

Parâmetros:  $\mu$  é o parâmetro de posição e  $\sigma$  é o parâmetro de escala

Limites:  $-\infty \leq x < \infty$

- Função Acumulada de Probabilidades

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$$

- Inversa da função acumulada

$x(F)$  não possui forma analítica

- Momentos-L

$$\lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642\sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\sigma \quad \tau_3 = 0 \quad \tau_4 = 0,1226 = [30\pi^{-1}\arctan(\sqrt{2})] - 9$$

- Estimativa de parâmetros pelos momentos-L

$$\hat{\mu} = \lambda_1$$

$$\hat{\sigma} = \lambda_2\sqrt{\pi}$$

OBS: Inicialmente os dados são transformados pelo logaritmo natural,  $\ln(x)$ . Em seguida são calculados os momentos-L e depois os parâmetros.

Fonte: Hosking e Wallis (1997)



ANEXO III  
Série de Dados Utilizados – Cotas e Vazões máximas anuais  
Curva-Chave  
Estatísticas da série

### ANEXO III

#### Série de Dados Utilizados – Cotas (cm) e Vazões (m³/s)

Máximos por ano hidrológico (01/Abr a 31/Mar)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Observações
1	2000	2001	01/08/2000	17:00	698	706,59	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
2	2001	2002	14/06/2001	17:00	463	159,02	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
3	2002	2003	20/06/2002	17:00	415	96,76	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
4	2003	2004	04/02/2004	17:00	460	154,65	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
5	2004	2005	18/06/2004	07:00	428	112,03	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
6	2005	2006	03/06/2005	07:00	492	204,56	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
7	2006	2007	13/07/2006	-	376	57,96	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
8	2007	2008	28/06/2007	17:00	460	154,65	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
9	2008	2009	07/07/2008	07:00	378	59,70	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
10	2009	2010	26/08/2009	07:00	443	131,11	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
11	2011	2012	03/05/2011	07:00	610	455,55	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
12	2012	2013	03/07/2012	17:00	309	27,71	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
13	2013	2014	04/07/2013	07:00	395	100,82	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
14	2014	2015	08/10/2014	07:00	384	89,54	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
15	2015	2016	04/07/2015	17:00	366	72,53	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
16	2017	2018	28/05/2017	17:00	730	813,42	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
17	2018	2019	15/04/2018	17:00	360	45,02	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
18	2019	2020	25/07/2019	07:00	380	61,46	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
19	2020	2021	16/06/2020	07:00	436	122,01	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
20	2021	2022	14/05/2021	17:00	340	40,45	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

DL – Dupla Leitura (07 e 17 hs)

CM – Sem dados de boletim de Dupla Leitura (DL). Registro DL na estatística máxima do banco de Cotas Médias.

## ANEXO III

### Curva-Chave

As vazões da série histórica foram calculadas com a equação da curva-chave de formato potencial:

$$Q(h) = a (h - h_0)^n \quad (\text{AIII-01})$$

Onde:

$h$  é a cota a qual se quer calcular a vazão (m);

$Q(h)$  é a vazão calculada para a cota  $h$  (m³/s);

$a$ ,  $n$  e  $h_0$  são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo e disponibilizadas pela CPRM são os seguintes:

Curvas-Chaves	Período	01/09/1999	01/07/2010	09/10/2014
		30/06/2010	08/10/2014	05/07/2015
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	170	250	200
		600	321	330
	$a$	27,6363	46,5632	39
	$h_0$ (m)	2,34	2,3	2,23
	$n$	2,112	2,202	1,7
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)		321	330
			550	620
	$a$		27,6363	27,6363
	$h_0$ (m)		2,04	2,04
	$n$		2	2,000

Curvas-Chaves	Período	06/07/2015	11/07/2016	28/05/2017
		10/07/2016	27/05/2017	27/03/2019
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	90	70	70
		284	371	319
	<i>a</i>	4,8239	65,1249	94,6769
	<i>ho (m)</i>	0,45	2,83	2,77
	<i>n</i>	1,491	1,500	1,825
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	284	371	319
		620	620	650
	<i>a</i>	27,6363	27,6363	27,6350
	<i>ho (m)</i>	2,04	2,34	2,34
	<i>n</i>	2,000	2,112	2,112

Curvas-Chaves	Período	28/03/2019	14/05/2021	02/07/2022	07/11/2022
		13/05/2021	01/07/2022	06/11/2022	31/12/2022
Ramo 01	Amplitude de cotas (cm)	70	100	100	100
		329	314	314	314
	<i>a</i>	87,6660	233,0990	103,2000	35,7540
	<i>ho (m)</i>	2,76	2,62	2,64	2,27
	<i>n</i>	1,990	3,375	2,013	2,384
Ramo 02	Amplitude de cotas (cm)	329	314	314	314
		650	591	591	591
	<i>a</i>	27,6363	17,5750	17,5750	17,5750
	<i>ho (m)</i>	2,34	1,96	1,96	1,96
	<i>n</i>	2,112	2,286	2,286	2,286
Ramo 03	Amplitude de cotas (cm)		591	591	591
			650	650	650
	<i>a</i>		27,6363	27,6363	27,6363
	<i>ho (m)</i>		2,34	2,34	2,34
	<i>n</i>		2,112	2,112	2,112

## ANEXO III

### Estatísticas da série

#### Estatísticas da Série

Média m³/s	Desvio- Padrão m³/s	Máximo m³/s	Mínimo m³/s	Amplitude m³/s	Assimetria	Mediana m³/s	1º Quartil m³/s	3º Quartil m³/s	AIQ m³/s
183,3	218,1	813,4	27,7	785,7	2,2	106,4	61,0	155,8	94,7

#### Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
4,76575	0,89601	6,70125	3,32178	3,37947	0,77947	4,66604	4,11112	5,04820	0,93708

#### Momentos-L e Razões-L

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
183,2772	97,6778	0,5330	0,5654	0,3846

#### Momentos-L e Razões-L da série transformada: Ln(X)

$l_1$	$l_2$	L-CV	L-SKEW	L-KURT
4,7658	0,5027	0,1055	0,1575	0,1935

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos ( $\mu$  e  $\sigma$  são parâmetros da distribuição Log-Normal)

$$F_X(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt$$

Inversa da distribuição Log-Normal:  $x(F)$  não possui forma analítica

Parâmetros da Distribuição Log-Normal

Fonte: Hosking e Wallis (1997), págs. 193 e 194

$$\text{Momentos - L: } \lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = 0,5642 \quad \sigma = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sigma \quad \text{Parâmetros: } \hat{\mu} = \lambda_1 \quad e \quad \hat{\sigma} = \lambda_2 \sqrt{\pi}$$

Distribuição	Posição ( $\mu$ )	Escala ( $\sigma$ )
Log-Normal ( $\mu, \sigma$ )	4,7658	0,8911



## Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

### ENDEREÇOS

#### Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J – Parte A – 1º andar  
Brasília – DF – CEP: 70.830-030  
Tel: 61 2192-8252  
Fax: 61 3224-1616

#### Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca  
Rio de Janeiro – RJ – CEP: 22.290-255  
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-5382  
Fax: 21 2542-3647

#### Superintendência Regional de Recife

Avenida Sul, 2291, Afogados  
Recife - PE - Brasil - CEP: 50770-011  
Tel.: 81 3316-1400  
Fax: 81 3316-1403

#### Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1.731 – Funcionários  
Belo Horizonte – MG – CEP: 30.140-002  
Tel.: 31 3878-0376  
Fax: 31 3878-0383

ISBN 978-65-5664-584-1