



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: Paraguai
Estação Fluviométrica: Cáceres (DNPVN)
Código: 66070004
Município: Cáceres - MT**

**Goiânia
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: Paraguai

Estação Fluviométrica: Cáceres (DNPVN)

Código: 66070004

Município: Cáceres - MT

Denise Christina de Rezende Melo

Eber José de Andrade Pinto



Goiânia

2025

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Alexandre Silveira de Oliveira

SECRETARIA NACIONAL DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

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 (Substituta)

Diretor de Administração e Finanças

Alice Silva de Castilho (Substituta)

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 GOIÂNIA

Superintendente

Marcelo Henrique da Silva Rosa (Interino)

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Vivian Athaydes Canello Fernandes

Gerente de Geologia e Recursos Minerais

Jônatas de Sales Macedo Carneiro

Gerente de Infraestrutura Geocientífica

Wilian Ribeiro de Padua

Gerente de Administração e Finanças

Alessandra Patricia Diniz

REALIZAÇÃO

Superintendência de Goiânia

AUTORES

Denise Christina de Rezende Melo

Eber José de Andrade Pinto

EQUIPE EXECUTORA

Denise Christina de Rezende Melo – SUREG/GO

Francisco Fernando Noronha Marcuzzo – SUREG/PA

Múcio Valença Virães – SUREG/RE

Paula Krsthina Cordeiro Freire – REFO

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPA

Cristiane de Lima Pereira – SUREG/GO

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Maria Gasparina de Lima – SUREG/GO

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

M528p Melo, Denise Christina de Rezende.

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 Paraguai, estação fluviométrica: Cáceres (DNPVN), código: 66070004, município: Cáceres-MT / Denise Christina de Rezende Melo, Eber José de Andrade Pinto. – Goiânia: 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 978-65-5664-649-7

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 Maria Gasparina de Lima CRB-1 / 1243

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

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

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 disso, 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 Paraguai, especificamente na estação fluviométrica Cáceres (DNPVN), código 66070004, pertencente à sub-bacia 66. 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 do Mato Grosso.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	6
2 – METODOLOGIA.....	12
2.1 – Análise de Frequência Local	12
2.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência	14
3 – RESULTADOS	18
3.1 – Análise de Frequência Local	18
3.2 – Definição das Cotas para Instalação de Equipamentos Automáticos na Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência	19
4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	21
REFERÊNCIAS	Erro! Indicador não definido.
ANEXO I - Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica Cáceres (DNPVN) Código 66070004.....	25
ANEXO II - Distribuições de Gumbel e Log-Normal	28
ANEXO III - Série de Dados Utilizados – Cotas e Vazões máximas por ano hidrológico, Curva-Chave e Estatísticas da série	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das estações fluviométricas da RHNR sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia..	7
Figura 2 - Localização da seção de réguas da estação fluviométrica de Cáceres (DNPVN).....	9
Figura 3 - Localização da estação fluviométrica de Cáceres (DNPVN).....	10
Figura 4 - Perfil transversal da seção de réguas da estação Cáceres (DNPVN).....	11
Figura 5 - Ajuste das distribuições empírica e teórica.	18
Figura 6 - Cota mínima de instalação de equipamentos na seção de réguas da estação Cáceres (DNPVN)..	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos Gerais da RHNR.....	14
Tabela 2 - Riscos Hidrológicos	16
Tabela 3 - Probabilidade de não ocorrer ao menos um evento igual ou superior a cheia de T anos em n anos de vida útil.....	16
Tabela 4 - Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR	17
Tabela 5 - Vazões associadas a diferentes tempos de retorno	19
Tabela 6 - Cotas para instalação dos equipamentos da estação Cáceres (DNPVN).	20

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 6 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 Figura 1 mostra a área do projeto da RHNR em 2025, com a localização das 42 estações fluviométricas sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO), onde pode-se ver em destaque a bacia do alto rio Paraguai.

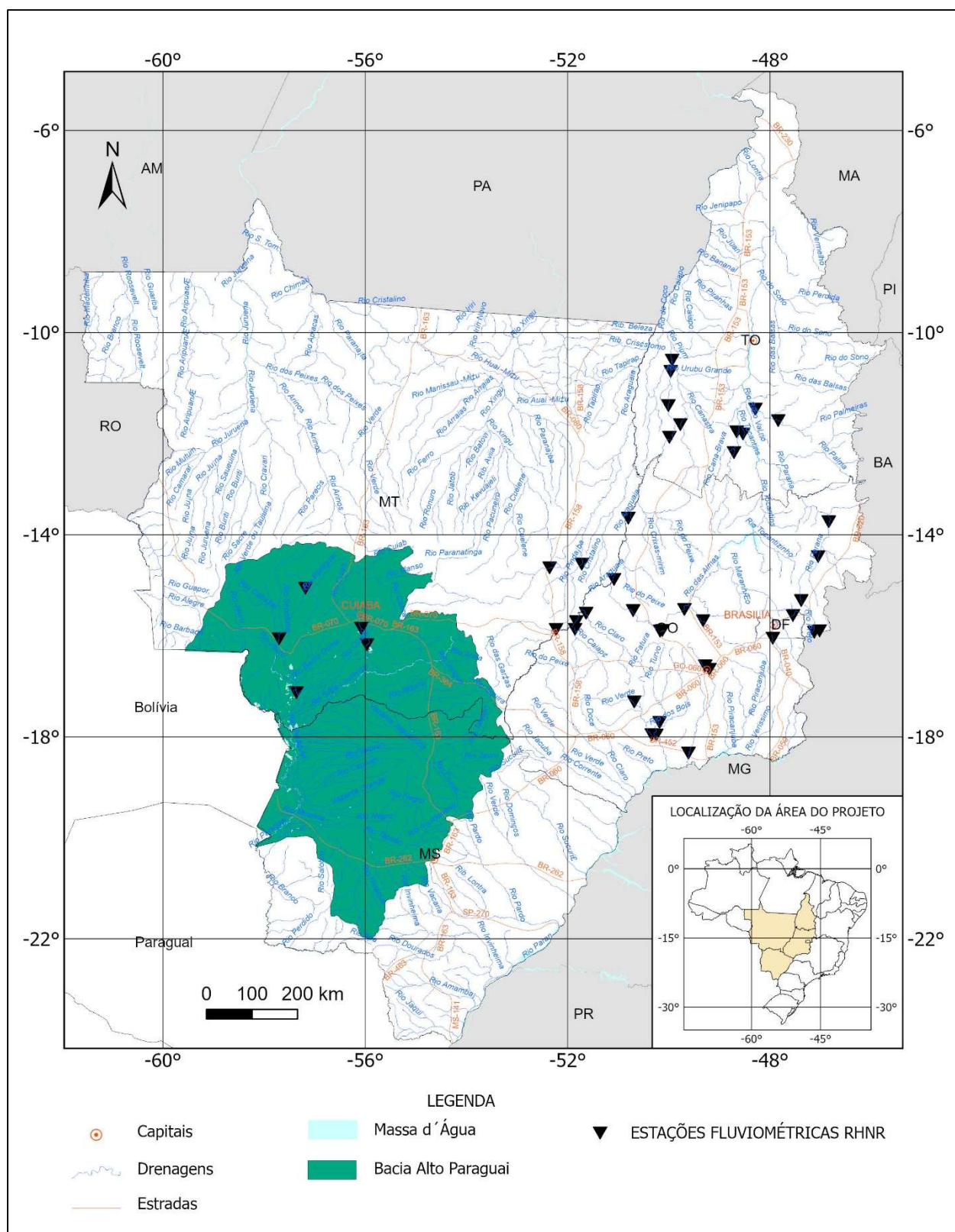


Figura 1 – Localização das estações fluviométricas da RHNR sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Goiânia. Fonte: equipe do projeto.

A estação fluviométrica de Cáceres (DNPVN), código 66070004, está localizada na Latitude 16°04'34"S e Longitude 57°42'08"O, instalada na margem esquerda do rio Paraguai, no município de Cáceres, estado do Mato Grosso, com uma área de drenagem de 32.400 km².

Desde dezembro de 1965 existem réguas linimétricas instaladas para realização de duas leituras diárias dos níveis do rio (7h e 17h) e são realizadas medições de descarga líquida, sendo a seção de medição localizada próximo a seção de réguas. E desde maio de 1996 estão instalados equipamentos automáticos para registro contínuo e transmissão dos níveis do rio Paraguai. Ao longo do histórico da estação não houve mudança da cota do zero da régua. A Figura 2 mostra a localização da seção de réguas.

O rio Paraguai nasce na Serra dos Parecis, município de Diamantino, no estado do Mato Grosso. E desemboca no Rio Paraná pela margem direita. Junto com os rios Paraná e Uruguai é um dos principais formadores da bacia do rio da Prata, segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul e quarta maior do mundo. Sua bacia compreende uma área de aproximadamente 1 milhão de km², sendo que aproximadamente 34% dessa área (ou 340.000 km²) estão em território brasileiro. Os principais afluentes do rio Paraguai são os rios: Cuiabá, Correntes, Taquari e Miranda (SGB, 2025).

A Figura 3 ilustra a localização da estação de Cáceres (DNPVN), na sub-bacia 66, no alto rio Paraguai.

Maiores detalhes sobre a estação podem ser encontrados na sua ficha descritiva, no Anexo I.

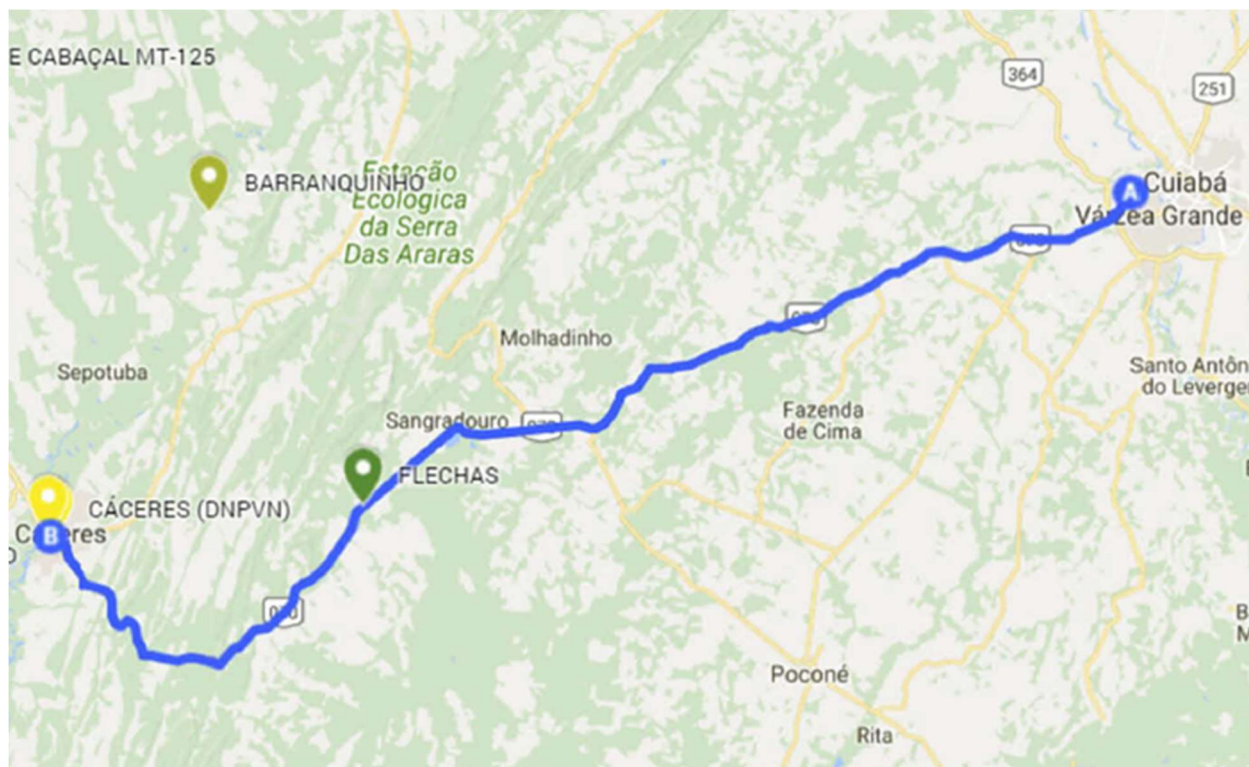


Figura 2 - Localização da seção de réguas da estação fluviométrica de Cáceres (DNPVN). Fonte: arquivo fotográfico do Projeto da RHN e ficha descritiva da estação.

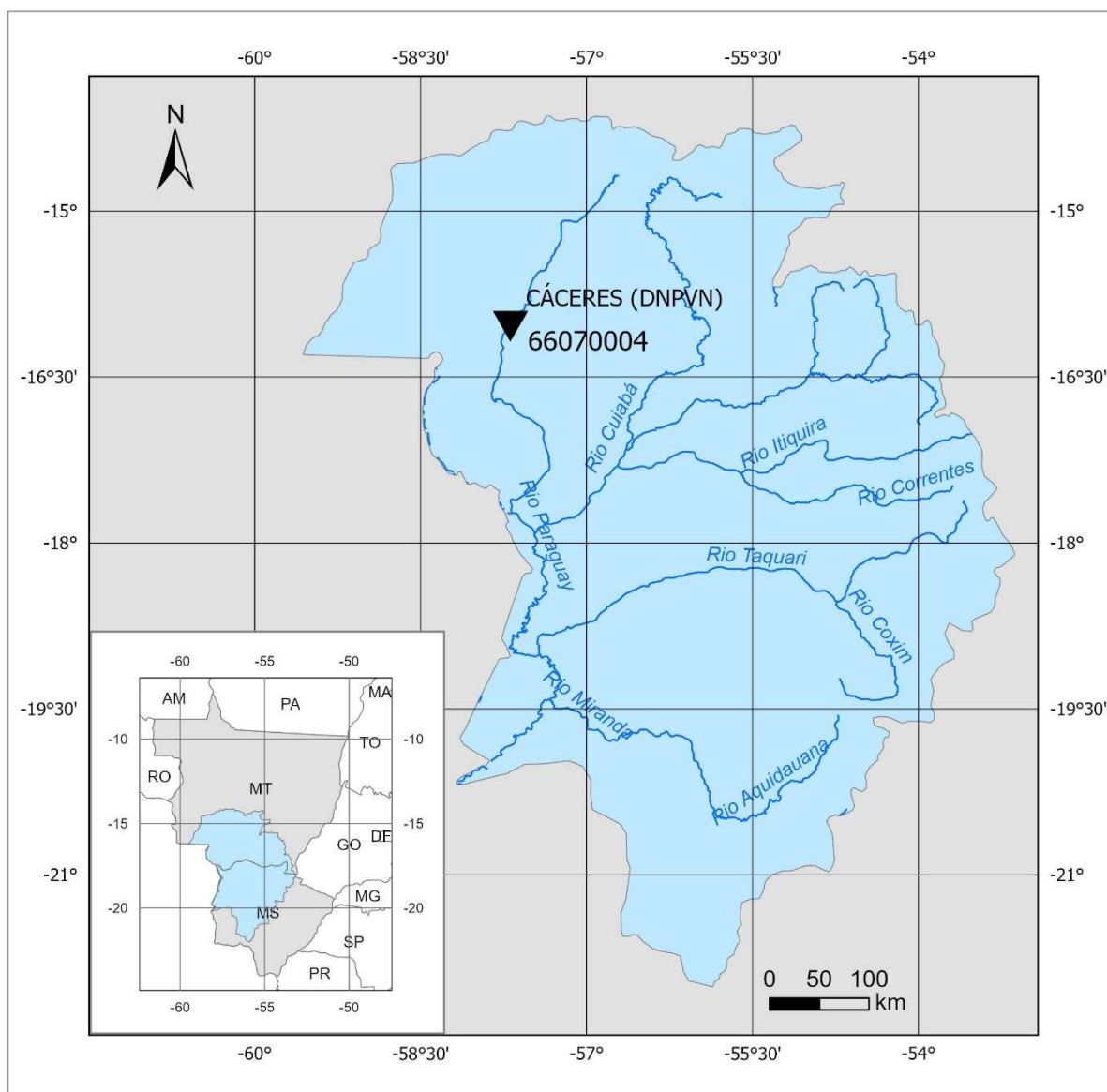


Figura 3 - Localização da estação fluviométrica de Cáceres (DNPVN).
Fonte: Equipe do projeto.

A Figura 4 apresenta o perfil transversal na seção de réguas da estação, levantado em 2024, com as medições simultâneas de vazões e cotas realizadas entre dezembro de 1965 e março de 2025. A máxima cota observada nas réguas, com valor de 641 cm, ocorreu em 17/03/1982 e a cota máxima medida, com valor de 512 cm, ocorreu em 08/04/2011. A diferença entre a máxima cota observada e a máxima cota medida é de 129 cm.

A série de cotas máximas por ano hidrológico, apresentada no Anexo III, apresenta 21 valores superiores a 512 cm, cota da vazão máxima medida. A razão entre a cota máxima observada e a cota máxima com medição de vazão é 1,25 (641 cm / 512 cm), sendo uma extrapolação de 129 cm. Essa extrapolação está com valor aceitável,

pois segundo Tucci (2002), a melhor curva-chave, com menor extrapolação do tramo superior, possui a razão entre as cotas máximas observadas e com medição de vazão inferior a 1,25. Necessitando da realização de mais medições acima da cota máxima medida 512 cm.

As características mencionadas no parágrafo anterior criam dificuldades para a extrapolação do tramo superior da curva-chave e ampliam a incerteza na estimativa das vazões a partir das cotas superiores a tal máxima medida de 512 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.

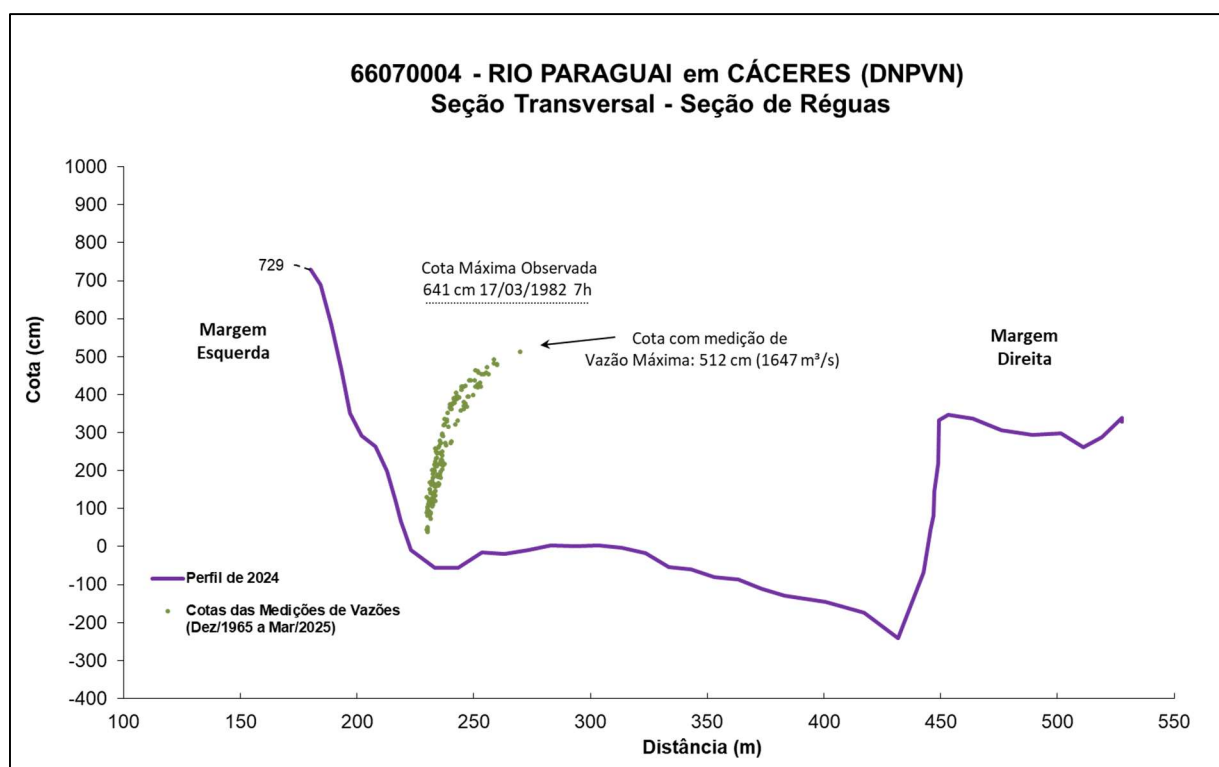


Figura 4 - Perfil transversal da seção de réguas da estação Cáceres (DNPVN).
Fonte: elaborado pelos autores.

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 cotogramas 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 continuidade 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 1 apresenta estes objetivos.

Tabela 1 - 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 de 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 clara 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 o número de anos de operação.

A Tabela 2 apresenta os riscos hidrológicos associados aos tempos de retorno de 100, 200 e 250 anos para diferentes vidas uteis.

Tabela 2 - 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 2, 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 3 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 3 - 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 a enchente de 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 4 para definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR).

Tabela 4 - Critérios para instalação dos equipamentos da RHNR

Objetivos gerais	CRITÉRIO – Considerando o objetivo da estação fluviométrica, instalar os equipamentos de registro de níveis na maior cota entre as opções.
Transferências e Compartilhamentos Interestaduais e Internacionais ¹	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 ²	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 ³	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 ¹	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 ¹	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 ³	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 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 Paraguai na estação Cáceres (DNPVN), código 66070004, foi efetuada utilizando a série de vazões máximas por ano hidrológico (01/Out a 30/Set) apresentadas no Anexo III. A distribuição de frequência selecionada foi a Log-Normal, com os parâmetros calculados pelo método dos momentos-L e também apresentados no Anexo III, sendo selecionada por apresentar menor desvio padrão dos resíduos entre a distribuição empírica e a teórica, e melhor ajuste visual no papel de probabilidades. A Figura 5 apresenta o gráfico com as distribuições empírica e teórica ajustadas.

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

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

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.

μ é o parâmetro de posição (7,0815)

σ é o parâmetro de escala (0,2973)

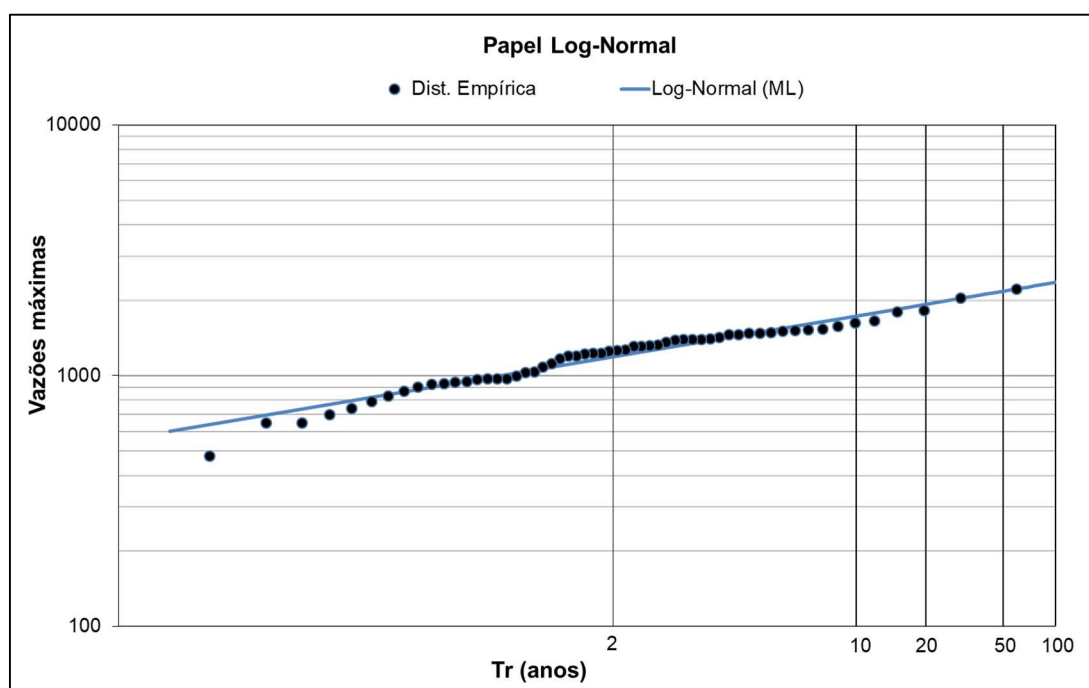


Figura 5 - Ajuste das distribuições empírica e teórica. Fonte: elaborado pelos autores.

A equação 1 permite o cálculo das vazões associadas a diferentes tempos de retorno. E a Tabela 5 apresenta as vazões associadas a diferentes tempos de retorno.

Tabela 5 - Vazões associadas a diferentes tempos de retorno

	Tempo de Retorno, T (anos)											
	10	15	20	25	30	50	75	90	100	150	200	250
Vazões (m³/s)	1732	1848	1927	1988	2037	2173	2279	2326	2354	2458	2532	2590

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.

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

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_o são parâmetros de ajustes.

A inversa da equação da curva chave é a seguinte:

$$h = \left(\frac{Q}{a}\right)^{1/n} + h_o \quad (2)$$

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 4. Um critério comum a todos os objetivos das estações fluviométricas é “a cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0 m (um metro)”.

O critério definido para a estação Cáceres (DNPVN) foi conforme os objetivos 2 e 4: “Eventos Hidrológicos Críticos” e “Mudanças e tendências de longo prazo”, apresentados na Tabela 4, sendo as cotas associadas as cheias de 250 e 200 anos de tempo de retorno, respectivamente. Estas vazões foram calculadas como ilustrado no item 4-Exemplos de Aplicação e os valores constam da Tabela 5. O cálculo das cotas associadas a estas vazões é realizado empregando a equação 2 e adotando os parâmetros da curva chave mais recente, apresentados no Anexo III. Como as cotas encontradas são acima da amplitude de cotas da curva-chave mais recente, foi realizada extrapolação do tramo superior para o cálculo.

A cota máxima observada na estação de Cáceres (DNPVN), foi de 641 cm, ocorrida em 17/03/1982, sendo calculada a vazão associada a esta cota de 2228 m³/s, utilizando a curva-chave com período de validade de 24/03/1978 a 30/11/1993 e amplitude de cotas de 429 a 650 cm (Anexo III). A Tabela 6 resume os critérios de definição da cota mínima para instalação dos equipamentos da estação.

Tabela 6 - Cotas para instalação dos equipamentos da estação Cáceres (DNPVN).

CRITÉRIO	Q (m³/s)	Cota (cm)
Cota associada a cheia de 250 anos de tempo de retorno	2591	686
Cota associada a cheia de 200 anos de tempo de retorno	2534	679
Cota da maior cheia registrada acrescida de 1,0m (um metro)	3073	741 cm (641 cm + 100 cm)

Fonte: elaborado pelos autores.

Portanto, a cota de instalação dos equipamentos deve ser superior a 741 cm. A Figura 6 ilustra o posicionamento dos equipamentos no perfil transversal da seção de réguas da estação, levantado em 2024, com cota máxima observada de 641 cm.

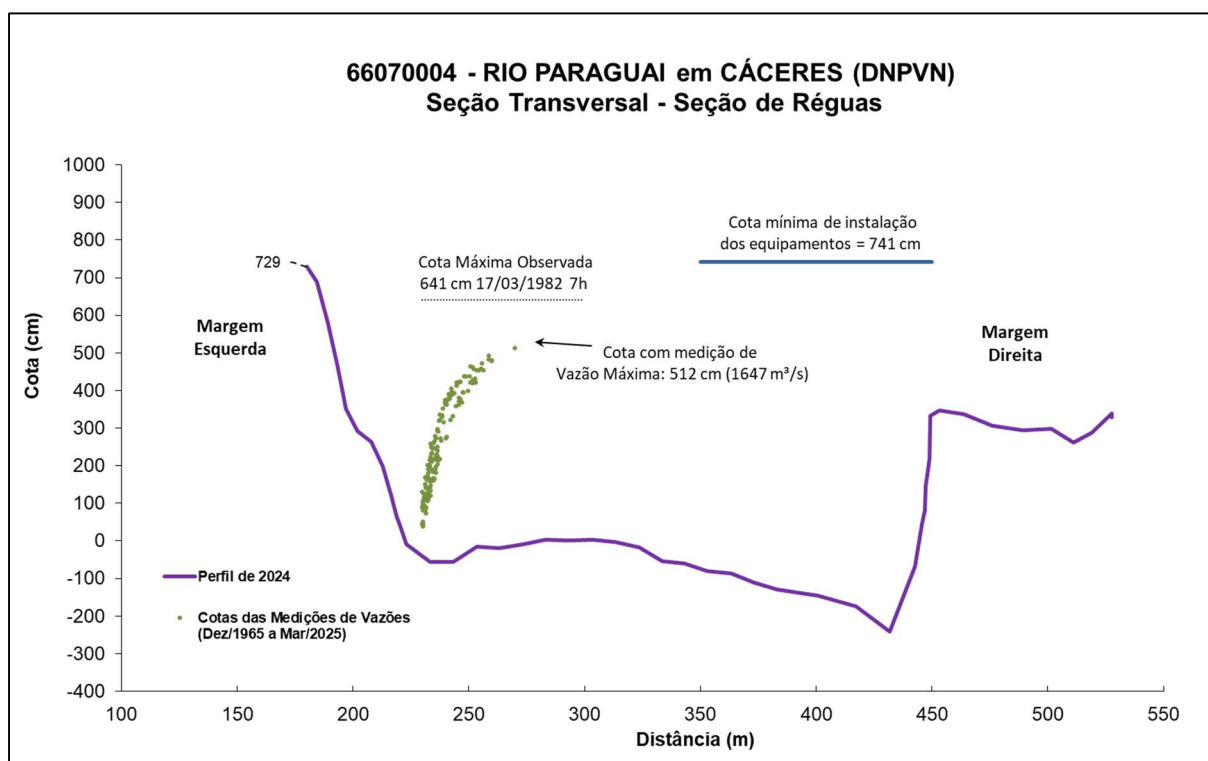


Figura 6 - Cota mínima de instalação de equipamentos na seção de réguas da estação Cáceres (DNPVN). Fonte: elaborado pelos autores.

Assim recomenda-se que os perfis anuais sejam levantados em cotas superiores à tais cotas nas duas margens, pois auxiliará na extrapolação do tramo superior da curva chave, caso ocorra cheias maiores que a cota máxima registrada de 641 cm, ocorrida em 1982 no rio Paraguai, na estação Cáceres (DNPVN).

4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

- a) O rio Paraguai em Cáceres (DNPVN), código 66070004, alcançou a cota de 641 cm durante a cheia em 17/03/1982. Qual é o tempo de retorno da vazão associada a esta cota?

Resp: Inicialmente, será necessário calcular a vazão associada à cota de 641 cm com a curva-chave válida para a data de 17/03/1982, utilizando a equação AIII-01 (Anexo III) com amplitude de cotas de 429 a 650 cm.

Para a cota 641 cm os parâmetros são $a = 86$; $h_0 = 1,24$ m e $n = 1,981$ (Anexo III). Dessa forma temos:

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

$$Q(641 \text{ cm}) = 86 (641/100 - 1,24)^{1,981}$$

$$Q(641 \text{ cm}) = 2228,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para se calcular o respectivo tempo de retorno será necessário estimar a variável Normal Padrão da equação 1. Dessa forma temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} \quad (2)$$

A vazão calculada foi de 2228,04 m³/s, o parâmetro de posição é $\mu = 7,0815$, e o de escala é $\sigma = 0,2933$. Substituindo os valores na equação 2 temos:

$$Z_{(1-1/T)} = \frac{(\ln(x_T) - \mu)}{\sigma} = \frac{(\ln(2228,04) - 7,0815)}{0,2933} = 2,139$$

Levando o valor 2,139 em uma tabela de inversa da distribuição Normal Padrão ou executando a função DIST.NORMP.N do Excel obtém-se: $P(Z \leq 2,139) = 0,984$.

O tempo de retorno será:

$$T = \frac{1}{1 - P(Z \leq z)} = \frac{1}{1 - 0,984} = 62,5 \text{ anos}$$

O tempo de retorno de 62,5 anos corresponde à probabilidade de 1,60% da vazão 2228,04 m³/s (associada à cota 641 cm) ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou:

$$P(x_T \geq 2228,04 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{62,5} 100 = 1,60 \%$$

b) Qual é o tempo de retorno da vazão máxima medida (associada à maior cota registrada com medição de vazão) em Cáceres (DNPVN), código 66070004?

Resp: A maior cota registrada com medição de vazão em Cáceres (DNPVN) é 512 cm e a respectiva vazão é 1647 m³/s (08/04/2011).

Com os parâmetros da distribuição de Log-Normal, a partir da equação 2 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 512 cm é de 7,46 anos. A probabilidade da vazão associada a essa cota ser igualada ou superada em um ano qualquer é de 13,40%.

c) Qual a vazão com tempo de retorno de 100 anos em Cáceres (DNPVN), código 66070004?

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 (1) obtém-se a vazão de 2353,88 m³/s:

$$x_T = EXP(7,0815 + 0,2933 \cdot 2,32635) = 2353,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

O tempo de retorno de 100 anos corresponde à probabilidade de 1,0% da vazão 2353,88 m³/s ser igualada ou superada em um ano qualquer, ou:

$$P(x_T \geq 2353,88 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{1}{T} 100 = \frac{1}{100} 100 = 1 \%$$

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: 28 out. 2025.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L-moments. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. ISBN: 9780511529443. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>.
- 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: 28 out. 2025.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.
- 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: 28 out. 2025.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454>. Acesso em: 28 out. 2025.
- 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: 28 out. 2025.
- 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. Acesso em: 13 out. 2025.
- 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: 28 out. 2025.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (Brasil). SACE (Sistema de Alerta de Eventos Críticos). **Bacia do Rio Paraguai - Apresentação**. Disponível em:

https://www.sgb.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bparaguai#. Acesso em: 28 out. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Brasília: ABRH, 2002. 256 p. ISBN 978-8588686403.

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: 28 out. 2025.

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: 28 out. 2025.

ANEXO I

Ficha Descritiva da Estação Fluviométrica Cáceres (DNPVN)

Código 66070004

FICHA DESCRITIVA DE ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

Identificação

Código:	66070004	Estação:	CÁCERES (DNPVN)	Tipo:	FDSQT
Região hidrográfica:	Rio Paraná			Sub-bacia:	66
Rio:	RIO PARAGUAI			Bacia local:	do Paraguai
Município:	Cáceres	Estado:	MT	Roteiro:	94
Latitude:	-16.0758	Longitude:	-57.7022	Altitude (m):	262
Instrumento:	GPS GARMIM 45	Datum:	WGS 84		
Área de dren. (km²):	32400	Instalada em:	13/12/1965	Extinta em:	
Coordenador:	ANA	Operador:	CPRM/GO		
Código da folha:	2872	Nome da folha:	Não definido		
Orgão executor:		Ano:		Escala:	

Localização

NA MARGEM ESQUERDA DO RIO PARAGUAI, A MONTANTE DA PONTE MARECHAL RONDON, NA RODOVIA BR-070.

Acessibilidade

PELA RODOVIA BR-070, PARTINDO DE CUIABÁ ATÉ CÁCERES.

Seção de réguas

Margem: Margem esquerda

Réguas:

6 LANCES DE RÉGUAS ESMALTADAS, FIXADAS EM ESTACAS-SUPORTE.

000/100; 100/200; 200/300; 300/400; 400/500; 500/700

Referências de nível

RN 07 - 7.197 mm

RN 08 - 7.839 mm

RN 10 - 8.096 mm

RN 11 - 8.067 mm (RN INSTALADO EM SEÇÃO DE RÉGUAS DA MARINHA)

Seções e processos de medição

SEÇÃO MEDIDORA: 5,0 mts A MONTANTE DA PONTE.

Processo de medição: Barco

Potamografia

O RIO PARAGUAI NASCE NA SERRA DOS PARECIS, NO MUNICÍPIO DE DIAMANTINO. É AFLUENTE PELA MARGEM DIREITA DO RIO PARANÁ.

Natureza e inclinação das margens

Esquerda:	Baixa	Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte
Direita:	Média	Argilosa com Vegetação de Pequeno Porte

Leito

Natureza: Arenosa com Pedregulhos

Controle

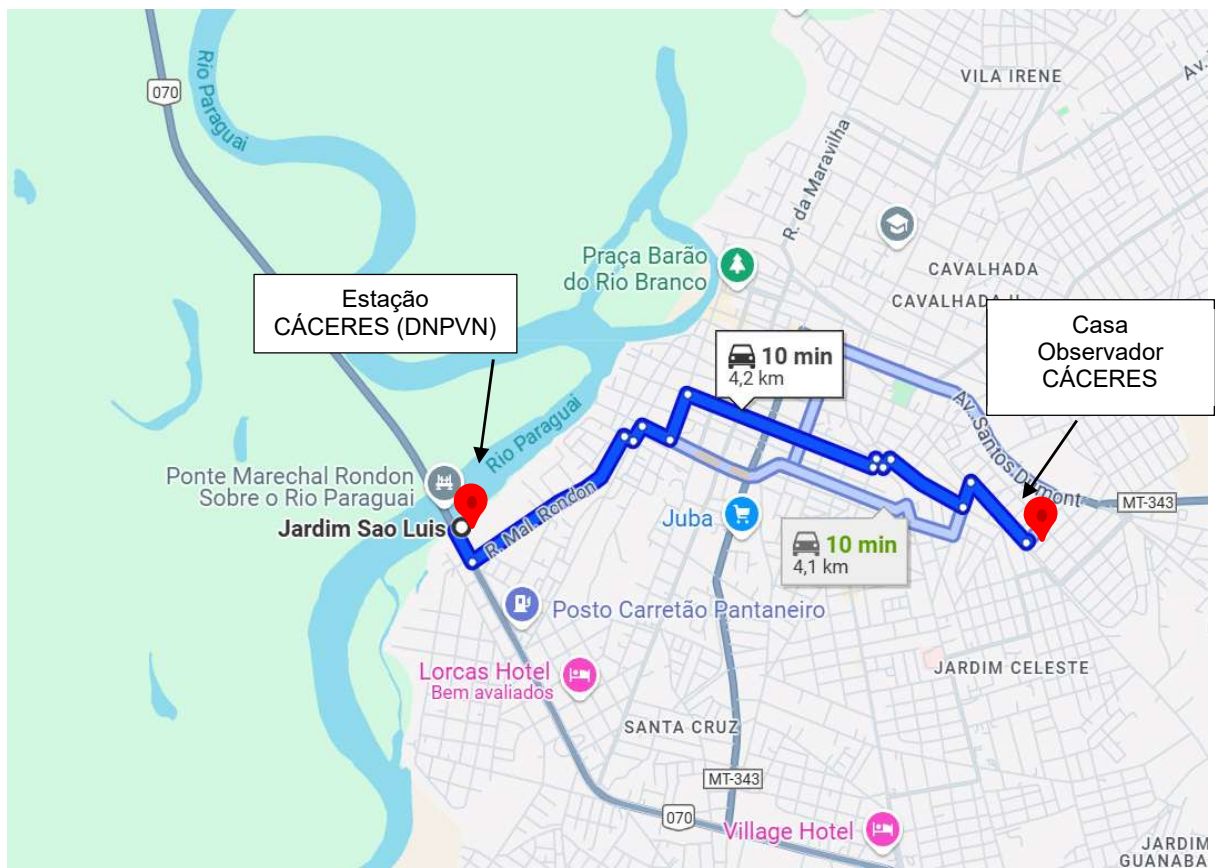
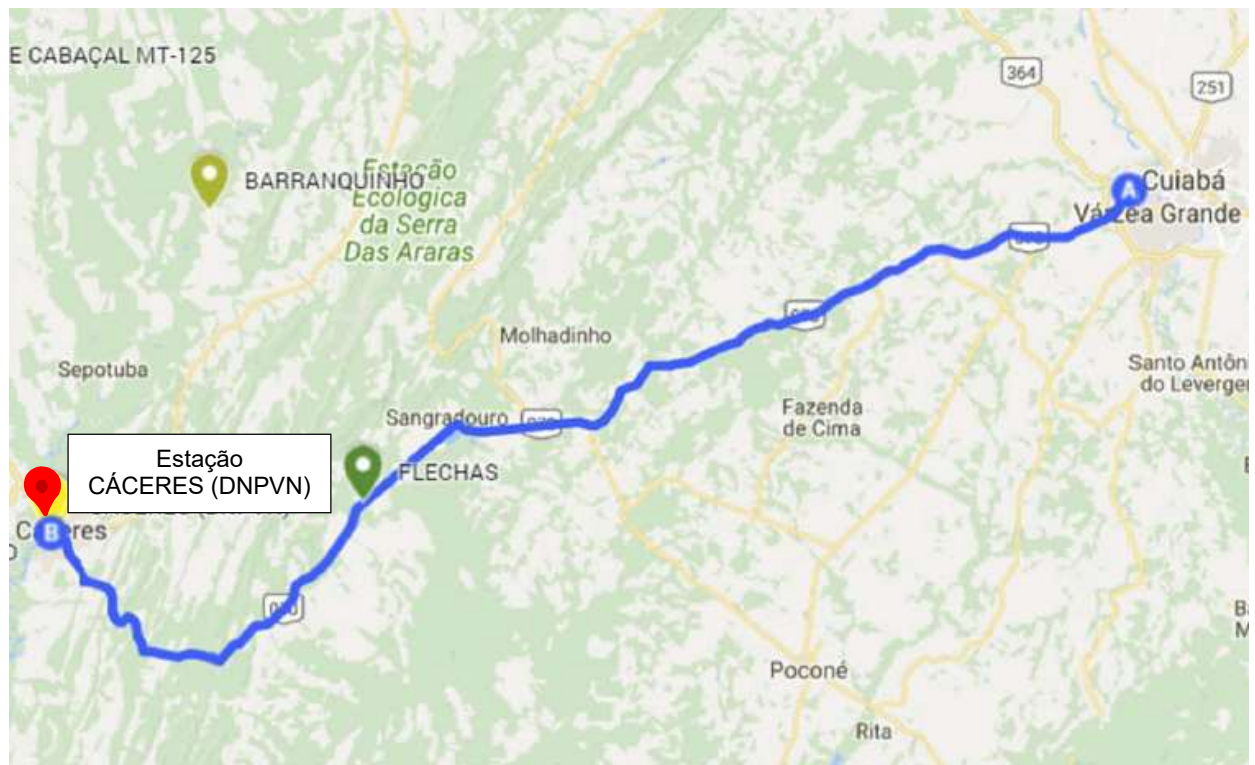
Controle:	Canal	Localização:	Distância (m):	400
-----------	-------	--------------	----------------	-----

Características do trecho

Regime:	Perene	Conformação:	Retilínea	Fundo:	Regular
---------	--------	--------------	-----------	--------	---------

Posição em relação à rede

Montante: ➡ CÁCERES (DNPVN) ➡ Jusante:



ANEXO II

Distribuições de Gumbel e Log-Normal

DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

- Função Densidade de Probabilidade

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

α = Parâmetro de escala β = 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

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

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)

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: μ é o parâmetro de posição e σ 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

$$\hat{\mu} = \lambda_1 \quad \hat{\sigma} = \lambda_2 \sqrt{\pi}$$

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 por ano hidrológico

Curva-Chave

Estatísticas da série

Série de Dados Utilizados – Cotas (cm) e Vazões (m³/s)
Máximos por ano hidrológico (01/Out a 30/Set)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Observações
1	1966	1967	24/03/1967	CM	420	741	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
2	1967	1968	29/02/1968	CM	452	905	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
3	1968	1969	23/01/1969	CM	411	700	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
4	1969	1970	23/03/1970	CM	438	830	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
5	1970	1971	20/03/1971	CM	342	481	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
6	1971	1972	28/02/1972	CM	456*	927	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
7	1972	1973	20/01/1973	CM	402	652	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
8	1973	1974	23/03/1974	CM	533	1401	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
9	1974	1975	14/03/1975	CM	457	932	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
10	1975	1976	02/04/1976	CM	503	1204	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
11	1976	1977	09/02/1977	CM	460	949	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
12	1977	1978	21/01/1978	CM	512	1262	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
13	1978	1979	20/01/1979	07:00	553	1532	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
14	1979	1980	07/03/1980	07:00	588	1798	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
15	1980	1981	05/02/1981	07:00	553	1540	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
16	1981	1982	17/03/1982	07:00	641	2220	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
17	1982	1983	02/02/1983	07:00	542	1462	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
18	1983	1984	31/12/1983	17:00	475	1029	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
19	1984	1985	22/03/1985	07:00	528	1367	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
20	1985	1986	12/03/1986	07:00	459	943	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
21	1986	1987	07/02/1987	CM	537*	1428	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
22	1987	1988	04/03/1988	17:00	533	1394	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
23	1988	1989	23/02/1989	CM	520*	1314	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
24	1989	1990	15/02/1990	CM	464*	971	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
25	1990	1991	15/03/1991	CM	565*	1626	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
26	1991	1992	07/03/1992	CM	506	1223	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
27	1992	1993	14/12/1992	CM	545	1483	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
28	1993	1994	15/02/1994	07:00	443	972	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
29	1994	1995	26/02/1995	07:00	614	2044	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
30	1995	1996	24/01/1996	CM	496*	1272	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
31	1996	1997	10/02/1997	07:00	509*	1397	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
32	1997	1998	09/03/1998	07:00	469	1171	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
33	1998	1999	18/03/1999	07:00	480	1236	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
34	1999	2000	29/03/2000	07:00	510	1402	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
35	2000	2001	22/03/2001	CM	451	978	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
36	2001	2002	05/03/2002	07:00	520	1460	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
37	2002	2003	02/04/2003	07:00	496	1323	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave

(Continuação)

N	AI	AF	Data	Hora	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Observações
38	2003	2004	26/02/2004	07:00	525	1489	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
39	2004	2005	07/02/2005	17:00	494	1316	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
40	2005	2006	23/04/2006	07:00	523	1478	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
41	2006	2007	19/02/2007	07:00	540	1575	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
42	2007	2008	12/02/2008	CM	495	1327	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
43	2008	2009	13/04/2009	07:00	470	1200	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
44	2009	2010	26/02/2010	07:00	555	1664	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
45	2010	2011	10/03/2011	07:00	528	1506	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
46	2011	2012	08/03/2012	07:00	420	972	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
47	2012	2013	28/02/2013	07:00	426	997	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
48	2013	2014	04/03/2014	17:00	582	1827	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
49	2014	2015	07/03/2015	07:00	476	1230	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
50	2015	2016	17/03/2016	CM	395	869	CM / Vazões geradas a partir da curva-chave
51	2016	2017	02/03/2017	07:00	510	1406	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
52	2017	2018	10/04/2018	07:00	484	1260	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
53	2018	2019	12/03/2019	07:00	446	1087	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
54	2019	2020	01/03/2020	07:00	436	1041	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
55	2020	2021	30/03/2021	07:00	334	649	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
56	2021	2022	07/03/2022	17:00	454	1119	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
57	2022	2023	29/03/2023	07:00	530	1518	DL / Vazões geradas a partir da curva-chave
58	2023	2024	26/04/2024	07:00	382	791	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.

Curva-Chave

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

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

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_o são parâmetros de ajustes.

Os parâmetros das curvas-chaves utilizadas no estudo são os seguintes:

Curva-Chave	Período	13/12/1965 18/09/1972	19/09/1972 23/03/1978	24/03/1978 30/11/1993
1	Amplitude de cotas (cm)	70	100	170
		371	357	361
	a	2,14	43,2721	1,77
	h_o (m)	-3,85	-1,19	-4
	n	2,73	1,514	2,78
2	Amplitude de cotas (cm)	371	357	361
		429	550	429
	a	6,9338	86	6,9338
	h_o (m)	-0,59	1,24	-0,59
	n	2,982	1,981	2,982
3	Amplitude de cotas (cm)	429		429
		500		650
	a	86		86
	h_o (m)	1,24		1,24
	n	1,981		1,981

Curva-Chave	Período	01/12/1993 20/10/1996	21/10/1996 19/08/2000	20/08/2000 15/05/2003
1	Amplitude de cotas (cm)	150	140	110
		343	337	354
	<i>a</i>	2,135	49,8899	54,1415
	<i>ho (m)</i>	-3,90	-1,24	-1,16
	<i>n</i>	2,73	1,593	1,592
2	Amplitude de cotas (cm)	343	337	354
		650	522	522
	<i>a</i>	177,858	107,8267	107,8267
	<i>ho (m)</i>	1,54	0,79	0,79
	<i>n</i>	1,6	1,756	1,756
3	Amplitude de cotas (cm)		522	522
			550	550
	<i>a</i>		4,3461	4,3461
	<i>ho (m)</i>		-2,36	-2,36
	<i>n</i>		2,876	2,876

Curva-Chave	Período	16/05/2003 15/02/2010	16/02/2010 06/03/2015	07/03/2015 31/12/2025
1	Amplitude de cotas (cm)	90	20	-10
		338	92	120
	<i>a</i>	95,4	70,732	68,699
	<i>ho (m)</i>	-0,89	-1,5	-1,32
	<i>n</i>	1,333	1,201	1,387
2	Amplitude de cotas (cm)	338	92	120
		550	320	339
	<i>a</i>	4,3461	92,98	92,98
	<i>ho (m)</i>	-2,36	-0,89	-0,89
	<i>n</i>	2,876	1,328	1,328
3	Amplitude de cotas (cm)		320	339
			650	650
	<i>a</i>		4,3461	4,326
	<i>ho (m)</i>		-2,36	-2,22
	<i>n</i>		2,876	2,899

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
1239,5	344,9	2220,0	481,0	1739,0	0,3	1261	972,0025	1461,5	489,4975

Estatísticas da série transformada: Ln(X)

Média	Desvio- Padrão	Máximo	Mínimo	Amplitude	Assimetria	Mediana	1º Quartil	3º Quartil	AIQ
7,08148	0,29733	7,70526	6,17586	1,52939	-0,63316	7,13966	6,87935	7,28721	0,40786

Momentos-L e Razões-L

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
1239,4829	194,1082	0,1566	0,0146	0,1323

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

l_1	l_2	L-CV	L-SKEW	L-KURT
7,1224	5,2684	-1,8540	-4,2250	-2,0226

Função Acumulada de Probabilidade da Log-Normal para Máximos (μ e σ 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 (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	7,0815	0,2933



Projeto de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras

ENDEREÇOS

Sede

SGAN- Quadra 603 – Conjunto J –
Parte A – 1º andar Brasília – DF
CEP: 70830-030
Tel: (61) 2192-8252
Fax: (61) 3224-1616

Escritório Rio de Janeiro

Av Pasteur, 404 – Urca
Rio de Janeiro – RJ
CEP: 22290-255
Tel: (21) 2295-5337 – (21) 2295-5382
Fax: 21 2542-3647

Superintendência Regional de Goiânia

Rua 148, 485 – Setor Marista
Goiânia – GO
CEP: 74170-110
Tel.: (62) 3240-1401 / (62) 3240-1402

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Av. Brasil, 1.731 – Funcionários
Belo Horizonte – MG
CEP: 30140-002
Tel.: (31) 3878-0376
Fax: (31) 3878-0383

ISBN 978-65-5664-649-7