



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

DUANE IZABEL BARBOSA

VAZÃO ECOLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE, GOIÁS

GOIÂNIA/GO

2013

DUANE IZABEL BARBOSA

VAZÃO ECOLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE, GOIÁS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga

GOIÂNIA/GO

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

GPT/BC/UFG

Barbosa, Duane Izabel.

B238v Vazão Ecológica na Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, Goiás [manuscrito] / Duane Izabel Barbosa. - 2013.

xvi, 114 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Anexos.

1. Bacia hidrográfica – Meia Ponte, Rio – Goiás (Estado).
2. Bacia Hidrográfica – Vazão ecológica.
3. Métodos hidrológicos. I. Título.

CDU: 556.51

DUANE IZABEL BARBOSA

VAZÃO ECOLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE, GOIÁS.

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, aprovada em 26 de Julho de 2013 pela seguinte Banca Examinadora:



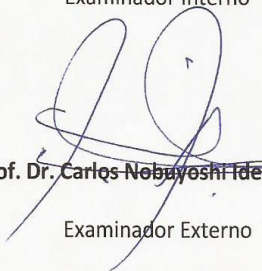
Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga – UFG

Presidente da Banca



Prof. Dr. Alexandre Kepler Soares – UFG

Examinador Interno



Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide – UFMS

Examinador Externo

Este trabalho é dedicado a todos que acreditaram em mim e que me apoiaram durante o período de realização do mestrado.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer aos meus familiares por estarem sempre presentes e me apoiarem em todos os momentos, bons e ruins, da minha vida. Em especial à minha mãe e ao meu pai que, através de seus esforços, me forneceram os meios de chegar à posição profissional na qual presentemente me encontro.

À minha querida tia pelos seus conselhos e demonstração de amor e carinho. À minha irmã que tanto amo por sua ajuda nas traduções e revisões dos textos em inglês. À Rúbia que sempre me escutou durante os treinos para as apresentações.

Agradeço também ao Rogério, amor da minha vida, pelo suporte dado e pela enorme ajuda nos trabalhos de campo.

Ao meu amigo e orientador, Klebber Teodomiro Martins Formiga, pelos conselhos de vida e por sempre estar disposto a me ouvir e me instruir a chegar aos objetivos almejados.

Aos colegas do mestrado pela excelente relação pessoal que criamos. Em especial à Ana Carolina, Aline e Fernanda Posch que se tornaram minhas amigas do coração.

Às minhas queridas amigas Larisse, Luana e Katharine, que sempre estão presentes na minha jornada.

Às mais novas amigas Kamila e Mariana que me auxiliaram neste trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da UFG, pela excelência com que desenvolvem seus trabalhos. Em especial à querida Deuzélia.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

RESUMO

Os conflitos gerados entre a proteção dos ecossistemas aquáticos e a crescente demanda para a captação de água nos rios, destinada à diferentes usos, têm se tornado cada vez mais complexos devido ao crescente reconhecimento destes ecossistemas como legítimos usuários dos recursos hídricos. Neste sentido, a vazão ecológica tem sido utilizada como ferramenta para nortear um gerenciamento ecologicamente sustentável, o qual visa proteger a integridade ecológica do ecossistema afetado, ao mesmo tempo em que atende as necessidades. O objetivo geral deste trabalho foi determinar as vazões ecológicas para 06 pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte utilizando os métodos hidrológicos $Q_{7,10}$, Curva de Permanência de Vazões, Tennant e o método hidráulico do Perímetro Molhado e, também, caracterizar as condições dos regimes de vazões nos pontos de estudo pelo método dos Indicadores de Alteração Hidrológica. Foram utilizados os dados das estações fluviométricas da ANA (Agência Nacional das Águas). Recomenda-se a adoção do método IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*) para verificar, principalmente, o comportamento dos cinco componentes de vazão considerados ecologicamente relevantes e, juntamente, aplicar, de acordo com as especificidades de cada local e os recursos financeiros disponíveis, outro método que não considere somente vazões mínimas a serem mantidas, mas sim uma série de valores de vazões que contemplem as variações intra e interanuais características dos regimes hidrológicos de cada local. Porém, considerando-se a impossibilidade da aplicação de métodos que contemplem vazões ecológicas variáveis ou hidrogramas ecológicos, recomenda-se, entre os métodos utilizados no presente estudo, a adoção da vazão Q_{90} como vazão ecológica para os pontos estudados por ser esta menos restritiva que as vazões obtidas com demais métodos e, por isso, ser capaz de contemplar uma gama maior de fatores ecológicos que manterão, na medida do possível, a integridade dos ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: Regime hidrológico, vazão ecológica, gestão das águas.

ABSTRACT

The resulting conflicts between the protection of aquatic ecosystems and the increasing demand for water catchment rivers, intended for different uses, have become increasingly complex due to the growing recognition of these ecosystems as legitimate users of water resources. In this sense the instream flow has been used as a tool to guide one ecologically sustainable management, which aims to protect the ecological integrity of the ecosystem affected, while serving the needs. The aim of this study is to determine the instream flows for 06 points basin Meia Ponte River using the hydrologic methods $Q_{7,10}$, Curve Permanence Flows, Tennant and hydraulic method Wetted Perimeter and also characterize the conditions of the schemes streamflow at the point of study method of Indicators of Hydrologic Alteration. We used data from gauged stations of ANA (Agência Nacional das Águas). It is recommended the adoption of the IHA method (*Indicators of Hydrologic Alteration*) to check, especially the behavior of the five components of flow considered ecologically relevant and together, apply, according to the specificities of each site and the financial resources available, another method that considers not only flows minimum to be maintained, but rather a series of measured flows that address the intra-and interannual variation characteristics of the hydrological regimes of each site. However, considering the impossibility of applying methods that contemplate instream flows or hydrograph ecological variables, it is recommended that, among the methods used in this study, the adoption of Q_{90} flow as instream flow for the points to be studied by this less restrictive that the flow rates obtained with other methods and therefore be able to address a wider range of ecological factors that maintain, wherever possible, the integrity of aquatic ecosystems.

Keywords: Hydrological regime, instream flow, water management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Princípios que justificam a conservação do regime de vazões.....	11
Figura 2: Método do perímetro molhado para estimar a vazão ecológica.	22
Figura 3: Fluxograma da metodologia.	31
Figura 4: Municípios integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.	32
Figura 5: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.....	33
Figura 6: Uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.....	34
Figura 7: Pontos de estudo.	35
Figura 8: Sub-bacias dos pontos de estudo.	36
Figura 9: Vazões em função do tempo de retorno.	45
Figura 10: Curvas de permanência dos trechos de estudo.	46
Figura 11: Vazões ecológicas recomendadas pelo método do perímetro molhado.	51
Figura 12: Inhumas – Rio Meia Ponte em período de seca em setembro 2012.....	70
Figura 13: Inhumas – Rio Meia Ponte em período de cheia em fevereiro 2013.....	70
Figura 14: Montante de Goiânia – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.....	70
Figura 15: Montante de Goiânia – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.	70
Figura 16: Fazenda Bonita de Baixo – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.	71
Figura 17: Fazenda Bonita de Baixo – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.....	71
Figura 18: Aloândia – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.....	71
Figura 19: Aloândia – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.....	71
Figura 20: Captação João Leite – Ribeirão João Leite período de seca em setembro 2012.....	72
Figura 21: Captação João Leite – Ribeirão João Leite período de cheia em fevereiro 2013.....	72
Figura 22: Professor Jamil – Rio Dourado período de seca em setembro 2012.	72
Figura 23: Professor Jamil – Rio Dourado período de cheia em fevereiro 2013.....	72
Figura 24: Magnitude das vazões mensais de Inhumas (Grupo 1).	73
Figura 25: Magnitude das vazões mensais de Montante de Goiânia (Grupo 1).	74
Figura 26: Magnitude das vazões mensais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 1).....	75
Figura 27: Magnitude das vazões mensais de Aloândia (Grupo 1).	76
Figura 28: Magnitude das vazões mensais de Captação João Leite (Grupo 1).....	77
Figura 29: Magnitude das vazões mensais de Professor Jamil (Grupo 1).	78
Figura 30: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Inhumas (Grupo 2).	79
Figura 31: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Montante de Goiânia (Grupo 2).....	80

Figura 32: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).....	81
Figura 33: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Aloândia (Grupo 2).	82
Figura 34: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais Captação João Leite (Grupo 2).	83
Figura 35: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Professor Jamil (Grupo 2).	84
Figura 36: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Inhumas (Grupo 2).....	85
Figura 37: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Montante de Goiânia (Grupo 2).....	86
Figura 38: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).....	87
Figura 39: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Aloândia (Grupo 2).....	88
Figura 40: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais Captação João Leite (Grupo 2).	89
Figura 41: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Professor Jamil (Grupo 2).	90
Figura 42: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Inhumas (Grupo 2).....	91
Figura 43: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Montante de Goiânia (Grupo 2).	91
Figura 44: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).....	92
Figura 45: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Aloândia (Grupo 2).....	92
Figura 46: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) Captação João Leite (Grupo 2).....	93
Figura 47: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Professor Jamil (Grupo 2).	93
Figura 48: Periodicidade das vazões anuais de Inhumas.	94
Figura 49: Periodicidade das vazões anuais de Montante de Goiânia.	94
Figura 50: Periodicidade das vazões anuais de Fazenda Bonita de Baixo.....	95
Figura 51: Periodicidade das vazões anuais de Aloândia.	95
Figura 52: Periodicidade das vazões anuais Captação João Leite.	96

Figura 53: Periodicidade das vazões anuais de Professor Jamil.	96
Figura 54: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Inhumas.....	97
Figura 55: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Montante de Goiânia.....	98
Figura 56: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Fazenda Bonita de Baixo.	99
Figura 57: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Aloândia.....	100
Figura 58: Frequência e duração de altos e baixos pulsos Captação João Leite.....	101
Figura 59: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Professor Jamil.....	102
Figura 60: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Inhumas.....	103
Figura 61: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Montante de Goiânia.....	104
Figura 62: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Fazenda Bonita de Baixo	105
Figura 63: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Aloândia.....	106
Figura 64: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Captação João Leite	107
Figura 65: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Professor Jamil.....	108
Figura 66: Componentes de vazão ecológica de Inhumas.	109
Figura 67: Componentes de vazão ecológica de Montante de Goiânia.	110
Figura 68: Componentes de vazão ecológica de Fazenda Bonita de Baixo.....	111
Figura 69: Componentes de vazão ecológica de Aloândia.	112
Figura 70: Componentes de vazão ecológica Captação João Leite.	113
Figura 71: Componentes de vazão ecológica de Professor Jamil.	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relações entre o regime hidrológico e os processos ecológicos.....	8
Quadro 2: Aspectos do regime hidrológico considerados ecologicamente relevantes.	9
Quadro 3: Critérios de outorga de direitos de usos da água em alguns Estados brasileiros.	18
Quadro 4: Parâmetros IHA e suas influências nos ecossistemas.	25
Quadro 5: Parâmetros EFC e suas influências nos ecossistemas.	26
Quadro 6: Percentagens da vazão média anual recomendadas por Tennant.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Regimes de vazão recomendados pelo método de Tennant para peixes, vida aquática e recreação.	20
Tabela 2: Estações fluviométricas selecionadas para este estudo.	36
Tabela 3: Número de anos (<i>i</i>) cobertos pela série inicial.	38
Tabela 4: Valores obtidos dos coeficientes de Nash e Stutcliffe e de Determinação (R^2) para as distribuições de Weibull e Log-normal.	44
Tabela 5: Valores de vazão ecológica resultantes do método $Q_{7,10}$	46
Tabela 6: Valores de Q_{90} e Q_{95}	47
Tabela 7: Valores das vazões médias anuais.	48
Tabela 8: Vazões ecológicas calculadas pelo método de Tennant.	50
Tabela 9: Valores de vazão ecológica pelo método do perímetro molhado.	52
Tabela 10: Mediana da magnitude das vazões mensais.	53
Tabela 11: Magnitude e duração das vazões extremas anuais.	54
Tabela 12: Mediana da periodicidade das vazões anuais.	56
Tabela 13: Frequência e duração de altos e baixos pulsos.	57
Tabela 14: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões.	58
Tabela 15: Valores das vazões específicas.	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHECB I – Aproveitamento Hidrelétrico de Capim Branco I

ANA – Agência Nacional das Águas

BBM – *Building Blocks Methodology*

BHRMP – Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte

CERHI-GO – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

DWAF – *Department of Water Affairs and Forestry*

EFC – *Environmental Flow Component*

IFIM – *Instream Flow Incremental Methodology*

IHA – *Indicators of Hydrologic Alteration*

HEC – *Hydrologic Engineering Center*

Q₉₅ – vazão com garantia de permanência em 95%

Q₉₀ – vazão com garantia de permanência em 90%

Q_{7,10} – vazão mínima de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos

Q1 – primeiro quartil

Q2 – segundo quartil ou mediana

Q3 – terceiro quartil

RVA – *Range of Variability Approach*

TNC – The Nature Conservancy

TVR – trecho de vazão reduzida

WAIORA – *Water Allocation Impacts On River Attributes*

LISTA DE SÍMBOLOS

$F_x(x)$ = função de probabilidades acumuladas

α = parâmetro de forma

β = parâmetro de escala

x = vazão

CV = coeficiente de variação

S_x = desvio padrão

\bar{X} = média

$A(\alpha)$ = função A

X_T = vazão correspondente a um tempo de retorno

Tr = tempo de retorno

Q_{obsi} = vazão observada

Q_{esti} = vazão estimada

\bar{Q} = vazão média observada

n = número de dados considerados

P = probabilidade de ocorrência

m = número de ordem

N = total de dados

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 DEMANDA ECOLÓGICA.....	1
1.2 VAZÃO ECOLÓGICA CONSTANTE E VAZÃO ECOLÓGICA VARIÁVEL.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo Geral.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO PARA OS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	7
2.2 MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA.....	12
2.2.1 Classificação dos métodos.....	12
2.2.1.1 Métodos hidrológicos.....	13
2.2.1.2 Métodos hidráulicos.....	13
2.2.1.3 Métodos de simulação ou de classificação de habitats.....	14
2.2.1.4 Métodos holísticos.....	16
2.3 VAZÃO ECOLÓGICA E OUTORGA DE DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	17
2.4 MÉTODO $Q_{7,10}$	19
2.5 MÉTODO DA CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES.....	19
2.6 MÉTODO DE TENNANT.....	19
2.7 MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO.....	21
2.8 MÉTODO IHA.....	22

2.9	PANORAMA NACIONAL E INTERNACIONAL	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE E DOS TRECHOS DE ESTUDO.....	31
3.2	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	37
3.2.1	Método $Q_{7,10}$	37
3.2.2	Método Curva de Permanência de Vazões	41
3.2.3	Método Tennant	41
3.2.4	Método do Perímetro Molhado	42
3.2.5	Método IHA	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	ANÁLISE DOS VALORES DE VAZÃO ECOLÓGICA	44
4.1.1	Método $Q_{7,10}$	44
4.1.2	Método Curva de Permanência de Vazões	46
4.1.3	Método Tennant	48
4.1.4	Método Perímetro Molhado	50
4.1.5	Método IHA	52
4.2	DISCUSSÃO.....	59
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	63
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	ANEXO A.....	70
	ANEXO B	73

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos estão sob crescente pressão devido às atividades humanas que provocam alterações nos regimes de vazões naturais dos rios. A urbanização crescente, as práticas agrícolas intensas e a industrialização são apenas alguns dos fatores que contribuem para a alteração no regime de vazões e consequente degradação da qualidade da água e perda da biodiversidade aquática.

As necessidades de água dos seres humanos e dos ecossistemas aquáticos são comumente vistas como concorrentes entre si (RICHTER *et al.*, 2003), fato este que gera inúmeros conflitos entre a proteção dos ecossistemas fluviais e a crescente demanda para a captação de água destinada à diferentes usos (SARMENTO, 2007). Neste contexto, os usuários que são economicamente e politicamente mais poderosos têm métodos bem mais desenvolvidos para justificar a quantidade de água que necessitam, porém o mesmo não ocorre com os ecossistemas aquáticos, os quais são tidos como usuários silenciosos de água (KUMARA & SRIKANTASWAMY, 2011).

A alteração do regime de vazões dos rios prejudica direta e indiretamente os ecossistemas aquáticos, podendo impactar negativamente os meios de subsistência das pessoas que dependem dos serviços fornecidos por estes ecossistemas através da diminuição da pesca e de problemas relacionados à nutrição e à saúde, com prejuízo econômico e social (IUCN, 2005).

Em razão da visão, ainda dominante, de que a demanda de água dos ecossistemas aquáticos é menos importante que a demanda humana, muitos rios encontram-se severamente degradados. Segundo Kumara & Srikantaswamy (2011), estima-se que mais de 60% dos rios do mundo tenham algum trecho afetado devido às alterações hidrológicas. Desta forma, alcançar um equilíbrio mais eficaz e sustentável entre as necessidades de água humanas e ecológicas torna-se um grande desafio (POFF *et al.*, 2003).

1.1 DEMANDA ECOLÓGICA

Os conflitos gerados entre a proteção dos ecossistemas aquáticos e a crescente demanda para a captação de água nos rios, destinada à diferentes usos, têm se tornado cada vez mais complexos devido ao crescente reconhecimento destes ecossistemas como legítimos usuários dos recursos hídricos (NAIMAN *et al.*, 2002; POSTEL & RICHTER, 2003; RICHTER *et al.*, 2003; ARTHINGTON *et al.*, 2006; SARMENTO, 2007).

Assim como existem demandas de água para a agricultura e a indústria, por exemplo, há também uma demanda ecológica, a qual deve ser assegurada, visto que os ecossistemas fluviais

fornece inúmeros bens e serviços ao homem. Alguns dos serviços fornecidos por estes ecossistemas fluviais e os benefícios destes serviços foram retratados por Postel & Richter (2003), que destacam:

(a) provisão de água (mais de 99% do suprimento de água para a irrigação, indústria e moradias do mundo provem de sistemas naturais);

(b) provisão de comida (peixes, aves, mexilhões, mariscos e semelhantes são importantes fontes de alimento para as pessoas e os animais silvestres);

(c) depuração da água/degradação de resíduos (banhados filtram e degradam poluentes, protegendo a qualidade da água);

(d) mitigação de inundações (bacias e várzeas absorvem a água da chuva, amortecem o escoamento e ajudam na recarga subterrânea);

(e) mitigação de secas (bacias, várzeas e banhados absorvem água de chuva, amortecem escoamento, e ajudam na recarga subterrânea);

(f) provisão de habitat (rios, córregos, várzeas, e banhados providenciam moradia e local de reprodução para peixes, aves, animais selvagens, e numerosas outras espécies);

(g) manutenção da fertilidade do solo (sistemas rio-várzea saudáveis, constantemente, renovam a fertilidade de solos da região);

(h) aporte de nutrientes (rios aportam sedimentos ricos em nutrientes para deltas e estuários, ajudando a manter a produtividade destes);

(i) manutenção das zonas costeiras (água doce mantém os gradientes de salinidade de deltas e ambientes marinhos costeiros, essenciais para a riqueza biológica e produtividade destes);

(j) provisão de beleza cênica e qualidade de vida (rios naturais e paisagem fluvial são fontes de inspiração e valores culturais e espirituais profundos; sua beleza melhora a qualidade de vida do homem);

(k) oportunidade de recreação (nadar, pescar, navegar, observação da vida selvagem, piqueniques, caminhadas ao longo do rio);

(l) conservação da biodiversidade (diversos grupos de espécies realizam o trabalho da natureza sobre os quais dependem as sociedades; conservar diversidade genética preserva opções para o futuro).

A compreensão dos ecossistemas aquáticos como usuários de água deve ser levada em consideração na gestão e no planejamento dos recursos hídricos. Conforme Agra *et al.* (2007), ao legitimar estes ecossistemas como usuários de água, a implantação destas vazões que consideram os ecossistemas aquáticos recebe apoio legal, tendo em vista que estas vazões estabelecem a quantidade de água necessária para a conservação dos processos ecológicos.

1.2 VAZÃO ECOLÓGICA CONSTANTE E VAZÃO ECOLÓGICA VARIÁVEL

A definição da chamada vazão ecológica em rios é um problema ainda sem solução definitiva uma vez que vários são os aspectos relacionados ao ambiente aquático, pois além de seu valor ambiental, a água possui um relevante papel sócio-econômico (SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004). Além disso, uma grande variedade de termos pelos pesquisadores para representar a quantidade de água que permanece no leito do rio depois de retiradas para atender usos externos: vazão remanescente, vazão ambiental, vazão ecológica constante ou simplesmente vazão ecológica, hidrograma ambiental ou ecológico (vazão ecológica variável), demanda ambiental, vazão mínima residual, caudal ecológico, vazão de preservação ambiental, entre outros, dependendo da metodologia utilizada (SARMENTO & PELISSARI, 1999; BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004; DAS GUPTA, 2008).

Por muito tempo, o reconhecimento dos problemas ambientais relacionados à quantidade de água esteve limitado à noção de que eram necessárias vazões remanescentes ou residuais, que deveriam ser mantidas no rio durante as épocas de estiagem, as chamadas vazões ecológicas (COLLISCHONN *et al.*, 2006). Porém, estudos mais recentes verificaram que um valor único de vazão mínima não é suficiente para manter as condições naturais pré-existentes a jusante de um importante uso de água (POFF *et al.*, 1997; RICHTER *et al.* 2003; SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004; COLLISCHONN *et al.*, 2006).

A quantidade de água necessária para dar sustentabilidade ecológica a um rio é variável no tempo, e os critérios para a definição de vazões remanescentes nos rios devem contemplar não apenas as situações de vazões mínimas durante períodos de estiagem, mas, também, os outros períodos que caracterizam o regime hidrológico (COLLISCHONN *et al.*, 2006).

As alocações de água para a manutenção da vida passaram a ser denominadas hidrograma ecológico, em detrimento à denominação comum de vazão ecológica, com a finalidade de enfatizar a necessidade de alterar práticas tradicionais de aplicação de vazões constantes de estiagem para a adoção de regimes hidrológicos que permitam a preservação de processos ecológicos (COLLISCHONN *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2008). Desta maneira, a vazão ecológica, que assume um valor constante, vem sendo substituída por uma série temporal de valores de vazões, ou seja, por uma vazão ecológica variável ou hidrograma ecológico que considera as necessidades das espécies ao longo do seu ciclo de vida, sendo flexível em função das condições hidrológicas naturais que se verificam ano a ano (RICHTER *et al.*, 2003; COLLISCHONN *et al.*, 2005; OKAWA, 2009).

O hidrograma ecológico tem sido utilizado como ferramenta para nortear um gerenciamento ecologicamente sustentável, o qual visa proteger a integridade ecológica do ecossistema afetado, ao mesmo tempo em que atende as necessidades humanas (RICHTER *et al.*, 2003; COLLISCHONN *et al.*, 2005; OKAWA, 2009).

Porém, a determinação do hidrograma ecológico passa por avaliações bastante complexas de elementos que são afetados pela variação do regime hidrológico, os quais alteram o comportamento hidráulico do rio e que, por sua vez, influenciam todas as espécies do curso d'água (REIS, 2007). Além disso, segundo Souza *et al.* (2008), a identificação de todas as relações entre o regime hidrológico, ecologia e sociedade, algo que ainda necessita de muitos estudos, é essencial para a definição de hidrogramas ecológicos.

Em razão destas dificuldades na determinação do hidrograma ecológico, percebeu-se que a maioria dos estudos envolvendo o tema vazão ecológica utiliza métodos que determinam uma vazão ecológica constante.

Segundo Poff *et al.* (2003), é preciso determinar, de forma mais clara e precisa, a quantidade de água necessária à manutenção dos ecossistemas aquáticos para orientar a formulação de políticas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos com ações voltadas ao equilíbrio entre as demandas humanas e ecológicas.

A determinação de vazões ecológicas é necessária, tanto a jusante de barramentos destinados à geração de energia elétrica e ao abastecimento público, quanto em locais com significativos pontos de retirada de água (*i.e.*, agricultura e indústria), oferecendo uma oportunidade real para evitar e mesmo trabalhar para reverter os erros do passado. O estabelecimento de limites de uso de água, em razão da necessidade de conservação ambiental, deve conduzir a melhorias de eficiência no uso de sistemas hídricos.

Desta forma, com a determinação de vazões ecológicas para trechos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), será possível a utilização destas vazões para projetar e implementar programas de gerenciamento que armazenem e derivem a água para propósitos humanos, de maneira que não cause degradação aos ecossistemas aquáticos.

Planejar levando-se em consideração os ecossistemas aquáticos como usuários de água deve ser uma prioridade. Sendo assim, há a necessidade de pesquisas integradas envolvendo conhecimentos ecológicos, hidrológicos e socioeconômicos como subsídios para a tomada de decisão nos processos de gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas específicas.

Um dos principais desafios relacionados à determinação das vazões ecológicas é sintetizar o conhecimento e a experiência adquiridos com os estudos de caso individuais dentro de uma

estrutura científica que apoia e orienta o desenvolvimento de vazões ecológicas em escala regional (POFF *et al.*, 2003; ARTHINGTON *et al.*, 2006; ACREMAN & FERGUSON, 2010).

Para promover maior difusão dos conceitos que envolvem vazões ecológicas relacionadas à gestão dos recursos hídricos é importante, entre outros aspectos, alterar a percepção, ainda dominante, de que a demanda de água do meio ambiente aquático é menos importante, criar a consciência entre as autoridades responsáveis sobre a existência de métodos e processos que devem ser seguidos e ilustrar a aplicabilidade destas abordagens por meio de estudos de casos relevantes.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar as vazões ecológicas para 06 (seis) pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte utilizando os métodos hidrológicos $Q_{7,10}$, Curva de Permanência de Vazões, Tennant e o método hidráulico do Perímetro Molhado e, também, caracterizar as condições dos regimes de vazões nos pontos de estudo pelo método dos Indicadores de Alteração Hidrológica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os métodos utilizados na determinação das vazões ecológicas;
- Analisar a tendência do regime hidrológico nos pontos estudados por meio da caracterização destes regimes pelo método Indicadores de Alteração Hidrológica.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em 05 capítulos. Inicialmente, é apresentada, no primeiro capítulo, a introdução referente ao tema vazão ecológica, abordando-se a justificativa e os objetivos desta pesquisa. O segundo capítulo é formado pela revisão de literatura, a qual traz a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do tema desta dissertação. O capítulo terceiro refere-se ao item material e métodos, no qual se aduz as características gerais da bacia hidrográfica bem como dos trechos de estudo e detalham-se os métodos utilizados. Os resultados e discussões

são apresentados no quarto capítulo e as conclusões no capítulo cinco. Por fim, têm-se as referências de literatura utilizadas e os anexos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Por meio da presente revisão de literatura buscou-se a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do tema desta dissertação. Realizou-se o levantamento e a análise da literatura publicada acerca do tema proposto, objetivando dar sustentação ao desenvolvimento da pesquisa e discutir questões relacionadas ao tema vazão ecológica.

2.1 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO PARA OS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

A integridade ecológica do ecossistema depende de seu caráter dinâmico natural (POFF *et al.*, 1997) buscando-se, ao imitar a variabilidade de regimes de vazões naturais, manter o ecossistema em boas condições de funcionamento (DAS GUPTA, 2008). Em decorrência disso, torna-se necessário conhecer o regime hidrológico do rio (POFF *et al.*, 1997; RICHTER *et al.*, 2003).

O regime de vazões tem grande importância sobre a biodiversidade em rios, córregos e planícies de inundação, influenciando diretamente a composição e a integridade biótica dos corpos d'água (POFF *et al.*, 1997; BUNN & ARTHINGTON, 2002). A qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados é fortemente dependente do regime hidrológico, incluindo a magnitude das vazões mínimas, a magnitude das vazões máximas, o tempo de duração das estiagens, o tempo de ocorrência das cheias, a frequência das cheias, a época de ocorrência dos eventos de cheias e estiagens, entre outros (POFF *et al.*, 1997; BUNN e ARTHINGTON, 2002; POSTEL & RICHTER, 2003; NAIMAN *et al.*, 2002).

De acordo com Araújo & Rocha (2010), a compreensão do regime hidrológico do rio, sua variabilidade e possíveis alterações é de fundamental importância, visto a necessidade de avaliar quantitativamente e qualitativamente a dinâmica fluvial dos rios para o desenvolvimento de um processo de racionalização do uso das águas, conservação e sua preservação ecológica.

Cada componente do regime hidrológico como as estiagens, as cheias, o tempo e o período de ocorrência das cheias é importante na manutenção dos ecossistemas associados ao rio (COLLISCHONN *et al.*, 2006). O Quadro 1 mostra as características ecológicas associadas à componentes do regime hidrológico.

Segundo Okawa (2009), o paradigma do regime natural enunciado formalmente por Poff *et al.* (1997) e também presente no trabalho de Richter *et al.* (1997), estabelece que a completa variabilidade intra e interanual do regime hidrológico, associada com as características de

periodicidade, duração, frequência, magnitude e taxa de mudança, consideradas ecologicamente relevantes (Quadro 2), são críticas para a sustentação de toda a biodiversidade nativa e da integridade dos ecossistemas aquáticos.

Quadro 1: Relações entre o regime hidrológico e os processos ecológicos.

Estiagens	Cheias*	Inundações
<p>São suficientemente baixas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concentrar presas e, assim, favorecer os predadores durante um período; • Eliminar ou reduzir a densidade de espécies invasoras; • Expor bancos de areia e praias que são utilizados para a reprodução de répteis e/ou aves; • Secar áreas de inundação temporária. <p>São suficientemente altas para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manter o hábitat de espécies nativas; • Manter a qualidade da água, especialmente a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido; • Manter o nível do lençol freático na planície. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinam o tipo de sedimento do fundo do rio; • Evitam a invasão do leito do rio por plantas terrestres; • Renovam a água armazenada em lagos marginais, braços mortos do rio e em regiões de estuário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificam a calha do rio, criando curvas, bancos de areia, ilhas, praias, áreas de maior ou menor velocidade de água, e diversidade de ambientes; • Inundam as planícies, depositando sedimentos e nutrientes necessários para a vegetação terrestre; • Inundam e criam lagos marginais na planície, criando oportunidade de reprodução e alimentação de peixes e aves; • Indicam o início do período de migração ou de reprodução para algumas espécies de peixes; • Eliminam ou reduzem o número de espécies invasoras ou exóticas; • Controlam a abundância de plantas nas margens e na planície; • Espalham sementes de plantas pela planície.

*Cheias são aqui definidas como elevações de nível d'água até um pequeno transbordamento da calha do rio.

Fonte: Adaptado de Richter *et al.* (2006).

Quadro 2: Aspectos do regime hidrológico considerados ecologicamente relevantes.

Características do regime hidrológico	Conceitos
Magnitude	Quantidade de água que passa em uma seção transversal por unidade de tempo. As magnitudes máximas e mínimas de vazões variam com o clima e o tamanho da bacia contribuinte.
Periodicidade	Refere-se à regularidade com que ocorre uma determinada magnitude de fluxo.
Frequência	Refere-se à recorrência com que vazões alcançam determinada magnitude em um intervalo de tempo, sendo inversamente proporcional à magnitude do fluxo e ao tempo de retorno.
Duração	Período de tempo associado com uma condição específica de vazão.
Taxa de Alteração	Rapidez com que as vazões alteram de magnitude.

Fonte: Adaptado de Richter *et al.* (1996), Poff *et al.* (1997), Okawa (2009) e Souza (2009).

Em uma pesquisa realizada por Bunn & Arthington (2002), os autores mostram como a alteração do regime de vazões afeta a biodiversidade em rios e córregos. Para isso, apresentam 4 (quatro) princípios orientadores sobre a influência do regime de vazões na biodiversidade aquática e investigam as consequências das mudanças do regime de vazões. Os princípios são:

- **Princípio 1 – A vazão é um dos principais determinantes do hábitat físico em rios, o qual é um dos principais determinantes da composição biótica.**

Para Bunn & Arthington (2002), o movimento da água através da paisagem influencia a ecologia de rios em várias escalas espaciais e temporais. A forma e o tamanho dos canais dos rios, a distribuição de habitats de zona de correnteza e de remanso e a estabilidade do substrato são, em grande parte, determinados pela interação entre o regime de vazões, a geologia local e a forma do

terreno. Por sua vez, essa complexa interação entre vazões e hábitat físico é um dos principais determinantes da distribuição, abundância e diversidade de organismos no rio. Isto é evidente mesmo em escalas espaciais menores, onde as variações sutis na velocidade das vazões superficiais e de fundo, podem ditar a distribuição e abundância de plantas e animais. As associações dos organismos com o ambiente físico podem ser encontradas em espécies de vão desde algas e plantas aquáticas até invertebrados e peixes.

- **Princípio 2 – As estratégias de vida das espécies aquáticas evoluíram, principalmente, em resposta direta ao regime natural de vazões.**

Bunn & Arthington (2002), discutem o grau em que os padrões de vazão influenciam a história de vida das espécies aquáticas. Eles consideram que alterações no regime de vazões podem afetar a sobrevivência, bem como a taxa de crescimento e de proliferação de alguns organismos.

- **Princípio 3 – A manutenção de padrões naturais de conectividade longitudinal e lateral do rio é essencial para a viabilidade de muitas espécies fluviais.**

A viabilidade das populações de muitas espécies de organismos aquáticos é totalmente dependente da sua capacidade de se mover livremente pelo rio ou entre o rio e as zonas úmidas de várzeas. A perda de conectividade longitudinal e lateral por meio da construção de barreiras, como barragens, pode levar ao isolamento de populações, impactos sobre a migração de algumas espécies e extinção local.

- **Princípio 4 – A invasão e o sucesso de espécies exóticas em rios são facilitados por alterações no regime de vazões.**

As espécies exóticas são favorecidas por muitas mudanças no regime de vazões. Segundo Bunn & Arthington (2002), os mais bem sucedidos invasores serão aqueles mais adaptados ao regime de vazão modificado e o sucesso a longo prazo de uma espécie invasora é muito mais provável em um sistema aquático permanentemente alterado pela atividade humana do que em um sistema levemente perturbado.

Assim sendo, o regime natural de vazões tem uma profunda influência sobre a biodiversidade de rios, córregos e planícies de inundação (POFF *et al.*, 1997; BUNN & ARTHINGTON, 2002). A Figura 1 apresenta os princípios que justificam a conservação do regime de vazões.

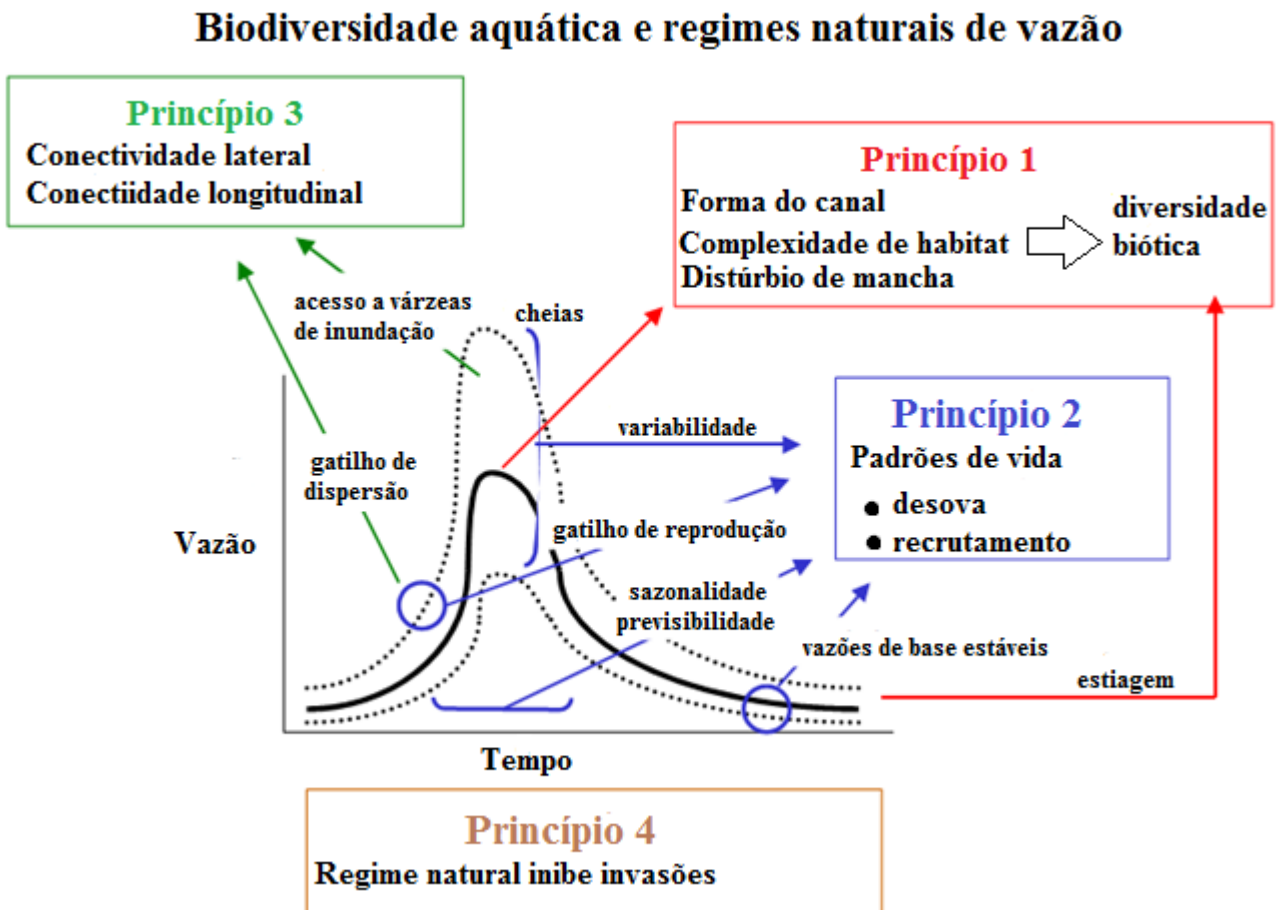


Figura 1: Princípios que justificam a conservação do regime de vazões.

Fonte: Adaptado de Bunn & Arthington (2002).

O regime natural de vazões de um rio influencia a biodiversidade aquática através de vários mecanismos interrelacionados que operam em diferentes escalas espaciais e temporais. A relação entre biodiversidade e natureza física do habitat aquático é possivelmente impulsionada, principalmente, por grandes eventos que influenciam a forma do canal (Princípio 1).

No entanto, eventos de secas e de vazões baixas são também capazes de desempenhar um papel na limitação da disponibilidade de habitat global. Muitas características do regime de vazões influencia os padrões da história de vida das espécies, especialmente a sazonalidade e a

previsibilidade do padrão geral, mas, também, a periodicidade de eventos de vazão particulares (Princípio 2).

Alguns eventos de vazões desencadeiam uma dispersão longitudinal de organismos aquáticos migratórios e outros eventos de grande porte permitem o acesso a habitats de várzeas de maneira desconectada (Princípio 3).

A biota nativa evoluiu em resposta ao regime de vazões total. Mudanças de uso do solo da bacia hidrográfica e o desenvolvimento de recursos associados à água, inevitavelmente levam a alterações em um ou mais aspectos do regime de vazões, resultando em queda na biodiversidade aquática através destes mecanismos. As invasões por espécies exóticas são mais propensas a ter sucesso à custa da biota nativa, caso as espécies exóticas sejam mais adaptadas ao regime de vazões alterado (Princípio 4).

2.2 MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA

O conceito de vazão ecológica surgiu ao longo da segunda metade do século XX, quando os problemas associados ao manejo de água começaram a ser percebidos no meio ambiente (COLLISCHONN *et al.*, 2006). De acordo com Tharme (2003), em muitos países o desenvolvimento de métodos para a determinação da vazão ecológica ganhou significativo terreno apenas na década de 1980 (*i.e.* Austrália, Inglaterra, Nova Zelândia e África do Sul) ou mais tarde (*i.e.* Brasil, República Checa, Japão e Portugal).

Cada método é adequado a um conjunto de circunstâncias particulares e os critérios para a seleção de um método específico incluem o tipo de interferência (captação de água, barragem e lançamento de águas pluviais), o tempo e o recurso financeiro disponível, bem como o quadro legal nos quais as vazões devem ser definidas (DAS GUPTA, 2008).

Segundo Acreman & Dunbar (2004), a escolha do melhor método ou do mais apropriado não é uma tarefa simples e não pode ser realizada de qualquer maneira. Além disto, os pesquisadores devem estar cientes de que têm, ainda, o desafio de adaptar estes métodos ao ambiente nativo, ou seja, à realidade do local de estudo (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2004).

2.2.1 Classificação dos métodos

Os métodos têm sido classificados em várias categorias, refletindo a variação da complexidade na sua aplicação (SARMENTO, 2007). Uma revisão global realizada por Tharme (2003), acerca da presente situação dos métodos utilizados para determinação de vazões ecológicas,

revelou a existência de aproximadamente 207 métodos, distribuídos em 44 países, podendo estes métodos ser divididos em 04 (quatro) categorias: métodos hidrológicos, métodos hidráulicos, métodos de simulação de habitats e métodos holísticos (THARME, 2003; BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; COLLISCHONN *et al.*, 2005; ARTHINGTON *et al.*, 2006; REIS, 2007; SARMENTO, 2007; OKAWA, 2009).

2.2.1.1 Métodos hidrológicos

Estes métodos utilizam dados históricos, como séries temporais de vazões diárias ou mensais, para fazer recomendações sobre vazão ecológica (SARMENTO, 2007). Não analisam o aspecto ambiental, apenas presumem que a manutenção de uma vazão de referência, calculada com base na estatística da série histórica, possa acarretar em benefício ao ecossistema (COLLISCHONN *et al.*, 2005; COLLISCHONN *et al.*, 2006).

Segundo Okawa (2009), a grande vantagem que esta categoria apresenta é necessitar apenas da série histórica de vazão e as maiores desvantagens são que resultam em um valor constante de vazão, desprezando a sazonalidade, resultando em um valor geralmente baixo, não considerando os requerimentos das espécies ao longo do seu ciclo de vida. Souza, Fragoso Júnior & Giacomoni (2004) apontam como vantagem o baixo custo e o fato de que os índices hidrológicos derivados de tais métodos podem ser incorporados nos métodos holísticos.

De acordo com Benetti, Lanna & Cobalchini (2003), os métodos hidrológicos mais utilizados são: (a) Método da vazão média mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$); (b) Método da curva de permanência de vazões; (c) Método das vazões anuais mínimas de 7 dias; (d) Método de Tennant, também conhecido como Método de Montana; (e) Método da vazão aquática de base; (f) Método da mediana da vazões mensais; e (g) Método da área de drenagem.

Os métodos hidrológicos utilizados neste trabalho ($Q_{7,10}$, curva de permanência de vazões e Tennant) serão vistos com maiores detalhes mais nos itens 2.4, 2.5 e 2.6.

2.2.1.2 Métodos hidráulicos

Os métodos hidráulicos utilizam vários parâmetros, tais como profundidade, velocidade, largura do rio, perímetro molhado, área molhada e raio hidráulico para prever as variações de habitat em função das mudanças na vazão (REIS, 2007).

A maior vantagem, conforme Okawa (2009), é que, ao tentar relacionar parâmetros hidráulicos com as modificações nos habitats, os pesquisadores são levados a conhecerem melhor a

área de estudo. Como desvantagem, estes métodos necessitam de um amplo conhecimento da área de estudo sendo preciso, para isto, equipamentos, pessoal e recursos financeiros para as medições em campo (COLLISCHONN *et al.*, 2005; COLLISCHONN *et al.*, 2006; OKAWA, 2009).

Os principais métodos são o método do perímetro molhado e método das regressões múltiplas. Segundo Benetti, Lanna & Cobalchini (2003), este primeiro método utiliza o perímetro molhado para prever modificações nos habitats aquáticos e o segundo método usa regressões múltiplas para correlacionar variáveis ambientais com o tamanho das populações de peixes e de invertebrados.

O método hidráulico do perímetro molhado utilizado neste trabalho será apresentado com maiores detalhes no item 2.7.

2.2.1.3 Métodos de simulação ou de classificação de habitats

Estes métodos combinam as características hidráulicas de um trecho do rio com as preferências de habitat para uma espécie ou grupo de espécies (REIS, 2007). Nesta categoria de métodos, parte-se da premissa de que as espécies refletem as condições existentes para a manutenção do ecossistema e, usualmente, implicam na determinação de uma relação de vazão-habitat para comparar alternativas de vazão ecológica ao longo do tempo (OKAWA, 2009).

Um dos métodos de simulação de habitats mais utilizados é o método *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM). Este método foi desenvolvido em 1982 por uma equipe interdisciplinar do *U.S. Fish and Wildlife Service*, Estados Unidos (SARMENTO, 2007). O IFIM simula a qualidade e quantidade de habitats com variações nas vazões.

De acordo com Stalnaker *et al.* (1995) e Benetti, Lanna & Cobalchini (2003), um dos fatores que levaram ao desenvolvimento do IFIM foi o fato de que os métodos desenvolvidos anteriormente ao IFIM estabeleciam vazões mínimas que não ofereciam proteção suficiente para a manutenção da vida aquática.

O IFIM baseia-se no princípio de que a distribuição longitudinal e lateral dos organismos aquáticos é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos d'água. De acordo com Bovee *et al.* (1998), a área do rio, que possui condições ambientais favoráveis para a manutenção de uma população piscícola pode ser quantificada em função da vazão. Cada organismo tende a selecionar, no curso d'água, as condições que lhe são mais favoráveis, correspondendo à cada variável de microhabitat (velocidade, profundidade, substrato e cobertura) um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie (ALVES & HENRIQUES, 1994).

O IFIM é composto por uma série de procedimentos teóricos e computacionais interligados que descrevem características temporais e espaciais de hábitat em consequência a uma dada alternativa de alteração do regime fluviométrico dos rios. O caráter incremental desta metodologia vem do fato de como cada problema é encarado, permitindo que a solução seja encontrada a partir de variações na vazão, partindo-se de um valor inicial considerando várias alternativas, tornando-se adequado à resolução dos conflitos entre os diversos usuários da água.

O IFIM pode ser implementado em cinco fases sequenciais: (1) diagnóstico e identificação do problema, (2) planejamento do estudo, (3) implementação do estudo, (4) análise das alternativas e (5) resolução do problema.

A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de hábitat disponível para as espécies, determinada em função da vazão. A vazão ecológica recomendada corresponde ao valor mais alto de um conjunto de vazões calculadas para várias espécies e que, por isso, será suficiente para a manutenção das populações existentes (SARMENTO, 2007).

Outro método de simulação de hábitat é o método *Water Allocation Impacts On River Attributes* (WAIORA) que foi desenvolvido em 2003 (NIWA, 2004). Este método é um sistema desuporte ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos que pode ser usado para avaliar os efeitos das variações de vazões no hábitat, na temperatura da água, na concentração de oxigênio dissolvido e na concentração de amônia (NIWA, 2004).

O WAIORA utiliza a informação da geometria da calha do rio, parâmetros de qualidade da água e modelos numéricos para estimar os efeitos da vazão nesses parâmetros, comparando-se as previsões com as limitações ecológicas definidas pelo usuário, de modo a determinar se algum efeito adverso pode ocorrer (REIS, 2007).

Este método aplica-se a uma seção do rio, ao longo do qual as condições de vazões são razoavelmente consistentes. As principais variáveis hidráulicas do curso d'água avaliadas no modelo são a largura, a profundidade e a velocidade do fluxo. Avaliam-se também como variáveis físico-químicas os parâmetros, como a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido, os quais são fortes limitadores da vida em corpos d'água, e dependendo de sua variabilidade, podem definir a presença ou a ausência de determinadas espécies, e por fim, a concentração de amônia.

Em relação ao método WAIORA, conforme Reis (2007), este método não diz qual é a vazão ecológica, mas descreve a variabilidade dos elementos analisados em função da variação da vazão. A decisão deve ser tomada pelo usuário, tendo como base as limitações impostas pelas espécies aquáticas.

2.2.1.4 Métodos holísticos

De acordo com Benetti, Lanna & Cobalchini (2003), os métodos holísticos consideram as necessidades de todos os componentes de um ecossistema, assim como suas inter-relações, para a determinação da vazão ecológica. Os métodos desta categoria caracterizam-se principalmente pela estruturação em *workshops*, reunindo especialistas de diversas áreas e tendo como resultado uma descrição quantitativa, no espaço e no tempo, do regime de vazão que deverá possibilitar a manutenção do ecossistema do curso d'água (REIS, 2007).

O método *Building Blocks Methodology* (BBM) é o principal método desta categoria. O BBM foi desenvolvido paralelamente na África do Sul e Austrália pelo *Department of Water Affairs and Forestry* (DWAF) e cientistas da *University of Cape Town* (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003). A denominação *Building Blocks* refere-se aos componentes do regime de vazões que são específicos para o rio estudado; os “blocos” de vazão usualmente pertencem as seguintes categorias: vazões de base em período de estiagem, vazões de base em períodos de chuvas, enchentes nas estações chuvosas, pulsos de curta duração e vazões sub-superficiais na estação seca (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; OKAWA, 2009).

O princípio básico do método BBM dita que, em qualquer rio, há algumas vazões, dentro de um regime de vazões, que são mais importantes que outras para a manutenção dos ecossistemas fluviais. Estas vazões podem ser identificadas e descritas através de seu tempo de ocorrência, duração e magnitude. O método tem por hipótese que a identificação dos componentes mais importantes do regime natural de vazões e a sua incorporação no regime modificado podem contribuir para a manutenção do ecossistema aquático (BRITTO, 2005; OKAWA, 2009).

Segundo Arthington & Zalucki (1998), a aplicação do método BBM é relativamente rápida, mas exige uma coleta substancial de dados sobre a integridade da bacia hidrográfica, vegetação ripária, características geomorfológicas e hidráulicas dos locais de estudo, séries históricas de vazões, informações ecológicas, econômicas, sociais e culturais. Estes dados são apresentados em *workshops* por especialistas das áreas de peixes, invertebrados aquáticos, vegetação ciliar, integridade de habitats, geomorfologia fluvial, hidráulicos, hidrólogos, químicos aquáticos e cientistas sociais (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003).

As atividades do método BBM englobam três partes: (1) preparação do *workshop*; (2) execução do *workshop* e; (3) atividades pós-*workshop*. A etapa de preparação do *workshop* dura aproximadamente 6 (seis) meses, ao final do qual é produzido um documento contendo todas as informações sobre a área de estudo, com capítulos escritos por especialistas. A etapa de execução do *workshop* dura entre 2 a 4 dias, com a participação de aproximadamente 20 especialistas

incluindo um coordenador e facilitadores. Desta etapa resulta a definição de um regime de vazões para o corpo d'água de interesse. As atividades do pós-*workshop* conectam os resultados do *workshop* com as atividades de planejamento e engenharia para o recurso hídrico em consideração (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003).

2.3 VAZÃO ECOLÓGICA E OUTORGA DE DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos tem como um de seus instrumentos a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a qual tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997).

De acordo com Okawa (2009), na concessão da outorga a correta determinação da disponibilidade hídrica é de fundamental importância, visto que este instrumento é a vazão, variável no tempo e no espaço, em que parte é utilizada pela sociedade e parte é mantida nos cursos d'água, para conservação da integridade de seu sistema ambiental e para atender a usos não consuntivos. A outorga utiliza a vazão ecológica como ferramenta para a sua quantificação (FARIAS JÚNIOR, 2006).

Os estados brasileiros, ao estabelecerem seus critérios de outorga de direitos de uso de água, deixam antever, de forma indireta, suas concepções sobre vazões ecológicas (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004). As práticas adotadas no Brasil para a concessão da outorga enquadram-se dentro dos métodos hidrológicos (Quadro 3).

No Estado de Goiás, a Resolução nº 09, de 04 de maio de 2005, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-GO), que estabelece o Regulamento do Sistema de Outorga do direito de uso das águas de domínio do Estado de Goiás, adota como referência para a outorga do direito de uso das águas de domínio do Estado de Goiás a vazão com garantia de permanência em 95% do tempo (Q_{95}) (GOIÁS, 2005). De acordo com esta resolução, em seu Artigo 12 § 1º, a soma das vazões outorgadas na bacia, limitada pela seção transversal em estudo, não poderá exceder a 70% da Q_{95} . No entanto, a Resolução nº 11, de 20 de março de 2007, do CERHI-GO, estabeleceu alterações na vazão alocável para outorga em cursos d'água sob domínio do Estado de Goiás e, atualmente, a soma das vazões outorgadas na bacia, limitada pela seção transversal em estudo, não poderá exceder a 50% da Q_{95} (GOIÁS, 2007).

Quadro 3: Critérios de outorga de direitos de usos da água em alguns Estados brasileiros.

Estado	Vazão referencial	Critério de outorga	Vazão ecológica indiretamente estabelecida
PR	Q _{7,10}	50% da vazão referencial	50% da Q _{7,10}
MG	Q _{7,10}	30% da vazão referencial em cursos de água usuais; Quando o interessado promover regularização, o limite poderá ser superior desde que seja mantida uma vazão residual de 70% da vazão referencial; Poderão ser adotadas vazões residuais inferiores a 70%, quando for de interesse público e não causar prejuízos a terceiros.	70% da Q _{7,10} Exceção à regra, quando for de interesse público
PE	Q ₉₀ diário	80% da vazão referencial quando não houver barramento ou quando houver barramento em cursos d'água perenes; 95% da vazão referencial quando houver barramento em cursos d'água intermitentes.	20% da Q ₉₀ 5% da Q ₉₀
BA	Q ₉₀ diário	80% da vazão referencial quando não houver barramento ou quando houver barramento em cursos d'água perenes; 95% da vazão referencial quando houver barramento em cursos d'água intermitentes; Quando o suprimento for para abastecimento humano, o percentual pode atingir 95% da vazão referencial; No caso de vazões regularizadas por reservatórios, a vazão residual de 20% da vazão referencial deve escoar para jusante por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque. Nenhum usuário individualmente receberá outorga superior a 20% da vazão referencial em um dado manancial.	20% da Q ₉₀ 5% da Q ₉₀ 20% da Q ₉₀
PB	Vazão	90% da vazão referencial	10% da Q ₉₀
RN	regularizada	90% da vazão referencial	10% da Q ₉₀
CE	com 90% de garantia	90% da vazão referencial em cursos de água com barramento e 33% em lagos ou lagoas	10% ou 67% da Q ₉₀

Fonte: Adaptado de Benetti, Lanna & Cobalchini (2003).

2.4 MÉTODO $Q_{7,10}$

O método $Q_{7,10}$, classificado como método hidrológico, foi elaborado em 1976 e recomenda vazões ecológicas baseado em uma série histórica de valores de vazão (SARMENTO, 2007).

De acordo com von Sperling (2007), a vazão $Q_{7,10}$ representa o valor anual da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma vez a cada 10 anos; em cada ano da série histórica procede-se a análise das 365 médias diárias de vazões e seleciona-se, em cada ano, o período de 7 dias consecutivos que resulta na menor média de 7 valores; com os valores da menor média de 7 dias de cada ano realiza-se uma análise estatística, que permite interpolar ou extrapolar o valor para o tempo de retorno de 10 anos.

2.5 MÉTODO DA CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

Este método hidrológico utiliza valores da curva de permanência para estabelecer vazões ecológicas em uma base mensal ou anual (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003). Para obtenção da curva de permanência, os dados do histórico de vazões são ordenados em ordem decrescente, com a ordem m de classificação variando de 1, para o maior valor, e n , para o menor; a permanência de cada vazão é dada pelo percentual m/n do tempo em que ela foi superada (REIS, 2007).

Conforme Cruz & Tucci (2008), a curva de permanência sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos, permitindo avaliar a disponibilidade de água frente às demandas de um rio. Estas curvas são utilizadas para avaliar a distribuição do comportamento da vazão ao longo do tempo e não para valores extremos (PAULO, 2007).

2.6 MÉTODO DE TENNANT

Este método, também conhecido como método de Montana, foi desenvolvido por Donald Leroy Tennant, ictiologista, em 1976, por meio de observações e medições de campo (MANN, 2006). Tennant, a partir de observações realizadas durante 10 anos, buscou relacionar percentagens da vazão média anual com a qualidade de habitats para peixes nos estados de Montana, Nebraska e Wyoming, nos Estados Unidos (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; MANN, 2006; OKAWA, 2009).

No método de Tennant são considerados o histórico de vazões médias anuais, as estações do ano e a condição dos habitats (PAULO, 2007). Segundo Reis (2007), o método consiste basicamente: (a) determinação da vazão média anual no local de estudo; (b) observações em campo para levantamento das características do trecho para vazões de aproximadamente 10%, 30% e 60% da vazão média anual; e (c) elaboração de um quadro de recomendações de vazão ecológica, de acordo com o ambiente que se deseja preservar (Tabela 1).

Tabela 1: Regimes de vazão recomendados pelo método de Tennant para peixes, vida aquática e recreação.

Condição do rio	Vazão recomendada (% da vazão média anual)	
	Período Seco	Período Chuvoso
Lavagem ou máxima		200%
Faixa ótima		60% a 100%
Excepcional	40%	60%
Excelente	30%	50%
Boa	20%	40%
Regular ou com degradação	10%	30%
Má ou mínima	10%	10%
Faixa de degradação elevada		0% a 10%

Fonte: Tennant (1976).

Conforme Tennant (1976), 10% da vazão média anual é a vazão mínima recomendada para sustentar, a curto prazo, uma pequena condição de habitat para a maioria das formas de vida, pois a largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento são significativamente reduzidas, a temperatura da água pode subir tornando-se um fator limitante para algumas espécies principalmente durante os meses de verão, as populações de macroinvertebrados são bastante afetadas, podendo por em risco a produção de peixes no curso d'água e a vegetação ciliar poderá ficar sujeita a estresse hídrico.

Uma vazão correspondente a 30% da vazão média anual mantém uma boa qualidade de habitat; a largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento, bem como a temperatura, são mantidos em níveis satisfatórios para a maior parte das espécies. As populações de macroinvertebrados são afetadas, mas em níveis que não colocarão em risco a produtividade piscícola e a vegetação ciliar não é afetada. Uma vazão correspondente entre 60% a 100% promove uma excelente condição de habitat para a maioria das formas de vida aquática durante seus

primeiros períodos de crescimento e para a maioria dos usos recreacionais (TENNANT, 1976; REIS, 2007; SARMENTO, 2007).

De acordo com Mann (2006), este método tem como vantagem ser barato e de fácil aplicação, visto que não requer grande quantidade de dados de campo ou processamento de dados. Porém, por apresentar um critério único para todas as circunstâncias, sua aplicação se torna limitada à cursos d'água morfológicamente semelhantes àqueles a partir dos quais o método foi desenvolvido e onde a relação entre a vazão e o hábitat seja semelhante (PAULO, 2007).

2.7 MÉTODO DO PERÍMETRO MOLHADO

O método do perímetro molhado supõe a existência de uma relação direta entre o perímetro molhado e a disponibilidade de hábitat para a ictiofauna (SARMENTO, 2007; OKAWA, 2009), sendo utilizado para determinar a vazão ecológica em rios (GIPPEL & STEWARDSON, 1998).

Escolhe-se um trecho do rio considerado crítico para a manutenção das funções dos organismos e realizam-se as medições das vazões e dos correspondentes perímetros molhados (STALNAKER *et al.*, 1995; BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; OKAWA, 2009). O produto é um gráfico que relaciona vazão e perímetro molhado (STALNAKER *et al.*, 1995; MANN, 2006; BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003; OKAWA, 2009), conforme apresentado na Figura 2.

A vazão escolhida é aquela correspondente ao ponto de inflexão do gráfico, o qual representa a vazão acima da qual a taxa de aumento do perímetro molhado começa a diminuir (BENETTI, LANNA & COBALCHINI, 2003). Conforme Reis (2007), este ponto indica que, para vazões acima deste valor, o perímetro molhado aumenta de forma lenta e, uma vez que esse valor de vazão é estimado, considera-se que outras áreas do hábitat também estão protegidas.

Esse método do perímetro molhado assume que a necessidade de desova e a passagem de peixe em um rio são garantidas quando for mantida uma vazão mínima que é determinada pela curva que relaciona perímetro molhado e vazão (LANNA & BENETTI, 2000).

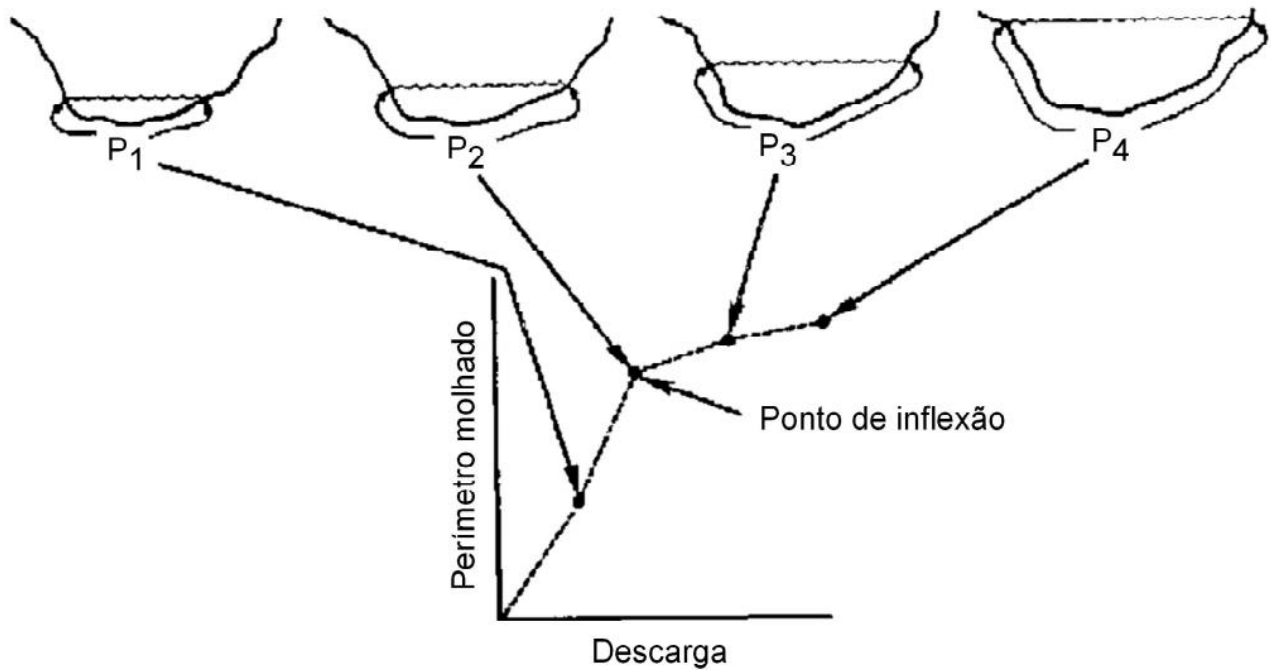


Figura 2: Método do perímetro molhado para estimar a vazão ecológica.

Fonte: STANALKER *et al.* (1995).

2.8 MÉTODO IHA

O método dos Indicadores de Alteração Hidrológica, conhecido como IHA (*Indicators of Hydrologic Alteration*), se baseia na análise de dados hidrológicos disponíveis que foram obtidos de pontos de medição existentes em um ecossistema aquático ou gerados por um modelo (Richter *et al.*, 1996). De acordo com estes autores, o método IHA pode ser usado para: (a) comparar o estado de um sistema através do tempo; (b) comparar o estado de um sistema com o outro; ou (c) comparar as atuais condições do sistema com os resultados de simulação, baseados em modelos, de modificações futuras do sistema.

O IHA foi desenvolvido originalmente para permitir um rápido processamento de dados hidrológicos visando caracterizar as condições do regime de vazão natural e facilitar a avaliação das mudanças induzidas pelo homem nestes regimes naturais de vazão (MATHEWS & RICHTER, 2007). Este método utiliza o *software* IHA que foi desenvolvido pelo *The Nature Conservancy* (TNC) para ser uma ferramenta de fácil uso, para calcular as características dos regimes hidrológicos naturais e alterados. Em sua última versão (7.1), este *software*, que está disponível gratuitamente, calcula um total de 67 parâmetros estatísticos ecologicamente relevantes derivados de dados hidrológicos diários, que estão divididos em 2 grupos (TNC, 2009): (a) 33 parâmetros

IHA; e (b) 34 parâmetros dos Componentes de Vazão Ecológica (*Environmental Flow Component* – EFC).

O Quadro 4 mostra os parâmetros IHA (magnitude, duração, frequência, periodicidade e taxa de alteração), com suas influências nos ecossistemas. O cálculo da média ou da mediana depende se o usuário selecionar uma análise paramétrica ou não paramétrica (TNC, 2009).

Conforme Richter *et al.* (1997), as características do fluxo oferecem alguns dos mais usados e apropriados indicadores para se avaliar a integridade do ecossistema fluvial ao longo do tempo devido a certas circunstâncias, entre elas: (a) muitas características abióticas de ecossistemas aquáticos variam com as condições do fluxo, incluindo os níveis de oxigênio dissolvido, temperatura da água, distribuição dos tamanhos dos sedimentos suspensos e de fundo, e estabilidade do leito do rio; (b) em grande escala, a morfologia do canal e da planície de inundação é formada por processos fluviais dirigidos pelo fluxo do rio, particularmente pelas condições de altos fluxos; e (c) em contraste com a relativa falta de novidades e a grosseira resolução de séries temporais de dados biológicos, a disponibilidade de longas séries temporais de dados fluviométricos diários de muitos grandes rios (4^a a 10^a ordem) pode prover uma alta percepção a respeito da variabilidade natural e a história recente das perturbações antrópicas nos rios (ROCHA, 2010).

O Quadro 5 apresenta os parâmetros EFC com suas influências nos ecossistemas. Conforme TNC (2009), os parâmetros EFC foram delimitados com base em pesquisas realizadas por ecólogos nas quais relatam que os hidrogramas dos rios podem ser divididos em um conjunto de padrões de repetição que são ecologicamente relevantes, ou seja, nos cinco parâmetros EFC, capazes de sustentar a integridade dos ecossistemas aquáticos por cumprir importantes funções ecológicas. Estes cinco parâmetros EFC são:

- **Vazões extremamente baixas** – durante os períodos de seca, a vazão do rio alcança níveis muito baixos, o que pode exercer pressão sobre muitos organismos, mas pode proporcionar as condições necessárias para outras espécies. A química da água, a temperatura e a disponibilidade de oxigênio dissolvido podem ser fontes de grande pressão para muitos organismos durante as vazões extremamente baixas, ao ponto de que estas condições possam causar uma mortalidade considerável. Por outro lado, as vazões extremamente baixas podem concentrar presas aquáticas para algumas espécies ou podem ser necessárias para secar áreas de várzeas e permitir a regeneração de certas espécies de plantas.
- **Vazões baixas** – esta é a condição de vazão dominante na maioria dos rios. Nos rios naturais, depois de um evento de precipitação ou em regiões onde há um período de degelo, após o escoamento superficial, proveniente desses eventos, ter diminuído, o rio retorna ao seu fluxo de nível básico ou baixo fluxo. Estes níveis de baixa vazão se mantêm pelas

contribuições das águas subterrâneas. Os níveis de vazões baixas de um rio que variam com a estação do ano impõem uma restrição fundamental às comunidades aquáticas, porque determinam a quantidade de habitat aquático disponível durante a maior parte do ano. Isto influencia enormemente a diversidade e o número de organismos que podem viver no rio.

- **Pulsos de vazão alta** – quando uma tempestade produz precipitações abundantes ou durante períodos de degelo, um rio ultrapassará seu nível de vazão baixa. Os pulsos de vazão alta incluem qualquer aumento na quantidade de água que não ultrapasse as margens do canal. Estes pulsos proporcionam interrupções importantes e necessárias nas vazões baixas. Mesmo uma descarga de água breve ou pequena pode proporcionar um alívio necessário para as temperaturas altas da água ou os níveis baixos de oxigênio dissolvido que caracterizam os períodos de vazão baixa e fornecer um aporte nutritivo de material orgânico ou outro alimento para apoiar a cadeia alimentar aquática. Os pulsos de vazão alta também proporcionam um melhor acesso para áreas a montante e a jusante de peixes e outros organismos móveis.
- **Pequenas inundações** – durante as cheias, os peixes e outros organismos móveis podem movimentar-se para várzeas a montante ou a jusante e para pântanos. Estas áreas, geralmente inacessíveis, podem proporcionar recursos alimentares substanciais. As áreas inundadas de pouca profundidade são geralmente mais quentes que o canal principal e estão cheias de nutrientes e insetos que estimulam um crescimento rápido dos organismos aquáticos. Dependendo do uso que se dá, uma pequena inundação inclui todas as enchentes do rio que ultrapassem o canal principal, mas não incluem mais extremas que são de pequena frequência.
- **Grandes inundações** – as inundações extremas geralmente alteram a estrutura biológica e física de um rio e sua planície de inundação. Estas grandes cheias podem arrastar muitos organismos e, desse modo, reduzir muitas populações, mas em muitos casos também podem criar novas vantagens competitivas para muitas espécies. As grandes inundações também podem ser importantes para formar habitats fundamentais, tais como lagoas marginais e áreas alagáveis nas planícies de inundação.

Quadro 4: Parâmetros IHA e suas influências nos ecossistemas.

Grupos de parâmetros IHA	Parâmetros hidrológicos	Influências no ecossistema
Grupo 1: Magnitude das condições hidrológicas mensais (12 parâmetros)	Valor da média ou da mediana para cada mês	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade de habitat para organismos aquáticos. Disponibilidade de umidade do solo para as plantas. Disponibilidade de água para os animais terrestres. Confiabilidade do abastecimento de água para os animais terrestres. Acesso dos predadores aos ninhos. Influência na temperatura da água, nos níveis de oxigênio e na fotossíntese na coluna d'água.
Grupo 2: Magnitude e duração das condições hidrológicas extremas anuais (12 parâmetros)	<p>Mínimos anuais com 1 dia de duração Mínimos anuais com 3 dias de duração Mínimos anuais com 7 dias de duração Mínimos anuais com 30 dias de duração Mínimos anuais com 90 dias de duração</p> <p>Máximos anuais com 1 dia de duração Máximos anuais com 3 dias de duração Máximos anuais com 7 dias de duração</p> <p>Máximos anuais com 30 dias de duração Máximos anuais com 90 dias de duração</p> <p>Quantidade de dias com fluxo zero</p> <p>Índice de fluxo de base: fluxo mínimo de 7 dias/fluxo médio para o ano</p>	<ul style="list-style-type: none"> Equilíbrio de organismos competitivos e tolerantes às pressões. Criação de sítios para a colonização de plantas. Estruturação dos ecossistemas aquáticos para fatores abióticos vs. Bióticos. Estruturação da morfologia do canal do rio e das condições físicas do habitat. Estresse da umidade do solo nas plantas Desidratação nos animais. Estresse anaeróbico nas plantas. Volume de intercâmbio de nutrientes entre os rios e as planícies de inundação. Distribuição das comunidades de plantas em lagos, lagoas e planícies de inundação. Duração das altas vazões para a eliminação de resíduos, aeração dos locais de desova nos sedimentos do canal.
Grupo 3: Periodicidade das condições hidrológicas extremas anuais (2 parâmetros)	<p>Data Juliana do valor mínimo anual de 1 dia</p> <p>Data Juliana do valor máximo anual de 1 dia</p>	<ul style="list-style-type: none"> Compatibilidade com os ciclos de vida dos organismos. Previsibilidade/evitabilidade do estresse nos organismos. Acesso a habitats especiais durante a reprodução ou para evitar a predação. Indícios para a desova dos peixes migratórios. Evolução das estratégias dos ciclos biológicos, mecanismos de comportamento.
Grupo 4: Frequência e duração de altos e baixos pulsos (4 parâmetros)	<p>Quantidade de pulsos baixos em cada ano hidrológico</p> <p>Média ou mediana da duração dos pulsos baixos (dias)</p> <p>Quantidade dos pulsos altos em cada ano hidrológico</p> <p>Média ou mediana da duração dos pulsos altos (dias)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Frequência e magnitude do estresse da umidade do solo sobre as plantas. Frequência e magnitude do estresse anaeróbico sobre as plantas. Disponibilidade de habitats nas planícies de inundação para os organismos aquáticos. Intercâmbio de nutrientes e de matéria orgânica entre os rios e as planícies de inundação. Disponibilidade de minerais do solo. Acesso à locais de alimentação, descanso e reprodução para as aves aquáticas.
Grupo 5: Taxa/frequência de alteração do fluxo das condições hidrológicas (3 parâmetros)	<p>Taxas de aumento: Média ou mediana de todas as diferenças positivas entre valores diários consecutivos</p> <p>Taxas de redução: Média ou mediana de todas as diferenças negativas entre valores diários consecutivos</p> <p>Quantidade de inversões hidrológicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Estresse da seca nas plantas (níveis decrescentes). Armadilha para organismos em ilhas, planícies de inundação (níveis crescentes).

Fonte: Adaptado de TNC (2009).

Quadro 5: Parâmetros EFC e suas influências nos ecossistemas.

Tipo de EFC	Parâmetros hidrológicos	Influências no ecossistema
Vazões baixas mensais (12 parâmetros)	- Valores da média ou da mediana das vazões baixas durante cada mês do calendário	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionam hábitat adequado para os organismos aquáticos • Mantêm a temperatura da água e o oxigênio dissolvido apropriados • Mantêm o nível freático nas planícies de inundações e a umidade do solo para as plantas • Proporcionam água potável da os animais terrestres • Mantêm os ovos de peixes e de anfíbios em suspensão • Permitem que os peixes se desloquem para áreas de alimentação e desova • Favorecem os organismos que vivem nos sedimentos.
Vazões extremamente baixas (4 parâmetros)	- Frequência das vazões extremamente baixas durante cada ano hidrológico ou estação - Valores da média ou da mediana dos eventos de vazões extremamente baixas: <ul style="list-style-type: none"> • Duração (dias) • Pico a vazão (vazão mínima durante o evento) • Periodicidade (data Juliana do pico da vazão) 	<ul style="list-style-type: none"> • Permitem o recrutamento de certas espécies de plantas nas planícies de inundações • Eliminam espécies invasoras introduzidas de comunidades aquáticas e ripárias • Concentram as presas em áreas limitadas para beneficiar os predadores.
Pulsos de vazão alta (6 parâmetros)	- Frequência dos pulsos de vazão alta durante cada ano hidrológico ou estação - Valores da média ou da mediana de eventos de pulso de vazão alta: <ul style="list-style-type: none"> • Duração (dias) • Pico da vazão (vazão máxima durante o evento) • Periodicidade (data Juliana do pico da vazão) • Taxas de aumento e redução 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelam as características físicas do canal do rio, incluindo remansos e zonas rápidas. • Determinam o tamanho dos substratos do leito (areia, cascalho, pedra). • Impedem a invasão da vegetação ripária no canal. • Restauram as condições normais de qualidade da água depois de vazões baixas prolongadas, arrastando produtos de resíduos e poluentes. • Mantêm as condições adequadas de salinidade nos estuários.
Pequenas inundações (6 parâmetros)	- Frequência das pequenas inundações durante cada ano hidrológico ou estação - Valores da média ou da mediana de eventos de pequenas inundações: <ul style="list-style-type: none"> • Duração (dias) • Pico da vazão (vazão máxima durante o evento) • Periodicidade (data Juliana do pico da vazão) • Taxas de aumento e redução 	Aplica-se às pequenas e grandes inundações: <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionam evidências de migração e desova de peixes • Provocam uma nova fase no ciclo biológicos (por exemplo de insetos). • Permitem que os peixes desovem nas planícies de inundações, proporcionando áreas de “berçário” para peixes juvenis • Proporcionam novas oportunidades de alimentação aos peixes e aves aquáticas. • Recarregam o nível freático das planícies de inundações. • Mantêm a diversidade dos tipos de vegetação nas planícies de inundações mediante inundações prolongadas (diferentes espécies de plantas têm tolerâncias diferentes).
Grandes inundações (6 parâmetros)	- Frequência das grandes inundações durante cada ano hidrológico ou estação - Valores da média ou da mediana de eventos de grandes inundações: <ul style="list-style-type: none"> • Duração (dias) • Pico da vazão (vazão máxima durante o evento) • Periodicidade (data Juliana do pico da vazão) • Taxas de aumento e redução 	Aplica-se às pequenas e grandes inundações: <ul style="list-style-type: none"> • Mantêm o balanço de espécies nas comunidades aquáticas e ripárias. • Criam sítios para o recrutamento de plantas colonizadoras. • Dão forma aos habitats físicos das planícies de inundações. • Depositam cascalho e pedras nas áreas de desova. • Empurram material orgânico (alimento) e resíduos de madeira (estruturas de hábitat) no canal. • Eliminam espécies invasoras e introduzidas nas comunidades aquáticas e ripárias. • Espalham sementes e frutos de plantas ripárias. • Promove o movimento lateral da calha do rio, formando novos habitats (canais secundários, meandros).

Fonte: Adaptado de TNC (2009).

O método IHA oferece a possibilidade de escolha entre a comparação de dois períodos de tempo distintos ou a análise da tendência ao longo de um único período de tempo (TNC, 2009). Caso o sistema hidrológico estudado tenha sofrido mudança abrupta, como a construção de uma represa, pode-se usar o IHA para analisar como o regime hidrológico deste sistema foi afetado, calculando os parâmetros hidrológicos para os períodos antes e depois do impacto. Para sistemas hidrológicos que tenham sofrido uma acumulação de modificações humanas a longo prazo, o IHA pode calcular e produzir gráficos de regressões lineares para avaliar a tendência.

Conforme TNC (2009), os parâmetros IHA podem ser calculados como estatísticas paramétricas (média e desvio padrão) e não paramétrica (mediana e percentil). Nas estatísticas paramétricas supõe-se que os dados estejam distribuídos de maneira normal, mas na maioria das situações as estatísticas não paramétricas são uma melhor opção por sua natureza não normal de muitos conjuntos de dados hidrológicos.

2.9 PANORAMA NACIONAL E INTERNACIONAL

Farias Júnior (2006), em seus estudos, inventariou os principais métodos utilizados para a determinação da vazão ecológica e aplicou os mais usuais, analisando seu desempenho para duas bacias hidrográficas brasileiras. Os métodos aplicados foram selecionados baseados na quantidade e qualidade de dados disponíveis em cada bacia hidrográfica, limitando-se apenas aos métodos hidrológicos e hidráulicos dentre eles os métodos $Q_{7,10}$, curva de permanência (Q_{90}), perímetro molhado e Tennant.

Visando identificar o comportamento de alguns métodos para a determinação da vazão ecológica e visto a heterogeneidade das bacias hidrográficas brasileiras, foram escolhidas duas bacias, uma de pequeno porte (do Rio Coruripe em Alagoas) e a outra de grande porte (do Rio Solimões, no Amazonas). A Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe situa-se no litoral alagoano e sua foz dista, ao sul, cerca de 100 quilômetros da capital alagoana, com área de drenagem de aproximadamente 1.694 km². Já a Bacia Hidrográfica do Rio Solimões, que abrange cinco países da América do Sul (Brasil, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia), possui uma área de drenagem total em torno de 2.250.000 km² sendo cerca de 1.250.000 km² no território brasileiro, e suas margens distam em 3 km, próximo à confluência com o Rio Negro, tornando um dos maiores rios do mundo, tratando-se de comprimento. O Rio Solimões percorre aproximadamente 1.620 km, do município de Tabatinga até a confluência com o Rio Negro, no município de Manaus.

Após a aplicação de diversos métodos e análise dos resultados, Farias Júnior (2006) comprovou que não se deve adotar um único método para todas as bacias brasileiras. Segundo o

autor supracitado, cada bacia deve ser analisada avaliando suas peculiaridades e os principais aspectos que devem ser considerados antes das escolhas dos métodos a ser aplicado são: (a) interferência da precipitação no escoamento; (b) avaliação do clima da região; (c) tipo do leito do rio, encaixado ou não e a sua composição; (d) grau de conservação existente e desejado, na bacia em estudo; e (e) principais usos para atividades humanas.

Outro exemplo de trabalho envolvendo a análise de métodos para a determinação da vazão ecológica foi realizado por Paulo (2007). Nessa pesquisa realizada por Paulo (2007), feita em um trecho de vazão reduzida (TVR) do Aproveitamento Hidrelétrico de Capim Branco I (AHECB I), os métodos utilizados foram: $Q_{7,10}$, curva de permanência de vazões, Tennant e perímetro molhado.

O AHECB I localiza-se no trecho baixo do Rio Araguari, afluente do Rio Paranaíba, no Estado de Minas Gerais. Conforme Paulo (2007), o empreendimento está compreendido entre o Aproveitamento Hidrelétrico de Miranda, a montante, e o remanso do reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico de Itumbiara, a jusante. Desde a cabeceira do Rio Araguari, até o eixo de Capim Branco I, a bacia drena uma área de 18.300 km², o que representa cerca de 83% de sua área total.

Os resultados obtidos por Paulo (2007) mostram que a diferença entre os valores de vazão obtidos por métodos estatísticos e o método do perímetro molhado é significativa e que o valor de vazão ecológica também varia muito entre seções. O método do perímetro molhado define um valor de vazão ecológica maior do que os métodos usualmente utilizados, como o método de Tennant e o de curva de permanência.

Rocha (2010) utilizou o método IHA, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, para identificar os padrões do regime natural e do regime controlado do Rio Paraná no seu trecho superior, a partir do estudo da variabilidade do fluxo associando-os aos processos geomorfológicos e hidrodinâmicos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraná possui uma vazão média anual de 15.620 m³.s⁻¹, volume médio anual de 495 km³ e uma área de drenagem de 1.237.000 km². A partir de dados hidrológicos diários obtidos da estação fluviométrica de Porto São José, no Alto Rio Paraná, foram calculados, por Rocha (2010), os valores médios dos 32 parâmetros do método IHA, o desvio padrão, o mínimo valor e o máximo valor, para os períodos pré e pós-barramentos, com o objetivo de se comparar e calcular a magnitude das alterações observadas.

Em um estudo realizado por Okawa (2009), o qual objetivou verificar as alterações no regime de vazões após a construção dos reservatórios em cascata a montante da planície de inundação do Alto Rio Paraná, principalmente após início de operação da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, foi utilizado o método IHA juntamente com o método da Abordagem da Faixa de Variabilidade (*Range of Variability Approach* – RVA), método este que estabelece metas de vazões

baseadas em uma caracterização estatísticas dos IHA, no qual as metas devem ser utilizadas para o gerenciamento do recurso hídrico. Okawa (2009) utilizou a série histórica de vazões médias diárias da estação de Porto São José e os dados da estação de Guairá, para estender o período da séries histórica de Porto São José até 1921.

A utilização dos Indicadores de Alterações Hidrológicas permitiu a verificação de uma ampla modificação na hidrologia do Alto Rio Paraná. Os resultados de Okawa (2009) e Rocha (2010) mostraram que as principais alterações estão relacionadas à regulação das vazões estabelecida pela operação dos grandes reservatórios, implantados ao longo do tempo nesta bacia. Os parâmetros avaliados indicam importantes alterações do regime hidrológico do Rio Paraná, e que exercem alto grau de impacto no estado de equilíbrio do rio, pela alteração nos padrões dos processos geomórficos e ecológicos, principalmente nos ambientes do sistema rio-planície fluvial.

HarishKumara & Srikantaswamy (2011), estudaram as vazões ecológicas do Rio Tungabhadra, situado na Índia. Utilizando diferentes métodos como o de Tennant, Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e Cálculo Global de Vazão Ecológica (*Global Environmental Flow Calculator* - GEFC). Os autores objetivaram: (a) avaliar o atual regime de vazões e as condições ecológicas do rio; (b) avaliar se as vazões ecológicas tem sido ou não mantidas; (c) discutir os potenciais benefícios e consequências do fornecimento de vazões ecológicas; e (d) compreender os impactos provocados na comunidade pesqueira.

A área de estudo de HarishKumara & Srikantaswamy (2011) foi a Bacia Hidrográfica do Rio Tungabhadra possui área de 48.827 km². Este rio percorre aproximadamente 531 km, desde sua origem no Estado de Karnataka até se unir ao Rio Krishna, contribuindo com uma descarga anual de 14.700 milhões de m³ no seu ponto de confluência com o rio principal. Nesta bacia, a agricultura é a principal atividade, seguida pela pesca e indústria. O reservatório de Tundabhadra tem tido sua capacidade de armazenamento de água diminuída em razão do assoreamento provocado pela mineração e erosão do solo. Além disso, a bacia tem sido impactada por mudanças no uso do solo e pela poluição, o que tem afetado a saúde humana, a agricultura e a subsistência das comunidades pesqueiras; conflitos entre os diversos usuários de água são comuns, além de disputas interestaduais.

Devido a quantidade limitada de dados e o tempo, este estudo foi realizado utilizando dois módulos para a avaliação da vazão ecológica na área de estudo: (a) avaliação biofísica; e (b) avaliação sócio-econômico. No módulo de avaliação biofísica, 30 anos de dados de vazão da barragem Tungabhadra foram analisados e comparados com a Lei Francesa de Pesca em Água Doce de 1984, o método de Tennant e resultados obtidos com os softwares do método IHA e do GEFC. No módulo de avaliação sócio-econômico, foram recolhidos dados de janeiro de 2008 a junho do mesmo ano por meio de pesquisa domiciliar de 106 pescadores selecionados por amostragem

aleatória com base em dois critérios – fontes de água e status sócio-econômico – e entrevistas com 30 comerciantes da região, objetivando-se obter uma ideia mais ampla da pesca em toda a bacia.

Os resultados mostraram que o regime de vazões natural do Rio Tungabhadra vem sendo bastante alterado desde a década de 1960. As análises dos dados históricos de vazões mostraram uma drástica redução de vazão nos últimos anos, o que resultou em uma situação alarmante para a agricultura, bem como para os usuários a jusante da barragem Tungabhadra. Em decorrência disso, as espécies de peixes têm sido gravemente afetadas pelas mudanças no regime hidrológico e na qualidade da água do rio, o que afetam diretamente os pescadores que dependem da pesca para alimentação e fonte de renda.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia necessária à realização deste trabalho foi desenvolvida nas etapas apresentadas na Figura 3, a seguir.

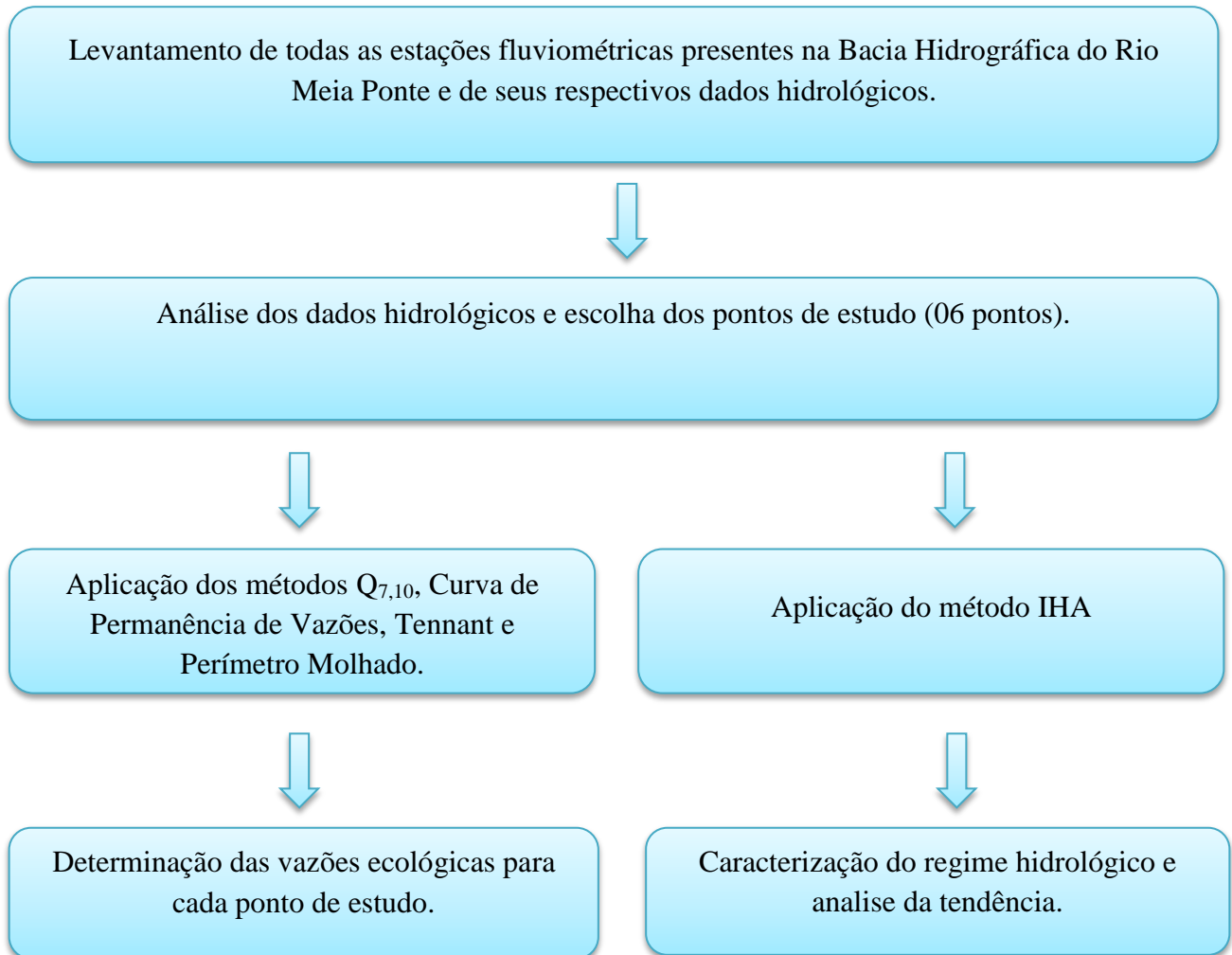


Figura 3: Fluxograma da metodologia.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE E DOS TRECHOS DE ESTUDO

Para o presente estudo foi selecionada a Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte (BHRMP), localizada do Estado de Goiás, região Centro-Oeste do Brasil. A área territorial desta bacia corresponde a 3,6% do Estado, onde estão inseridos 38 municípios (Figura 4) e onde se concentra 48% da população goiana (VEIGA, CARDOSO & LINO, 2011).

Municípios Integrantes da Bacia do Rio Meia Ponte/GO

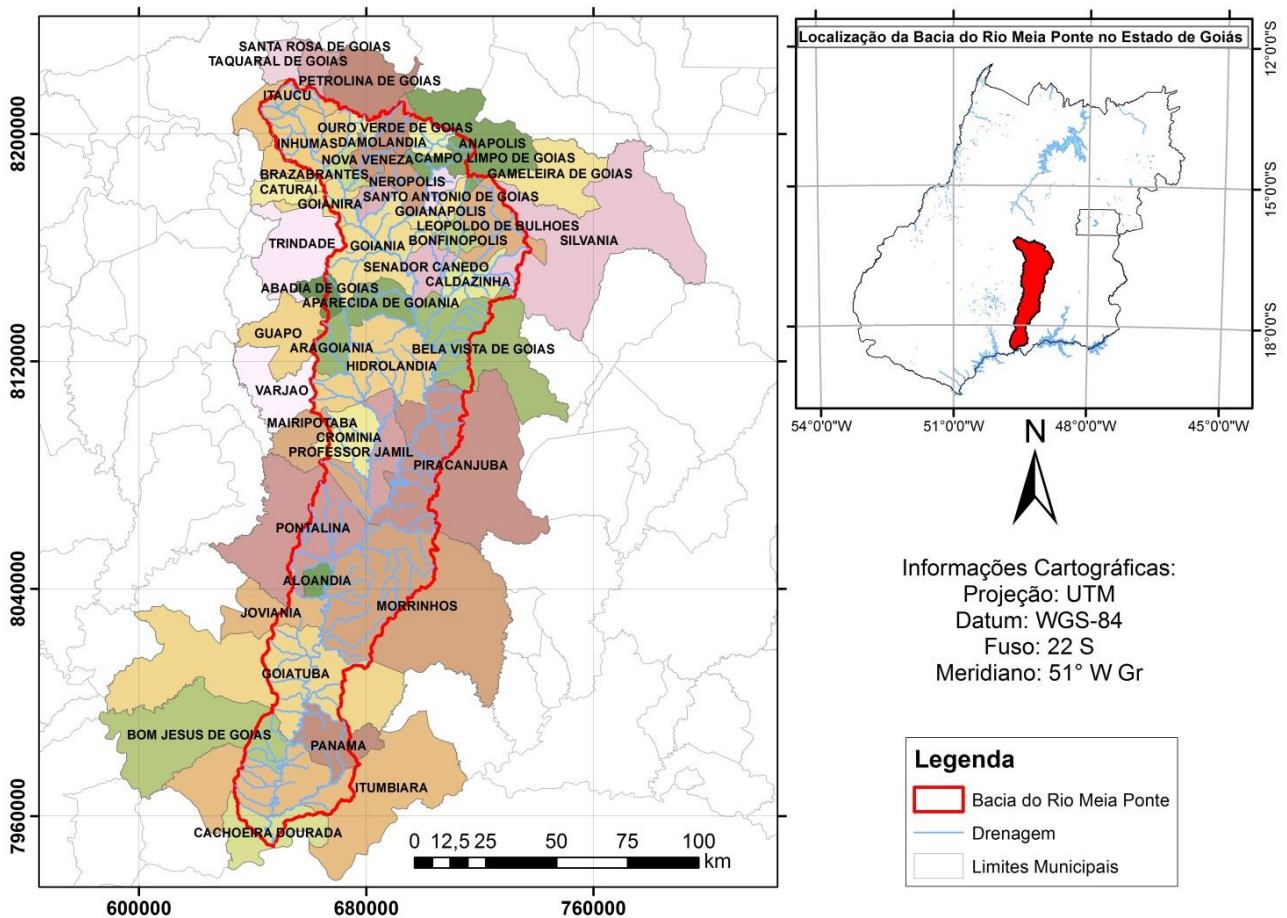


Figura 4: Municípios integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Fonte: VEIGA, CARDOSO & LINO (2011).

A Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte faz parte do complexo hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e abrange uma área de aproximadamente 12.180 km², percorrendo 415 km até desaguar no Rio Paranaíba pela margem direita (CARVALHO & SIQUEIRA, 2011). Ainda, segundo Carvalho & Siqueira (2011), as nascentes do Rio Meia Ponte localizam-se na Serra dos Brandões, município de Itauçu, no Estado de Goiás e sua foz está situada no Rio Paranaíba, município de Cachoeira Dourada, divisa do Estado de Goiás com o Estado de Minas Gerais.

De acordo com Siqueira (1996), esta bacia está situada no centro-sul do Estado de Goiás, limitando-se ao norte com a Bacia Hidrográfica do Rio das Almas, a oeste com a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois, a nordeste com a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbá e ao sul o Rio Meia Ponte deságua no Rio Paranaíba. O Rio Meia Ponte tem como principais afluentes pela margem esquerda os rios Inhumas, João Leite, Caldas e o Ribeirão Formiga e pela margem direita o Rio Dourados e o Ribeirão Boa Vista do Rancho.

Conforme Veiga, Cardoso & Lino (2011), as regiões mais altas da sub-bacia estão localizadas na extremidade superior de seu limite e que as regiões mais baixas estão próximas ao rio Paranaíba. A Figura 5 mostra o mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Mapa Hipsométrico da Bacia do Rio Meia Ponte

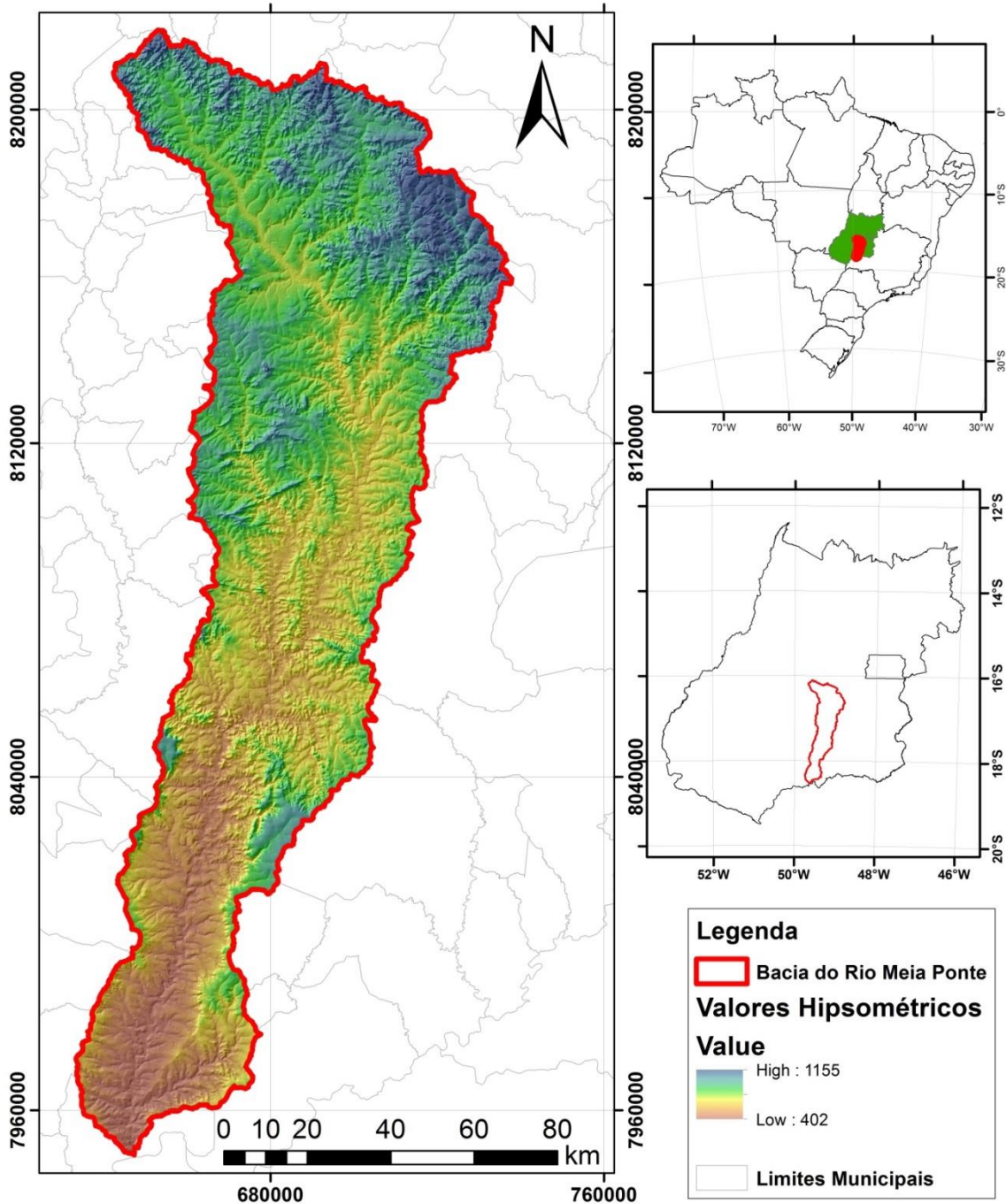


Figura 5: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Fonte: VEIGA, CARDOSO & LINO (2011).

A região da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte apresenta um clima quente e úmido com duas estações bem definidas, uma seca no inverno, entre o período de abril a setembro e outra chuvosa no verão, de outubro a março. O cerrado é o bioma predominante na região da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte. A bacia sofreu sérios problemas de desmatamento em decorrência da implantação de atividades agropecuárias (VEIGA, CARDOSO & LINO, 2011). A Figura 6 mostra o uso e a cobertura do solo desta bacia.

Uso e Cobertura do Solo da Bacia do Rio Meia Ponte

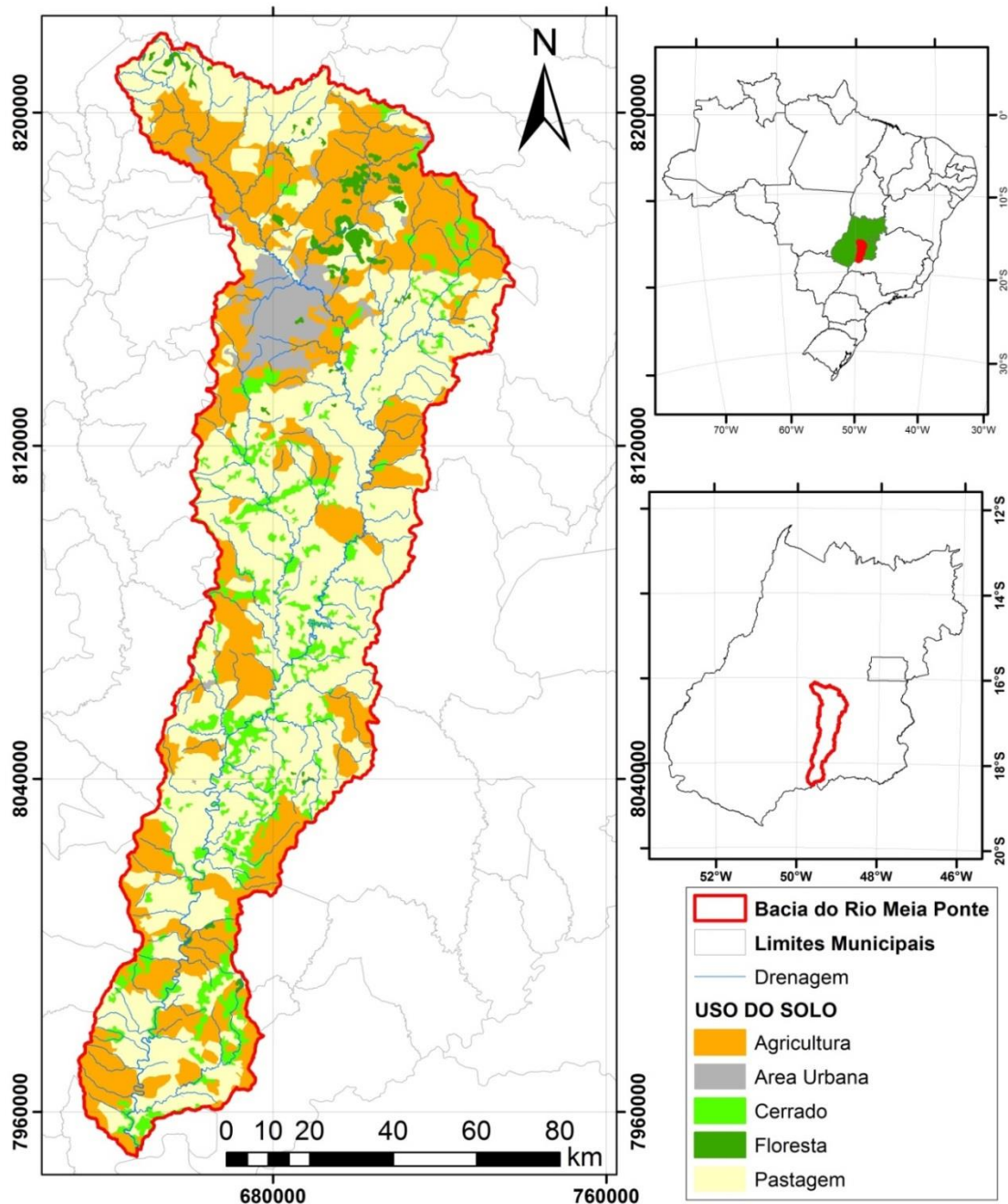


Figura 6: Uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Fonte: VEIGA, CARDOSO & LINO (2011).

Dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, foram selecionados 06 pontos de estudo (Figura 7) por apresentarem a existência de longos históricos de vazões consistentes e facilidade de acesso ao local. Para os pontos selecionados realizaram-se levantamentos das informações existentes nos postos fluviométricos da Agência Nacional das Águas (ANA) instaladas na bacia, utilizando o Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA (Tabela 2). A Figura 8 mostra as sub-bacias de cada ponto de estudo.

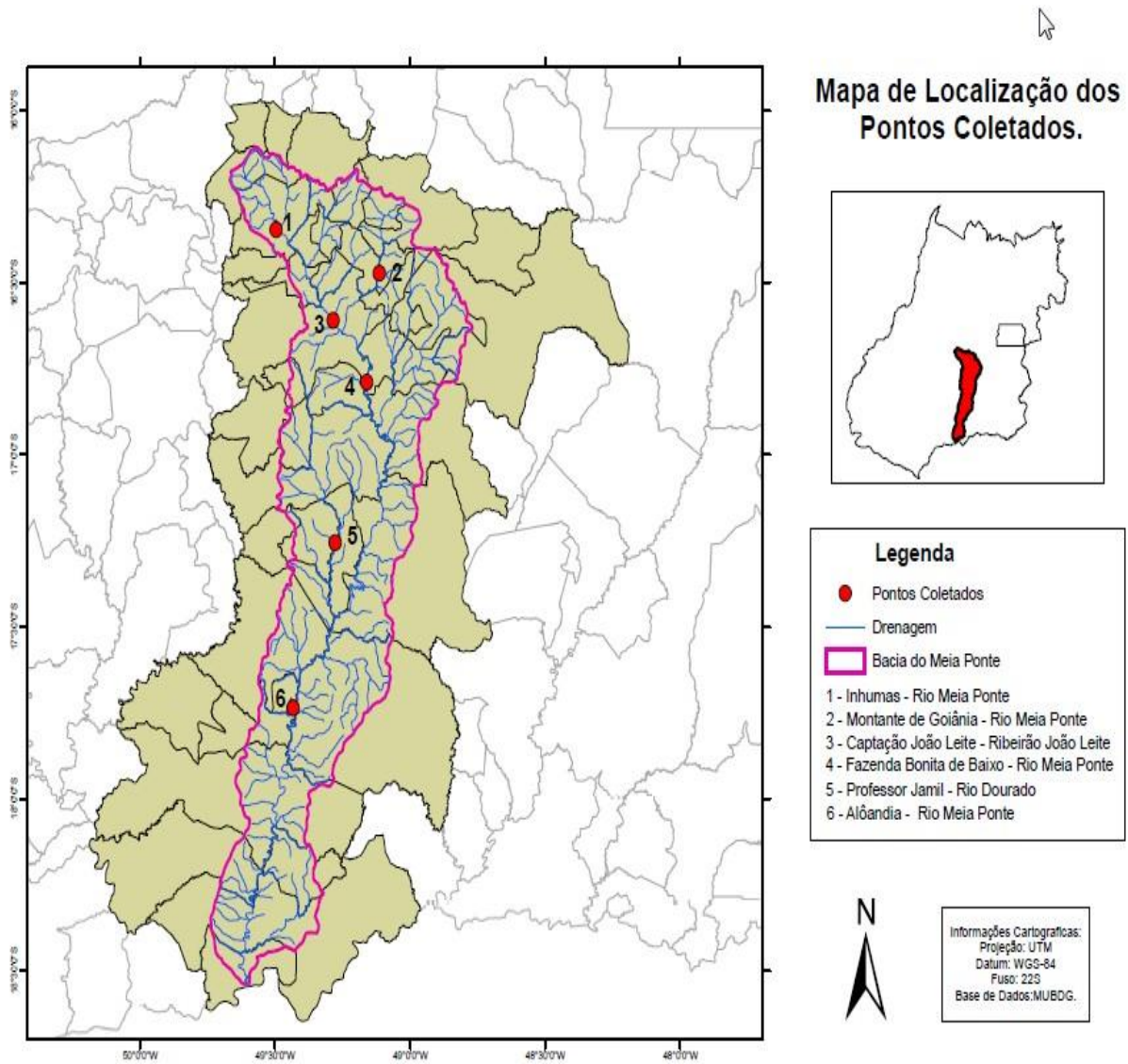


Figura 7: Pontos de estudo.

Fonte: Elaborado por Kamila Almeida (2013).

Tabela 2: Estações fluviométricas selecionadas para este estudo.

Estação	Código	Município	Rio	Latitude (S)	Longitude (W)	Área de drenagem (km ²)	Figura (Anexo A)
1.Inhumas	60635000	Inhumas	Meia Ponte	-16:20:47	-49:29:39	532	12 e 13
2.Captação João Leite	60642000	Goiânia	João Leite	-16:30:0	-49:14:34	765	20 e 21
3.Montante de Goiânia	60640000	Goiânia	Meia Ponte	-16:36:49	-49:16:47	1740	14 e 15
4.Fazenda Bonita de Baixo	60655000	Hidrolândia	Meia Ponte	-16:57:26	-49:4:35	4990	16 e 17
5.Professor Jamil	60665000	Professor Jamil	Dourado	-17:15:13	-49:16:30	1250	22 e 23
6.Aloândia	60675000	Aloândia	Meia Ponte	-17:45:0	-49:27:0	9590	18 e 19

Fonte: ANA (2012).

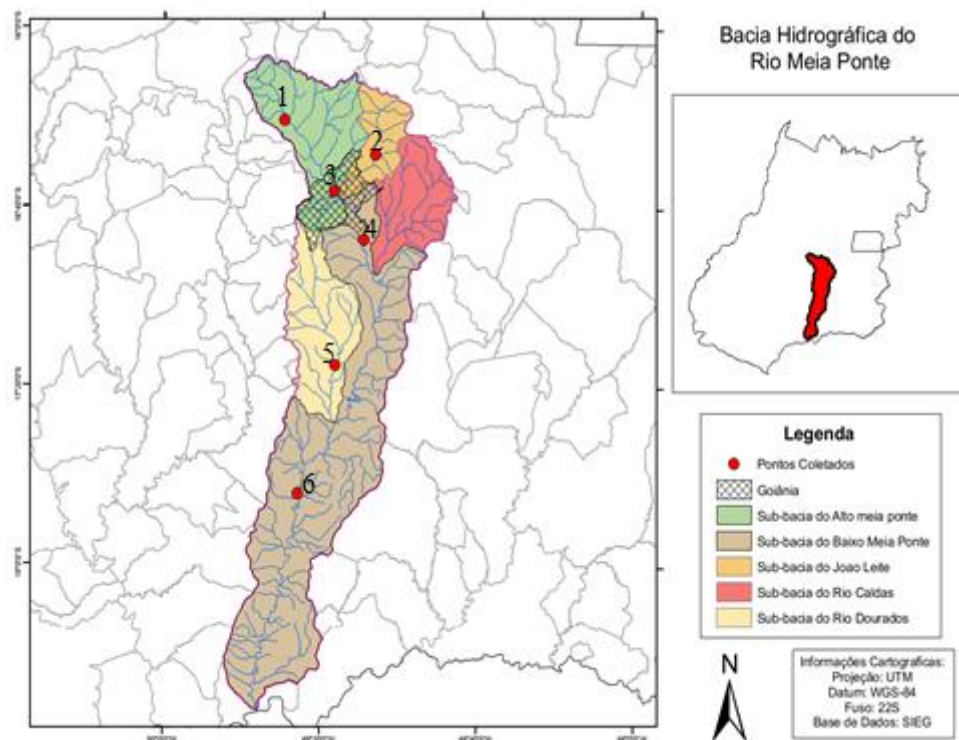


Figura 8: Sub-bacias dos pontos de estudo.

Elaborado por Kamila Almeida (2013).

3.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Dentre os métodos hidrológicos, os quais utilizam dados históricos, como séries temporais de vazões diárias ou mensais, para fazer recomendações sobre vazão ecológica, foram selecionados os métodos de $Q_{7,10}$, curva de permanência de vazões e Tennant. Dentre os métodos hidráulicos que fazem uso de parâmetros como profundidade, velocidade, largura do rio, perímetro molhado, área molhada e raio hidráulico para prever as variações de hábitat em função das mudanças na vazão, selecionou-se o método do perímetro molhado. Além destes, foi aplicado o método dos Indicadores de Alteração Hidrológica - IHA. Utilizou-se os dados provenientes das estações fluviométricas da ANA.

3.2.1 Método $Q_{7,10}$

Como o método $Q_{7,10}$ recomenda vazões mínimas baseadas em registros históricos, o primeiro procedimento adotado foi a escolha dos anos hidrológicos utilizáveis.

Assim como realizado por Mendes (2007), de posse das séries de registros diários procedeu-se o cálculo da média-móvel de 7 dias consecutivos (Q_7), o que forneceu 365 médias-móveis de 7 dias para cada ano da série. Selecionou-se, então, a menor Q_7 de cada ano, chamada Q_{7m} , formando assim uma nova série de dados que contou com i elementos do tipo (mín Q_7), sendo i o número de anos cobertos pela série inicial (Tabela 3). Conforme esta tabela, apenas para as estações Inhumas, Fazenda Bonita de Baixo e Captação João Leite foram desprezados, por ausência de dados, os anos de 1970, 1971 e 1999/2000, respectivamente.

Posteriormente, a série de i valores de Q_{7m} foi ajustada à distribuição de probabilidade de Weibull e Log-Normal para se obter a mínima vazão Q_7 correspondente ao período de retorno de 10 anos.

Em seguida, aplicou-se o Coeficiente de Eficiência de Nash e Stutcliffe e o coeficiente de Determinação (R^2) para verificar o ajuste entre as vazões Q_7 medidas e as Q_7 calculadas para um tempo de retorno de 10 anos. Os gráficos destas vazões foram produzidos utilizando-se o software Origin Pro 8.

Tabela 3: Número de anos (*i*) cobertos pela série inicial.

Estação	Período de dados consistidos (anos)	Número de anos cobertos pela série inicial - <i>i</i> (anos)
Inhumas	1955 a 1969 e 1971 a 2005	50
Montante de Goiânia	1976 a 2006	31
Fazenda Bonita de Baixo	1965 a 1970 e 1972 a 1995	30
Aloândia	1976 a 1995	20
Captação João Leite	1976 a 1998 e 2001 a 2006	29
Professor Jamil	1979 a 2003	25

- **Distribuição Log-Normal**

A distribuição log-normal empregada neste trabalho seguiu a metodologia descrita por Chow, Maidment & Mays (1988). De acordo com von Sperling (2007), essa distribuição corresponde a se ajustar uma distribuição normal aos logaritmos (\log_{10}) das vazões.

Conforme Chow, Maidment & Mays (1988) a transformação log tende a reduzir a assimetria positiva comumente encontrada em dados hidrológicos, porque tendo logaritmos reduz proporcionalmente números grandes mais do que números pequenos.

- **Distribuição de Weibull**

Utilizou-se a distribuição de Weibull com dois parâmetros conforme apresentado por von Sperling (2007). A função de probabilidades acumuladas é dada pela Equação 1.

$$F_x(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$F_x(x)$ = função de probabilidades acumuladas;

α = parâmetro de forma;

β = parâmetro de escala;

$x = \text{vazão}$.

A estimativa de α e β foi feita tendo por base o coeficiente de variação CV das séries de vazões mínimas Q_7 , calculado pela Equação 2.

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

CV = coeficiente de variação;

S_x = desvio padrão;

\bar{X} = média.

Não utilizou-se a tabela que fornece as relações exatas entre α , $A(\alpha)$ e CV , por esta ser limitada a valores de CV até 0,265. Em razão disto, foi efetuada uma análise de regressão de α e $A(\alpha)$ em função de CV (Equações 3 e 4) para coeficientes de variação compreendidos entre 0 e 1,5. Segundo von Sperling (2007), a qualidade dos ajustes obtidos, indicada pelos coeficientes de determinação R^2 , demonstram que as soluções aproximadas, dadas pelas Equações 3 e 4, válidas para o intervalo $0 \leq CV \leq 1,5$, produzem boas estimativas dos parâmetros.

$$\alpha = 1,0122 \cdot CV^{-1,0779} \quad (R^2 = 0,9998) \quad (\text{Eq. 3})$$

$$A(\alpha) = 0,9982 - 0,4419 \cdot CV + 0,4360 \cdot CV^2 \quad (R^2 = 0,9972) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

α = parâmetro de forma;

$A(\alpha)$ = função A ;

CV = coeficiente de variação.

Com os valores de α e $A(\alpha)$ calculados, o próximo passo foi calcular o valor de β pela seguinte Equação 5.

$$\beta = \frac{\bar{X}}{A(\alpha)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

β = parâmetro de escala;

\bar{X} = média;

$A(\alpha)$ = função A.

Estimados os parâmetros de Weibull (α e β), calculou-se a vazão X_T correspondente a um período de retorno Tr , por meio da Equação 6.

$$X_T = \beta \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

X_T = vazão correspondente a um tempo de retorno;

β = parâmetro de escala;

Tr = tempo de retorno;

α = parâmetro de forma.

- **Coefficiente de Eficiência de Nash e Stutcliffe**

Conforme Silva *et al.* (2008), o coeficiente de eficiência de Nash e Stutcliffe (COE) pode variar a partir de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito; $COE > 0,75$ o ajuste é considerado adequado e bom e $0,36 < COE < 0,75$ é considerado aceitável. A equação utilizada para o cálculo do COE é apresentada na Equação 7.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{esti})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{esti} - \bar{Q})^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

Q_{obsi} = vazão observada;

Q_{esti} = vazão estimada;

\bar{Q} = vazão média observada;

n = número de dados considerados.

3.2.2 Método Curva de Permanência de Vazões

Para o cálculo da curva de permanência, utilizou-se o critério da série toda, o qual, segundo Cruz & Tucci (2008), considera a série completa de vazões disponíveis no período histórico de dados em termos mensais ou totais.

Todos os dados de valores de vazões diárias obtidos da ANA, para cada estação, foram ordenados de forma decrescente e, em seguida, foi atribuído um número de ordem para cada vazão na sequência decrescente. Posteriormente, calculou-se a probabilidade de ocorrência de uma vazão ser igualada ou superior à analisada, conforme a Equação 8.

$$P = \frac{m}{N} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

P = probabilidade de ocorrência;

m = número de ordem;

N = total de dados.

Feito o cálculo das probabilidades, segundo von Sperling (2007), procura-se o valor mais próximo a 0,90 (90%). A vazão associada à este valor é a Q_{90} e a vazão associada ao valor 0,95 (95%) é a Q_{95} .

Os gráficos das curvas de permanência foram produzidos com o auxílio do *software* Origin Pro 8.

3.2.3 Método Tennant

A partir dos registros de vazões diárias das estações fluviométricas, procedeu-se o cálculo das vazões médias anuais. Após este procedimento foram calculadas as percentagens, propostas por Tennant, da vazão média anual de cada estação. As percentagens são apresentadas na Tabela 3 do item 2.6.

3.2.4 Método do Perímetro Molhado

Na determinação das relações entre a vazão e o perímetro molhado utilizou-se a plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*), mais especificamente o módulo hidráulico HEC-RAS, versão 4.1.0, desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S. Army Corps of Engineers*) e disponibilizada gratuitamente.

O HEC-RAS utiliza parâmetros de entrada para a análise hidráulica da geometria do canal e fluxo de água (HEC, 2010). Foram utilizados como dados de entrada os arquivos de perfil transversal e resumos de descarga disponibilizados pela ANA para estabelecer as seções transversais e realizar a calibração. Por meio de cálculos do remanso da linha d'água, em função de perdas de carga ocasionadas por fatores como velocidade do escoamento e atrito do fundo (coeficiente de Manning), o modelo forneceu as medidas do perímetro molhado.

Com as medidas da vazão e do perímetro molhado obtidos com o uso do HEC-RAS, os gráficos das curvas de vazão versus perímetro molhado foram então produzidos com o auxílio do *software* Origin Pro 8. Identificou-se, então, em cada gráfico, o principal ponto de inflexão da curva em que o aumento da vazão recomendada traduz-se em um aumento pouco significativo do perímetro molhado.

Embora a abordagem perímetro molhado, tenha sido largamente utilizada na avaliação de fluxos ambientais, não existe um método convencional, o objetivo para selecionar o ponto de interrupção crítico na curva. O ponto é geralmente escolhido subjetivamente, e as recomendações podem variar entre os pesquisadores (ANNEN & CONDER, 1984; GIPPEL & STEWARDSON, 1998).

3.2.5 Método IHA

No presente trabalho, pelo fato de não haverem mudanças abruptas nos pontos de estudo, como por exemplo, a construção de uma represa ou barragem, utilizou-se a análise de um único período, considerando que cada ponto vem sofrendo o acúmulo de modificações humanas ao longo do tempo buscando, assim, caracterizar as condições do regime de vazões e analisar a tendência do regime hidrológico nos pontos estudados.

Foram analisados os dados hidrológicos diários disponíveis e calculou-se, com a utilização do *software* IHA versão 7.1, os 33 parâmetros IHA (magnitude das condições hidrológicas mensais, magnitude e duração das condições hidrológicas extremas anuais, periodicidade das condições hidrológicas extremas anuais, frequência e duração de altos e baixos pulsos e taxa/frequência de

alteração do fluxo das condições hidrológicas) e os 34 parâmetros EFC considerados ecologicamente relevantes (vazões baixas, vazões extremamente baixas, pulsos de vazão alta, pequenas inundações e inundações de grande porte). No cálculo dos parâmetros utilizou-se a estatística não paramétrica considerando-se, desta forma, que os dados não estão distribuídos de forma normal nos conjuntos de dados hidrológicos.

Posteriormente, utilizou-se o *software* R versão 3.0 na construção de Diagramas em Caixa, conhecidos também como *boxplot*, para realizar a análise estatística exploratória dos resultados obtidos para os parâmetros IHA e EFC. Segundo Triola (2008), o *boxplot* é importante para revelar o centro, a dispersão e a distribuição dos dados, além da presença de *outlier*, sendo bom para comparar dois ou mais conjuntos de dados. O *boxplot* também fornece informações importantes sobre o comportamento do conjunto de dados, como simetria e variabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS VALORES DE VAZÃO ECOLÓGICA

4.1.1 Método $Q_{7,10}$

Para a aplicação do método $Q_{7,10}$ foram utilizados os dados diários das estações fluviométricas. Na Tabela 4 são mostrados os valores dos coeficientes de eficiência de Nash e Stutcliffe (COE) e os valores de R^2 . Na Figura 9 são mostrados os gráficos da vazão em função do tempo de retorno com os ajustes das distribuições de Weibull e Log-normal. Os valores das vazões ecológicas resultantes da aplicação do método $Q_{7,10}$ para cada estação são apresentados na Tabela 5.

Pode-se observar que apenas em Aloândia os valores dos COE encontrados, tanto para a distribuição de Weibull, quanto para Log-normal, estão entre 0,36 e 0,75, considerando-se, desta forma, os ajustes aceitáveis. Para os demais trechos os ajustes entre as vazões Q_7 medidas e as Q_7 calculadas para as distribuições de Weibull e Log-normal são considerados bons e adequados, pois os valores dos COE foram maiores que 0,75.

Em relação às distribuições de Weibull e Log-normal, apenas em Aloândia o valor do COE de Weibull foi maior que o COE de Log-normal. Nos demais pontos de estudo os valores de COE de Weibull foram todos menores que os COE de Log-normal. Desta maneira, embora a distribuição de Weibull, por ser limitada inferiormente, seja bastante adequada para o caso de vazões mínimas (von SPERLING, 2007), a distribuição Log-normal mostrou-se mais adequada e produziu ajustes de melhor qualidade.

De acordo com o coeficiente de determinação, em todos os trechos, R^2 para a distribuição Log-normal foi maior que para Weibull, demonstrando, assim, um melhor ajuste de Log-normal em relação à Weibull. R^2 tanto para Weibull quanto para Log-normal foi melhor que Nash e Stutcliffe.

Tabela 4: Valores obtidos dos coeficientes de Nash e Stutcliffe e de Determinação (R^2) para as distribuições de Weibull e Log-normal.

Estação	Coeficiente de Nash e Stutcliffe		R^2	
	Weibull	Log-normal	Weibull	Log-normal
Inhumas	0,93	0,97	0,97	0,99
Montante de Goiânia	0,94	0,97	0,98	0,99
Fazenda Bonita de Baixo	0,92	0,96	0,96	0,98
Aloândia	0,74	0,71	0,89	0,93
Captação João Leite	0,92	0,97	0,97	0,99
Professor Jamil	0,89	0,92	0,95	0,98

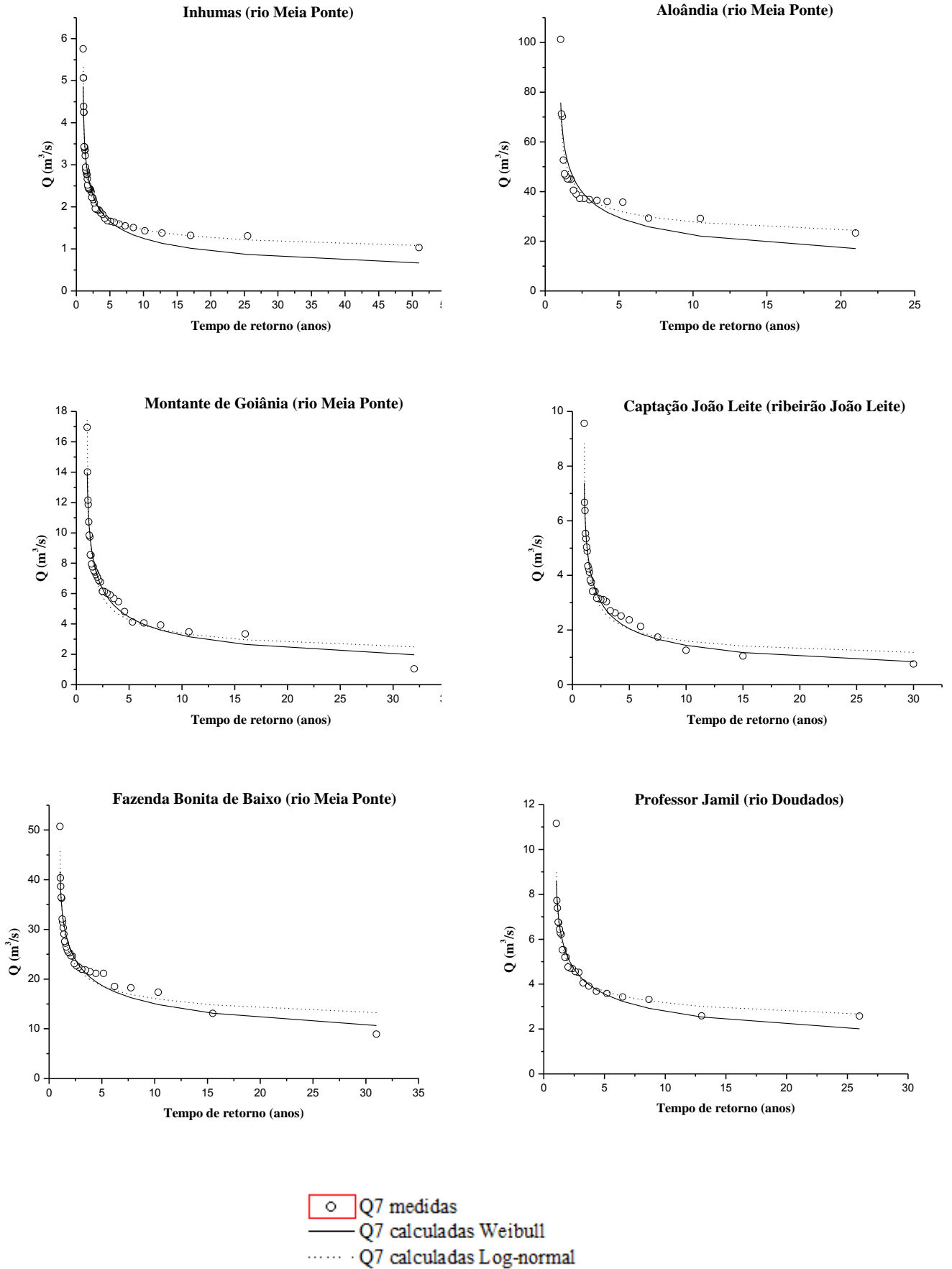


Figura 9: Vazões em função do tempo de retorno.

Tabela 5: Valores de vazão ecológica resultantes do método $Q_{7,10}$.

Estação	$Q_{7,10}$ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	
	Distribuição de Weibull	Distribuição Log-normal
Inhumas	1,25	1,46
Montante de Goiânia	3,25	3,38
Fazenda Bonita de Baixo	15,01	16,06
Aloândia	22,49	27,76
Captação João Leite	1,44	1,60
Professor Jamil	2,78	3,16

4.1.2 Método Curva de Permanência de Vazões

A Figura 10 apresenta as curvas de permanência calculadas a partir dos dados diários das estações fluviométricas. Visando maior facilidade de leitura das vazões menores, o gráfico foi elaborado em escala logarítmica.

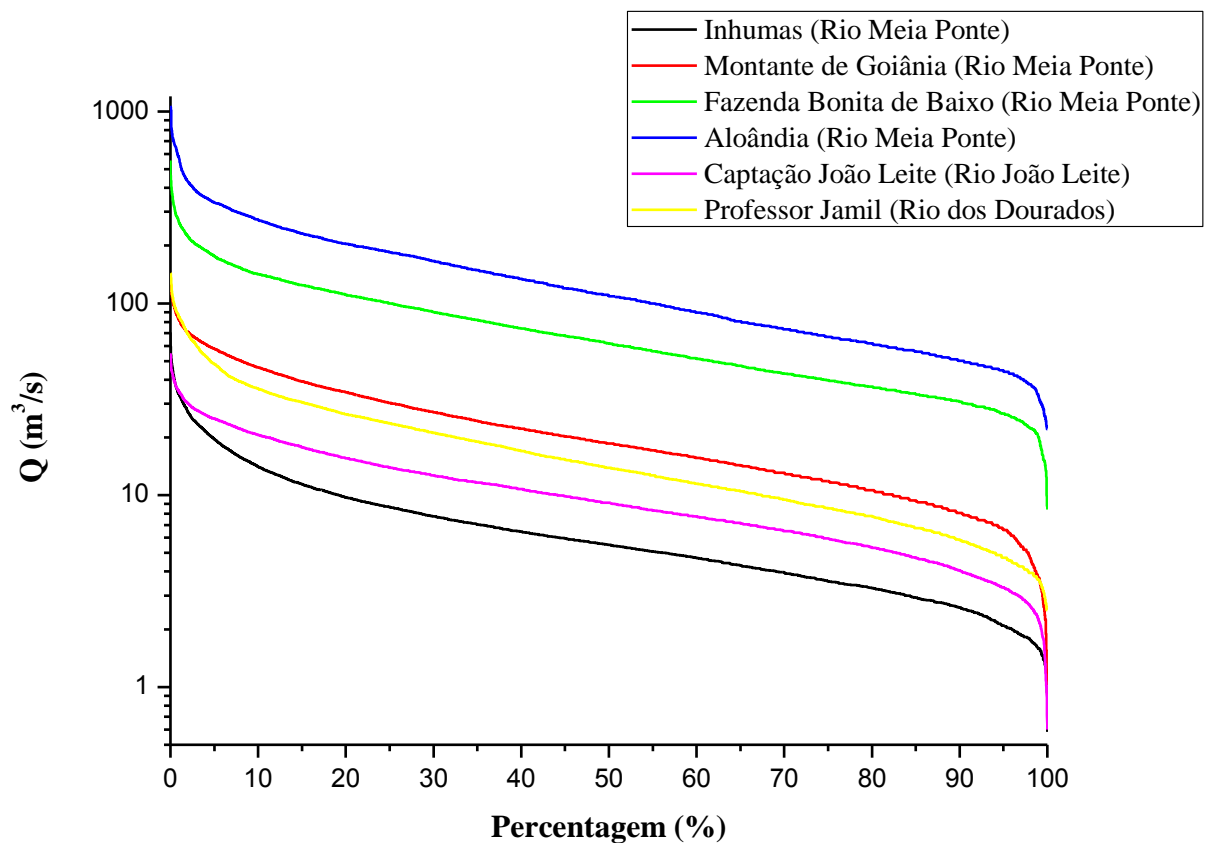


Figura 10: Curvas de permanência dos trechos de estudo.

A forma da curva de permanência reflete as características do regime de vazões do rio. Uma curva abatida ou achatada indica que o rio apresenta cheias reduzidas e grande potencial hídrico subterrâneo, o que resulta em vazões mínimas elevadas. Já, uma curva com formato inclinado, ao contrário, indica uma maior potencialidade de cheias e vazões mínimas reduzidas.

A análise de dados diários de vazão fornece um valor de vazão menor para uma dada permanência do que dados mensais ou anuais. Sendo assim, por ter sido utilizado neste estudo dados diários de vazões, a interpretação das curvas de permanência são mais seguras já que dados mensais ou anuais podem gerar valores superestimados.

De modo geral as curvas de permanência obtidas apresentaram um comportamento semelhante, ou seja, com inclinações muito semelhantes. Esse fato pode indicar que estas vazões de referência podem ser adotadas na bacia, em geral.

Pode-se observar que, conforme dito por Cruz & Tucci (2008), os valores de permanências maiores apontam para vazões menores e, portanto, com menor risco. Segundo os autores supracitados, isso ocorre porque, no seu ramo inferior, encontram-se os menores valores de toda a série, agrupando todas as ocorrências de estiagens em um mesmo conjunto, sendo que, próximo a 100%, o valor empírico é o menor valor de toda a série.

De acordo com Okawa (2009), geralmente adota-se como vazão ecológica a Q_{90} ou a Q_{95} ou ainda percentagens destas vazões, o que comumente resulta em valores baixos para a manutenção do ecossistema aquático. A Tabela 6 mostra valores das vazões ecológicas obtidos para as estações fluviométricas, de acordo com Q_{90} e Q_{95} . Nos pontos localizados no Rio Meia Ponte (Inhumas, Montante de Goiânia, Fazenda Bonita de Baixo e Aloândia), quanto mais próximo da foz está o ponto estudado, maior é o valor da vazão ecológica.

Tabela 6: Valores de Q_{90} e Q_{95} .

Estação	Q_{90} (m³/s)	Q_{95} (m³/s)
Inhumas	2,60	2,09
Montante de Goiânia	8,08	6,57
Fazenda Bonita de Baixo	30,70	26,70
Aloândia	50,30	44,30
Captação João Leite	4,07	3,31
Professor Jamil	5,88	4,73

4.1.3 Método Tennant

A Tabela 7 mostra as vazões médias anuais calculadas a partir dos dados das estações fluviométricas e o Quadro 6 apresenta as percentagens das vazões médias anuais recomendadas por Tennant.

Tabela 7: Valores das vazões médias anuais.

Estação fluviométrica	Vazão média anual (m³.s⁻¹)
Inhumas	7,35
Montante de Goiânia	23,55
Fazenda Bonita de Baixo	77,17
Aloândia	141,66
Captação João Leite	10,94
Professor Jamil	18,71

Segundo Tennant (1976), uma vazão correspondente a 30% da vazão média anual mantém uma boa qualidade de hábitat. Valores superiores a 30% da vazão média anual são considerados satisfatórios no que tange a profundidade, largura e velocidade de escoamento (PAULO, 2007). Sendo assim, como vazões ecológicas pelo método de Tennant tem-se os valores de vazões para as condições excelentes do rio durante o período seco (Tabela 8).

De acordo com Reis (2007), por apresentar faixas de vazões diferentes para o período seco e para o período chuvoso, o método de Tennant, por considerar a sazonalidade das vazões, tem uma melhor representatividade do ecossistema.

Quadro 6: Percentagens da vazão média anual recomendadas por Tennant.

Condição do rio	Vazão recomendada (% da vazão média anual)	
	Período Seco	Período Chuvoso
	Inhumas	
Lavagem ou máxima	14,69	
Faixa ótima	4,41 até 7,35	
Excepcional	2,94	4,41
Excelente	2,20	3,67
Boa	1,47	2,94
Regular ou com degradação	0,73	2,20
Má ou mínima	0,73	0,73
Faixa de degradação elevada	1,87 até 0	
	Montante de Goiânia	
Lavagem ou máxima	47,10	
Faixa ótima	14,13 até 23,55	
Excepcional	9,42	14,13
Excelente	7,06	11,77
Boa	4,71	9,42
Regular ou com degradação	2,35	7,06
Má ou mínima	2,35	2,35
Faixa de degradação elevada	2,35 até 0	
	Fazenda Bonita de Baixo	
Lavagem ou máxima	154,35	
Faixa ótima	46,30 até 77,17	
Excepcional	30,87	46,30
Excelente	23,15	38,59
Boa	15,43	30,87
Regular ou com degradação	7,72	23,15
Má ou mínima	7,72	7,72
Faixa de degradação elevada	7,72 até 0	
	Aloândia	
Lavagem ou máxima	283,33	
Faixa ótima	85 até 141,66	
Excepcional	56,67	85,00
Excelente	42,50	70,83
Boa	28,33	56,67
Regular ou com degradação	14,17	42,50
Má ou mínima	14,17	14,17
Faixa de degradação elevada	14,17 até 0	
	Captação João Leite	
Lavagem ou máxima	21,88	
Faixa ótima	6,57 até 10,94	
Excepcional	4,38	6,57
Excelente	3,28	5,47
Boa	2,19	4,38
Regular ou com degradação	1,09	3,28
Má ou mínima	1,09	1,09
Faixa de degradação elevada	1,09 até 0	
	Professor Jamil	
Lavagem ou máxima	37,43	
Faixa ótima	11,23 até 18,71	
Excepcional	7,49	11,23
Excelente	5,61	9,36
Boa	3,74	7,49
Regular ou com degradação	1,87	5,61
Má ou mínima	1,87	1,87
Faixa de degradação elevada	1,87 até 0	

Tabela 8: Vazões ecológicas calculadas pelo método de Tennant.

Estação fluviométrica	Vazão ecológica (m³.s⁻¹)
Inhumas	2,20
Montante de Goiânia	7,06
Fazenda Bonita de Baixo	23,15
Aloândia	42,50
Captação João Leite	3,28
Professor Jamil	5,61

4.1.4 Método Perímetro Molhado

Para a determinação da curva do perímetro molhado versus vazão foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS que é amplamente usado em simulações hidráulicas e hidrológicas. O modelo foi calibrado utilizando-se os dados dos arquivos de perfil transversal e de resumo de descarga obtidos das estações fluviométricas da ANA e ajustando-se as declividades e os coeficientes de Manning para cada ponto. Procedeu-se então a simulação para uma faixa de valores de vazão variando de 0,1 a 100 m³/s.

De posse dos pares vazão e perímetro molhado, foram montadas as curvas do perímetro molhado versus vazão e, a partir daí, obteve-se os índices de hábitat para cada ponto.

Na Figura 11 são apresentados os gráficos da vazão em função do perímetro molhado. O eixo das abscissas, correspondente ao valor da vazão, foi mantido invariável para todos os pontos para evitar problemas com escala. Já o eixo das ordenadas teve sua amplitude definida pelo *software* Origin Pro 8, de acordo com a variação do perímetro molhado.

Os valores das vazões ecológicas recomendadas pelo método do perímetro molhado para os pontos de estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte são mostrados na Tabela 9. Em cada ponto de estudo procurou-se identificar o ponto de inflexão da curva mais significativo a partir do qual tem-se uma variação menos significativa do perímetro molhado em relação ao aumento da vazão sendo, conforme Reis (2007), o índice de hábitat para o local.

Pode-se perceber que os valores da vazão ecológica aumentam de montante para jusante nos pontos localizados no Rio Meia Ponte e que, em praticamente todos os pontos, os valores obtidos por este método do perímetro molhado foram menores do que os valores obtidos pelos métodos Q_{7,10}, curva de permanência de vazões e Tennant, exceto para Professor Jamil.

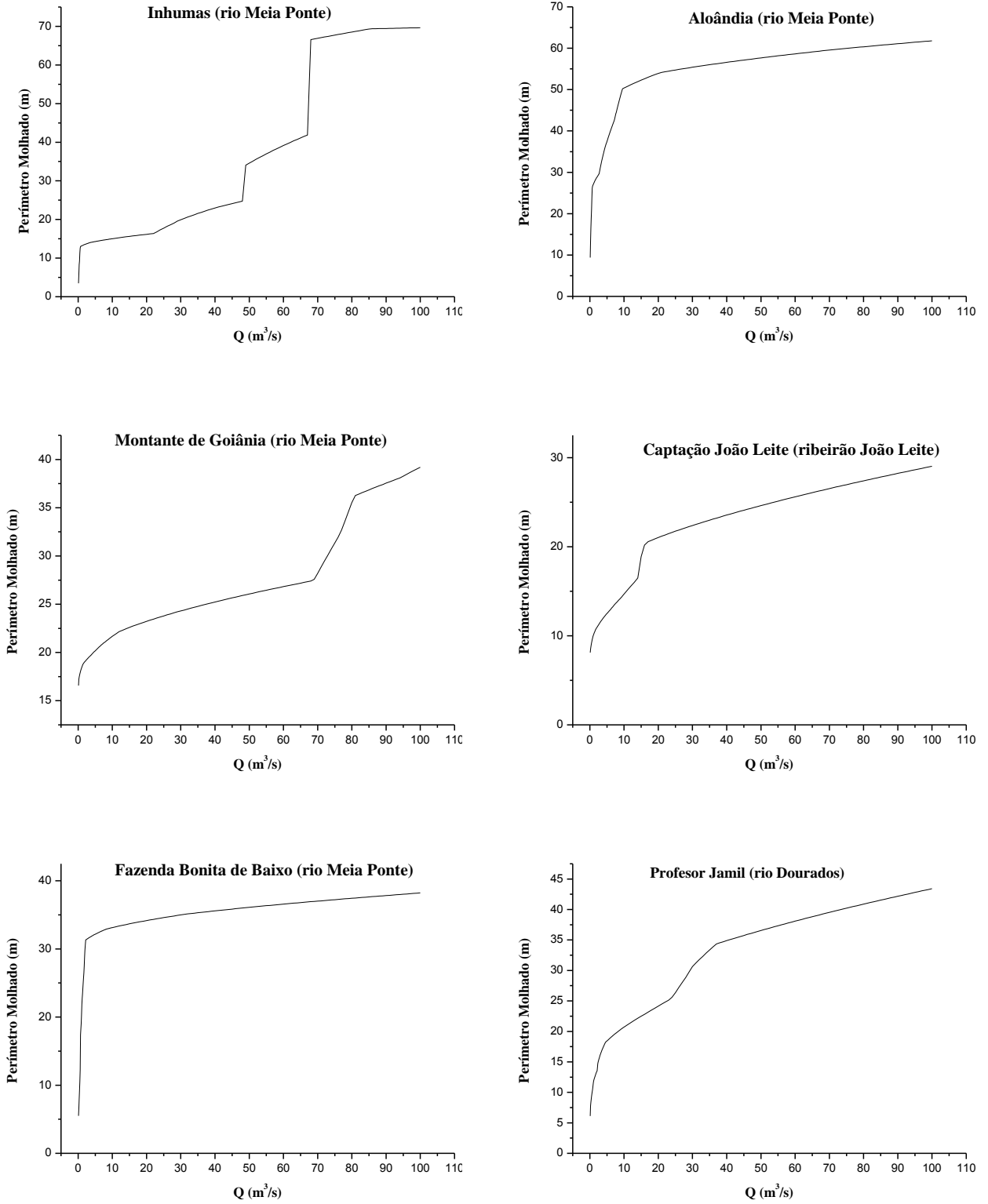


Figura 11: Vazões ecológicas recomendadas pelo método do perímetro molhado.

Tabela 9: Valores de vazão ecológica pelo método do perímetro molhado.

Estação fluviométrica	Vazão ecológica (m³.s⁻¹)
Inhumas	0,6
Montante de Goiânia	1,3
Fazenda Bonita de Baixo	2,1
Aloândia	9,4
Captação João Leite	1,2
Professor Jamil	4,3

4.1.5 Método IHA

No Anexo B, encontra-se as Figuras que mostram os *boxplots* para cada um dos cinco grupos dos parâmetros IHA e os gráficos dos parâmetros EFC, ou seja, dos componentes de vazão ecológica em cada ponto de estudo. Estas figuras contribuem para uma melhor análise da tendência do regime de vazões, podendo ser utilizado pelos gestores da bacia hidrográfica para dar suporte às suas futuras decisões.

Em relação aos *boxplots*, os extremos dos gráficos representam os valores mínimos e máximos dos dados. A linha mais espessa ao centro da caixa representa o segundo quartil (Q2) ou mediana, a parte inferior da caixa representa o primeiro quartil (Q1) e a parte superior da caixa representa o terceiro quartil (Q3). Os círculos que, por acaso, estão acima nos gráficos representam os *outliers*, que são valores que estão no conjunto de dados, mas não seguem a mesmo padrão do resto do conjunto.

A presença de *outliers* pode ser em decorrência de erros de medição das vazões ou da ocorrência um evento extremo em determinado ano da série de dados. Por esta razão optou-se, para o cálculo dos parâmetros, por uma estatística não paramétrica, mais especificamente pelo cálculo da mediana, sendo esta medida não tão influenciada pela presença de *outliers*.

As Figuras 24 a 29 (Anexo B) apresentam os *boxplots* e o Tabela 10 as medianas das magnitudes das vazões mensais em cada ponto de estudo, podendo-se perceber a tendência central dos valores diários de vazão para cada mês de todo o período estudado por ponto. Segundo Richter *et al.* (1996), esses valores descrevem as condições diárias “normais” para cada mês fornecendo uma medida geral da disponibilidade de hábitat.

Em todos os pontos de estudo, os maiores valores de vazão são encontrados principalmente nos meses de janeiro a março e abril (mês das últimas chuvas) e os menores valores principalmente nos meses de julho a setembro, indo até outubro (mês que marca o início das primeiras chuvas).

Esta observação coincide com o período de cheia e seca na região da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte gerando certa similaridade que, conforme Richter *et al.* (1996), reflete uma condição relativa de constância hidrológica.

Nos pontos localizados no Rio Meia Ponte, ou seja, Inhumas, Montante de Goiânia, Fazenda Bonita de Baixo e Aloândia, percebeu-se um aumento nos valores de vazão de montante para jusante o que de fato é de se esperar. Inhumas (ponto mais a montante) apresenta os menores valores e Aloândia (ponto mais a jusante) os maiores valores de vazão.

Tabela 10: Mediana da magnitude das vazões mensais.

Parâmetros Grupo 1	Mediana (m ³ /s)					
	Inhumas	Montante de Goiânia	Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captção João Leite	Professor Jamil
Outubro	3,75	11,24	34,95	58,90	5,50	7,03
Novembro	5,39	15,75	55,03	79,05	8,60	9,19
Dezembro	6,91	23,56	74,60	132,00	10,48	15,58
Janeiro	9,43	31,83	99,80	214,00	13,19	27,75
Fevereiro	9,60	33,06	111,30	201,00	14,64	28,21
Março	9,99	37,08	122,50	222,00	14,29	28,18
Abril	7,76	26,61	93,60	170,50	13,09	26,07
Maio	5,80	19,14	68,75	127,00	9,04	19,26
Junho	4,66	15,43	53,50	93,55	7,41	14,13
Julho	3,77	12,24	43,10	72,10	6,16	10,71
Agosto	3,25	10,12	34,60	61,90	5,12	8,35
Setembro	3,05	9,01	30,88	53,50	4,93	6,60

Em relação ao Grupo 2, as Figuras 30 a 47 (Anexo B) retratam a magnitude e duração das vazões extremasanuais e o Tabela 11 as medianas desses valores.

A magnitude das condições hidrológicas anuais extremas (mínimos e máximos) de várias durações revelam variações diárias à sazonais. As durações utilizadas pelo IHA seguem os ciclos naturais e humanos que abrangem 1 dia, 3 dias, 7 dias (semanal), 30 dias (mensal) e 90 dias (sazonal). Conforme Richter *et al.* (1996) para um determinado ano, o máximo de 1 dia (ou o mínimo) é representado pelo maior (ou menor) valor diário único que ocorre durante o ano. Para os demais dias de máximo (ou de mínimo) são representados pela mediana dos maiores (ou menores) valores que ocorrem durante o ano.

Devido ao aumento dos valores de vazão de montante para jusante, percebe-se que os mínimos e máximos anuais também aumentam indo para jusante. Quando se observa os valores mínimos e máximos em um único ponto, verifica-se que os valores de vazão dos eventos mínimos anuais vão aumentando conforme o aumento dos dias de duração e os valores das vazões dos eventos máximos diminuem conforme o aumento dos dias de duração.

Em Inhumas (Figura 30 no Anexo B) e Montante de Goiânia (Figura 31, Anexo B) houve uma maior dispersão dos dados entre a mediana e o Q3 para os mínimos anuais de 90 dias de duração. Já para os eventos máximos as maiores dispersões dos dados foram, em geral, nos máximos de 1 dia de duração.

Em todos os pontos não houve nenhum dia com fluxo zero. E, em relação ao índice de fluxo de base, calculado pelo fluxo mínimo de 7 dias/fluxo médio para o ano, o menor índice foi obtido em Professor Jamil, no Rio Dourado. Entre os pontos localizados no Rio Meia Ponte o ponto mais a montante (Inhumas) teve o maior índice e o mais a jusante (Aloândia) o menor. Possivelmente, as contribuições das águas subterrâneas em Inhumas são maiores durante o período de seca.

Todos esses valores extremos (mínimos e máximos) são importantes como gatilhos necessários para a reprodução de determinadas espécies (RICHTER *et al.* 1996). De acordo com Rocha (2010), a duração dos fluxos mínimos e máximos tem, muitas vezes, significância ecológica.

Tabela 11: Magnitude e duração das vazões extremas anuais.

Parâmetros Grupo 2	Mediana (m ³ /s)					
	Inhumas	Montante de Goiânia	Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captação João Leite	Professor Jamil
Mínimos anuais de 1 dia de duração	1,94	6,15	22,30	35,50	2,60	4,38
Mínimos anuais de 3 dias de duração	2,15	6,43	23,83	36,27	2,97	4,49
Mínimos anuais de 7 dias de duração	2,22	6,98	24,81	38,41	3,12	4,62
Mínimos anuais de 30 dias de duração	2,75	8,44	30,17	51,70	4,00	5,62
Mínimos anuais de 90 dias de duração	3,24	10,51	36,51	61,87	5,37	8,59
Máximos anuais de 1 dia de duração	41,96	86,65	273,00	442,00	40,73	89,61

Continuação Tabela 11.

Parâmetros Grupo 2	Inhumas	Montante de Goiânia	Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captação João Leite	Professor Jamil
Máximos anuais de 3 dias de duração	32,93	81,32	249,00	419,00	35,48	79,98
Máximos anuais de 7 dias de duração	25,25	71,86	220,90	388,70	28,58	66,26
Máximos anuais de 30 dias de duração	16,77	49,85	154,40	295,80	19,42	42,80
Máximos anuais de 90 dias de duração	13,23	39,01	128,00	232,50	16,59	33,69
Quantidade de dias de fluxo zero	0	0	0	0	0	0
Índice de fluxo de base: fluxo mínimo de 7 dias/fluxo médio para o ano	0,34	0,27	0,33	0,30	0,29	0,26

As Figuras 48 a 53 (Anexo B) e o Tabela 12 mostram a periodicidade das vazões extremas anuais (Grupo 3).

Conforme Rocha (2010), a periodicidade, também conhecida como *predictibilidade (timing)* do fluxo de certa magnitude, refere-se à regularidade com que este ocorre. De acordo com Okawa (2009), este grupo determina a previsibilidade de eventos de cheia e *stress* hídrico.

Para esses parâmetros do grupo 3, caso haja vários dias do ano hidrológico com o mesmo valor de vazão, a data mais antiga é relatada (TNC, 2009). A periodicidade das condições hidrológicas extremas anuais retrata a sazonalidade de ocorrência de uma perturbação ambiental ou *stress*. De acordo com Richter *et al.* (1996), as fases do ciclo de vida de determinadas espécies, como por exemplo a fase da reprodução, podem estar intimamente ligadas à periodicidade dessas condições extremas, sendo assim, mudanças introduzidas pelo homem nessa periodicidade pode levar ao insucesso reprodutivo, *stress* ou mortalidade.

A periodicidade dos eventos máximos de 1 dia de duração mostrou uma acentuada dispersão dos dados entre mediana e Q3 nos pontos de Inhumas, Fazenda Bonita de Baixo e Captação João Leite.

Considerando-se o início do ano hidrológico no dia 1º do mês de outubro, pode-se observar que os eventos mínimos tendem a ocorrer por volta do 266º dia para Inhumas e do 276,5º dia para Montante de Goiânia, ou seja, abrange aproximadamente o final do mês de maio e início de junho.

Os eventos máximos ocorrem em torno do 34° dia em Aloândia e do 54,5° dia em Montante de Goiânia, abrangendo o mês de novembro. Observou-se que os eventos de máxima e mínima tendem a ocorrer em dias relativamente próximos nos diferentes pontos estudados.

A análise da periodicidade das condições hidrológicas extremas anuais permite verificar a variabilidade dos eventos extremos mínimos e máximos e com isso prever a ocorrência desses eventos.

Tabela 12: Mediana da periodicidade das vazões anuais.

Parâmetros Grupo 3	Mediana (dia)					
	Inhumas	Montante de Goiânia	Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captação João Leite	Professor Jamil
Data Juliana do valor mínimo anual de 1 dia	266°	276,5°	275°	276°	274°	274,5°
Data Juliana do valor máximo anual de 1 dia	41,5°	54,5°	48°	34°	39°	38,5°

Para os resultados do Grupo 4 referentes à frequência e duração de altos e baixo pulsos são apresentadas as Figuras 54 a 59 (Anexo B) e a Tabela 13

A frequência de ocorrência se refere, de acordo com Rocha (2010), a como um fluxo de determinada magnitude recorre ao longo de um intervalo de tempo específico, sendo esta frequência inversamente relacionada à magnitude do fluxo.

Os pulsos hidrológicos são definidos como aqueles períodos dentro de um ano em que a condição hidrológica média diária tanto se eleva acima do percentil 75 (pulso alto ou pulso de máximo fluxo) ou cai abaixo do percentil 25 (pulso baixo ou pulso de mínimo fluxo) de todos os valores diários para o período estudado (RICHTER *et al.*, 1996). Para a análise dos pontos em estudo, os limites dos pulsos foram calculados utilizando-se os dados de todo o período.

A frequência com que ocorrem os pulsos é importante nos processos de conectividade e desconectividade entre os diversos habitats e os canais fluviais (ROCHA, 2010). Sua ocorrência desencadeia uma série de processos geomórficos como a sedimentação e ecológicos como a acessibilidade de espécies diferentes aos ambientes aquáticos, mortalidade de árvores, perda de habitats rasos para espécies aquáticas (POFF *et al.*, 1997; ROCHA, 2010).

Tabela 13: Frequência e duração de altos e baixos pulsos.

Parâmetros Grupo 4	Inhumas	Montante de Goiânia	Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captação João Leite	Professor Jamil
Quantidade de pulsos baixos em cada ano hidrológico	5	6	5,5	5	4	4
Mediana da duração dos pulsos baixos (dias)	4,5	4	5,75	5,5	5,25	8,5
Quantidade dos pulsos altos em cada ano hidrológico	12	9	8,5	6	8	8,5
Mediana da duração dos pulsos altos (dias)	3	4	3,5	8	3	3

Em relação ao Grupo 5, taxa de alteração e frequência com que as condições de fluxo mudam, as Figuras 60 a 65 e o Tabela 14 mostram os resultados obtidos.

A taxa de mudança diz respeito à rapidez com que o fluxo muda de uma magnitude a outra, por exemplo, canais “rápidos” (pequena ordem) tem rápida taxa de mudança, enquanto que canais “estáveis” (grandes rios) tem lenta taxa de mudança no fluxo (ROCHA, 2010).

De acordo com NIWA (2004), as inversões são calculadas dividindo o registro hidrológico em períodos de aumento e redução, os quais correspondem à períodos nos quais as mudanças diárias nas vazões são positivas ou negativas, respectivamente. Um período de aumento ou redução não termina com um par de dias de vazão constante, mas apenas por uma mudança de sinal da taxa de variação.

O número de inversões é o número de vezes em que a vazão muda de um período para o outro. As inversões se analisam por ano hidrológico e, portanto, a primeira mudança de vazão do ano hidrológico não pode ser contada como inversão visto que não existe uma tendência de aumento ou redução antes do mesmo (TNC, 2009).

Verificou-se que a taxa de aumento tende a crescer de montante para jusante, sendo que o ponto de Aloândia, situado mais a jusante, apresentou a maior taxa de aumento. Já a taxa de redução diminuiu de montante para jusante. Nesse sentido, o ponto de Inhumas, mais a montante, apresentou a maior taxa. Em relação à quantidade de inversões houve um decréscimo do ponto Montante de

Goiânia para Fazenda Bonita de Baixo. Em Montante de Goiânia os dados mostraram-se muito dispersos, principalmente entre Q1 e a mediana.

Tabela 14: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões.

Parâmetros Grupo 5	Inhumas	Montante de Goiânia	Mediana			
			Fazenda Bonita de Baixo	Aloândia	Captação João Leite	Professor Jamil
Taxas de aumento: mediana de todas as diferenças positivas entre valores diários consecutivos	0,83	1,47	4,82	5,35	0,77	1,60
Taxas de redução: mediana de todas as diferenças negativas entre valores diários consecutivos	-0,34	-0,98	-2,9	-4,5	-0,39	-0,47
Quantidade de inversões hidrológicas	108,5	138,5	106,5	144	101	76

As Figuras 66 a 71 (Anexo B) retratam os componentes de vazão ecológica (EFC), para os 6 pontos estudados. Os anos de 1970 para Inhumas, 1971 para Fazenda Bonita de Baixo e 1999 e 2000 para Captação João Leite foram retirados em decorrência da ausência de dados.

Cada gráfico mostra como os 5 parâmetros dos componentes de vazão ecológica considerados ecologicamente relevantes (vazões extremamente baixas, vazões baixas, pulsos de vazão alta, pequenas inundações e grandes inundações) se comportaram durante os períodos analisados.

Pela análise desses gráficos pode-se perceber que, em todos os pontos, os valores das vazões extremamente baixas ficaram próximos dos valores de vazão ecológica obtidos com os métodos hidrológicos utilizados neste trabalho ($Q_{7,10}$, curva de permanência de vazão e Tennant). Isso mostra que, embora o método IHA não determine valores das vazões ecológicas, essas vazões extremamente baixas obtidas pelo IHA e consideradas ecologicamente relevantes, podem ser utilizadas na obtenção de valores de vazões ecológicas que também levem em consideração as vazões mínimas a serem deixadas no rio, assim como métodos hidrológicos aqui utilizados.

Os dados obtidos com o método IHA retratam o comportamento do regime hidrológico durante os períodos analisados para cada ponto. Conforme Okawa (2009), os atributos de magnitude, frequência, duração, periodicidade e taxa de alteração das vazões, produzidos pelo IHA,

geram implicações ecológicas nos ecossistemas aquáticos, dependendo de sua ocorrência em diferentes níveis, o que provoca diferentes cenários (algumas espécies são beneficiadas pela ocorrência de um determinado cenário, enquanto outras são prejudicadas).

O IHA ajuda a entender o quanto os regimes hidrológicos, nos pontos estudados, têm sido alterados. Estas alterações podem estar modificando os padrões de diversidade de espécies e quantidade de indivíduos de peixes e outros organismos. A análise destas alterações pelos gestores da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte podem apoiar o planejamento, gerenciamento e pesquisas, auxiliando futuras tomadas de decisão relativas aos usos da água nessa bacia.

Segundo Rocha (2010), a gestão dos ecossistemas aquáticos precede de um reconhecimento dos padrões do regime hidrológico, para que se possa proceder uma eficiente estratégia de manejo ambiental. O primeiro passo a ser dado no rumo certo do planejamento dos recursos hídricos é incorporar os estudos do regime de fluxo do rio e suas alterações, nas estratégias de manejo e reconhecer que uma extensiva alteração foi imposta pelas ações humanas no fluxo do rio, que resultaram em intensas mudanças geomórficas e ecológicas nestes sistemas (POFF *et al.*, 1997; ROCHA, 2010).

4.2 DISCUSSÃO

Em relação aos dois métodos mais utilizados pelos Estados brasileiros, $Q_{7,10}$ e curva de permanência de vazões, o método $Q_{7,10}$, tanto para a distribuição de Weibull, quanto para log-normal demonstrou ser mais restritivo do que Q_{90} e Q_{95} . Por considerar uma condição de vazão mínima a ser deixada no rio, estes métodos, ao não contemplar valores de vazão que variam intra e interanualmente, podem não ser muito bons para a manutenção de todas as relações ecológicas que ocorrem nos ecossistemas aquáticos.

Embora as recomendações produzidas pelo método $Q_{7,10}$ sejam bastante utilizadas, estas recomendações de vazão não possuem base ecológica, pois não consideram as especificidades dos ecossistemas e ignoram a dinâmica natural da ictiofauna e o tempo necessário para a sua recuperação quando sujeitas a um longo período de vazão reduzida (SARMENTO, 2007). Esta vazão é considerada por Stalnaker (1995) e Bennetti, Lanna & Cobalchini (2003) como sendo excessivamente baixa para a manutenção de habitats aquáticos.

Em Inhumas, Montante de Goiânia, Captação João Leite e Professor Jamil as vazões Q_{90} foram aproximadamente 20% maiores que Q_{95} . Nos demais pontos, Fazenda Bonita de Baixo e Aloândia, Q_{90} foi 14% e 12% maiores que Q_{95} , respectivamente.

O método de Tennant resultou em valores de vazão ecológica maiores que $Q_{7,10}$ e menores que os valores obtidos com o método da curva de permanência de vazões. Segundo Sarmiento (2007), este método tem sofrido diversas modificações que visam adaptar melhor o regime de vazões ecológicas calculado ao regime natural de vazões em regiões diferentes daquela para a qual o método foi desenvolvido.

O método do perímetro molhado resultou, em relação a todos os outros métodos utilizados, nos menores valores de vazões ecológicas, exceto para o ponto de Professor Jamil. Esse método foi, de forma geral, bem mais restritivo do que os outros, possivelmente por considerar as especificidades da seção, como a declividade e o coeficiente de Manning.

O Tabela 15 apresenta os valores das vazões específicas calculadas com os valores de vazões ecológicas obtidas com a aplicação dos métodos utilizados neste estudo.

Tabela 15: Valores das vazões específicas.

Estação	Qesp. (L/s.km ²)					Perímetro Molhado
	Q _{7,10} (Weibull)	Q _{7,10} (Log-normal)	Q ₉₀	Q ₉₅	Tennant	
Inhumas	2,35	2,74	4,89	3,93	4,14	1,13
Montante de Goiânia	1,87	1,94	4,64	3,78	4,06	0,75
Fazenda Bonita de Baixo	3,01	3,22	6,15	5,35	4,64	0,42
Aloândia	2,35	2,89	5,24	4,62	4,43	0,98
Captação João Leite	1,88	2,09	5,32	4,32	4,29	1,57
Professor Jamil	2,22	2,53	4,70	3,78	4,49	3,44
Média	2,28	2,57	5,16	4,30	4,34	1,38
Desvio Padrão	0,25	0,38	0,41	0,47	0,18	0,75

Os valores obtidos pelo método $Q_{7,10}$, tanto para a distribuição de Weibull, quanto para Log-norma, ficaram relativamente mais próximos entre si. Q_{90} , Q_{95} e Tennant apresentaram valores superestimados. Possivelmente, como são métodos que consideram um valor mínimo de vazão a ser deixado no rio, utilizam valores um pouco maiores.

O método de Tennant demonstrou ser o mais consistente, apresentando menos variações nos valores. O coeficiente de variância para os métodos utilizados, exceto o método do perímetro molhado, apresentou valores muito baixos, inferiores a 10%. Para o método do perímetro molhado a diferença foi da ordem de 50%.

De acordo com Mann (2006), o método de Tennant não leva em consideração as variações interanuais e não reflete a verdadeira natureza do regime de fluxos, pois ao usar apenas percentagens da vazão média anual, trata todas as situações da mesma forma usando um único critério para todas as circunstâncias.

O método do perímetro molhado apresentou menores valores de vazão em todas as estações, exceto para Professor Jamil. Esses baixos valores podem ser em decorrência do ajuste da declividade e/ou do coeficiente de Manning durante a calibração do HEC-RAS. O ponto de Professor Jamil foi o único em que o valor da vazão pelo método do perímetro molhado foi maior. Esse fato pode ter ocorrido em virtude de erros nos dados da ANA ou mesmo em problemas na determinação do ponto de inflexão.

Embora os métodos de Tennant e do perímetro molhado tenham baixo custo de aquisição de dados, têm uma confiabilidade dos dados baixa (SARMENTO, 2007) e fornecem uma baixa estimativa inicial para a vazão ecológica (SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004). Técnicas hidráulicas e hidrológicas, assim como o método de Tennant e a técnica do perímetro molhado, são utilizados para estabelecer demandas mínimas ambientais para um alto nível de gerenciamento de recursos hídricos, podem ser aplicadas rapidamente em um grande número de lugares e fornecem uma primeira estimativa da provável quantidade de água necessária para manter o ecossistema para determinadas condições (SOUZA, FRAGOSO JÚNIOR & GIACOMONI, 2004).

O estudo mostrou que a grande limitação dos métodos aqui analisados é que estes estão focados em uma vazão mínima. Apenas o método IHA busca outros aspectos do regime hidrológico que são fundamentais para os ecossistemas aquáticos. Segundo Collischonn *et al.* (2006), a manutenção de vazões iguais ou superiores a determinados limites, durante a época de estiagem, não é garantia da manutenção da qualidade do ecossistema.

As vazões extremamente baixas calculadas pelo método IHA apresentaram valores mais próximos aos métodos hidrológicos empregados neste trabalho, do que ao método hidráulico do perímetro molhado. Os valores dessas vazões extremamente baixas ficaram, em quase todos os pontos, entre os métodos de Tennant e Q_{95} .

Verificou-se que a capacidade dos métodos depende, principalmente, da disponibilidade de dados confiáveis e que os valores de vazão obtidos podem estar variando, entre os pontos, em decorrência das características próprias de cada local como clima, topografia, solo e cobertura vegetal.

A vazão específica demonstrou que pode ser empregada como um bom parâmetro para os métodos utilizados neste trabalho, exceto o método do perímetro molhado. Este método parece não refletir uma variação espacial do comportamento hidrológico da bacia, mas sim as peculiaridades do local da seção de estudo como, por exemplo, o tipo de solo do local. Deve-se considerar então, para a determinação da vazão ecológica, não somente as espécies que ocorrem na bacia como um todo, mas também aquelas espécies que se adaptam a locais específicos.

Segundo Souza, Fragoso Júnior & Giacomoni (2004), definir a vazão requerida pelo ecossistema apresenta muitas dificuldades para os cientistas, devido aos conflitos de ideias geradas e, por isso, uma solução a ser considerada é fazer do regime natural do rio uma referência a ser seguida pelas prescrições de vazão para o ecossistema. Estas vazões deveriam ser guiadas pelo regime de fluxo natural, uma vez que este regime era o responsável pela manutenção das condições características de cada rio, visto que este regime de fluxo conteria todos os elementos que balanceiam as necessidades de diferentes grupos de organismos, uma vez que suas necessidades, em termos de ótimos ecológicos, muitas vezes são opostas (CRUZ, 2005).

Contudo, de acordo com Das Gupta (2008), o objetivo em implementar vazões ecológicas não é retornar os rios ou outros sistemas de água ao seu estado natural, mas sim tentar estabelecer vazões ecológicas que atendam as necessidades dos ecossistemas aquáticos ao mesmo tempo que atendem as necessidades sociais e econômicas relacionadas ao uso das águas.

Diante de tudo o que foi exposto, recomenda-se a adoção do método IHA para verificar, principalmente, o comportamento dos cinco componentes de vazão considerados ecologicamente relevantes (vazões baixas, vazões extremamente baixas, pulsos de vazão alta, pequenas inundações e inundações de grande porte) os quais, segundo Sarmiento (2007), devem ser mantidos para que se possa garantir a integridade ecológica do rio. E, também, juntamente com o método IHA, aplicar, de acordo com as especificidades de cada local e com os recursos financeiros disponíveis, outro método que não considere somente vazões mínimas a serem mantidas, mas sim uma série de valores de vazões que contemplem as variações intra e interanuais características dos regimes hidrológicos de cada local.

Porém, considerando-se a impossibilidade da aplicação de métodos que contemplem vazões ecológicas variáveis ou hidrogramas ecológicos, recomenda-se, entre os métodos utilizados no presente estudo, a adoção da vazão Q_{90} como vazão ecológica para os pontos estudados por ser menos restritiva que os demais métodos e, por isso, ser capaz de contemplar uma gama maior de fatores ecológicos que manterão, na medida do possível, a integridade dos ecossistemas aquáticos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os ecossistemas aquáticos são um dos mais importantes ecossistemas naturais e tem uma relação bastante íntima com os seres humanos. Estes ecossistemas fornecem uma grande variedade de benefícios para as pessoas. Porém, intervenções humanas como a construção de barragens para geração de energia elétrica e para o abastecimento humano, construção de estruturas para o controle de enchentes e grandes retiradas de água para agricultura têm provocado alterações significativas no regime de vazões dos rios.

O presente trabalho teve como objetivo determinar as vazões ecológicas para 06 pontos da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte utilizando os métodos hidrológicos $Q_{7,10}$, Curva de Permanência de Vazões, Tennant e o método hidráulico do Perímetro Molhado e, também, caracterizar as condições dos regimes de vazões nos pontos de estudo pelo método dos Indicadores de Alteração Hidrológica.

Os resultados denotam que embora o estabelecimento de vazões ecológicas tendo como base métodos que forneçam vazões mínimas a serem mantidas no rio não sejam suficientes para atender a todas as necessidades dos ecossistemas aquáticos, estes métodos são, ainda, os mais utilizados pelos Estados brasileiros, principalmente o método $Q_{7,10}$ e o método da curva de permanência de vazões. O método de Tennant apresentou valores mais consistentes, porém há a necessidade de mais estudos para adequá-lo às realidades brasileiras. Já o método do perímetro molhado foi o mais restritivo, apresentando os menores valores de vazão, exceto para o Ponto de Professor Jamil.

O estudo demonstrou ser o método Q_{90} o mais apropriado para definir os valores de vazão ecológica para os pontos estudados. Porém, mais estudos levando em consideração fatores como as especificidades locais e, principalmente, os objetivos da gestão da água nesses locais devem ser realizados.

Conforme visto no decorrer deste trabalho, a determinação de vazões ecológicas é inerentemente a um processo interdisciplinar e integra informações sobre a hidrologia, morfologia, biologia e outros aspectos de um corpo d'água. Ecologistas, gestores de recursos hídricos e outras partes interessadas podem usar as informações apresentadas neste trabalho, para decidir sobre uma quantidade aceitável de alteração de fluxo para diferentes épocas do ano e para diferentes anos. E, assim, substituir as vazões ecológicas tidas como constantes por vazões ecológicas variáveis ou hidrogramas ecológicos, os quais estabelecem valores de vazões que levam em consideração características intra e interanuais do regime hidrológico.

Neste sentido, o método IHA pode funcionar como uma importante ferramenta para retratar o comportamento do regime hidrológico e, com isso, subsidiar a determinação de valores de vazão

ecológica para que se possa explorar e utilizar os recursos hídricos de maneiras eficiente e sustentável e manter os ecossistemas aquáticos conservados.

Há necessidade de pesquisas integradas envolvendo conhecimentos ecológicos, hidrológicos e socioeconômicos como subsídios para a tomada de decisão nos processos de gestão dos recursos hídricos, em bacias hidrográficas específicas.

Por apresentar uma grande importância para o Estado de Goiás, recomenda-se que mais estudos sejam realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte levando-se em consideração as especificidades de cada ponto de estudo. Estudos esses que devem visar tanto as demandas humanas quanto as demandas ecológicas. Além disso, estudos envolvendo espécies da fauna e flora dessa Bacia Hidrográfica devem ser realizados para que se possa calcular valores de vazão ecológica por meio da utilização de métodos de classificação de hábitat e de métodos holísticos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACREMAN, M.C.; DUNBAR, M.J. Defining environmental river flow requirements – a review. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 8, n° 1, p. 861-876, 2004.

ACREMAN, M.C.; FERGUSON, J.D. Environmental flows and the European Water Framework Directive. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 32-48, 2010.

ANNEAR, T.C.; CONDER, A.L. Relative bias of several fisheries instream flow methods. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 4, p. 531-539, 1984.

AGRA, S.G.; SOUZA, C.F.; SILVA, L.M.C.; CARVALHO, G.S.; COLLISCHONN, W. Inserindo o hidrograma ecológico no SINGREH. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2007.

ALVES, M.H.; HENRIQUES, A.G. O caudal ecológico como medida de minimização dos impactes nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. Actas do 6º SILUSB/1º SILUSBA, **Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**. APRH/ABRH, pp. 177-190. Lisboa – Portugal, 1994.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>, 2012.

ARAÚJO, A.P.; ROCHA, P.C. Regime de fluxos e alterações hidrológicas no Rio Tibagi – Bacia do Rio Paranapanema / Alto Paraná. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. 2010.

ARTHINGTON, A.H.; ZALUCKI, J.M. Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: **review of methods**. Land and Water Resources Research and Development, Canberra, Australia. 141 pp. 1998.

ARTHINGTON, A.H.; BUNN, S.E.; POFF, N.L.; NAIMAN, R.J. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. **Ecological Applications**, v. 16, n° 4, p. 1311-1318, 2006.

BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.L.; COBALCHINI, M.S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n° 2, p.149-160, 2003.

BENETTI, A.D.; LANNA, A.E.L.; COBALCHINI, M.S. Current practices for establishing environmental flow in Brazil. **River Research and Application**, v. 20, p. 427-444, 2004.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRITTO, K.F.L. **Estudo da aplicação do método de estabelecimento de vazões ecológicas Building Blocks Methodology – BBM – para o caso da PCH Estação Indaial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Regional de Blumenau, 2005.

BOVEE, K.K.; LAMB, B.L.; BARTHOLOW, J.M.; STALNAKER, C.B.; TAYLOR, J.; HENRIKEN, J. **Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology**. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD, Colorado, p. 139, 1998.

BUNN, S.E.; ARTHINGTON, A.H. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. **Environmental Management**, v. 30, n° 4, p. 492-507, 2002.

CARVALHO, G.L.; SIQUEIRA, E.Q. Qualidade da água do rio Meia Ponte no perímetro urbano do município de Goiânia – Goiás. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 1, n° 2, p. 19-33, 2011.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill. 572p. 1988.

COLLISCHONN, W.; ANGRA, S.G.; FREITAS, G.K.; PRIANTE, G.R.; TASSI, R.; SOUZA, C.C. Em busca do hidrograma ecológico. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005.

COLLISCHONN, W. ; AGRA, S. G. ; SOUZA, C. F. ; TASSI, R. ; FREITAS, G. K. ; PRIANTE, G. R. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. In: VIII Congresso da Água da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2006, Lisboa – Portugal. **Anais...**Lisboa, 2006.

CRUZ, R.C. **Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados**. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2005.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa de disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n° 1, p. 111-124, 2008.

DAS GUPTA, A. Implication of environmental flows in river basin management. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 33, p. 298-303, 2008.

FARIAS JÚNIOR, J.E.F. **Análise das metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: Rio Coruripe/AL e Rio Solimões/AM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

GOIÁS (Estado). Resolução n° 09 de 04 de maio de 2005 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências.

GOIÁS (Estado). Resolução n° 11 de 20 de março de 2007 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Estabelece alterações na vazão alocável para outorga em cursos d'água sob domínio do Estado de Goiás.

GIPPEL, C.J.; STEWARDSON, M.J. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. **Regulated Rivers: Research & Management**, v. 14, p. 53-67, 1998.

HARISH KUMARA, B.K.; SRIKANTASWAMY, S. Environmental flow requirements in Tungabhadra river, Karnataka, India. **Natural Resources Research**, v.20, n°. 3, p.193-205, 2011.

IUCN Vietnam. **Environmental Flows: Rapid Environmental Flow Assessment for the Huong River Basin, Central Vietnam**. IUCN Vietnam, Hanoi, Vietnam, 82 pp, 2005.

LANNA, A. E.; BENETTI, A.D. Estabelecimentos de Critérios para a Determinação da Vazão Ecológica no Rio Grande do Sul, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2000.

MANN, J.L. Instream flow methodologies: **an evaluation of the Tennant Method for higher gradient stream in the National Forest System Lands in the western U.S.** Thesis (Master of Science) – Colorado State University, Colorado, U.S., 2006.

MATHEWS, R.; RICHTER, B.D. Application of the Indicators of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting. **Journal of the American Water Resources Association**, v.43, n°.6, p. 1400-1413, 2007.

MENDES, L.A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e vazões de permanência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), 187p. 2007.

NAIMAN, R.J.; BUNN, S.E.; NILSSOM, C.; PETTS, G.E.; PINAY, G.; THOMPSON, L.C. Legitimizing fluvial ecosystems as users of water: an overview. **Environmental Management**, v. 30, p. 455-467, 2002.

NIWA. WAIORA User Guide Version 2.0. National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd, Hamilton, New Zealand, p. 1-91, 2004.

OKAWA, C.M.P. **Em busca do hidrograma ecológico para a planície de inundação do alto rio Paraná: considerações iniciais**. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, São Paulo, 2009.

PAULO, R.G.F. **Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida**: destaque para a aplicação do método do perímetro molhado no caso de Capim Branco I. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais), 114p. 2007.

POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. **Bioscience**, v. 47, n°.11, p. 769 – 784, 1997.

POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; PALMER, M.A.; HART, D.D.; RICHTER, B.D.; ARTHINGTON, A.N.; ROGERS, K.H.; MEYER, J.L.; STANFORD, J.A. River flows and water wars: emerging science for environmental decision making. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, p. 298 – 306, 2003.

POSTEL, S.; RICHTER, B.D. **Rivers for life: managing water for people and nature**. Island Press ed.. Washington, D.C., Estados Unidos, 253p., 2003.

REIS, A.A. **Estudo Comparativo, aplicação e definição de metodologias apropriadas para a determinação da vazão ecológica na bacia do rio Pará, em Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007.

RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; POWELL, J.; BRAUN, D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology**, v. 10, n° 4, p. 1163-1174, 1996.

RICHTER, B.D.; BAUMGARTNER, J.V.; WIGINGTON, R.; BRAUN, D.P. How much water does a river need? **Freshwater Biology**, v. 37, p. 231-249, 1997.

RICHTER, B.D.; MATHEWS, R.; HARRISON, D.L.; WIGINGTON, R. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. **Ecological Applications**, v. 13, n° 1, p. 206-224, 2003.

RICHTER, B.D.; WARNER, A.T.; MEYER, J.L.; LUTZ, K. A collaborative and adaptive process for developing environmental flow recommendations. **River Research and Applications**, v. 22, p. 297-318, 2006.

ROCHA, P.C. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio Paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n° 1, p. 191-211, 2010.

SARMENTO, R.; PELISSARI, V.B. Determinação da vazão residual dos rios: estado da arte. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH, 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1999.

SARMENTO, R. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo**. Relatório. Coordenação: R. Sarmento. 2007.

SIQUEIRA, E.Q. **Aplicação do modelo (QUAL2E) na modelação de oxigênio dissolvido no rio Meia Ponte (GO)**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SOUZA, C.F.; FRAGOSO JÚNIOR, C.R.; GIACOMINI, M.H. Vazão ecológica constante vs. Vazão Ecológica Variável. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luis. **Anais...**São Luis, 2004.

SOUZA, C.F.; AGRA, S.G.; TASSI, R.; COLLISCHONN, W. Desafios e oportunidades para a implementação do hidrograma ecológico. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 5, p. 25-38, 2008.

SOUZA, C.F. **Vazões ambientais em hidrelétricas: Belo Monte e Manso**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

STALNAKER, C.; LAMB, B.L.; HENRUKSEN, J.; BOVEE, K.; BARTHOLOW, J. **The instream flow incremental methodology. A primer for IFIM**. U.S. Department of Interior. National Biological Service, Washington, D.C, 1995.

TENNANT, D.L. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. **Fisheries**, v. 1, n° 4, p. 6-10, 1976.

TNC (The Nature Conservancy). User's Manual for the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA version 7.1) Software. The Nature Conservancy, Charlottesville, Virginia, 2009.

THARME, R.E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. **River Research and Applications**, v. 19, p. 397-442, 2003.

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: LTC 696p. 2008.

VEIGA, A.M.; CARDOSO, M.R.D.; LINO, N. Caracterização Hidromorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. **Anais...** Maceió, 2011.

von SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 588p. Princípios do tratamento de água residuárias, v. 7, 2007.

ANEXO A



Figura 12: Inhumas – Rio Meia Ponte em período de seca em setembro 2012.



Figura 13: Inhumas – Rio Meia Ponte em período de cheia em fevereiro 2013.



Figura 14: Montante de Goiânia – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.



Figura 15: Montante de Goiânia – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.



Figura 16: Fazenda Bonita de Baixo – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.



Figura 17: Fazenda Bonita de Baixo – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.



Figura 18: Aloândia – Rio Meia Ponte período de seca em setembro 2012.



Figura 19: Aloândia – Rio Meia Ponte período de cheia em fevereiro 2013.



Figura 20: Captação João Leite – Ribeirão João Leite período de seca em setembro 2012.



Figura 21: Captação João Leite – Ribeirão João Leite período de cheia em fevereiro 2013.



Figura 22: Professor Jamil – Rio Dourado período de seca em setembro 2012.



Figura 23: Professor Jamil – Rio Dourado período de cheia em fevereiro 2013.

ANEXO B

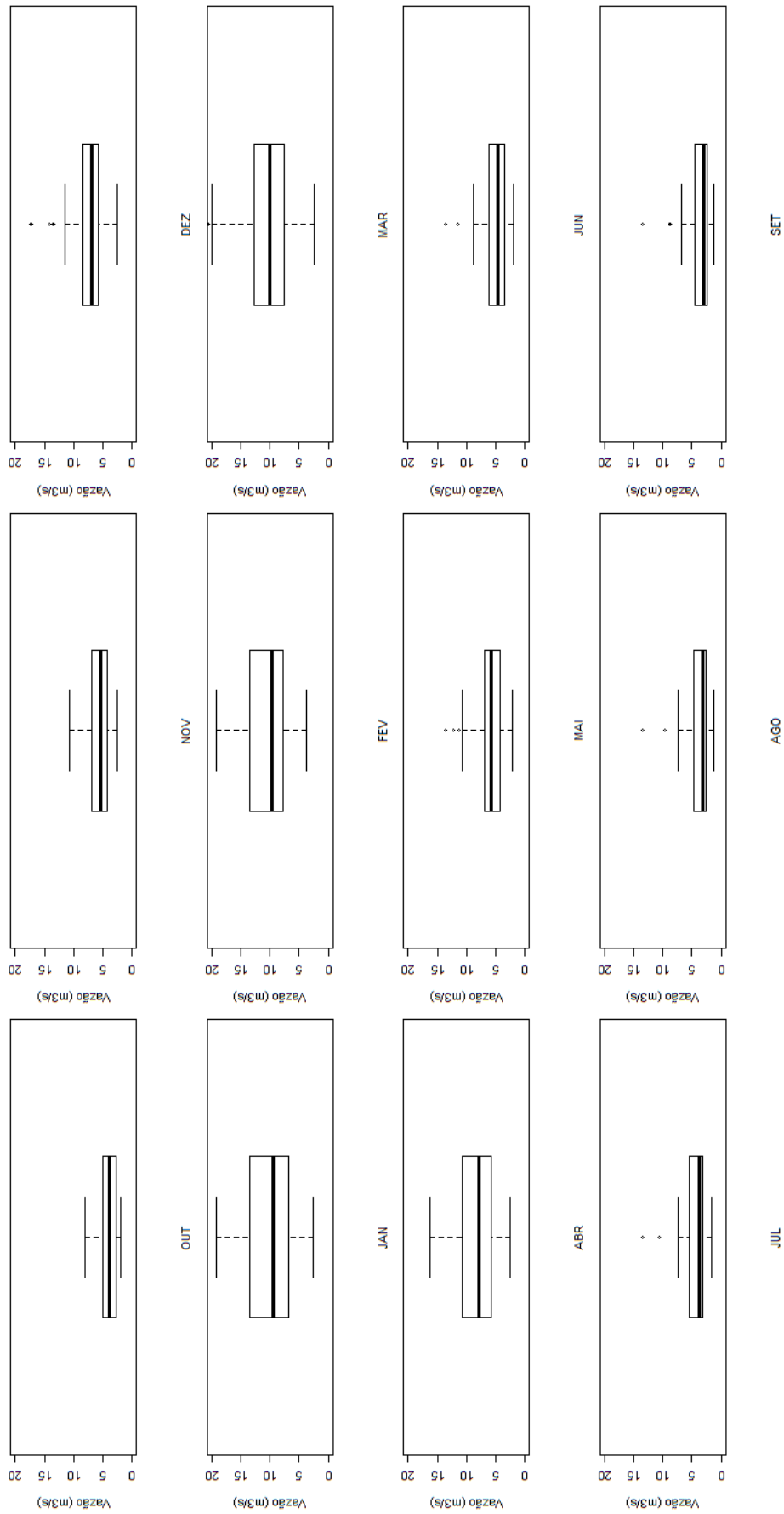


Figura 24: Magnitude das vazões mensais de Inhumas (Grupo 1).

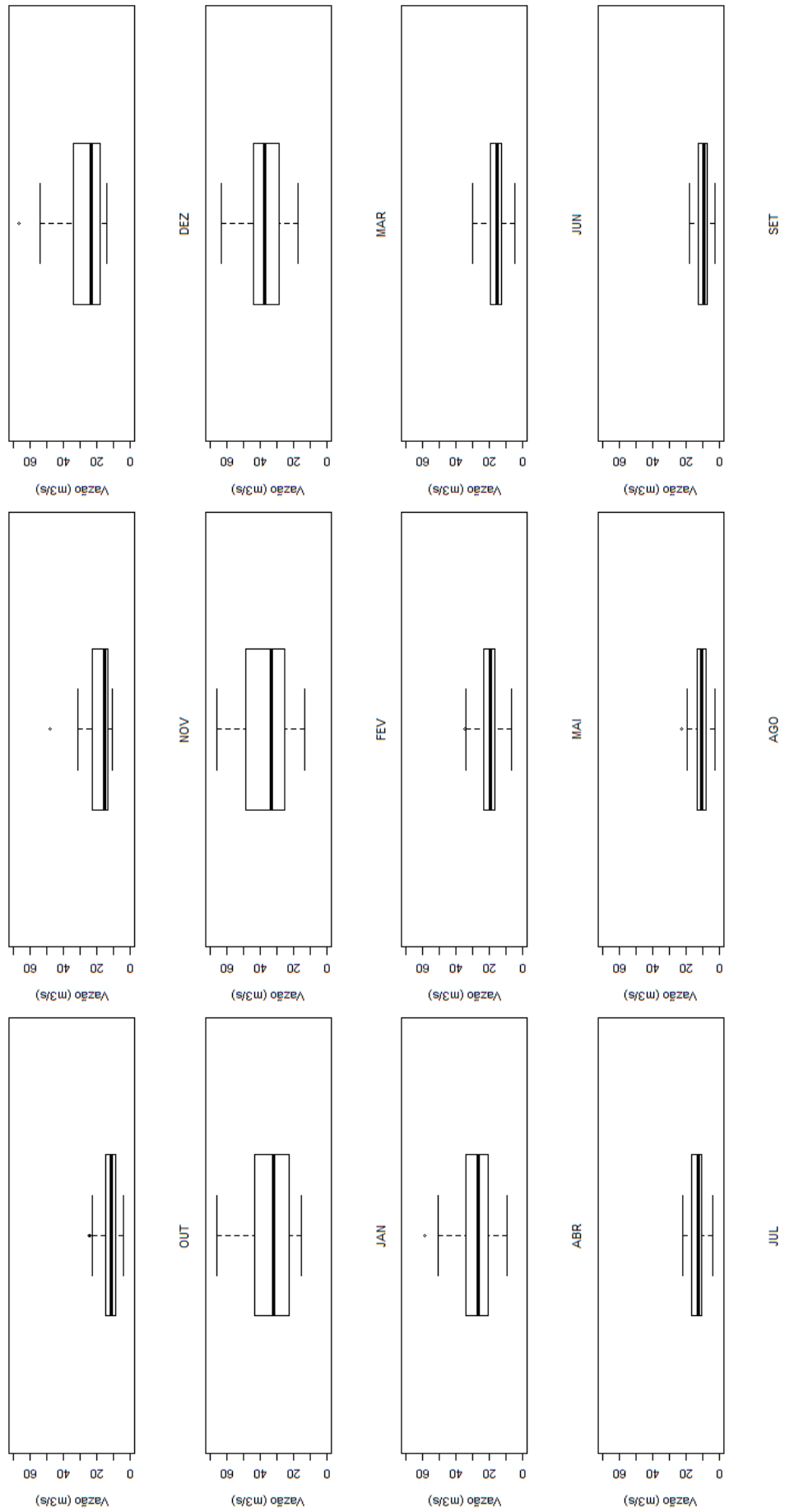


Figura 25: Magnitude das vazões mensais de Montante de Goiânia (Grupo 1).

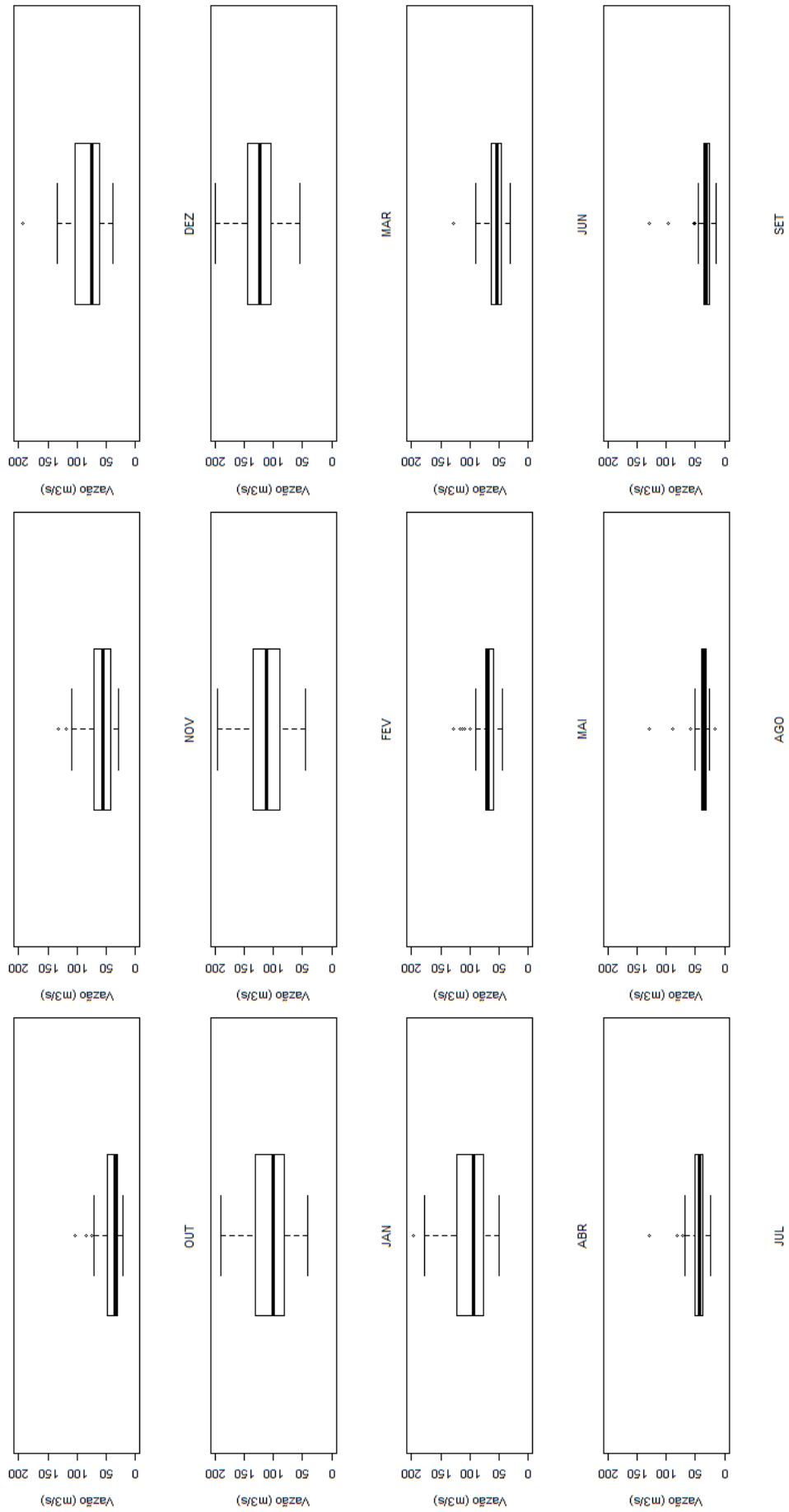


Figura 26: Magnitude das vazões mensais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 1).

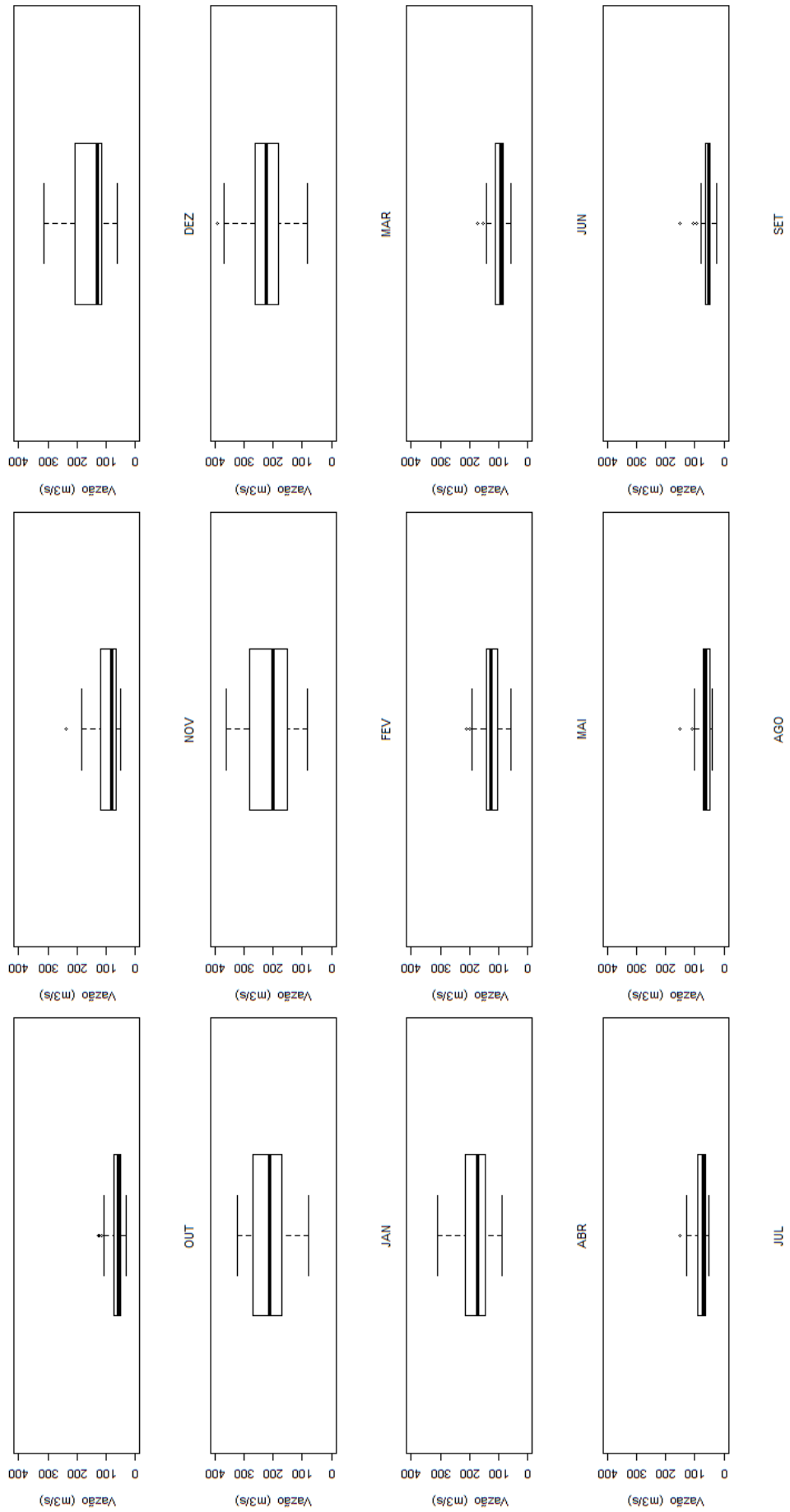


Figura 27: Magnitude das vazões mensais de Aloândia (Grupo 1).

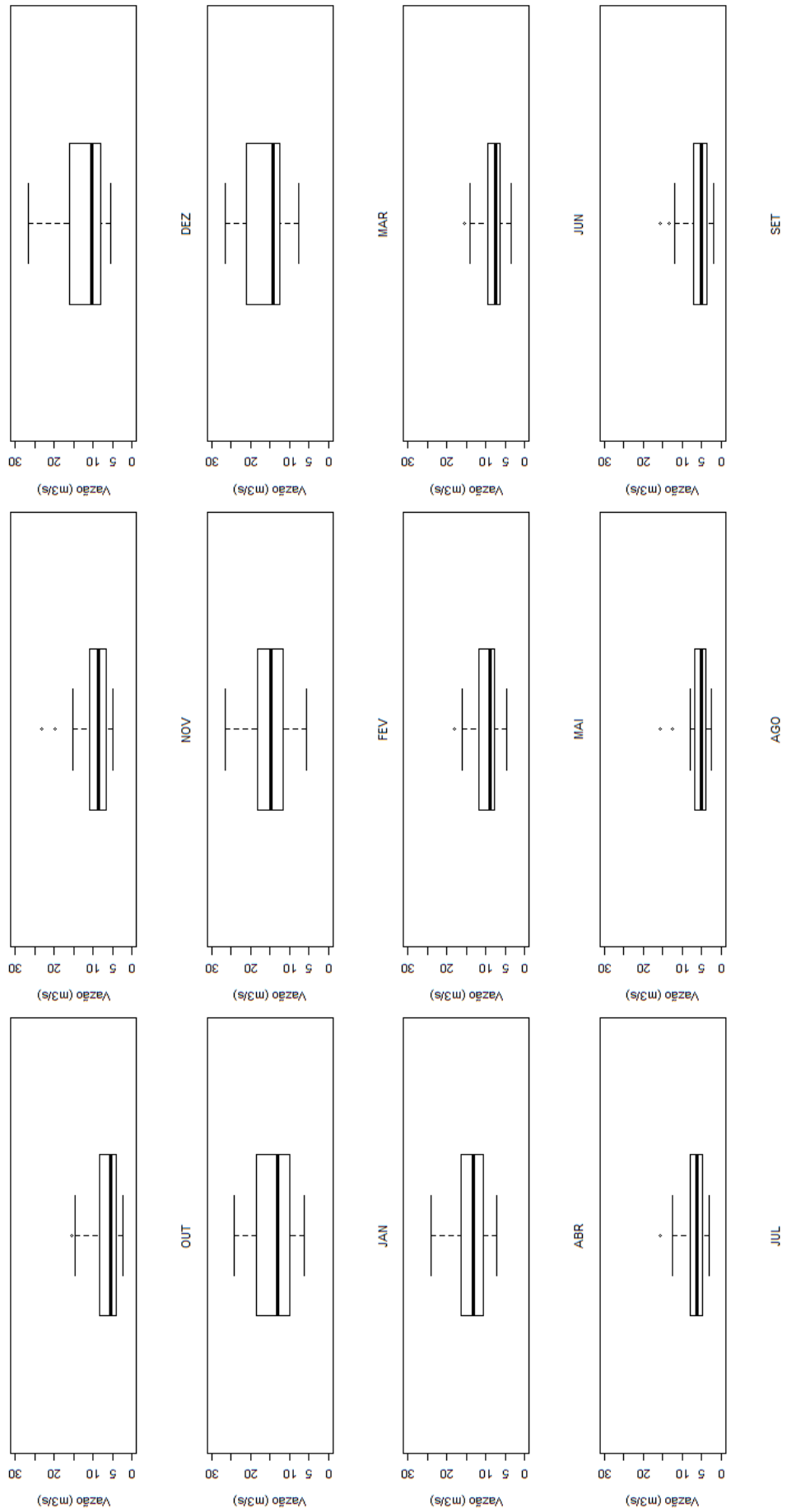


Figura 28: Magnitude das vazões mensais de Captação João Leite (Grupo 1).

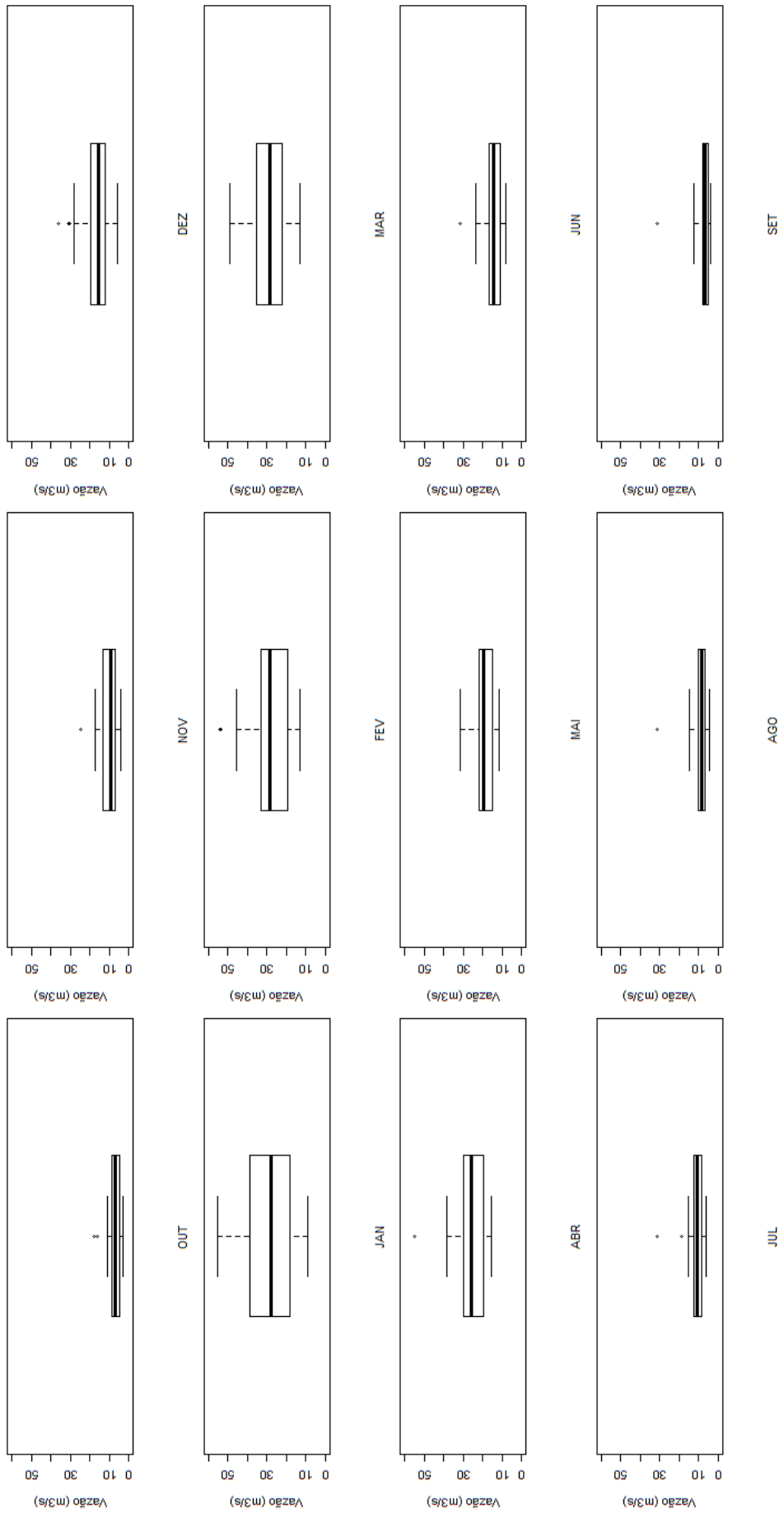


Figura 29: Magnitude das vazões mensais de Professor Jamil (Grupo 1).

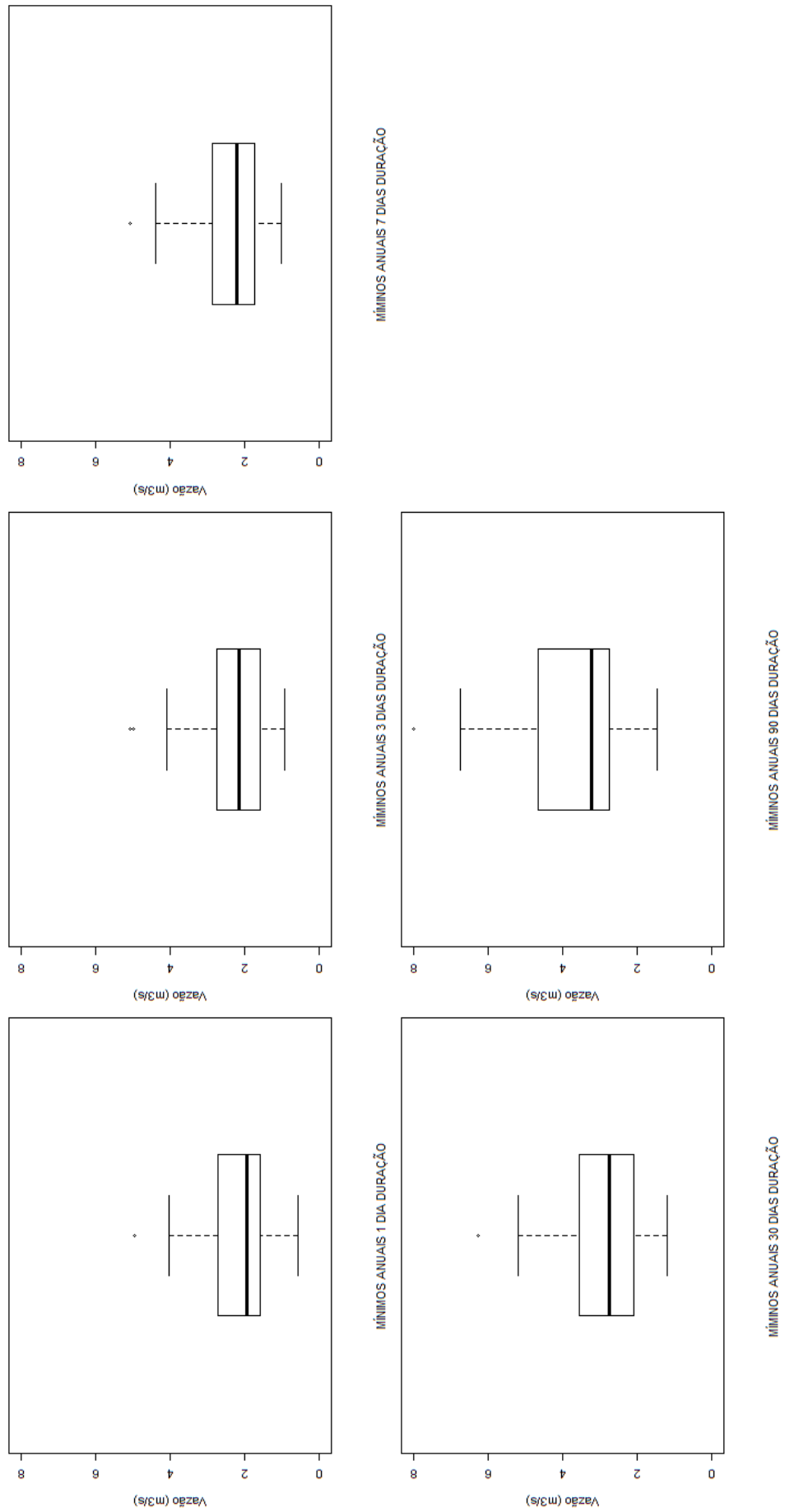


Figura 30: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Inhumas (Grupo 2).

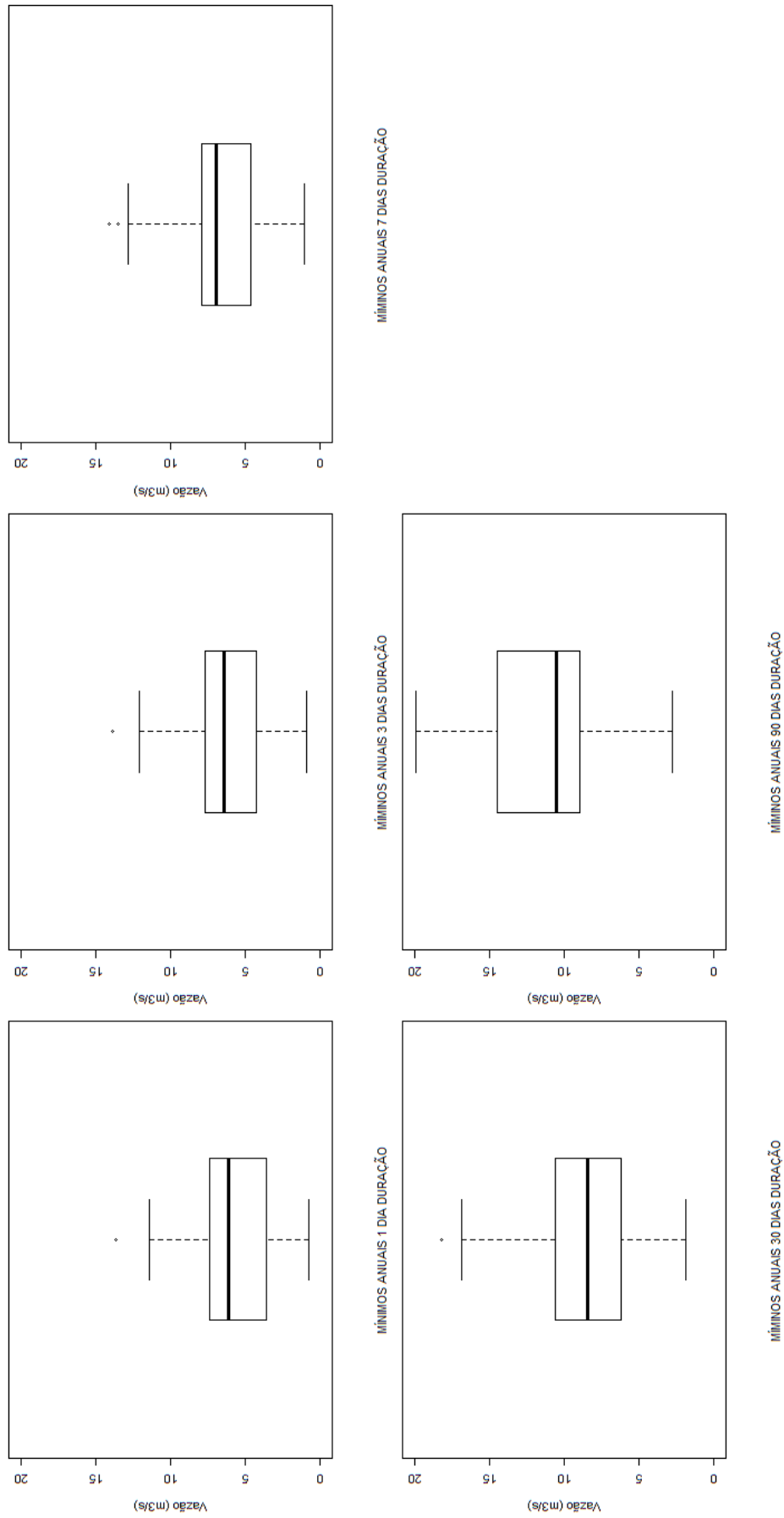


Figura 31: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Montante de Goiânia (Grupo 2).

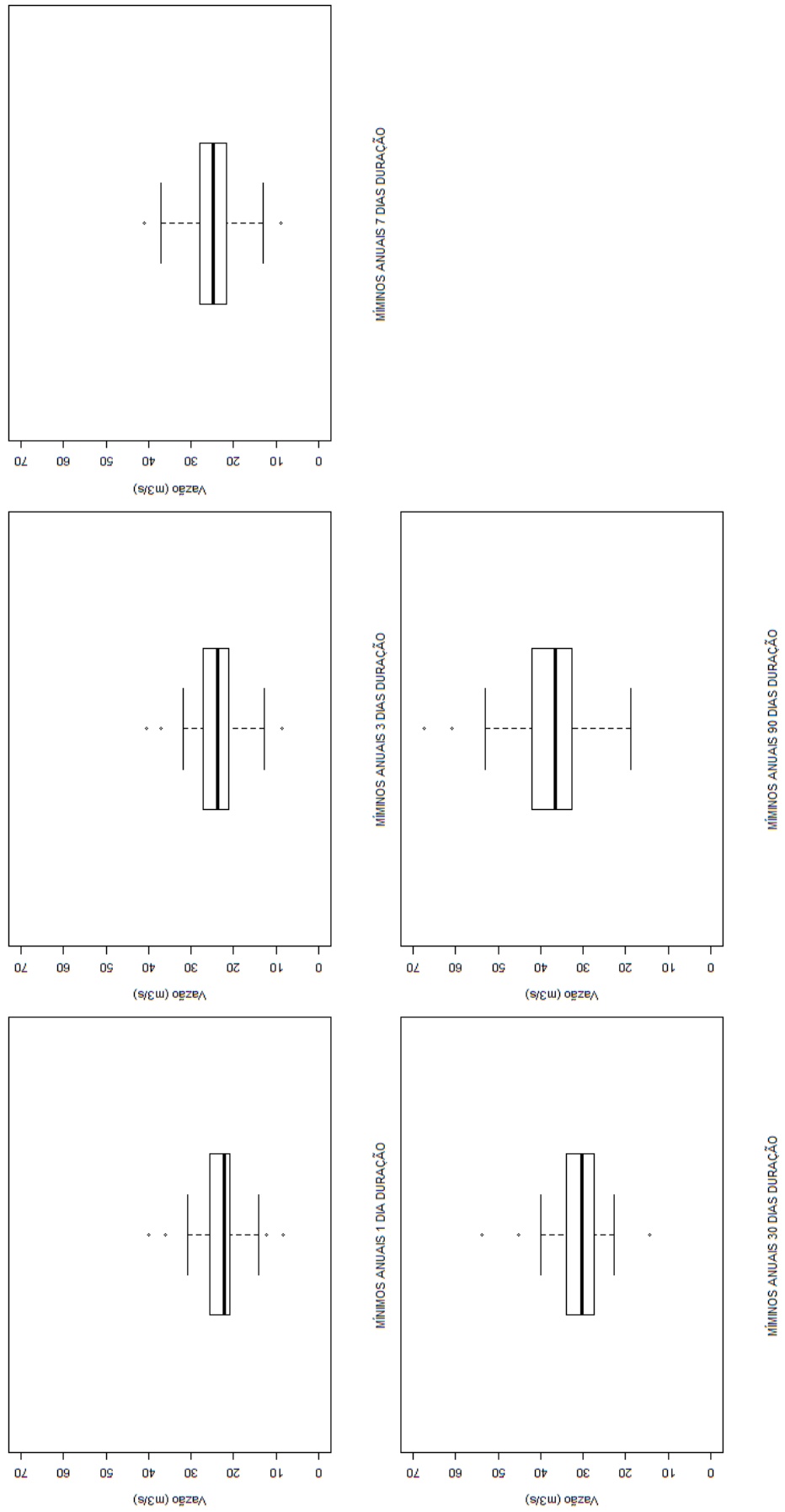


Figura 32: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).

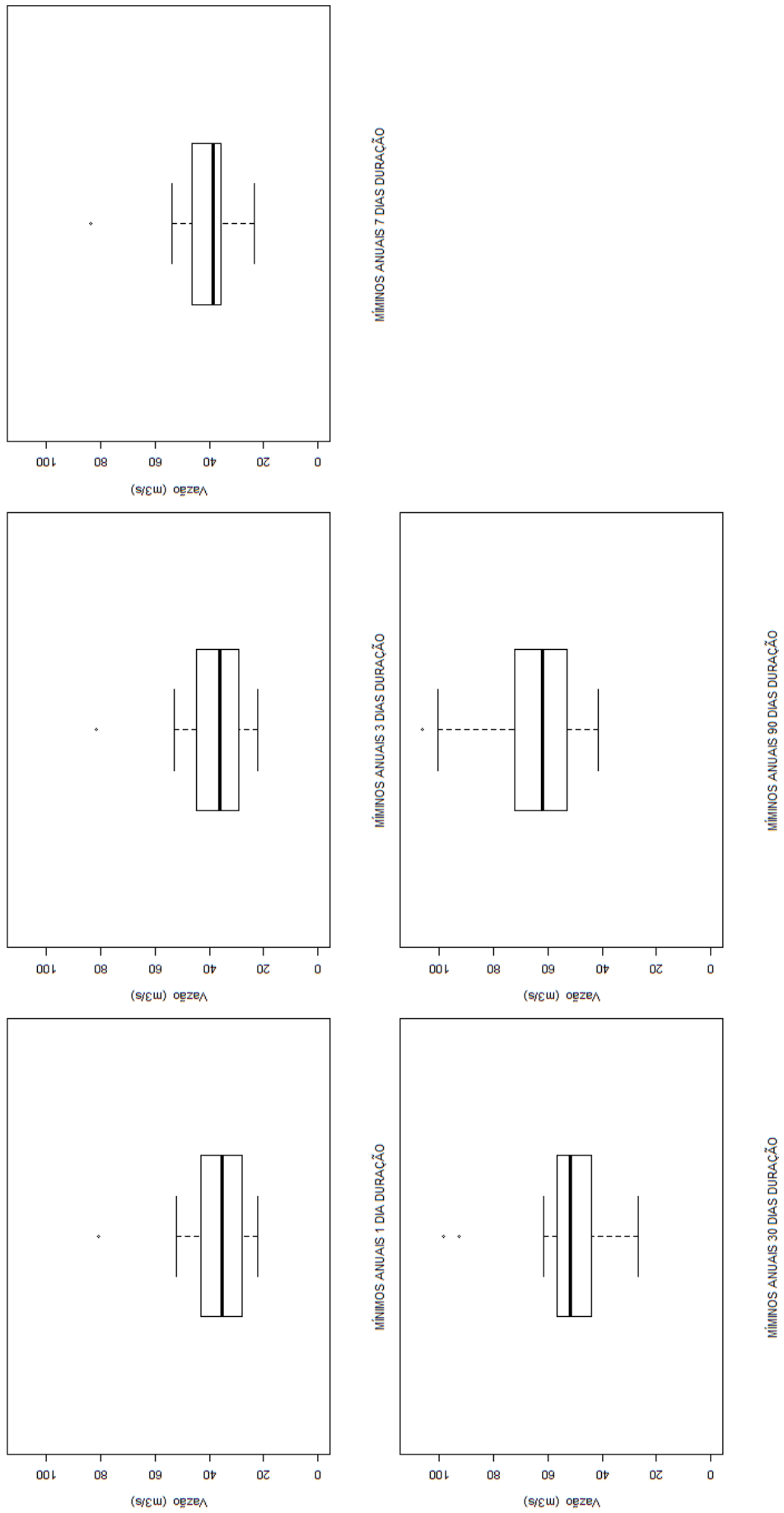


Figura 33: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Aloândia (Grupo 2).

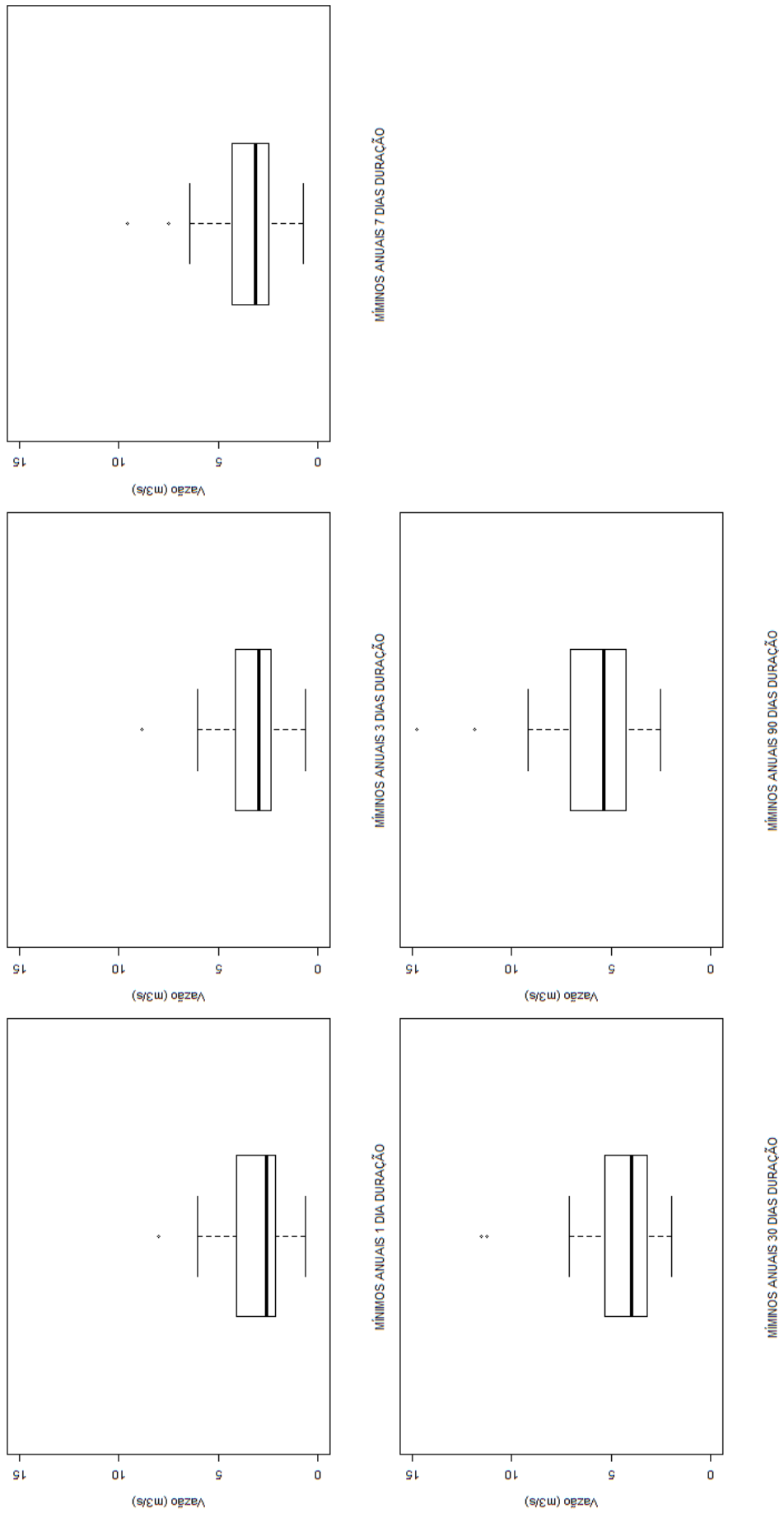


Figura 34: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais Captação João Leite (Grupo 2).

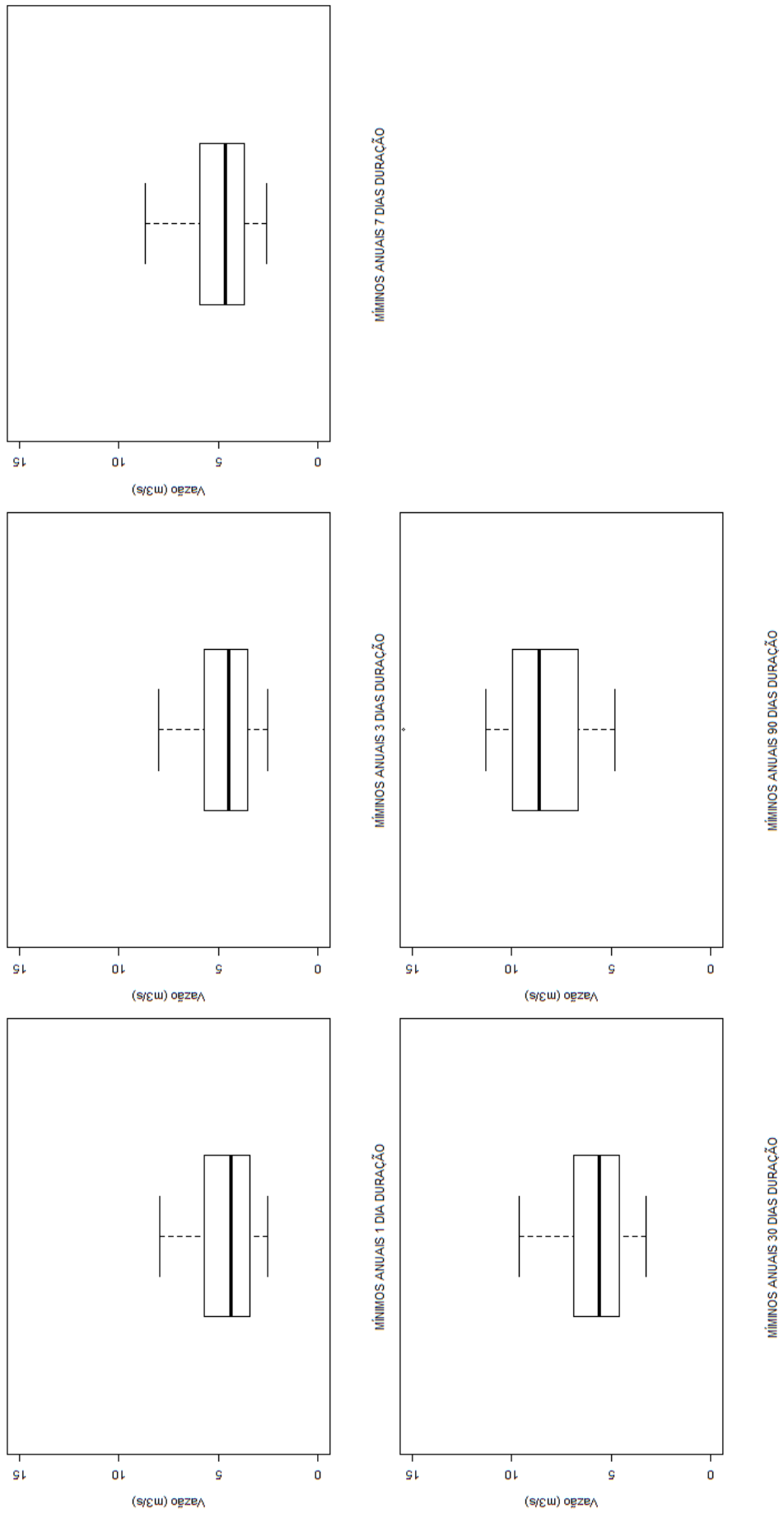


Figura 35: Magnitude e duração das vazões extremas mínimas anuais de Professor Jamil (Grupo 2).

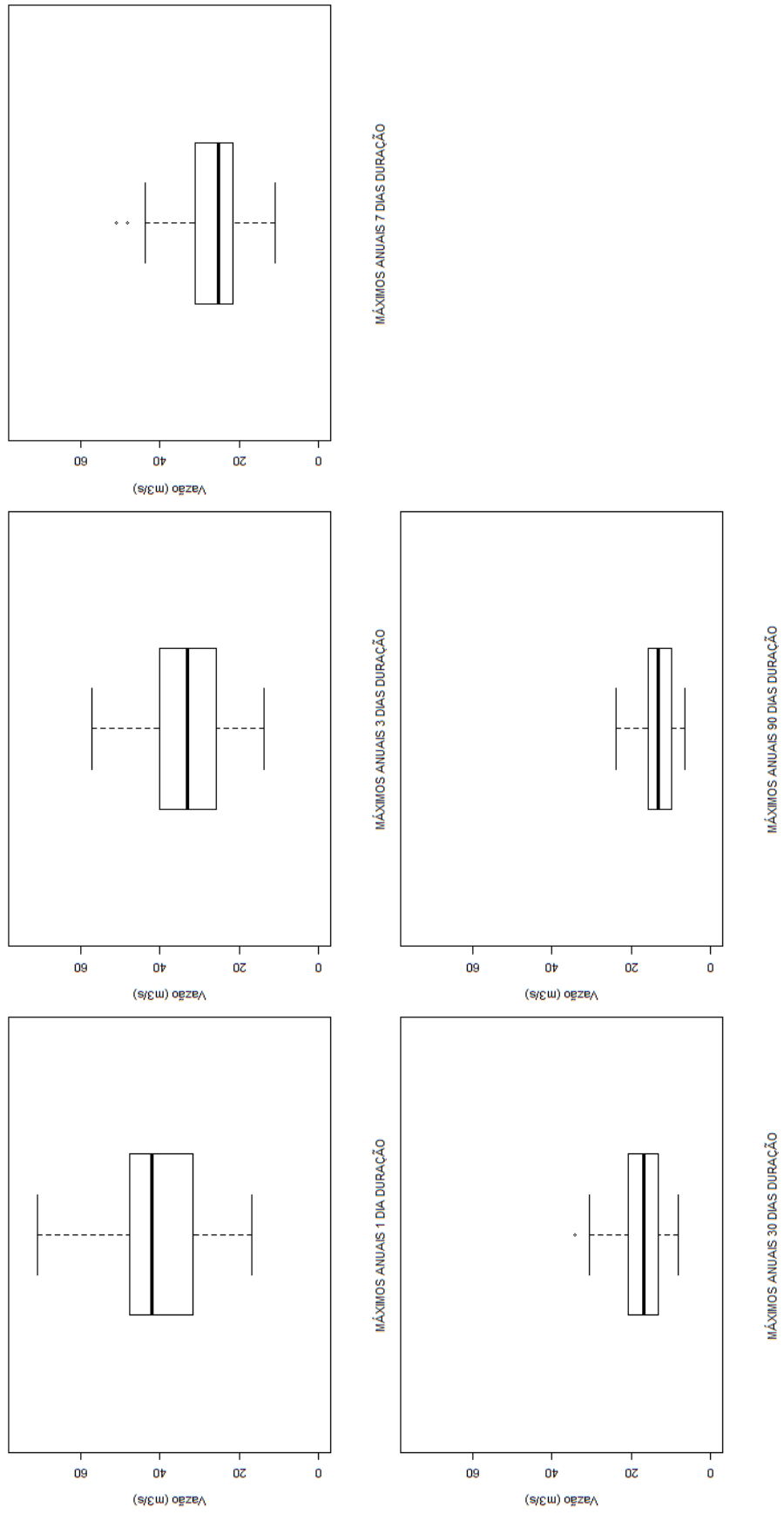


Figura 36: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Inhumas (Grupo 2).

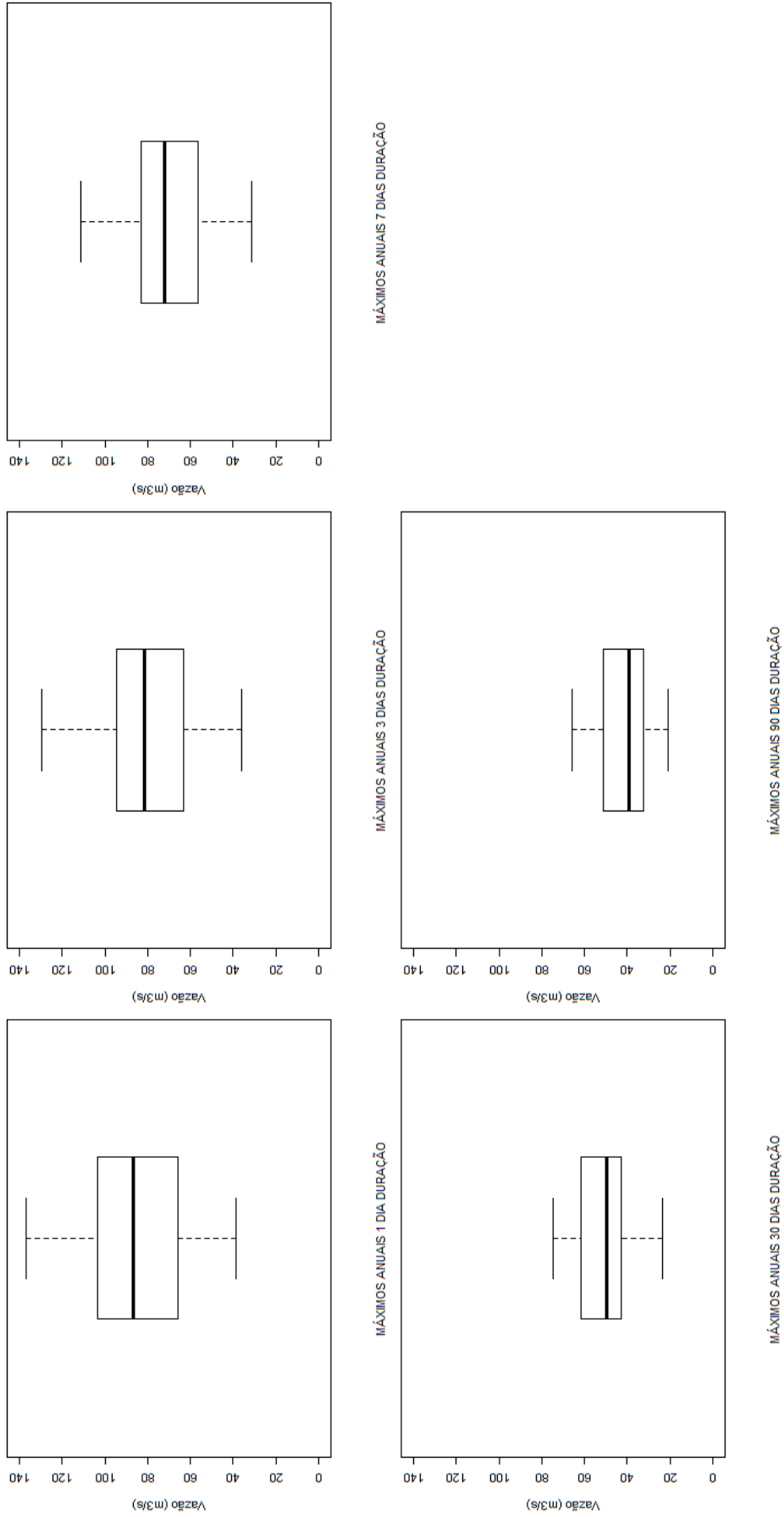


Figura 37: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Montante de Goiânia (Grupo 2).

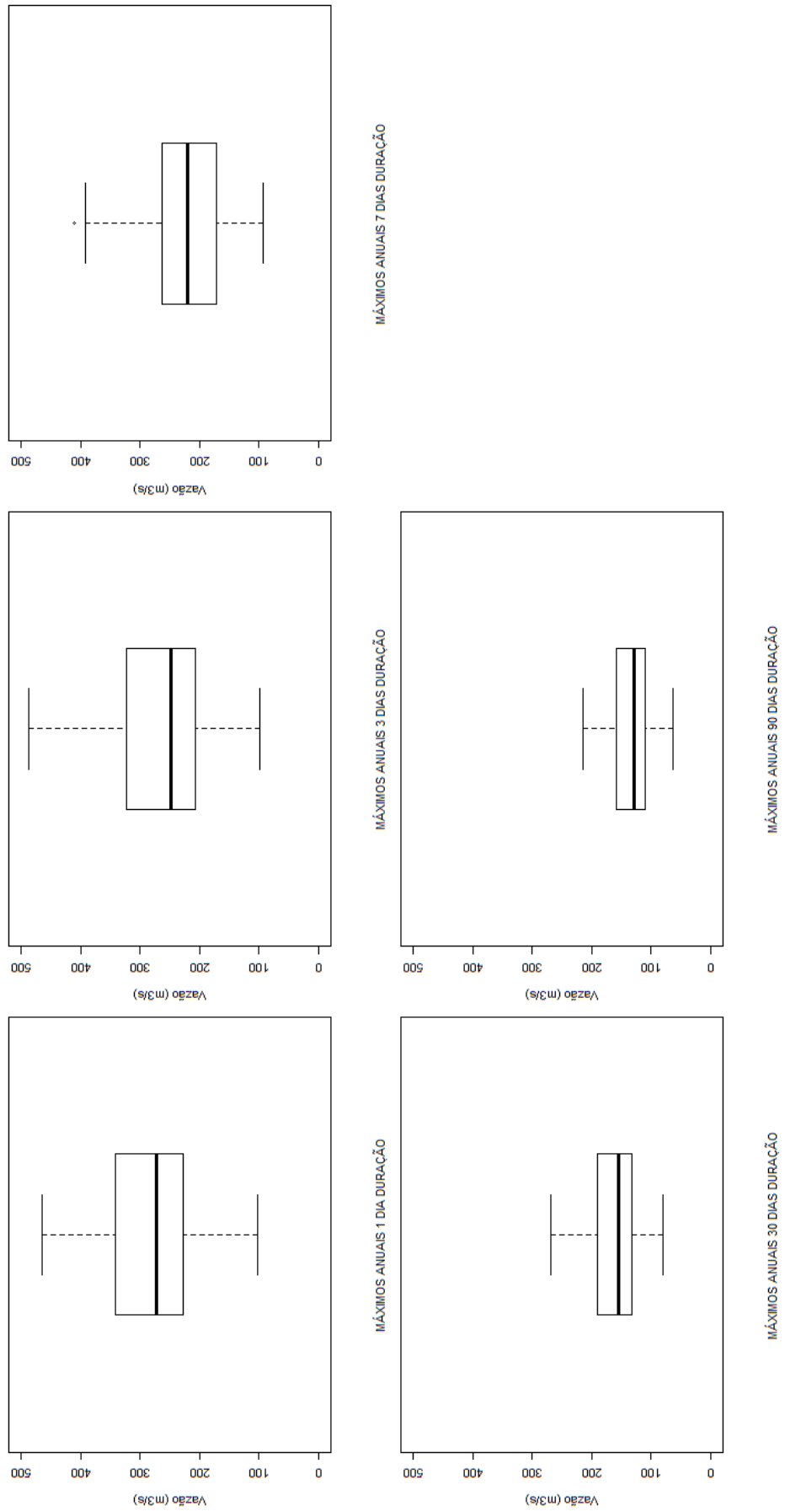


Figura 38: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).

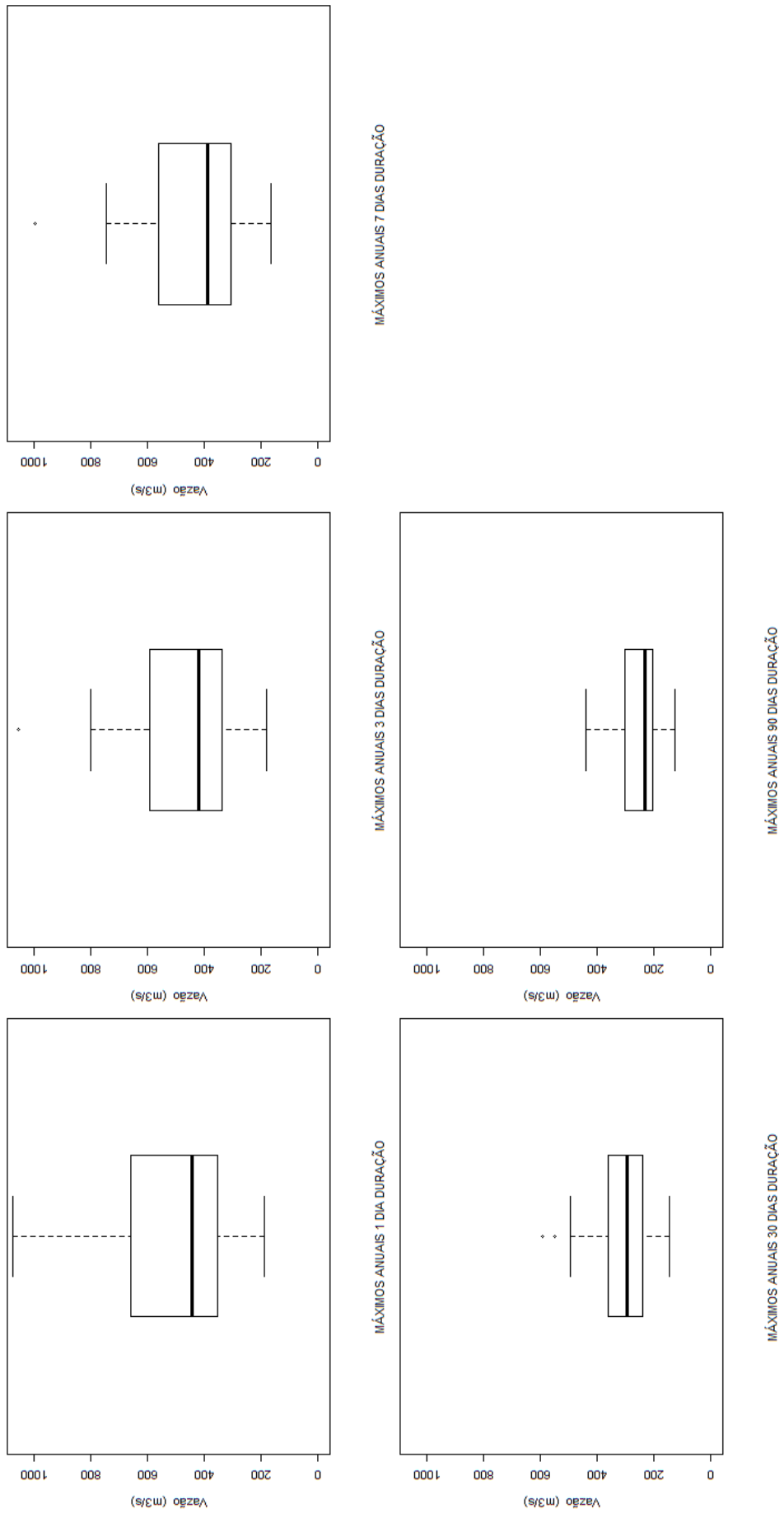


Figura 39: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Aloândia (Grupo 2).

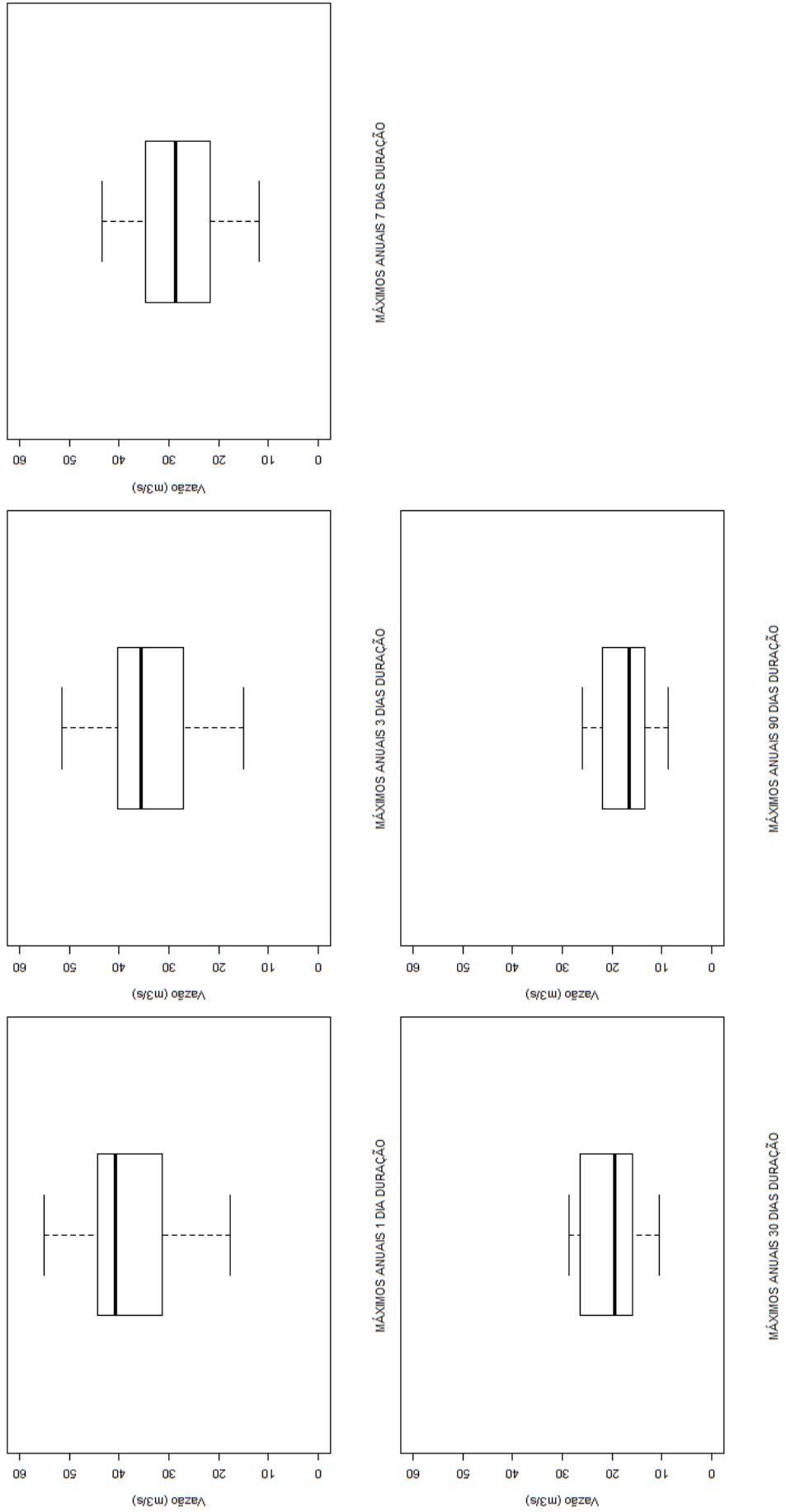


Figura 40: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais Captação João Leite (Grupo 2).

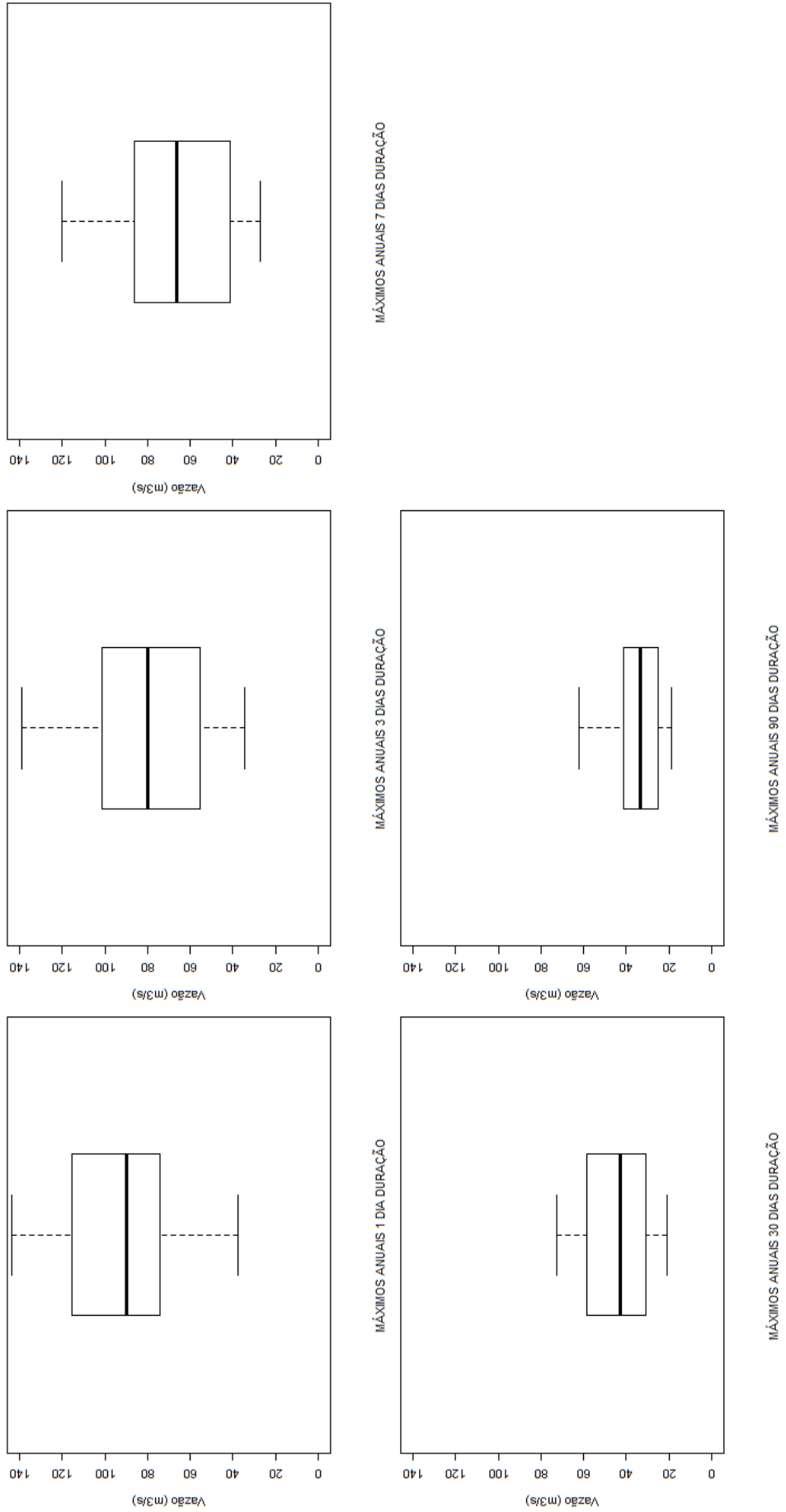


Figura 41: Magnitude e duração das vazões extremas máximas anuais de Professor Jamil (Grupo 2).

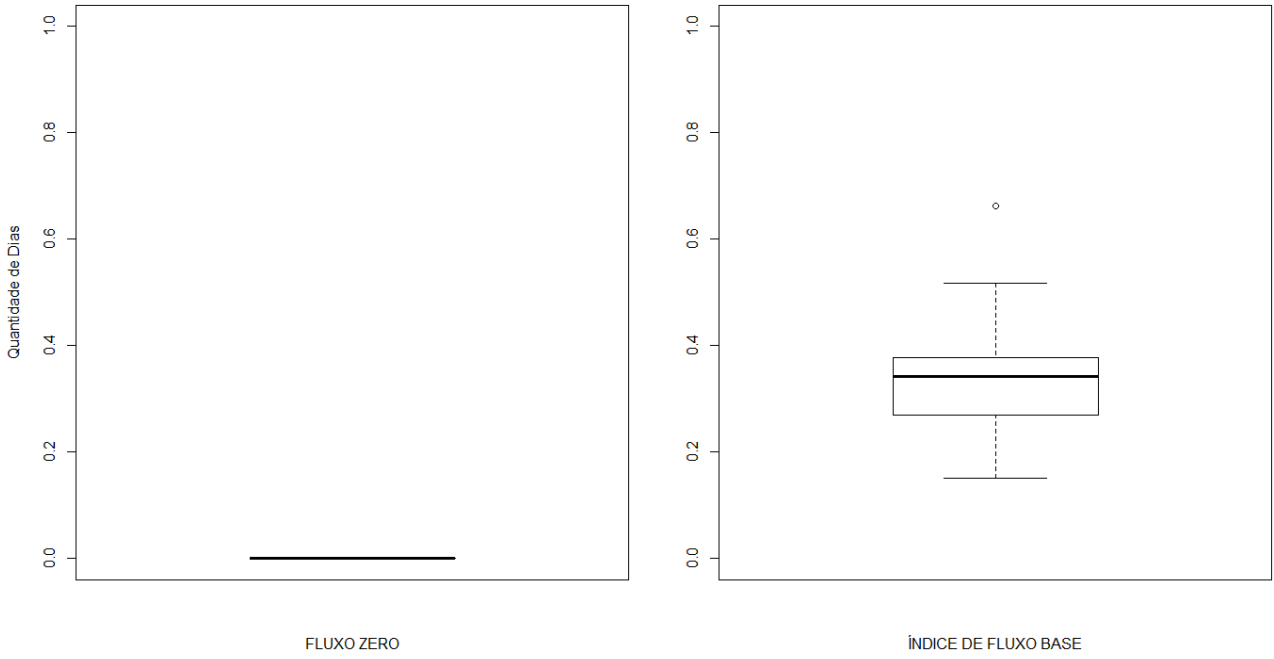


Figura 42: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Inhumas (Grupo 2).

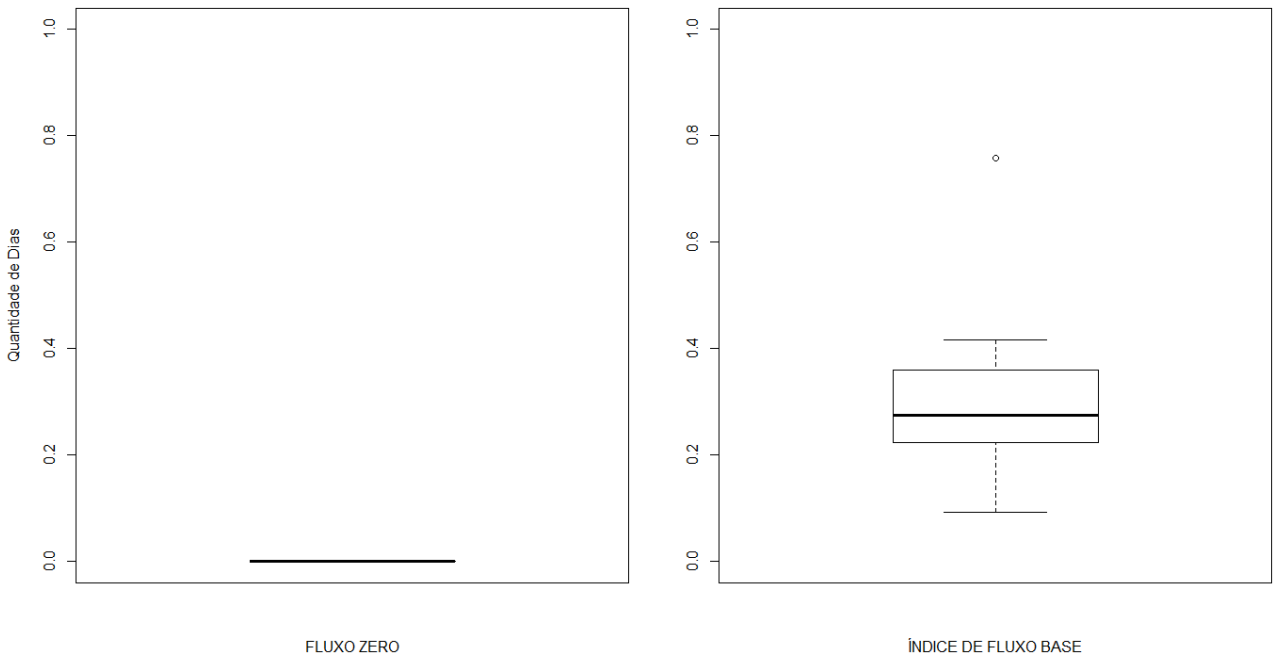


Figura 43: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Montante de Goiânia (Grupo 2).

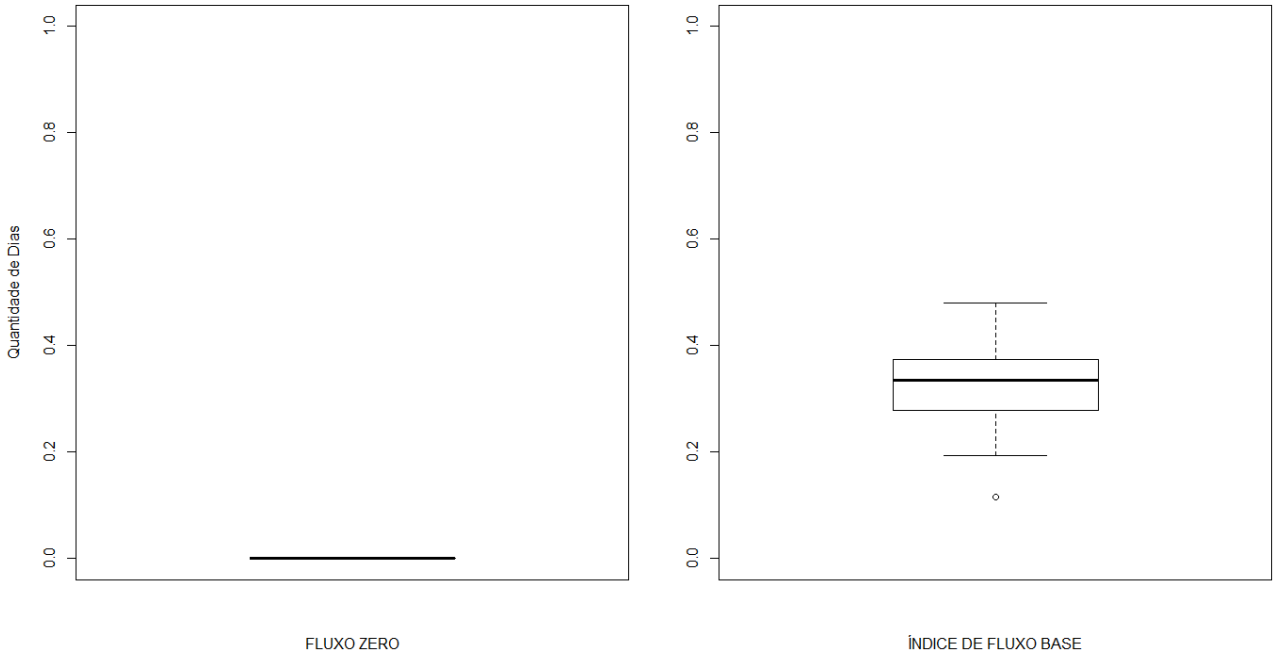


Figura 44: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Fazenda Bonita de Baixo (Grupo 2).

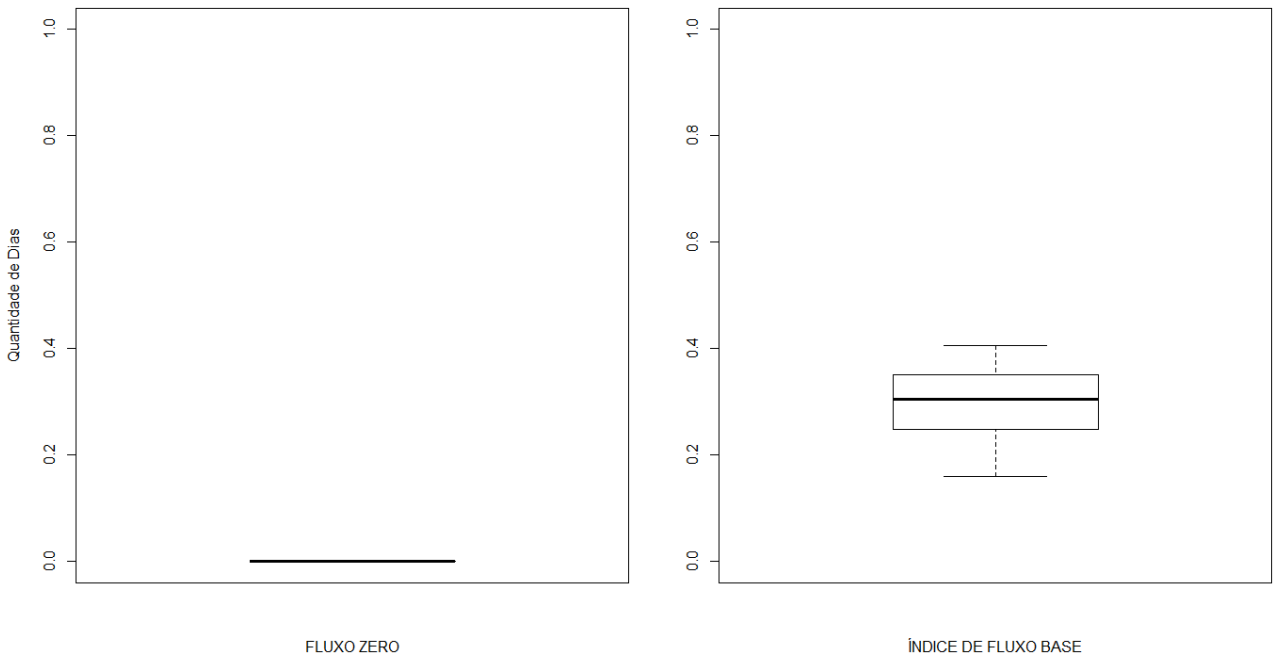


Figura 45: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Aloândia (Grupo 2).

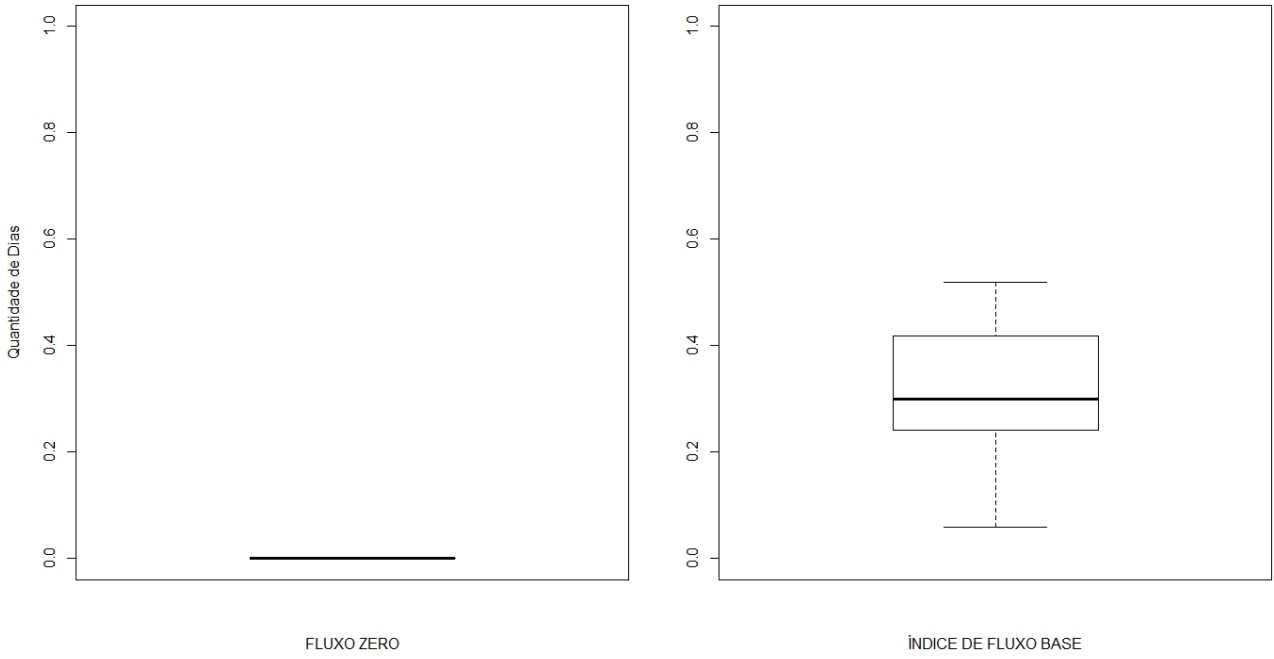


Figura 46: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) Captação João Leite (Grupo 2).

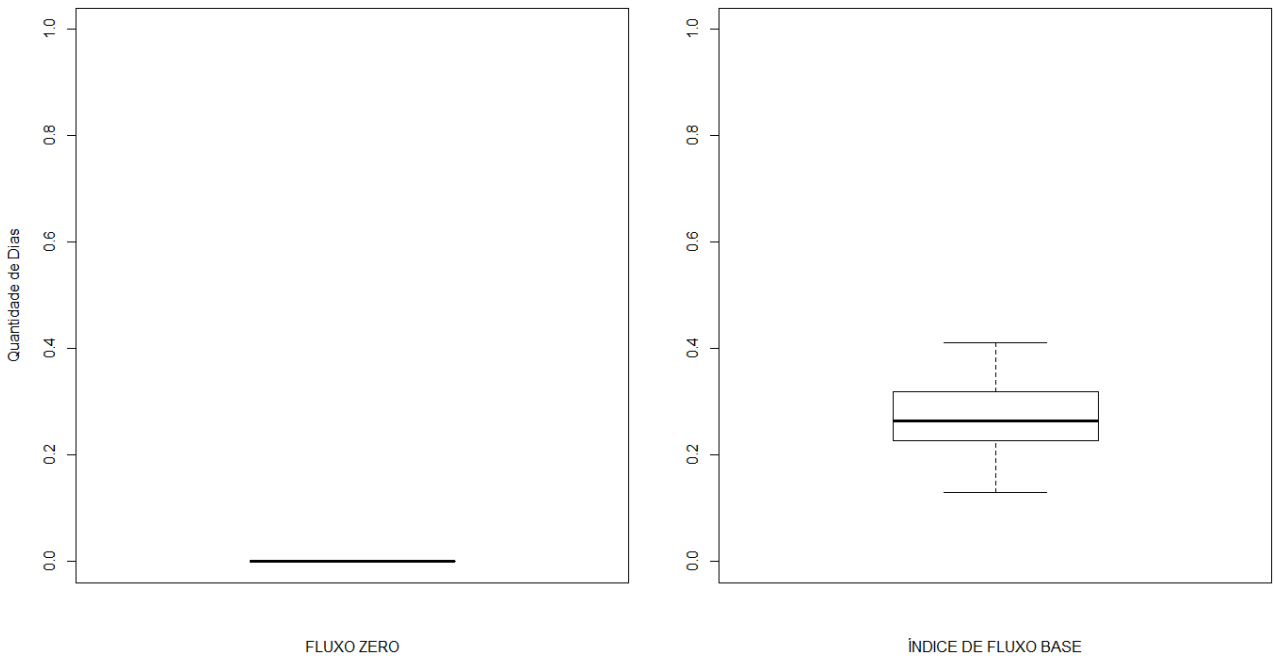


Figura 47: Magnitude e duração das vazões extremas anuais (fluxo zero e de base) de Professor Jamil (Grupo 2).

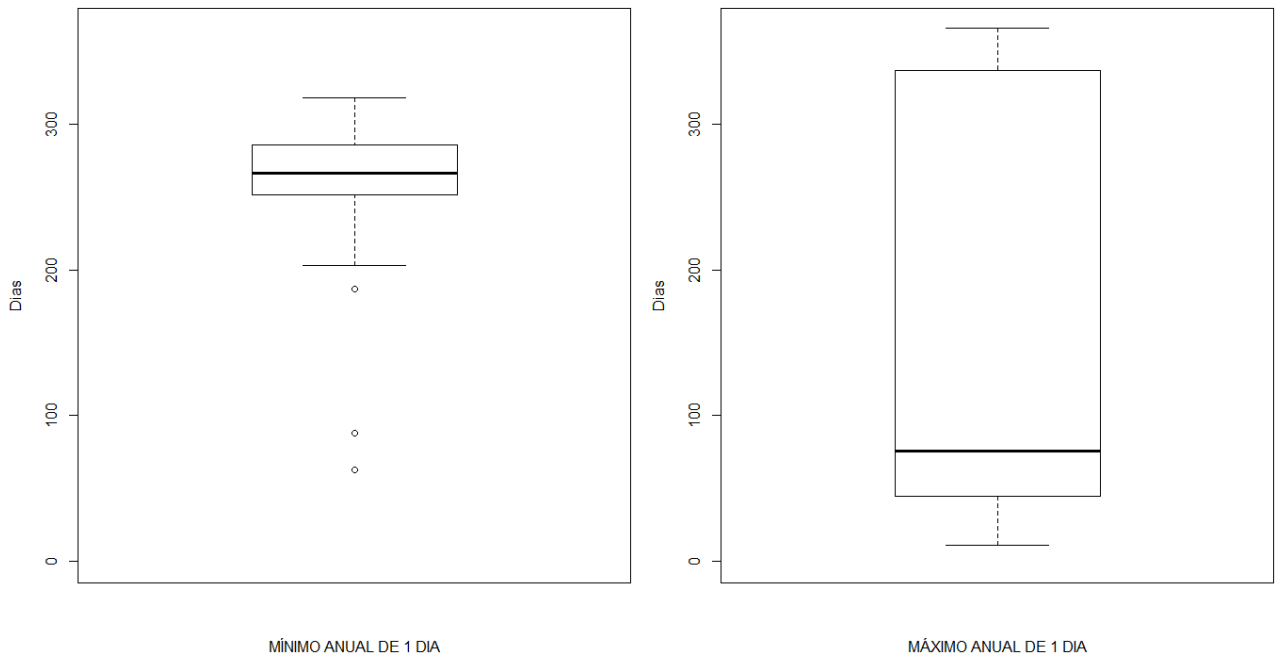


Figura 48: Periodicidade das vazões anuais de Inhumas.

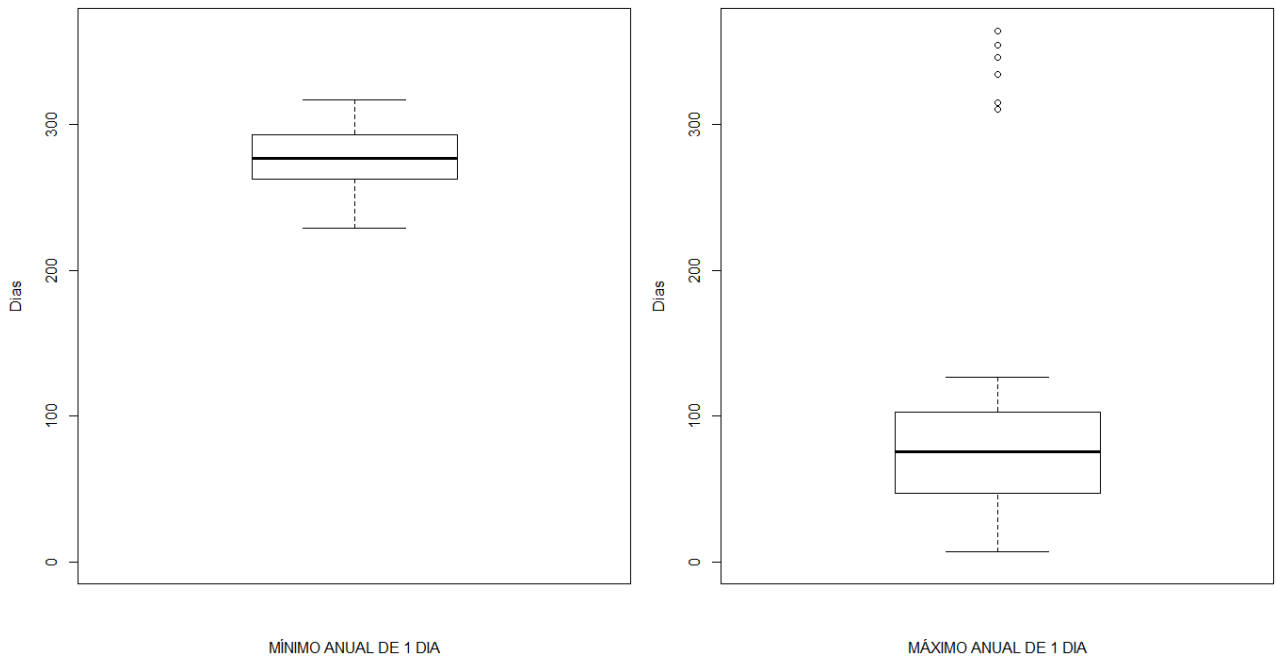


Figura 49: Periodicidade das vazões anuais de Montante de Goiânia.

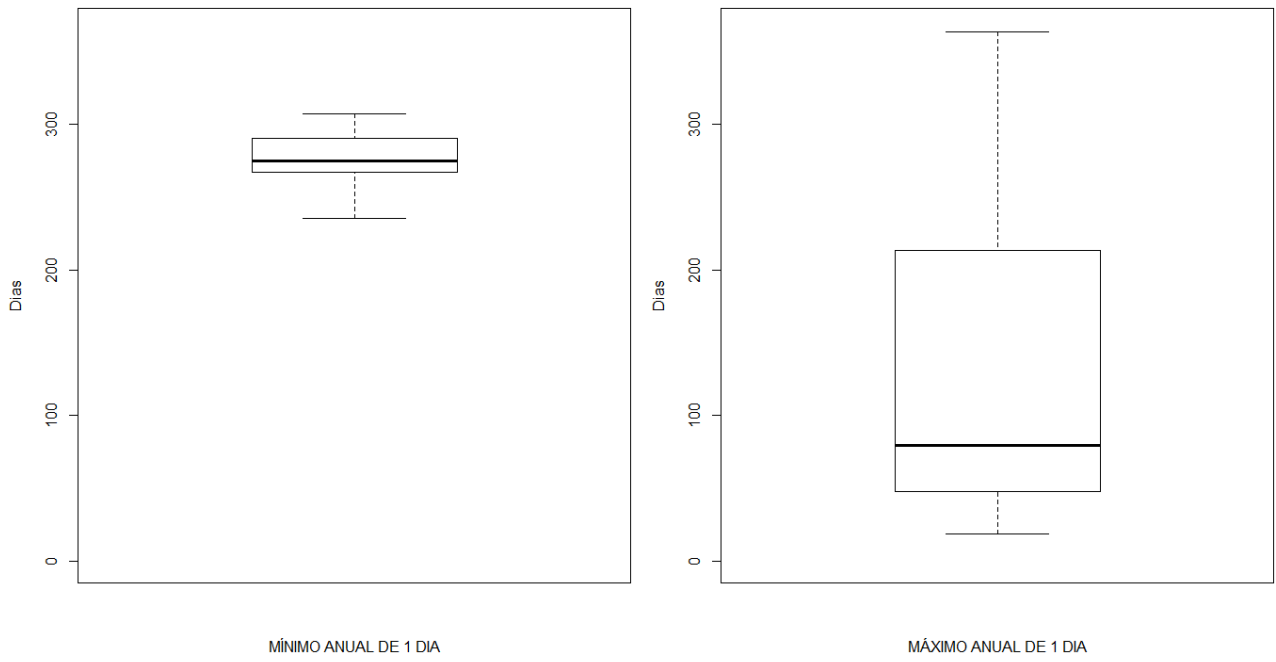


Figura 50: Periodicidade das vazões anuais de Fazenda Bonita de Baixo.

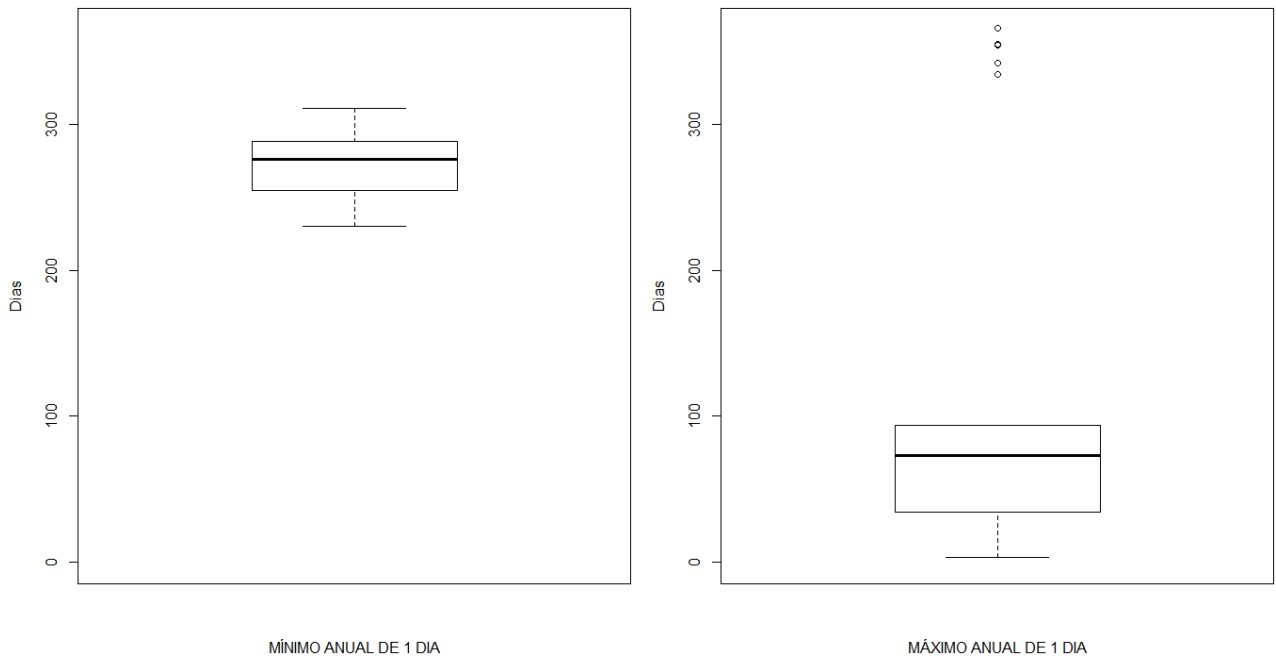


Figura 51: Periodicidade das vazões anuais de Aloândia.

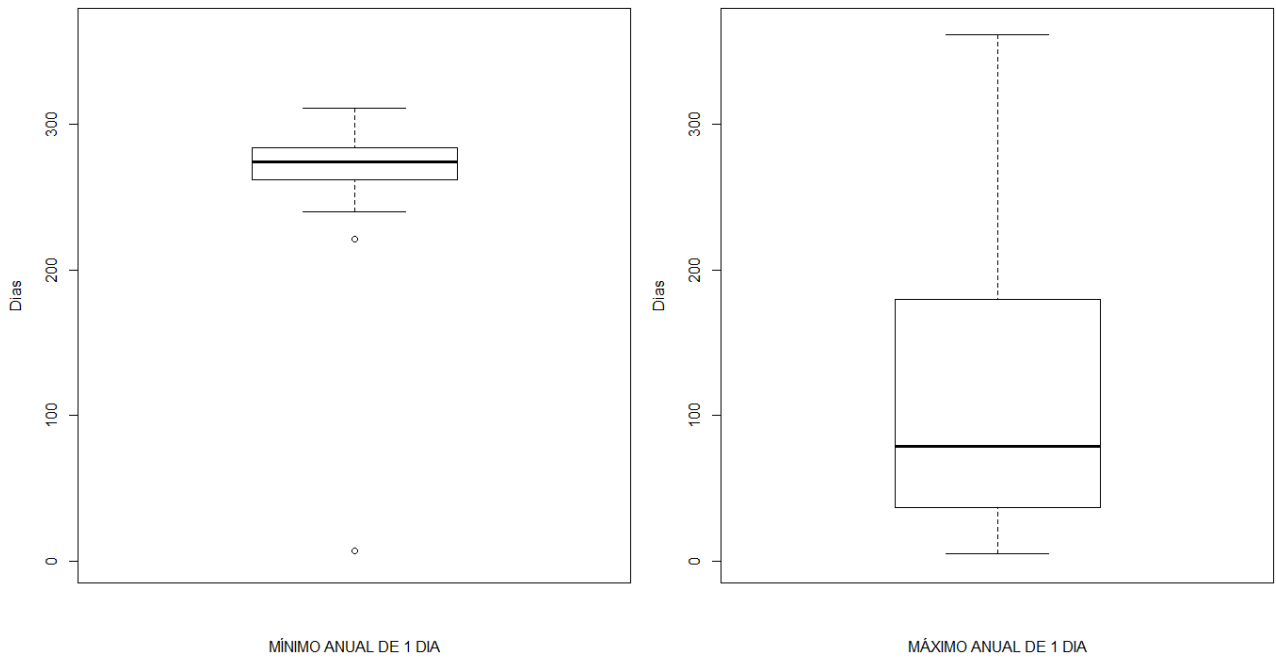


Figura 52: Periodicidade das vazões anuais Captação João Leite.

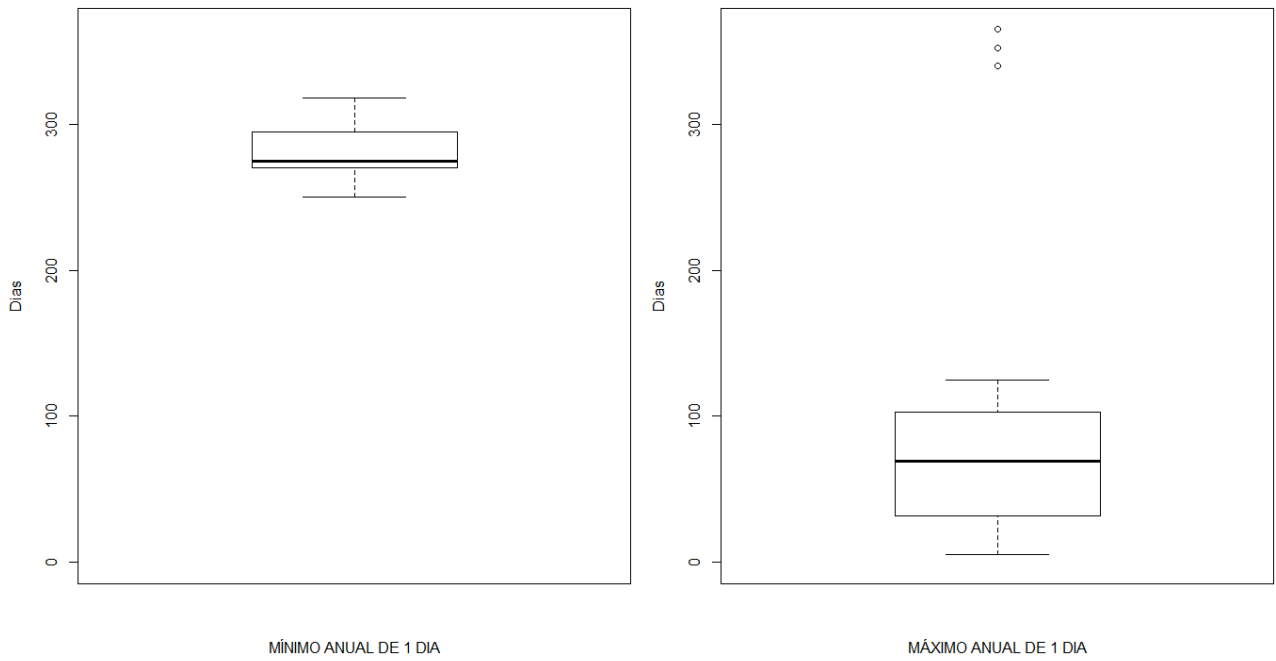


Figura 53: Periodicidade das vazões anuais de Professor Jamil.

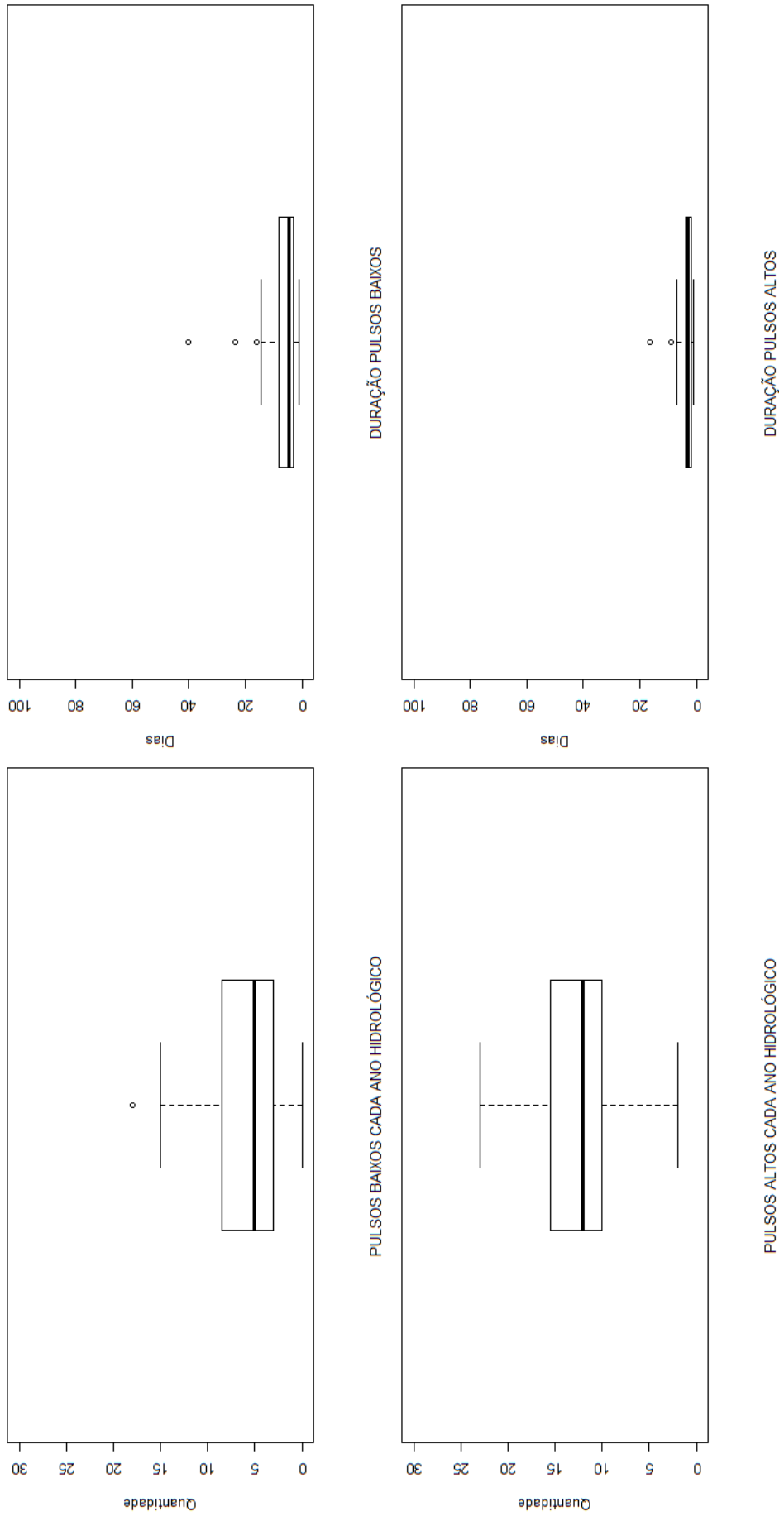


Figura 54: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Inhuma.

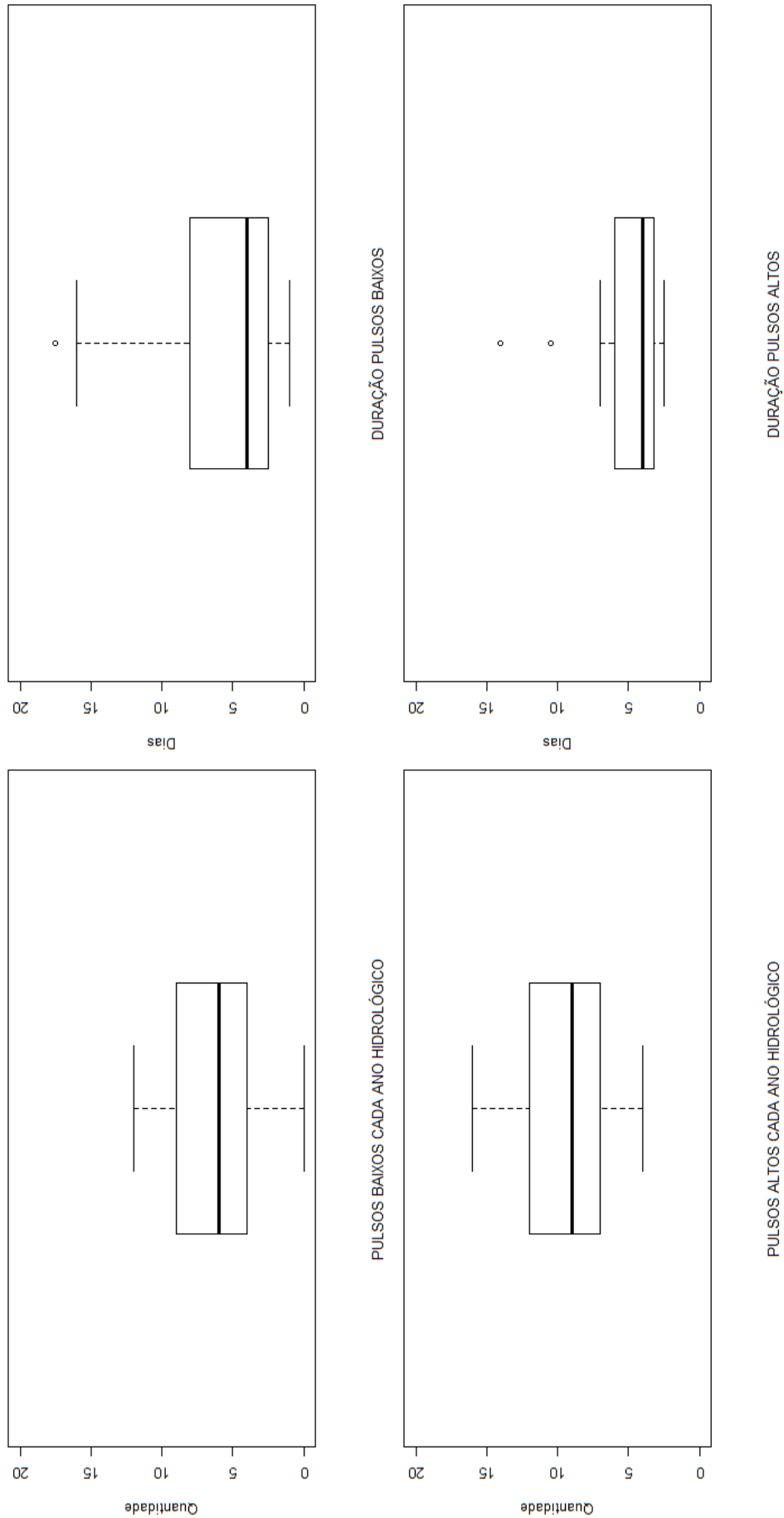


Figura 55: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Montante de Goiânia.

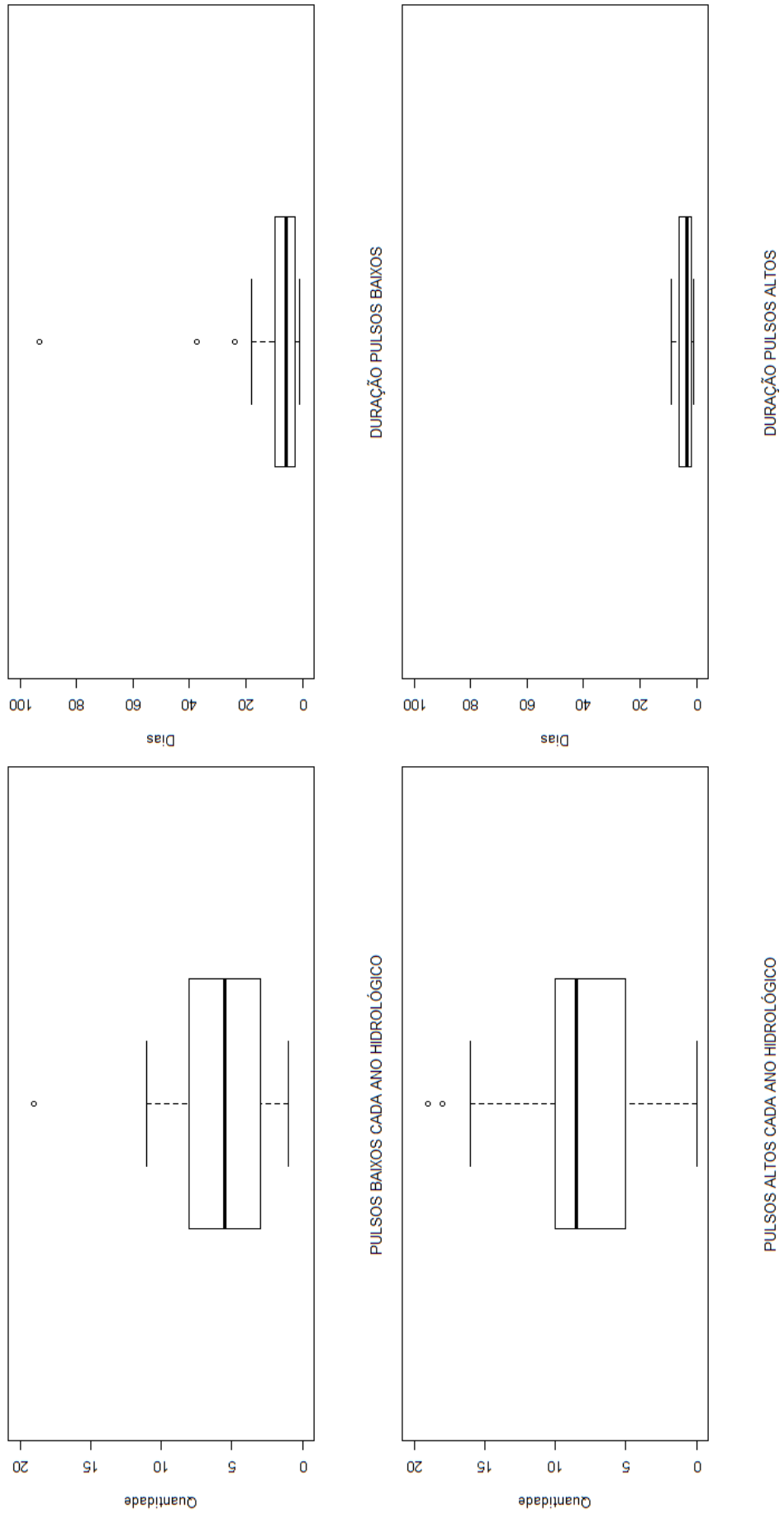


Figura 56: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Fazenda Bonita de Baixo.

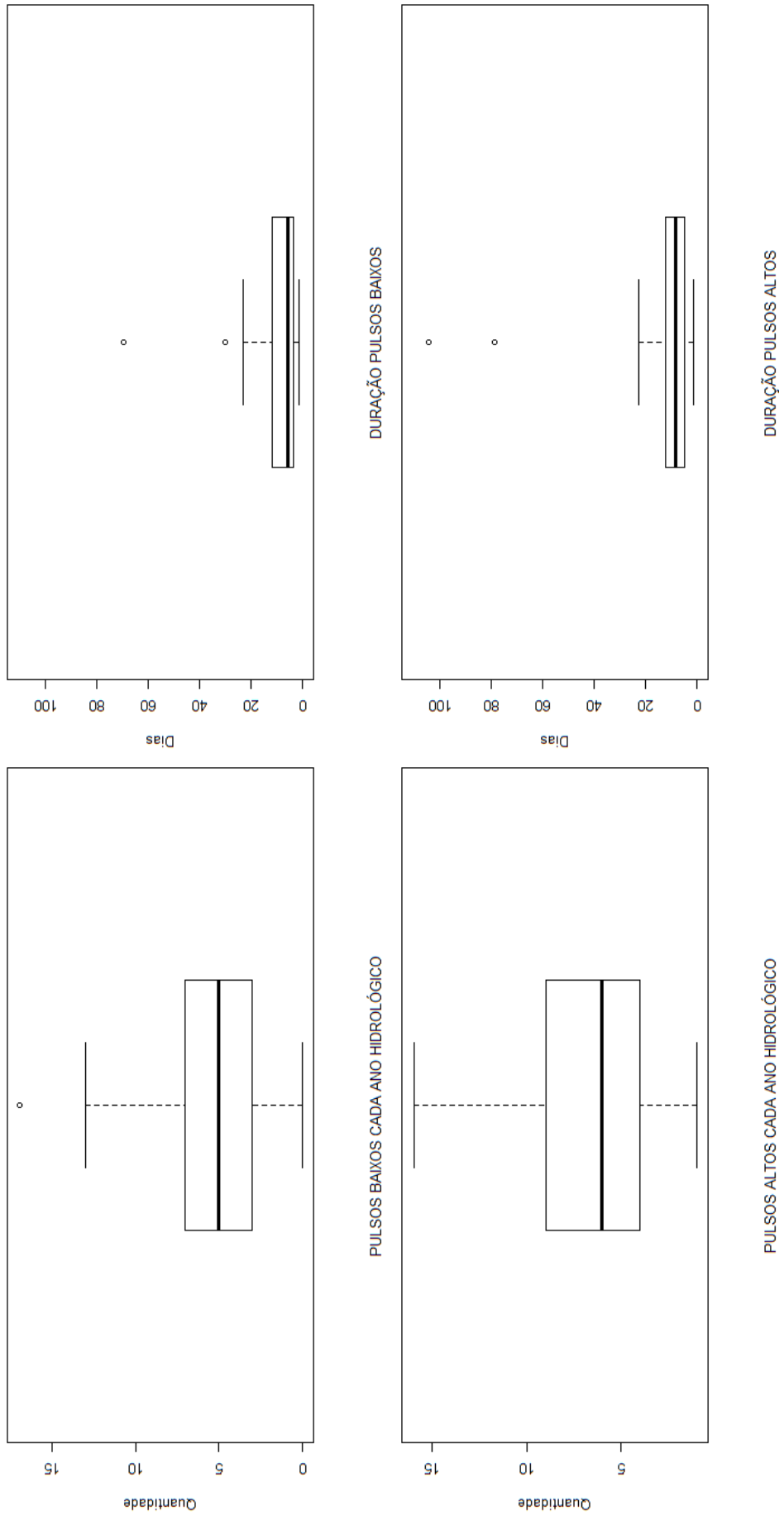


Figura 57: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Aloândia.

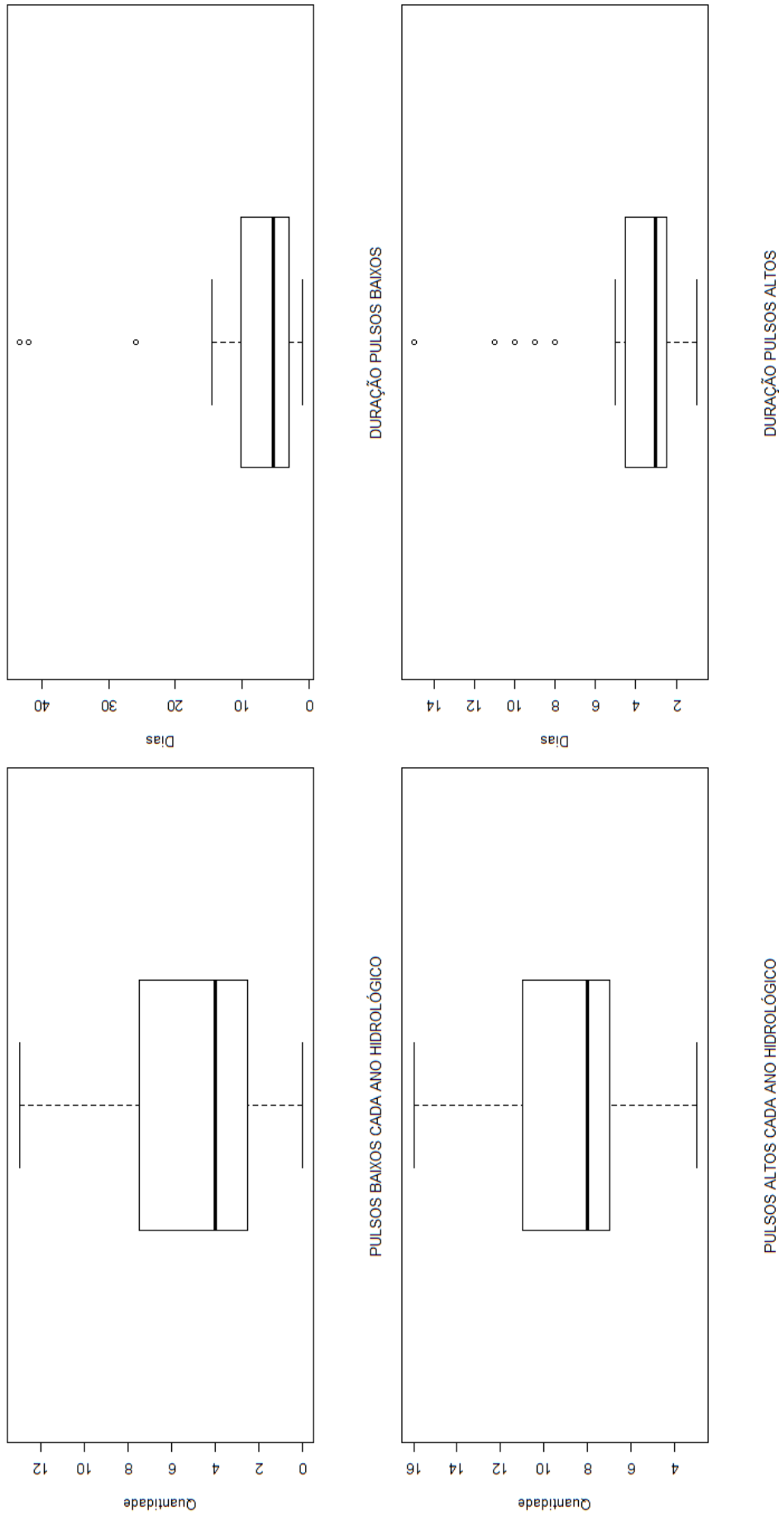


Figura 58: Frequência e duração de altos e baixos pulsos Captação João Leite.

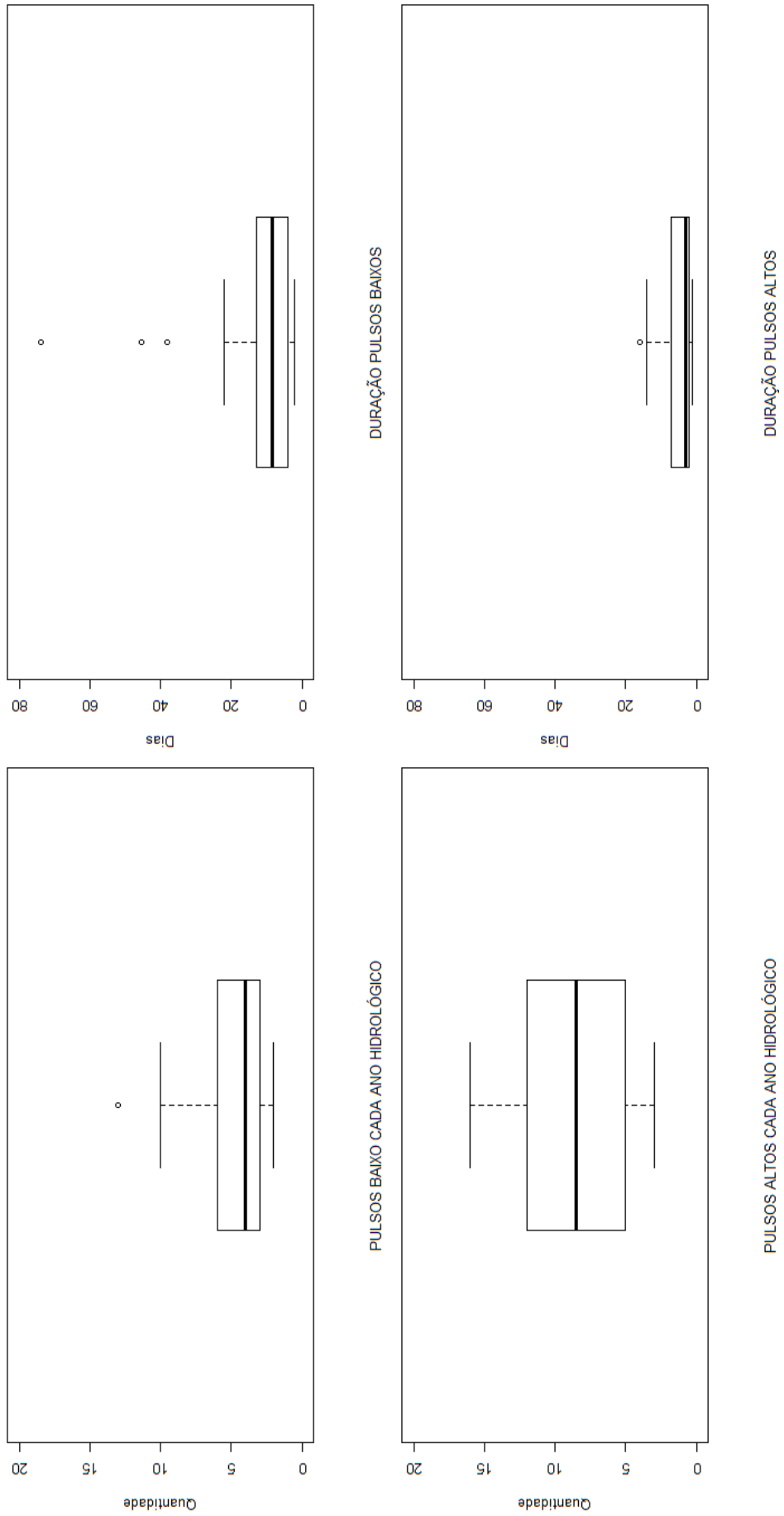


Figura 59: Frequência e duração de altos e baixos pulsos de Professor Jamil.

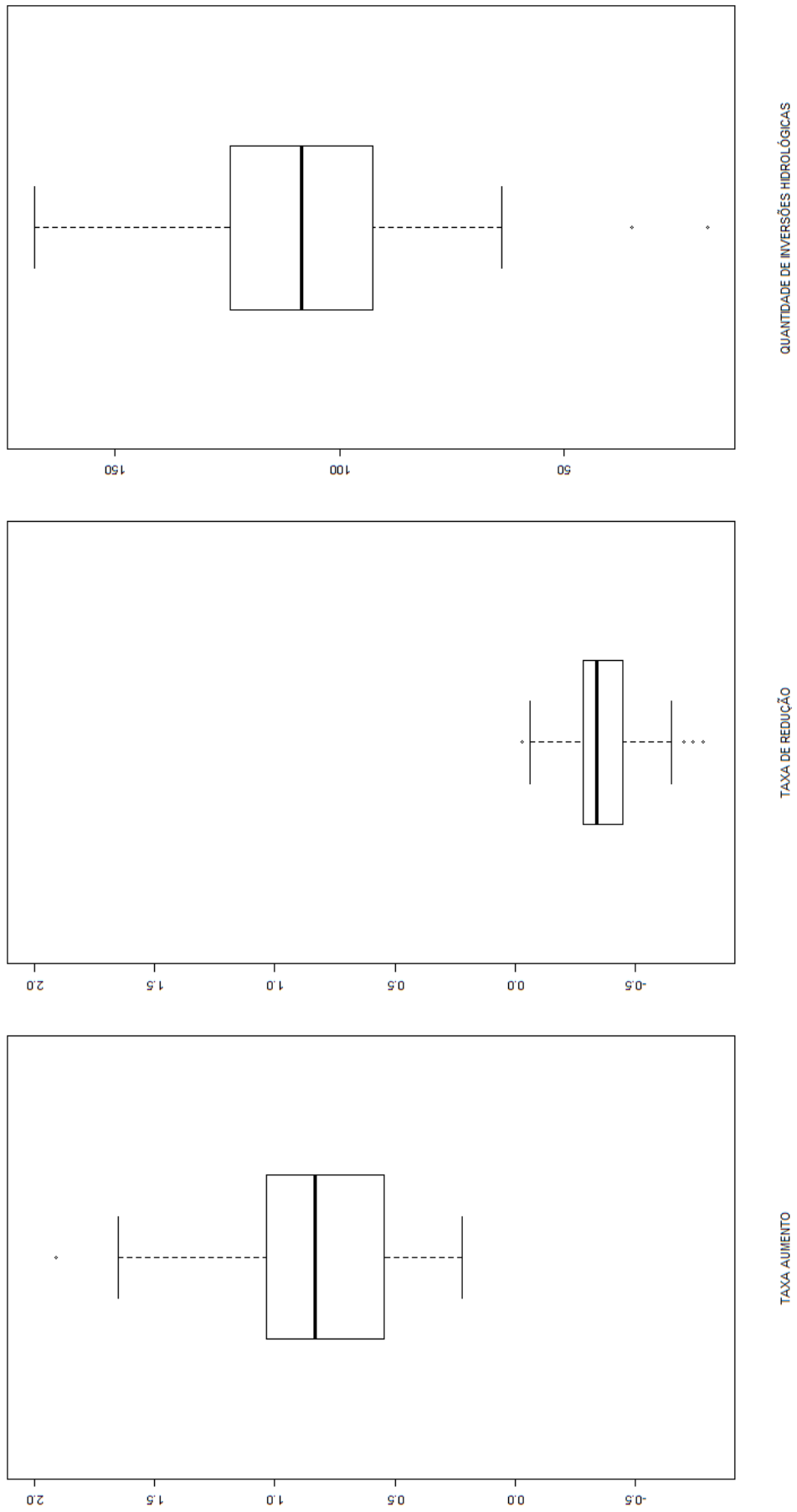


Figura 60: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Inhumas

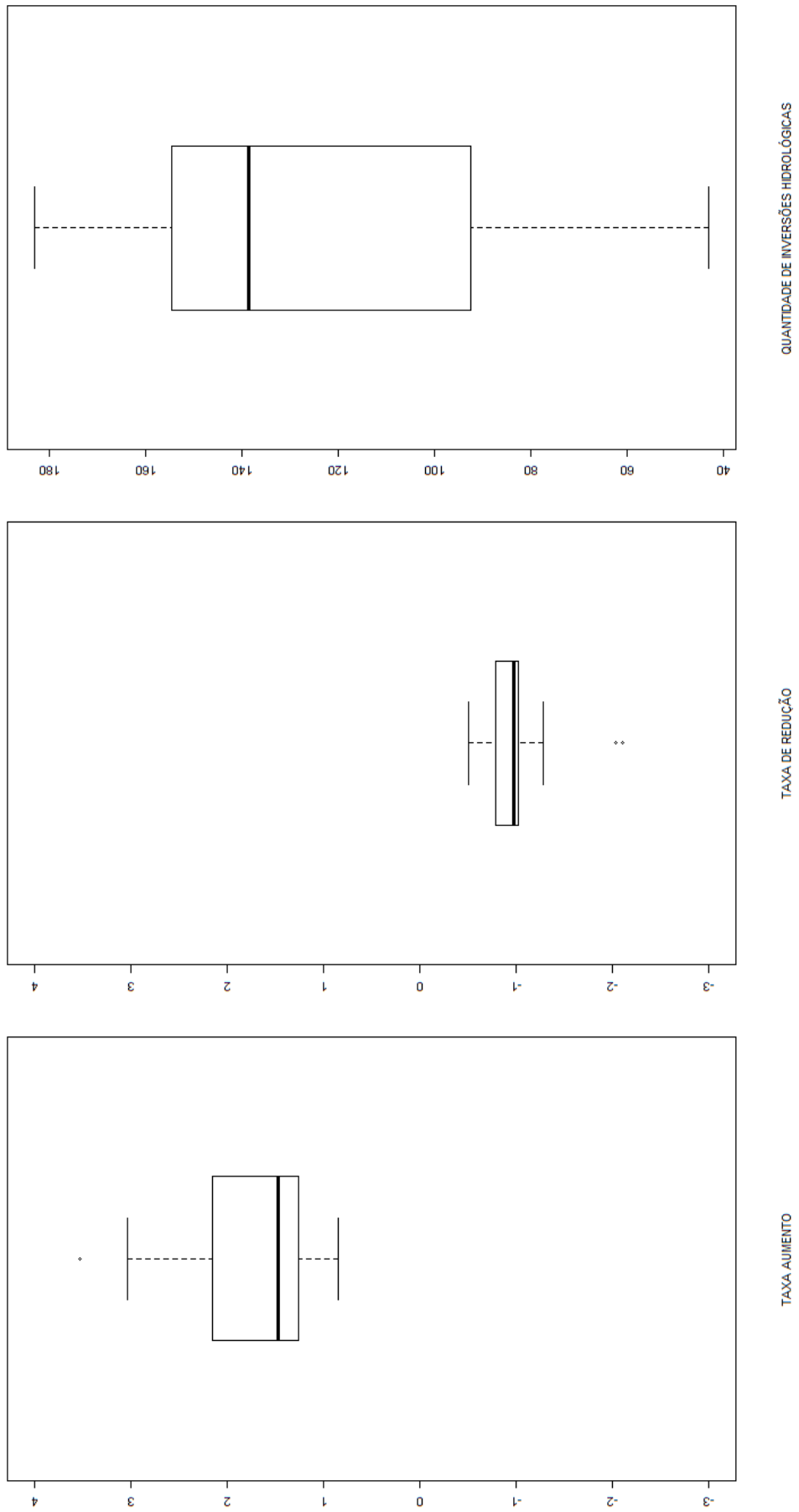


Figura 61: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Montante de Goiânia

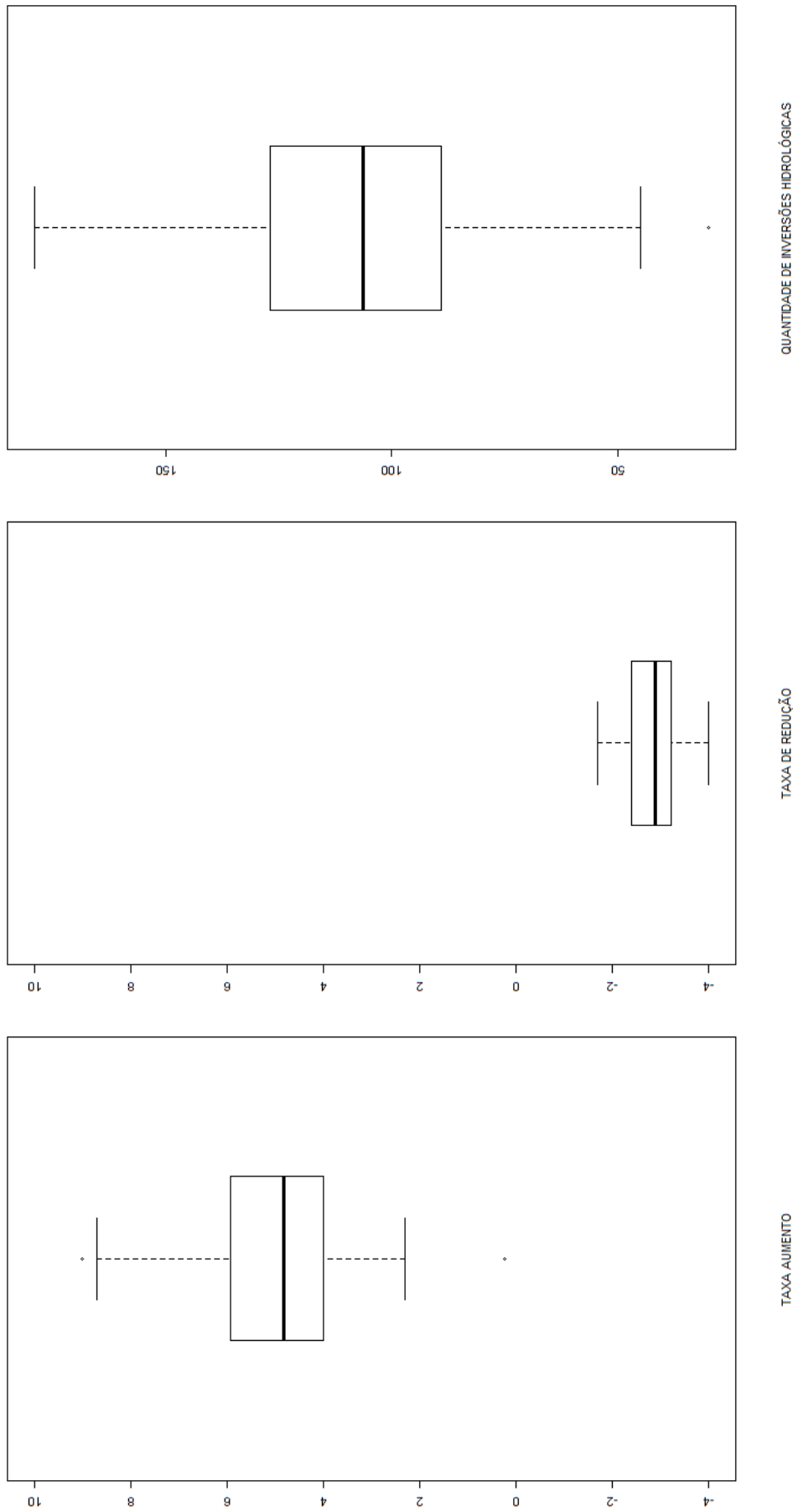


Figura 62: Taxa/freqüência de alteração do fluxo das vazões de Fazenda Bonita de Baixo

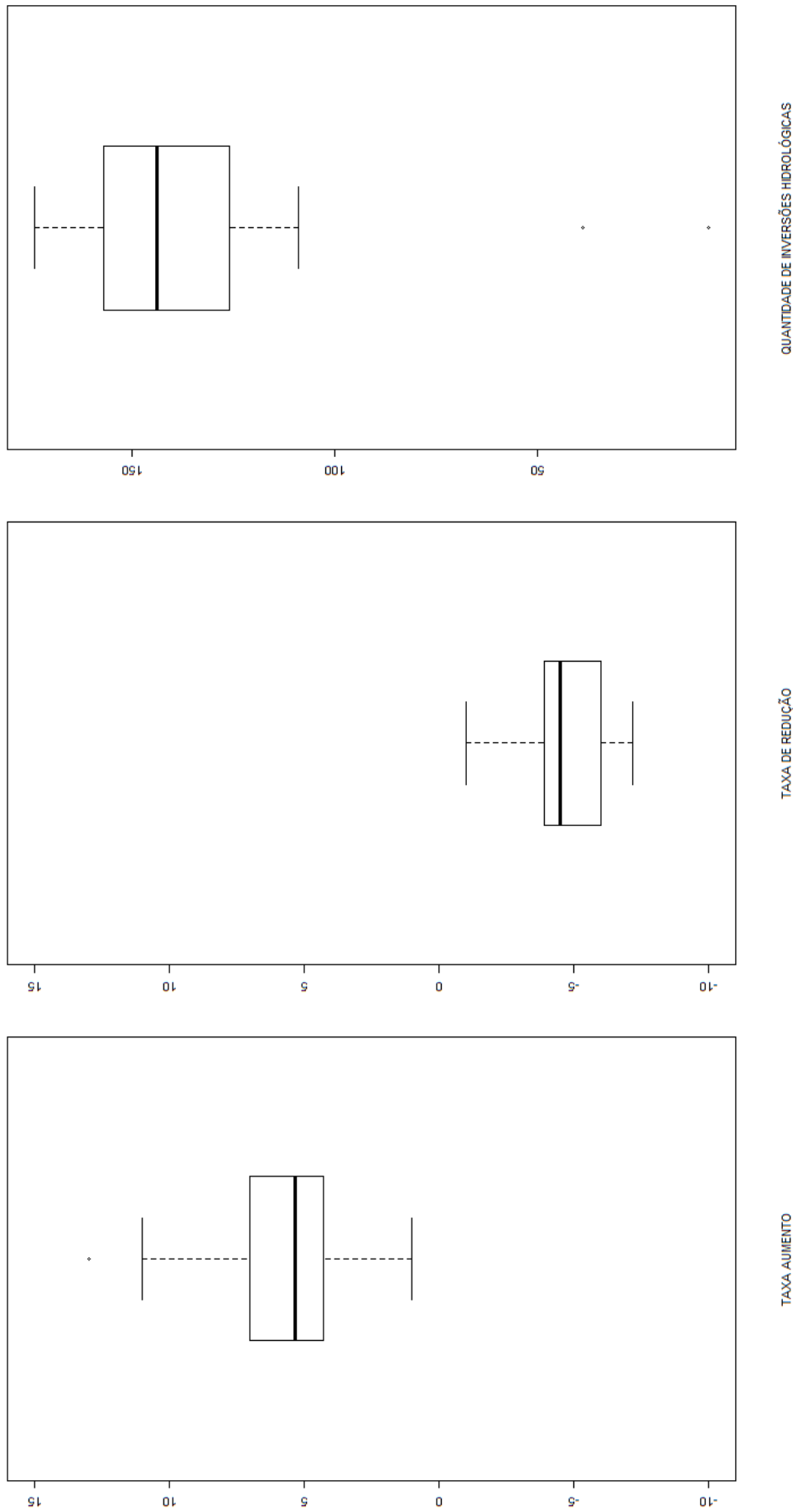


Figura 63: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Aloatã

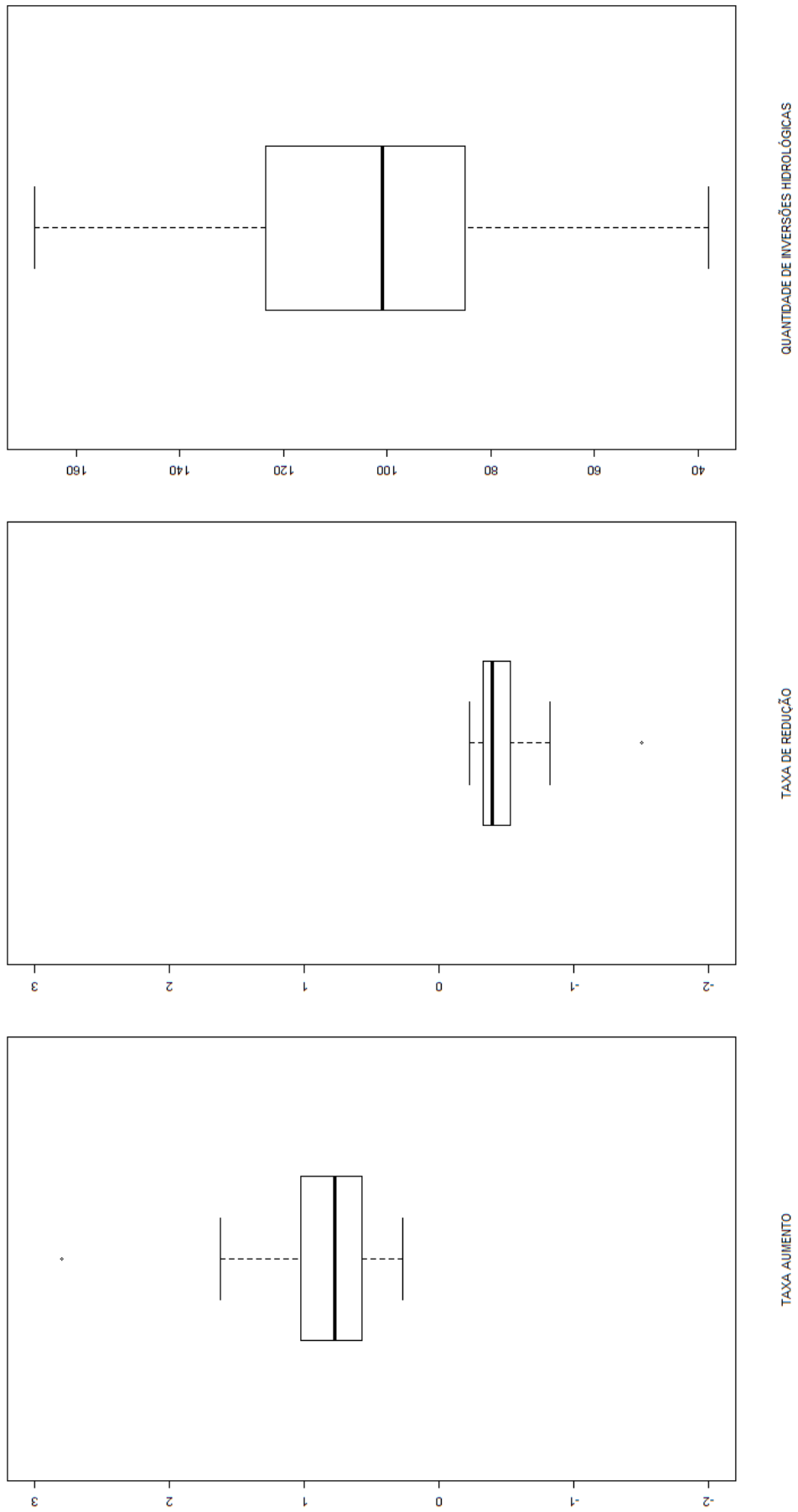


Figura 64: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Captação João Leite

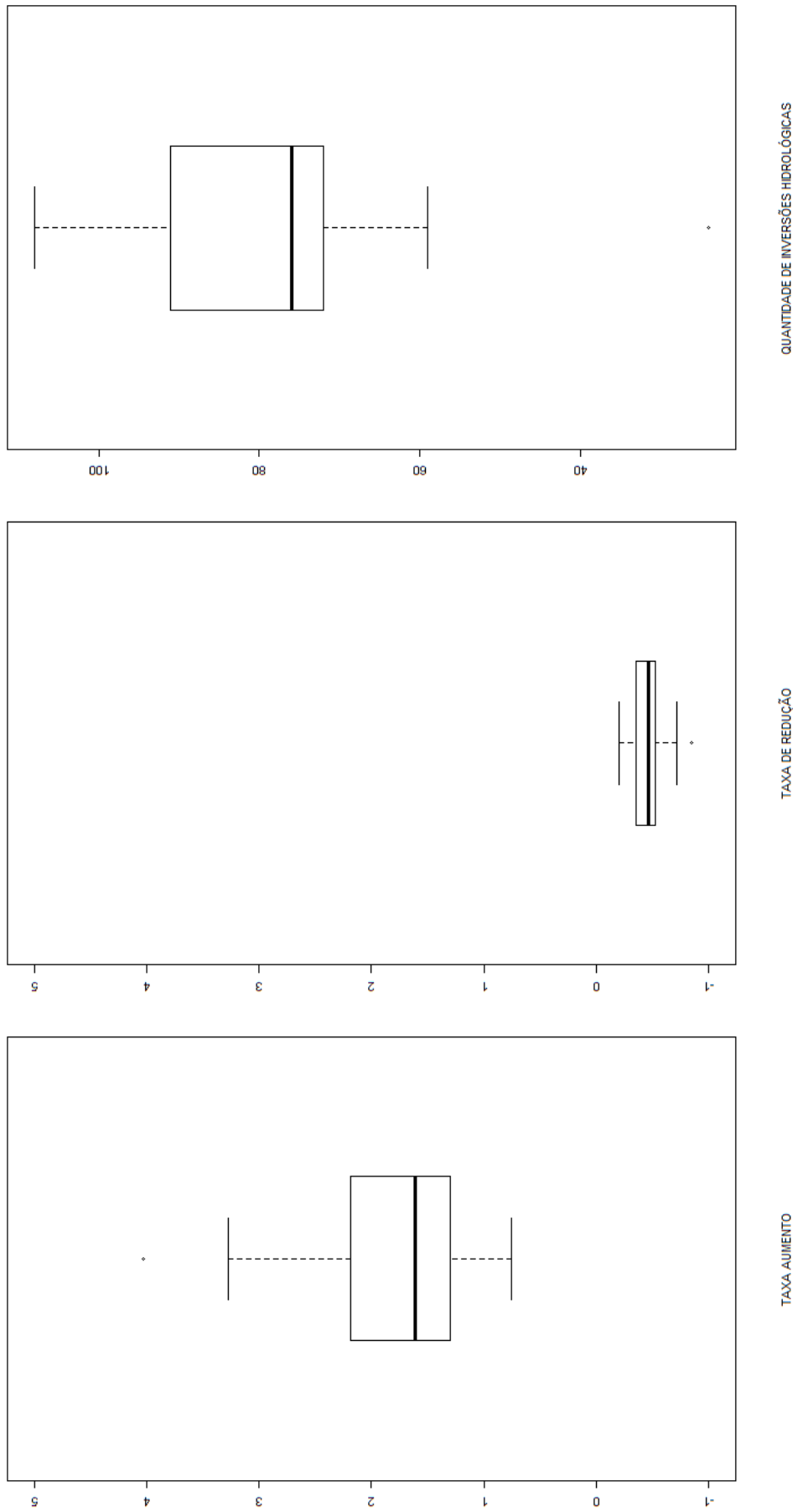


Figura 65: Taxa/frequência de alteração do fluxo das vazões de Professor Jamil

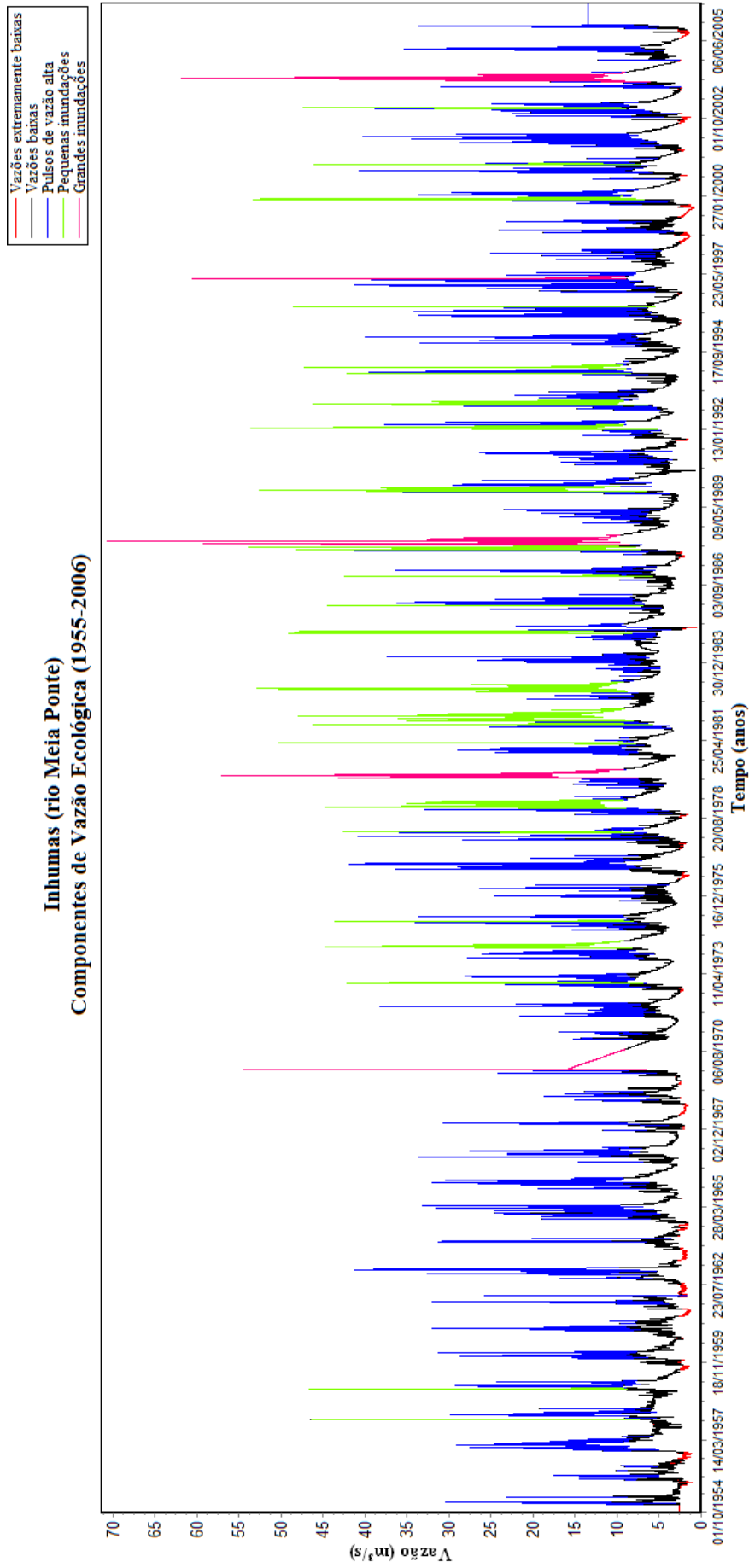


Figura 66: Componentes de vazão ecológica de Inhuma.

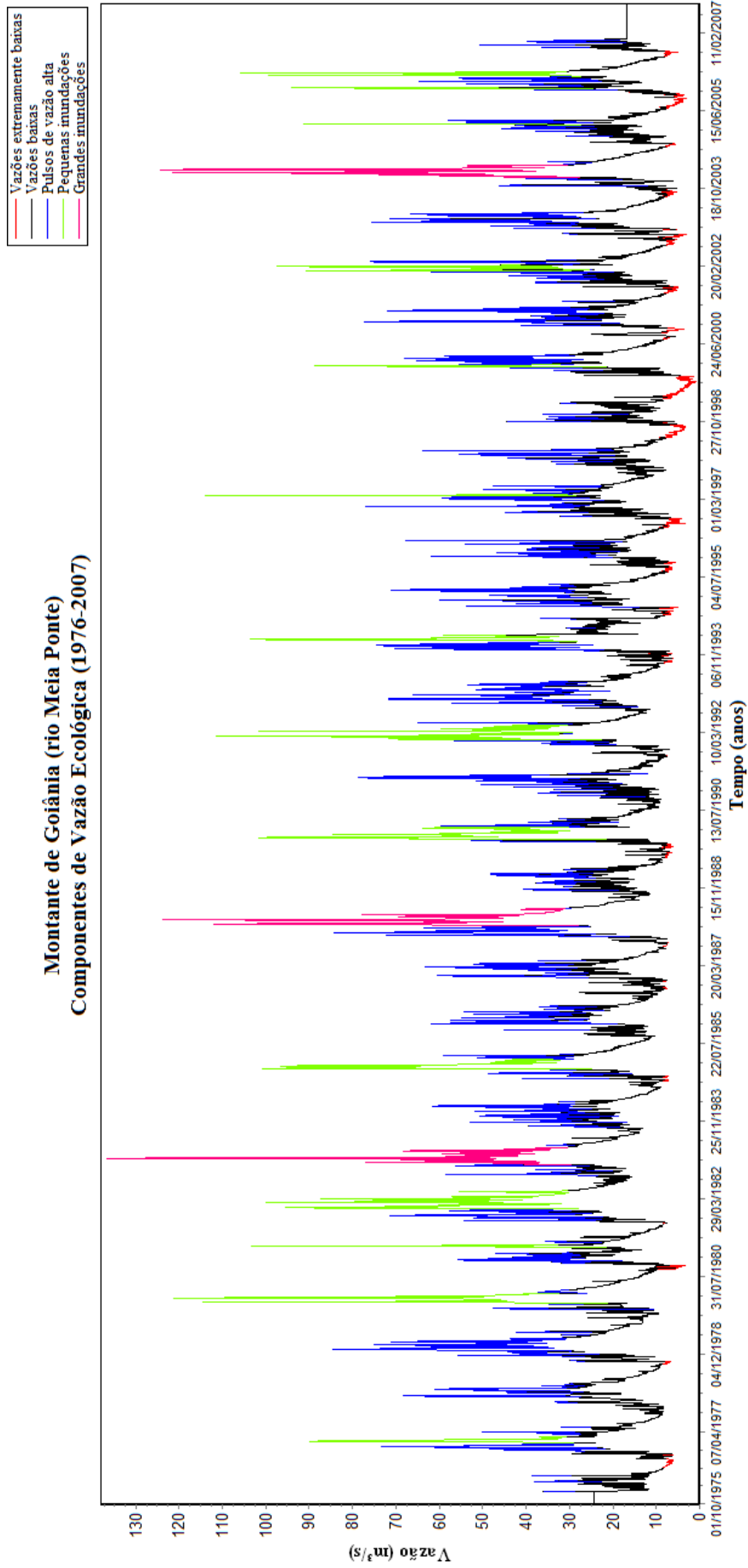


Figura 67: Componentes de vazão ecológica de Montante de Goiânia.

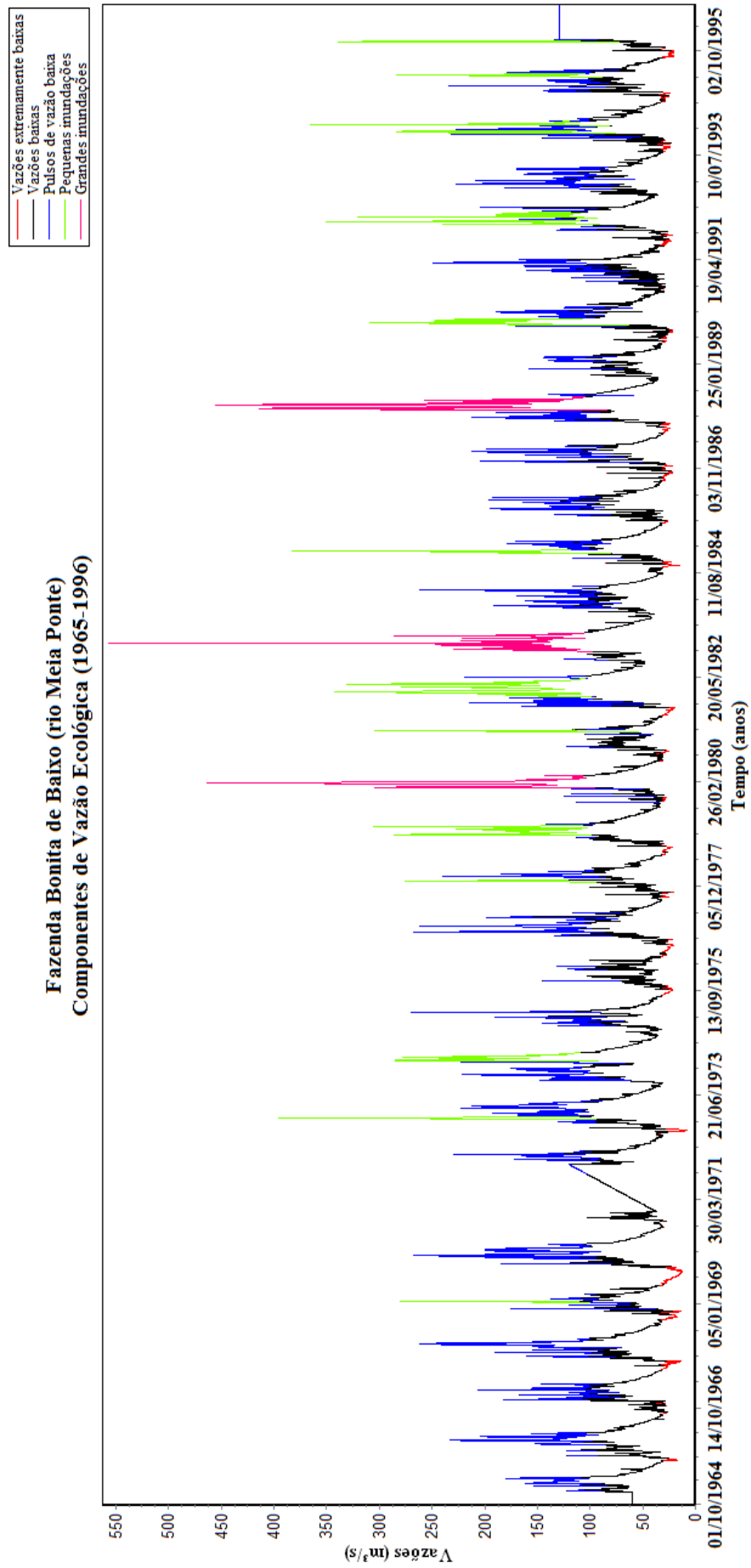


Figura 68: Componentes de vazão ecológica de Fazenda Bonita de Baixo.

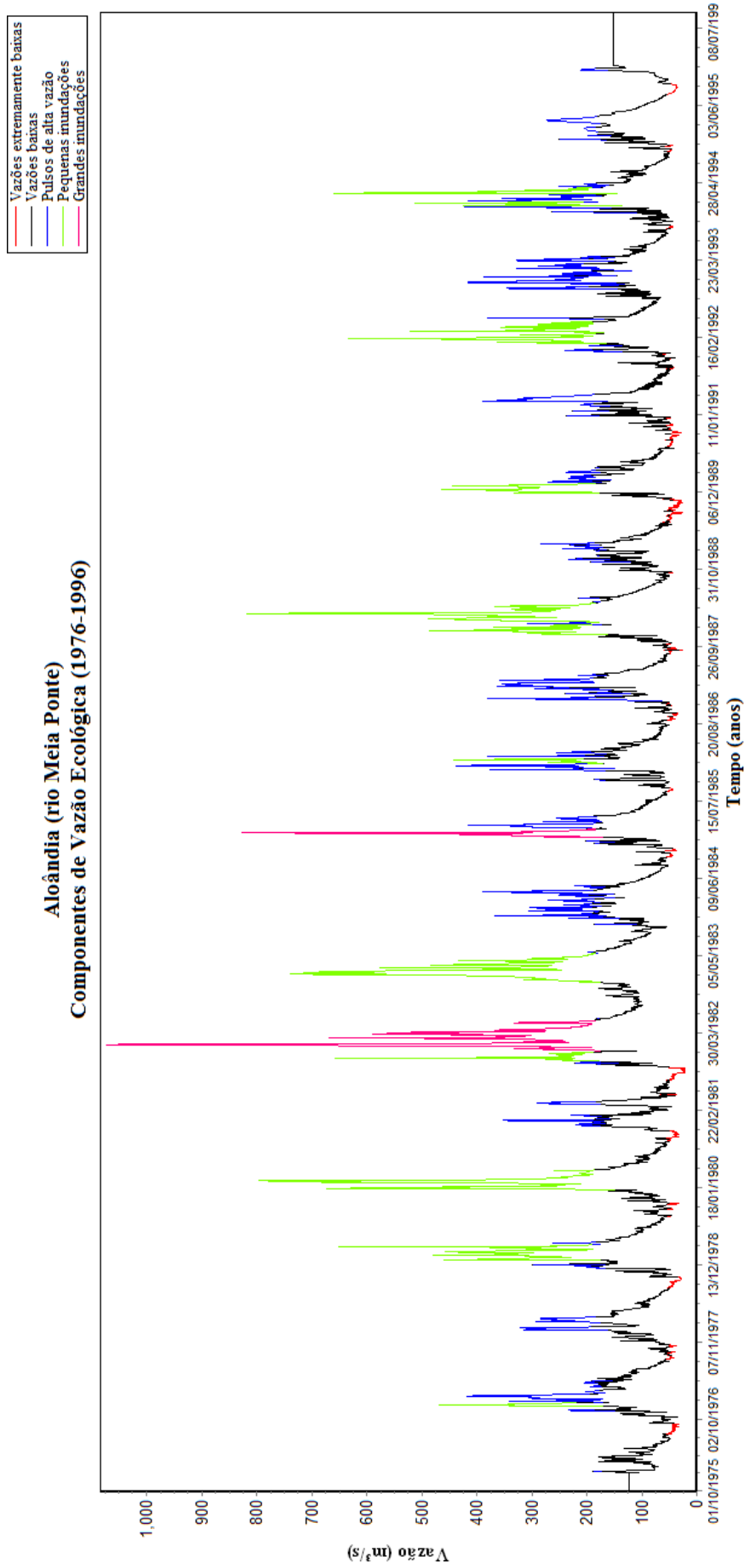


Figura 69: Componentes de vazão ecológica de Aloândia.

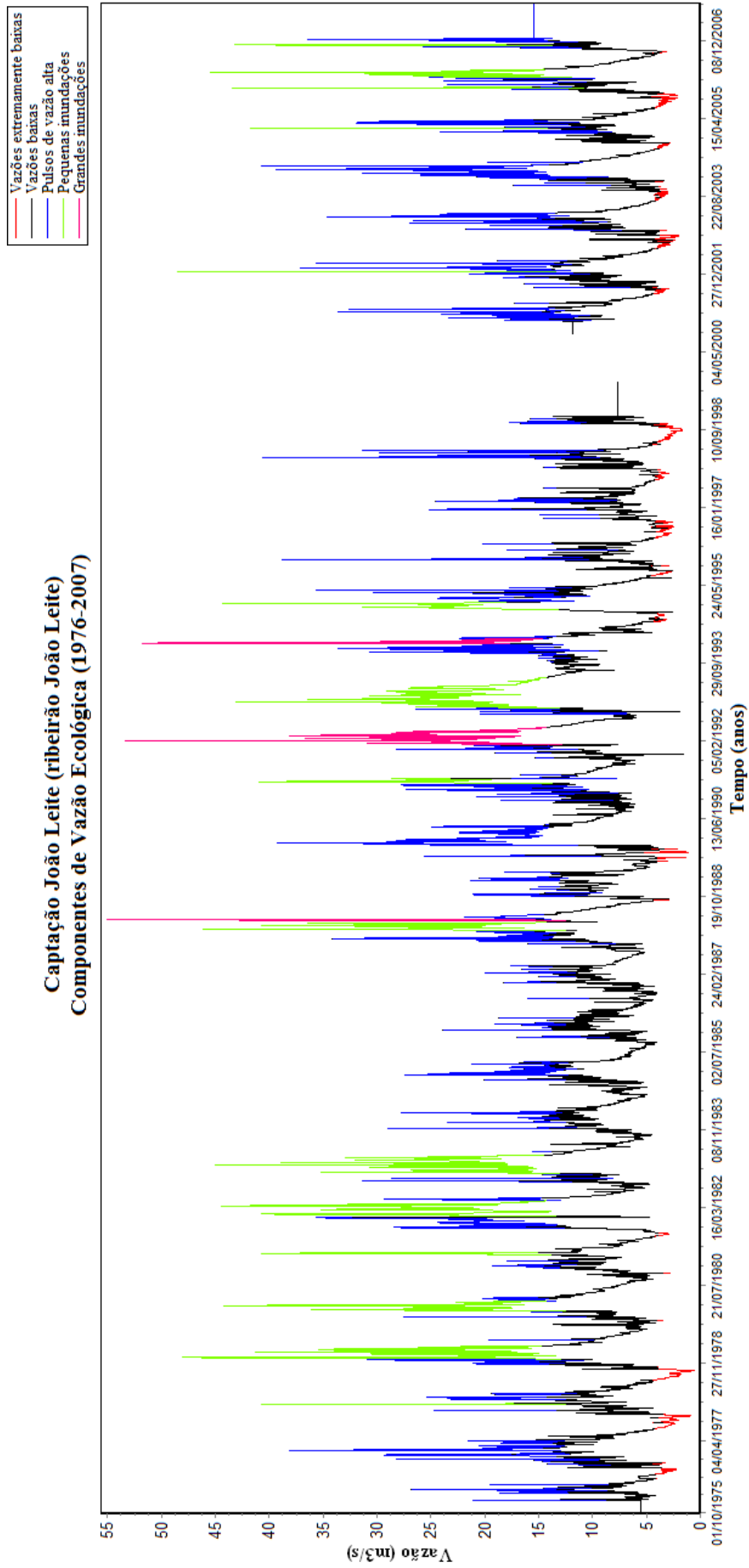


Figura 70: Componentes de vazão ecológica Captação João Leite.

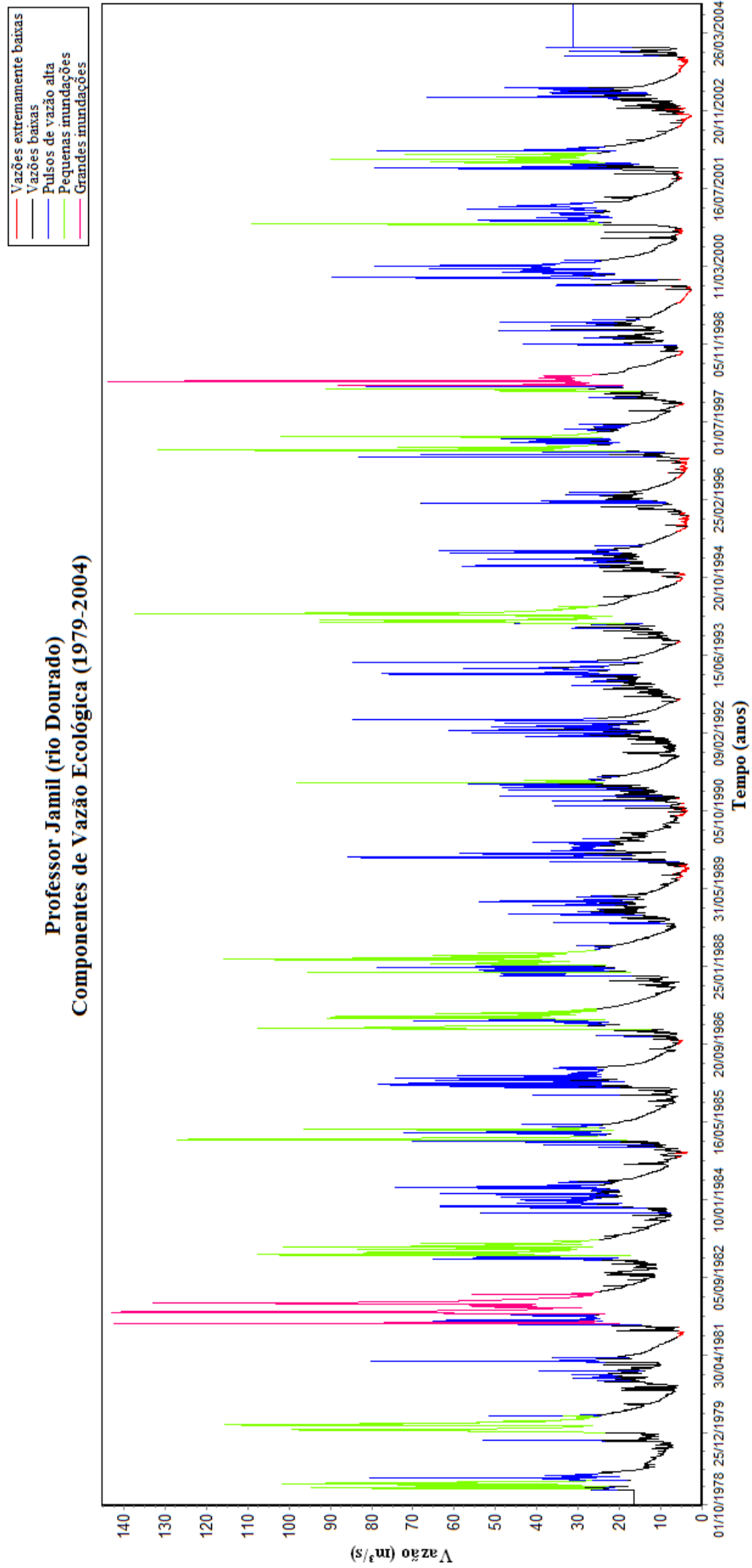


Figura 71: Componentes de vazão ecológica de Professor Jamil.