



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

**Avaliação de Metodologias para Definição de  
Caudal Ecológico e o Impacto na Produção  
Hidroelétrica**  
Estudo de Caso da Central Mini-Hídrica Saudade no  
Brasil

**Brunno Daibert Andrès**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**  
(Ciclo de estudos integrado)

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Doutora Cristina Maria Sena Fael  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Doutora Maria Manuela Portela Correia dos S. R. Silva

Covilhã, junho de 2018

“A river is more than an amenity, it is a treasure. It offers a necessity of life that must be rationed among those who have power over it.”  
Oliver Wendell Holmes Jr.

## Agradecimentos

De pronto agradeço a minha orientadora Professora Doutora Cristina Fael pela disponibilidade, atenção e presteza dispensadas durante toda a elaboração da dissertação. Ainda, sobremaneira, externo efusivo agradecimento pela confiança depositada em minha pessoa ao aceitar tal incumbência. Também, meu agradecimento a Professora Doutora Manuela Portela por compartilhar sua grande experiência acadêmica e profissional na temática.

Minha esposa e amiga Adriana registro especial agradecimento pelo forte, constante e incondicional carinho, motivação e apoio dedicados ao longo desta trajetória, os quais foram fundamentais para o êxito alcançado.

Agradeço também em especial minha mãe Virgínia e meu irmão Alberto por todo o apoio e compreensão para com as minhas ausências e mudanças de rotina que foram necessárias para tornar realidade produtiva essa dissertação. Também, pela instrução e convívio engrandecedor de toda uma vida que foram essenciais a minha formação pessoal e profissional.

Por fim, agradeço pela importante contribuição da Construtora Vibral Ltda. ao disponibilizar valorosas informações técnicas e a todos os integrantes da Universidade da Beira Interior, particularmente a Professora Doutora Marisa Sofia, que tão bem me acolheram e que com sua receptividade criaram um ambiente salutar para o desenvolvimento da dissertação.

O meu muito obrigado a todos.



## Resumo

Existe um cenário estabelecido em que a necessidade de se aumentar a participação das fontes de energia renováveis na composição da matriz energética mundial para fomentar um desenvolvimento económico e social sustentável, em estrito respeito com o meio ambiente, bem como de elemento atenuante para as alterações climáticas, confronta-se com a pressão da procura pelo uso de recursos naturais gerada pelo inerente crescimento da população mundial. Por essa situação conflituosa se tornar mais latente para a produção hidroelétrica, ao ser essa uma fonte de energia que compete no uso da água perante inúmeras outras procuras da sociedade e meio ambiente, são estabelecidos certos limites para esse uso através da recomendação de um caudal denominado de ecológico a ser obrigatoriamente e minimamente resguardado no leito fluvial com a finalidade de servir as necessidades dos ecossistemas aquático e ribeirinho. Existem ao redor do mundo centenas de diferentes metodologias que se propõem a definir o caudal ecológico, as quais são divididas em métodos hidrológicos, hidráulicos, de classificação de habitats e holísticos. O presente trabalho teve como objetivo inicial identificar e descrever pormenores sobre as principais metodologias utilizadas para a determinação desse caudal ecológico no Brasil e em Portugal Continental, bem como sobre outros métodos adotados num cenário global. Na sequência, sob um prisma específico e através de simulações com auxílio do *software* computacional CASiMiR, desenvolvido pela Universidade de Estugarda, foram utilizados dados técnicos da central mini-hídrica Saudade, localizada no Estado de Minas Gerais, Brasil, central essa concessionada à empresa Construtora Vibral Ltda., para desenvolver um estudo de caso onde se avaliaram os impactos na produção hidroelétrica, em observância à variação sofrida na energia anual produzida e no retorno financeiro anual, de cada caudal ecológico resultante da aplicação dos métodos  $Q_{7,10}$ , Tennant, curva de permanência, perímetro molhado, INAG e *Global Environmental Flow Calculator*. Por fim, foi concluído, com base na grande amplitude identificada entre os volumes de caudais calculados, que existe a possibilidade de se penalizar severamente a produção de energia de uma central, com a consequente frustração de receitas e impacto na formação de preços para toda uma sociedade.

**Palavras-chave** Mini-hídrica, caudal ecológico, impacto na produção hidroelétrica, metodologias para definição de caudais ecológicos.



# Abstract

There is an established scenario where the need to increase the participation of renewable energy sources in the composition of the global energy matrix to promote sustainable economic and social development in strict respect of the environment as well as mitigating element for climate change, is confronted with the demand pressure for the use of natural resources generated by the intrinsic growth of the world population. Because this conflicting situation becomes more latent for hydroelectric generation, since it is a source of energy that competes in the use of water with countless other demands of society and the environment, are establish certain limits for such use through the recommendation of a flow called environmental to be obligatorily and minimally maintained in the river channel in order to serve the needs of the aquatic and riverside ecosystems. There are hundreds of different methodologies around the world which propose to define the environmental flow divided in hydrological, hydraulic, habitat classification and holistic methods. The present dissertation aimed to identify and describe details of the main methodologies used to determine this environmental flow in Brazil, in continental territory of Portugal, as well as other methods adopted in a global scenario. In the sequence, under a specific prism and through simulations using the CASiMiR software, developed by the University of Stuttgart, was used the technical data of the Saudade small power plant, located in the State of Minas Gerais, Brazil, with concession to Construtora Vibrat Ltda., to develop a case study that analyzed the impacts on hydroelectric generation, in observance through the variation in the annual energy produced and the annual financial return, of each environmental flow resulting from the application of  $Q_{7,10}$ , Tennant, permanence, wet perimeter, INAG and Global Environmental Flow Calculator methods. Finally, it was concluded, based on the large amplitude identified between the volumes of calculated flows, that exist a possibility of severely penalizing the energy production of a power plant, with the consequent frustration of revenues and impact on the formation of prices for a whole society.

**Keywords** Small power plant, environmental flow, impact on hydroelectric generation, methodologies to definition of environmental flows.



# Índice

1. Introdução geral	1
1.1 O caudal ecológico	5
1.2 Justificativa e objetivos	9
1.3 Organização do trabalho	9
2. Metodologias para a avaliação de caudais ecológicos	13
2.1 Introdução	13
2.2 Métodos hidrológicos	15
2.3 Métodos hidráulicos	17
2.4 Métodos de classificação de habitats	18
2.5 Métodos holísticos	21
3. Principais metodologias utilizadas no Brasil	23
3.1 Introdução	23
3.2 Legislação brasileira e no Estado de Minas Gerais	24
3.3 Método Q7,10	26
3.4 Método da curva de permanência do caudal médio diário - (Q90 / Q95)	27
4. Principais metodologias utilizadas em Portugal Continental	29
4.1 Introdução	29
4.2 Legislação europeia e portuguesa	33
4.3 Método 2,5 a 5% do caudal módulo anual	35
4.4 Método do Instituto da Água	36
4.5 Método incremental IFIM	37
5. Outras metodologias com aplicação no cenário global	43
5.1 Introdução	43
5.2 Método de Tennant	44
5.3 Método do perímetro molhado	47
5.4 Método de construção de blocos (Building Block Methodology - BBM)	48
5.5 Global Environmental Flow Calculator (GEFC)	51
6. Determinação de caudais ecológicos - Estudo de caso	57
6.1 Introdução	57
6.2 Caracterização da central mini-hídrica Saudade	57
6.2.1 A Central mini-hídrica Saudade	57
6.2.2 Bacia hidrográfica	62
6.2.2.1 Dados pluviométricos	64
6.2.2.2 Dados fluviométricos	67
6.2.3 Aspetos ambientais no troço de caudal reduzido	73
6.2.3.1 Ictiofauna	74
6.2.3.2 Habitat	76
6.3 Método Q <sub>7,10</sub>	80

6.4	Método da curva de permanência	82
6.5	Método do Instituto da Água - INAG	83
6.6	Método de Tennant	91
6.7	Método do Global Environmental Flow Calculator (GEFC)	92
6.8	Método do perímetro molhado	97
6.9	Considerações	102
7.	Resultados e discussão sobre o custo energético das diferentes metodologias do estudo	105
7.1	Introdução	105
7.2	Comparação dos resultados obtidos	105
7.3	Simulação do custo energético das metodologias do estudo	106
7.4	Considerações	114
8.	Conclusões e recomendação para futuro trabalho	117
	Bibliografia	121
	Anexo A - Caudais médios mensais	128
	Anexo B - Secções com levantamento topobatimétricos	144
	Anexo C - Memórias de cálculo	148

# Índice de Figuras

Figura 1 - Meta de energias renováveis na União Europeia para 2020 (DIAZ ALONSO, 2017).	2
Figura 2 - Projeto típico de uma central mini-hídrica. Adaptado de PINTO (2013).	3
Figura 3 - Implantação de hidroelétricas nos EUA. Adaptado de MARTÍNEZ et al. (2015).	4
Figura 4 - Evolução das influências no planeamento de barragens. Adaptado de HIRJI e DAVIS (2009).	13
Figura 5 - Percentagem de cada metodologia em relação ao total. Adaptado de THARME (2003).	14
Figura 6 - Exemplo de gráfico de SPU em função de um caudal e diferentes fases da vida de uma espécie de peixe (ALVES; HENRIQUES, 1994).	19
Figura 7 - Curva de permanência.	28
Figura 8 - Barragem Hidroelétrica Alto Lindoso, com detalhe da descarga do caudal ecológico.	30
Figura 9 - O habitat total é uma composição do macro e micro-habitat. Adaptado de GOPAL (2013) e STALNAKER et al. (1995).	39
Figura 10 - Processo de determinação da superfície ponderada útil <i>versus</i> caudal. A) Dados de microhabitat num troço de curso de água; B) Índice de adequação de habitats; e C) Habitat físico disponível em relação ao caudal. Adaptado de STALNAKER <i>et al.</i> (1995).	42
Figura 11 - Método do perímetro molhado para estimar caudais. Adaptado de STALNAKER et al. (1995).	47
Figura 12 - Curvas perímetro molhado <i>versus</i> caudal para seções diferentes. Adaptado de CDFW (2013).	48
Figura 13 - Exemplo de regime de caudal construído usando blocos de construção. Adaptado de ACREMAN e DUNBAR (2004).	50
Figura 14 - Interface para acesso a base de dados do GEFC (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).	54
Figura 15 - Exemplo da apresentação das principais características hidrológicas (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).	54
Figura 16 - Exemplo da apresentação das diferentes curvas de permanência (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).	55
Figura 17 - Exemplo de série histórica para o caudal ecológico selecionado (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).	55
Figura 18 - Localização do Município de Mar de Espanha (VIBRAL, 2012).	58
Figura 19 - Projeto geral da central mini-hídrica Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).	59
Figura 20 - Modelo tridimensional da câmara de carga da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).	60

Figura 21 - Modelo tridimensional da barragem da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).	60
Figura 22 - Modelo tridimensional da casa das máquinas da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).	61
Figura 23 - Bacia hidrográfica do rio Cágado (VIBRAL, 2012).	63
Figura 24 - Localização das estações pluviométricas utilizadas na região da mini-hídrica Saudade (elaborado com auxílio do programa computacional Google Earth).	64
Figura 25 - Diagrama cronológico da precipitação anual das estações em estudo (VIBRAL, 2012).	65
Figura 26 - Bacia hidrográfica do aproveitamento Saudade sobreposta às isoietas (VIBRAL, 2012).	66
Figura 27 - Precipitações médias mensais - Estação Estevão Pinto de 1963 a 2009. Adaptado de VIBRAL (2012).	66
Figura 28 - Curva de vazão da estação Estevão Pinto.	68
Figura 29 - Curva de vazão da estação Bom Jardim.	68
Figura 30 - Hidrograma de período completo da estação Estevão Pinto - Caudais médios mensais.	69
Figura 31 - Caudais médios mensais para a estação Estevão Pinto de 1931 a 2017.	69
Figura 32 - Hidrograma de período completo da estação Bom Jardim - Caudais médios mensais.	70
Figura 33 - Caudais médios mensais para a estação de Bom Jardim de 1934 a 2017.	70
Figura 34 - Hidrograma de período completo para o aproveitamento Saudade - Caudais médios mensais.	72
Figura 35 - Caudais médios mensais para o aproveitamento de Saudade.	72
Figura 36 - Vista do rio Cágado no trecho correspondente ao caudal reduzido (VIBRAL, 2012).	73
Figura 37 - Espécies de peixes encontradas no rio Cágado. A) Lambari ( <i>Astyanax bimaculatus</i> ); B) Bocarra ( <i>Oligosarcus hepsetus</i> ); C) Cará ( <i>Geophagus brasiliensis</i> ); D) Cascudo ( <i>Hypostomus luetkeni</i> ); E) Piau-vermelho ( <i>Leporinus copelandii</i> ); F) Tilápia ( <i>Tilapia rendalli</i> ); G) Trairão ( <i>Hoplias lacerdae</i> ); e H) Barrigudinho ( <i>Phaloceros caudimaculatus</i> ). Adaptado de VIBRAL (2012).	74
Figura 38 - Índice de Qualidade da Água do rio Cágado no ponto CAG-03. Adaptado de VIBRAL (2012).	78
Figura 39 - Composição da comunidade fitoplanctônica no rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).	79
Figura 40 - Composição do zooplâncton no rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).	79
Figura 41 - Caudais mínimos por tempo de recorrência com distribuição Gumbel e Weibull.	81
Figura 42 - Curva de permanência de caudais diários da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	83

Figura 43 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de outubro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	84
Figura 44 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de novembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	84
Figura 45 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de dezembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	85
Figura 46 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de janeiro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	85
Figura 47 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de fevereiro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	86
Figura 48 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de março da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	86
Figura 49 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de abril da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	87
Figura 50 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de maio da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	87
Figura 51 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de junho da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	88
Figura 52 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de julho da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	88
Figura 53 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de agosto da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	89
Figura 54 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de setembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	89
Figura 55 - Curva de permanência de caudais diários para os meses de janeiro a dezembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.	90
Figura 56 - Principais características hidrológicas geradas pelo GEFC.	93
Figura 57 - Detalhe do gráfico gerado pelo GEFC contendo série histórica de caudais médios mensais para o período de 1932 a 2014.	93
Figura 58 - Detalhe do gráfico contendo a distribuição mensal dos caudais com registo do ano mais seco e mais húmido.	94
Figura 59 - Detalhe do gráfico gerado pelo GEFC contendo série histórica de caudais médios mensais para o período de 1932 a 2014.	94
Figura 60 - Detalhe da curva de permanência gerada pelo GEFC.	94
Figura 61 - Detalhe da estatística gerada pelo GEFC.	94
Figura 62 - Detalhe das curvas de permanência para cada classe EMC e do caudal natural do curso geradas pelo GEFC.	95
Figura 63 - Detalhe da escolha da “classe C”.	96

Figura 64 - Série histórica de caudais médios mensais ecológico e natural elaborada pelo GEFC.	96
Figura 65 - Localização das secções utilizadas no método do perímetro molhado.	98
Figura 66 - Detalhe da secção topobatimétrica 01 gerada pelo HEC-RAS.	99
Figura 67 - Variação do perímetro molhado versus caudal para a secção 01.	99
Figura 68 - Detalhe da secção topobatimétrica 02 gerada pelo HEC-RAS.	100
Figura 69 - Variação do perímetro molhado versus caudal para a secção 02.	100
Figura 70 - Detalhe da secção topobatimétrica 03 gerada pelo HEC-RAS.	101
Figura 71 - Variação do perímetro molhado versus caudal para a secção 03.	101
Figura 72 - Válvula dispersora em funcionamento.	102
Figura 73 - Possibilidades para implantação de uma válvula dispersora (HYDROSTEC, 2018).	103
Figura 74 - Caudais ecológicos resultantes obtidos após a aplicação de cada método no estudo de caso.	106
Figura 75 - Preço médio da energia elétrica no mercado em Portugal Continental em 12 de abril de 2018. Adaptado de OMIE (2018).	108
Figura 76 - Variação do caudal versus potência para o 70% $Q_{7,10}$ gerado pelo CASiMiR.	109
Figura 77 - Variação do caudal versus potência para o $Q_{7,10}$ gerado pelo CASiMiR.	110
Figura 78 - Variação do caudal versus potência para Tennant gerado pelo CASiMiR.	110
Figura 79 - Variação do caudal versus potência para o perímetro molhado gerado pelo CASiMiR.	111
Figura 80 - Variação do caudal versus potência para o $Q_{95}$ gerado pelo CASiMiR.	111
Figura 81 - Variação do caudal versus potência para o $Q_{90}$ gerado pelo CASiMiR.	112
Figura 82 - Variação do caudal versus potência para o INAG gerado pelo CASiMiR.	112
Figura 83 - Variação do caudal versus potência para o GEFC gerado pelo CASiMiR.	113
Figura 84 - Gráfico benefícios versus caudais. Adaptado de BENETTI et al. (2003 apud GILLILAN e BROWN, 1997).	115

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - População no mundo e regiões, 2017, 2030, 2050 e 2100 (UNITED NATIONS, 2017).	1
Tabela 2 - Resumo dos métodos hidrológicos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).	16
Tabela 3 - Resumo dos métodos hidráulicos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).	18
Tabela 4 - Resumo dos métodos de classificação de habitat mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).	20
Tabela 5 - Resumo dos métodos holísticos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).	22
Tabela 6 - Métodos para determinação de caudal ecológico nos Estados brasileiros. Adaptado de PINTO et al. (2016).	24
Tabela 7 - Critérios para a definição de regimes de caudal ecológico. Adaptado de ALVES e BERNARDO (2003).	36
Tabela 8 - Principais exemplos de métodos reconhecidos por Instituições/Organizações com atuação a nível global. Atualizado e adaptado de GOPAL (2013).	43
Tabela 9 - Regime de caudais recomendados pelo Método de Tennant. Adaptado de TENNANT (1976).	45
Tabela 10 - Regime de caudais recomendados pelo Método de Tennant “Modificado” para o Brasil (região sudeste) e Portugal Continental (bacias hidrográficas internacionais). Adaptado de ALVES (2010).	46
Tabela 11 - Environmental Management Classes. Adaptado de ACREMAN e DUNBAR (2004), GOPAL (2013) e SMAKHTIN e ERIYAGAMA (2008).	52
Tabela 12 - Resumo dos principais dados da mini-hídrica de Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).	61
Tabela 13 - Principais características fisiográficas da bacia do rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).	62
Tabela 14 - Precipitações totais médias por estação de 1963 a 2009 (VIBRAL, 2012).	64
Tabela 15 - Principais dados das estações fluviométricas utilizadas no estudo. Adaptado de VIBRAL (2012).	67
Tabela 16 - Área de drenagem do aproveitamento e do rio Cágado (VIBRAL, 2012).	71
Tabela 17 - Fatores de transposição de caudal (VIBRAL, 2012).	71
Tabela 18 - Resumo hidrológico do aproveitamento Saudade (VIBRAL, 2012).	73
Tabela 19 - Espécies de peixes identificadas no rio Cágado na área de influência do aproveitamento Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).	75

Tabela 20 - Principais informações obtidas no sítio de recolha I <sub>3</sub> . Adaptado de VIBRAL (2012).	76
Tabela 21 - Resultados das análises físico-químicas para o ponto CAG-03. Adaptado de VIBRAL (2012).	77
Tabela 22 - Caudais médios de sete dias consecutivos mínimos.	80
Tabela 23 - Caudais mínimos por tempo de recorrência com distribuição de Gumbel e Weibull.	81
Tabela 24 - Permanência de caudais no aproveitamento Saudade.	82
Tabela 25 - Escala do regime de caudais ecológicos com base no método INAG.	91
Tabela 26 - Valores considerados pelo método de Tennant (adaptado ao caso da mini-hídrica Saudade).	92
Tabela 27 - Comparação entre os caudais ecológicos obtidos após a aplicação de cada método no estudo.	105
Tabela 28 - Rendimentos eletromecânicos da mini-hídrica Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).	108
Tabela 29 - Principais resultados apurados após as simulações no CASiMiR.	109
Tabela 30 - Potência instalada ajustada para cada volume de caudal ecológico calculado.	113

## Siglas e Acrónimos

3D	Três dimensões
AAF	Average Annual Flow
ABF	<i>Aquatic Base Flow</i>
AH	Aproveitamento Hidroelétrico
AHE	Aproveitamento Hidroelétrico
AIA	Avaliação de Impacte Ambiental
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BBM	<i>Building Block Methodology</i>
CASiMiR	<i>Computer Aided Simulation Model for Instream Flow and Riparia</i>
CCEFN	<i>Consensus Criteria for Environmental Flow Needs</i>
CPWF	<i>Challenge Program on Water and Food</i>
DFA	<i>Demonstration Flow Assessment</i>
DMQ	Desvio Médio Quadrático
DQA	Diretiva Quadro da Água
DRIFT	<i>Downstream Response to Imposed Flow Transformations</i>
DSP	Direcção de Serviços de Planeamento
EIA	Estudo de Impacte Ambiental
EMC	<i>Environmental Management Classes</i>
EUA	Estados Unidos da América
GEFC	<i>Global Environmental Flow Calculator</i>
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
HSC	<i>Habitat Suitability Curves</i>
IAH	Indicadores de Alteração Hidrológica
IBI	<i>Index of Biotic Integrity</i>
IFIM	<i>Instream Flow Incremental Methodology</i>
INAG	Instituto da Água
IQA	Índice de Qualidade de Água
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
IWMI	<i>International Water Management Institute</i>
MAF	<i>Mean Annual Flow</i>
MAR	<i>Mean Annual Runoff</i>
MPM	Método do Perímetro Molhado
NGPRP	<i>Northern Great Plains Resource Program</i>
OFM	<i>One Flow Method</i>
ONGs	Organizações Não Governamentais

PCH	Pequena Central Hidroelétrica
PHABSIM	<i>Physical HABitat Simulation System</i>
RAS	<i>River Analysis System</i>
RCHARC	<i>Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept</i>
RECAPE	Relatórios de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução
RHABSIM	<i>River HABitat SIMulation</i>
RHYHABSIM	<i>River HYdraulic HABitat SIMulation</i>
RMA2	<i>Riverine Modeling Aquaveo</i>
RVA	<i>Range of Variability Approach</i>
SAD-69	<i>South American Datum - 1969</i>
SEFA	<i>System for Environmental Flow Analysis</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIWI	<i>Stockholm International Water Institute</i>
SPU	Superfície Ponderada Útil
UBI	Universidade da Beira Interior
UE	União Europeia
US	<i>United States</i>
USFWS	<i>United States Fish and Wildlife Service</i>
VIBRAL	Construtora Vibrál Ltda.
WRC	<i>Water Research Commission</i>
WUA	<i>Weighted Usable Ar</i>

## Simbologia

€	Euro
Ad	Área de drenagem
Ad <sub>EST</sub>	Área de drenagem da estação de referência
Ad <sub>SAUD</sub>	Área de drenagem do aproveitamento Saudade
F(x)	Probabilidade de não excedência
FC	Fator de Capacidade
FT	Fator de Transposição
GWh	Gigawatt-hora
Kc	Coefficiente de Compacidade
Kf	Coefficiente de Forma
kW	Quilowatt
m	posição de cada valor da série agrupados numa ordenação crescente
MCM	<i>Milion Cubic Metre</i>
MWh	Megawatt-hora
N	Número total de elementos da amostra
q	Caudal específico
Q <sub>25</sub>	Caudal associado à permanência de 25% no tempo
Q <sub>50</sub>	Caudal associado à permanência de 50% no tempo
Q <sub>7</sub>	<i>Caudal médio</i> de um período de sete dias consecutivos
Q <sub>7,10</sub> ou 7Q <sub>10</sub>	Caudal <i>médio</i> de um período de 7 dias consecutivos associado a um período de retorno de 10 anos
Q <sub>75</sub>	Caudal associado à permanência de 75% no tempo
Q <sub>90</sub>	Caudal associado à permanência de 90% no tempo
Q <sub>95</sub>	Caudal associado à permanência de 95% no tempo
Q <sub>98</sub>	Caudal associado à permanência de 98% no tempo
Q <sub>ECO</sub>	Caudal ecológico
Q <sub>EST</sub>	Caudal da estação de referência
Q <sub>MED</sub>	Caudal médio
Q <sub>MOD</sub>	Caudal médio anual ou módulo anual
Q <sub>SAU</sub>	Caudal transposto para o aproveitamento Saudade
Q <sub>T</sub>	Caudal transposto
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
T	Período de retorno
Δt	Varição em dado período de tempo
ΔV	Varição de dado volume



# 1. Introdução geral

É consensual a importância da água como recurso natural e suas funções vitais para todos os seres vivos. Especificamente no ambiente humano é elemento necessário, não se limitando, ao desenvolvimento econômico e social, dessedentação e alimentação, lazer, conservação da saúde pública e da estabilidade ecológica. Precisar o uso racional dos recursos hídricos de forma a manter harmonia na coexistência das inúmeras procuras ou, ao menos, sem grandes prejuízos do uso para certa situação em detrimento de outras, tem sido um grande desafio em nível global.

Mesmo em um cenário de inúmeros países com baixa natalidade, a presente taxa de crescimento da população mundial (Tabela 1) permite estimar que no ano de 2050 existirão cerca de 9,8 mil milhões de pessoas (UNITED NATIONS, 2017), o que indica não haver qualquer tendência de diminuição ou manutenção na atual procura por água para atender a todas as necessidades dessas pessoas. Ao se considerar que, por outro lado, o uso sistemático, irracional e não consciente desse recurso pelas sociedades ao longo dos tempos gera como resultado a contaminação e esgotamento das fontes disponíveis, tem-se estabelecida uma situação nada salutar e extremamente instável. Projeções futuras já apontam que o significativo declínio na disponibilidade e quantidade de água utilizável resultará em efeitos danosos sobre a saúde humana e na atividade econômica, o que acarretará situação de risco social (SCHWAB, 2017).

Tabela 1 - População no mundo e regiões, 2017, 2030, 2050 e 2100 (UNITED NATIONS, 2017).

Região	População (Milhões)			
	2017	2030	2050	2100
Mundo	7 550	8 551	9 772	11 184
África	1 256	1 704	2 528	4 468
Ásia	4 504	4 947	5 257	4 780
Europa	742	739	716	653
América Latina e Caraíbas	646	718	780	712
América do Norte	361	395	435	499
Oceânia	41	48	57	72

Em adição e de forma conjunta ao elemento hídrico existe a também importante questão da necessidade de redução da emissão de gases que causam o chamado “efeito estufa”. As matérias têm sido alvo de discussão nos meios acadêmicos e científico há várias décadas, mas ganharam repercussão mundial e contorno de cooperação entre as diversas nações a partir da Cimeira do Verão de 1992, também chamada “Eco-92” ou “Rio 92”, realizada na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. A cimeira produziu como resultado o documento intitulado de “Agenda 21” no qual cada país participante se comprometeu a refletir e envolver todos os setores de sua

sociedade no estudo de soluções para os problemas resultantes das alterações climáticas e socioambientais nele expresso. Dentre esses, a proteção da qualidade e suprimento de água através da aplicação de ações de desenvolvimento e gestão para o uso das fontes hídricas (UNITED NATIONS, 1992). Também, houve consenso no que tange a necessidade da diminuição na emissão de gases com efeito estufa e, para tal efeito, não se poderia ter um desenvolvimento sustentável sem o uso de fontes de energia renováveis. Nesse sentido, ficou estabelecido o objetivo de cada país formular programas nacionais para o desenvolvimento de energias renováveis, particularmente no uso de solar, hídrica, eólica e biomassa (UNITED NATIONS, 1992).

Apesar da Rio 92 ter ficado restrita a propostas ou sugestões, com isso sem qualquer comprometimento de facto em relação a metas e prazos por parte dos países que a ratificaram, essa cimeira serviu de alicerce ao desenvolvimento de políticas efetivas para a preservação socioambiental seja a nível mundial, como o Protocolo de Quioto (expirado em 2012), ou localmente (ver Figura 1) como a Política Climática da União Europeia 2020 (PARLAMENTO EUROPEU, 2009), a Diretiva Europeia Quadro da Água (PARLAMENTO EUROPEU, 2000), a Política Nacional sobre Mudanças do Clima no Brasil (BRASIL, 2009) ou, ainda, a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Essas são exemplos de algumas das inúmeras políticas existentes no mundo que procuram o desenvolvimento económico e social concomitantemente ao uso consciente dos recursos naturais e à preservação do meio ambiente.

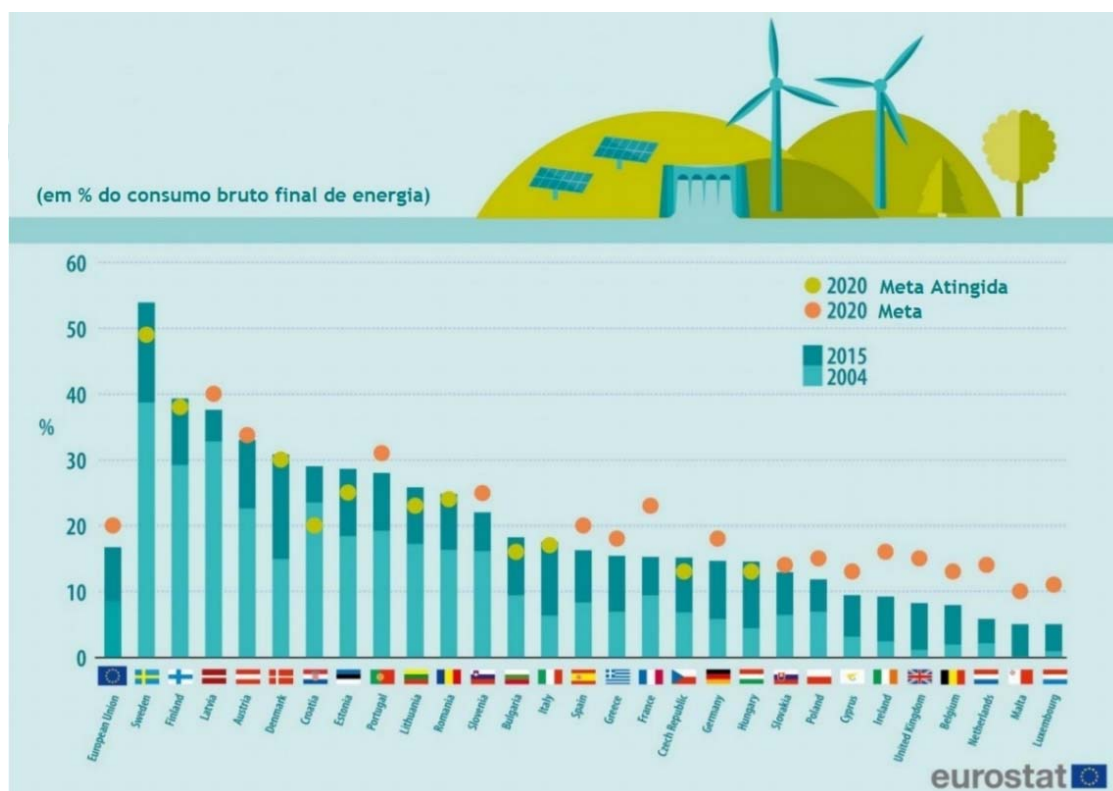


Figura 1 - Meta de energias renováveis na União Europeia para 2020 (DIAZ ALONSO, 2017).

Nesse contexto, para se atingir parte das metas propostas, necessariamente deve haver a readequação das matrizes energéticas através do gradual aumento da utilização de energias renováveis e limpas. Dentre as opções disponíveis destaca-se a produção hidroelétrica como a alternativa tradicional que agrega maior segurança energética em virtude de ser aquela que usualmente apresenta grande disponibilidade histórica de dados hidrológicos, o que confere uma maior previsibilidade, e existem cerca de 10 mil barragens com esse fim em todo o mundo (ICOLD, 2018a).

Entretanto, se faz ressalva que o facto de a produção hidroelétrica se valer de uma fonte renovável e limpa, uma vez que a água do rio que passa pelas turbinas retorna ao leito fluvial, por si só não significa necessariamente que seja uma opção que deixe de oferecer riscos e danos ao meio ambiente. Prova maior reside na constatação de já na etapa de implantação de uma central hidroelétrica, que no seu projeto tradicional procura a construção não somente da barragem e sua albufeira, mas de todo o circuito de adução até à central (ver Figura 2), possuir para essa curta fase que dura em média três anos, inúmeros procedimentos e acompanhamentos específicos e pontuais tanto mitigatórios quanto compensatórios no que tange ao meio ambiente. Porém, versando especificamente sobre a fase de operação das centrais hidroelétricas, essa que remete a longos períodos que se estendem tanto quanto o da própria vida útil da central, é que se pode observar o resultado da pressão continuada que esse tipo de intervenção impõe ao meio onde se inserem. Uma consequência típica pode ser identificada justamente durante a operação de centrais, onde com a decorrente adução do volume de água necessário para tal feito, o troço de rio localizado imediatamente a jusante do eixo da barragem e ou reservatório e a montante da central é tido como crítico devido à redução drástica de seu caudal natural sendo, inclusive, o mesmo denominado de troço de caudal reduzido.

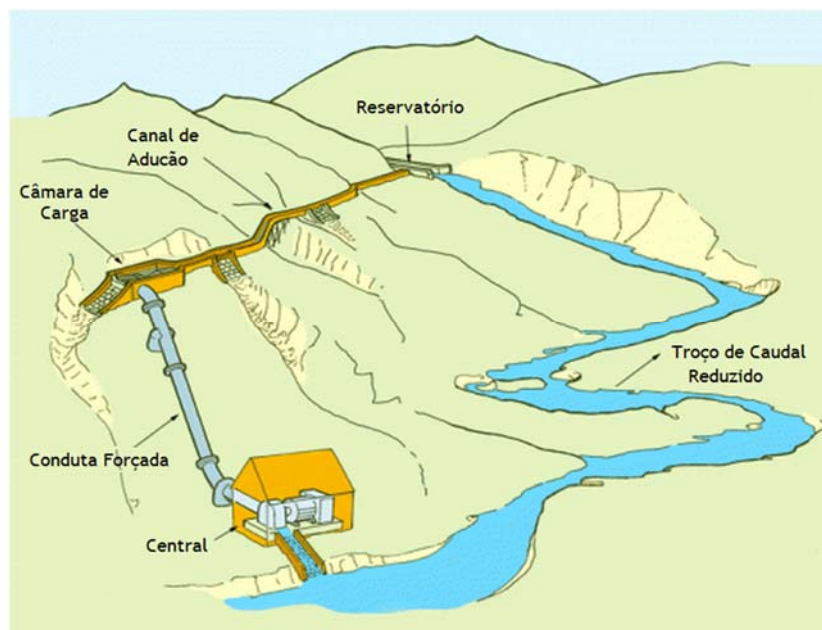


Figura 2 - Projeto típico de uma central mini-hídrica. Adaptado de PINTO (2013).

Em tempo, ainda tratando sobre a esfera ambiental, é conhecido que parte do impacto que a implantação de centrais hidroelétricas causa no meio ambiente tem sido mitigado durante as últimas décadas através da aplicação de uma série de medidas resultantes do aprimoramento de estudos e avanços tecnológicos na área, sejam ecológicos ou construtivos como a melhoria no rendimento dos equipamentos eletromecânicos e uso de betões de elevado desempenho. Em adição, muito da redução somente se deu diretamente pelo aumento de políticas restritivas e de exigências ambientais impostas ao nível governamental em todo o mundo, o que ajuda a explicar o crescimento exponencial pela opção da descentralização da produção hidroelétrica através da construção de centrais menores em detrimento daquelas com uso de barragens de grande porte, altura superior a 15 metros e com albufeiras de capacidade superior a 3 milhões de metros cúbicos (ICOLD, 2011). Essa tendência pode ser verificada, por exemplo, nos Estados Unidos da América (EUA) (ver Figura 3) onde praticamente desde o início do presente século não são construídas centrais hidroelétricas de grande porte (MARTÍNEZ et al., 2015).

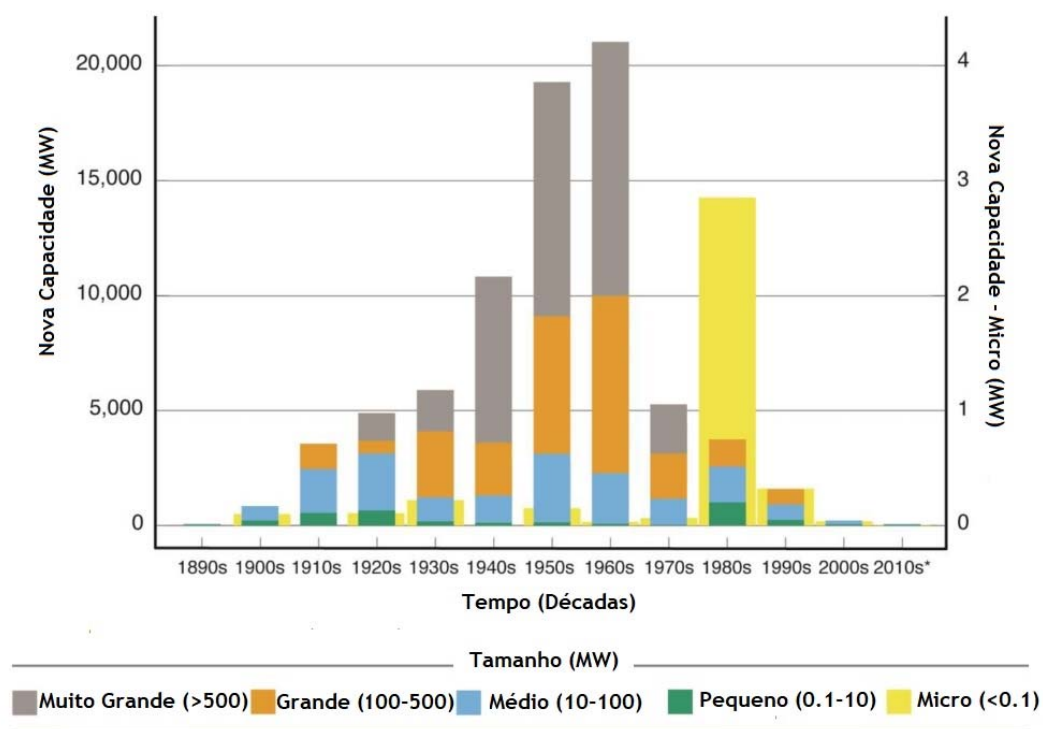


Figura 3 - Implantação de hidroelétricas nos EUA. Adaptado de MARTÍNEZ *et al.* (2015).

Porém, independentemente das “ferramentas” mitigatórias atualmente existentes e do porte da central hidroelétrica, a qual pode ser até mesmo uma central mini-hídrica sem albufeira que aproveite a energia dos caudais fluviais em regime natural, sem reservatório para regularização do caudal, chamada de central a fio de água, existe a problemática comum sobre o impacto no meio ambiente causado pela constituição do troço de caudal reduzido durante a fase de operação.

Cabe-se salientar que as funções da água, externadas no início do presente Capítulo, dependem da conservação de suas características hidrológica, química, morfológica e ecológica, as quais devem ser resguardadas para manter-se em equilíbrio durante a sua utilização seja essa para produção hidroelétrica, abastecimento, irrigação, lazer, dessedentação ou outros. Quando esse equilíbrio é rompido, grandes perdas ambientais e sociais são instituídas.

Portanto, para a questão em específico dos troços de caudal reduzido originados com a produção hidroelétrica de qualquer porte, uma das variáveis de grande peso para possibilitar a continuidade dessas funções inerentes à água é obrigatoriamente a manutenção de um caudal mínimo suficiente para manter a proteção do ecossistema aquático (THARME, 2003). Na literatura mundial esse caudal mínimo tem sido intitulado de várias maneiras, mas figurando em um espectro maior como Caudal Ecológico (ALVES; HENRIQUES, 1994) ou na terminologia anglo-saxónica como “*Environmental Flow*” (BROWN; KING, 2003).

A procura por uma metodologia isenta para a determinação desse caudal ecológico de forma a resguardar a coexistência entre a necessidade do uso da água para a produção hidroelétrica e a harmonia com a proteção do ecossistema aquático, permitindo o correto fomento para o desenvolvimento económico e social sustentável através de fonte de energia renovável, tem gerado inúmeras, por vezes complexas, alternativas há décadas e se mostrado um grande desafio a nível global, como aqui já expresso.

## 1.1 O caudal ecológico

Não há uma definição universal para caudal ecológico (IWMI, 2004) existindo inúmeras definições entre os autores mais conceituados, instituições e organizações que estudam do tema, a saber:

- Conforme apresentado em linhas gerais no ponto introdutório, o caudal ecológico refere-se àquele caudal mínimo suficiente para manter a proteção do ecossistema aquático (THARME, 2003);

- Numa definição mais cuidadosa, apresentada por ALVES e HENRIQUES (1994 *apud* GORDON *et al.*, 1992; WESCHE e RECHARD, 1980), refere-se que o caudal ecológico tem por objetivo satisfazer as necessidades dos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos, consubstanciando-se num conjunto de caudais mínimos a manter no curso de água que permite assegurar a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, a produção das espécies com interesse desportivo ou comercial, assim como a conservação e a manutenção dos ecossistemas ripícolas, dos aspetos estéticos da paisagem ou outros de interesse científico e cultural;

- Os caudais ecológicos descrevem a quantidade, o tempo e a qualidade dos caudais de água necessários para sustentar água potável, ecossistemas de estuários e os meios de subsistência e bem estar humanos que dependem desses ecossistemas (BRISBANE DECLARATION, 2007);

- Caudal ecológico é definido como o regime de água fornecido ao rio, zona húmida ou zona costeira para manter os ecossistemas e seus benefícios, onde existem utilizações simultâneas da água e onde os caudais são regulados (DYSON et al., 2008);

- Os caudais ecológicos podem ser descritos como: a qualidade, a quantidade e o tempo dos caudais necessários para manter os componentes, funções, processos e resiliência dos ecossistemas aquáticos que fornecem bens e serviços à sociedade (HIRJI; DAVIS, 2009);

- Os caudais ecológicos têm como objetivo manutenção ou recuperação parcial de características importantes do regime de escoamento natural necessários para manter ou restaurar os componentes biofísicos e os processos ecológicos dos sistemas de contribuintes, água subterrânea, planícies de inundação e procuras a jusante (ARTHINGTON et al., 2003);

- Os caudais ecológicos são a provisão de água para ecossistemas dependentes de água fresca para manter sua integridade, produtividade, serviços e benefícios nos casos em que tais ecossistemas estão sujeitos à regulação do caudal e na concorrência de múltiplos usuários de água (IWMI, 2004); e

- O caudal ecológico é um termo abrangente em relação a todos os componentes do rio, é dinâmico ao longo do tempo, leva em conta a necessidade de variabilidade do caudal natural e aborda questões sociais e económicas, bem como biofísicas (BROWN; KING, 2003).

De pronto, ressalva-se ser importante distinguir o caudal ecológico de outros como, por exemplo, caudais remanescente, ambiental e mínimo os quais, não raramente em virtude da sua similaridade, são utilizados como sinónimos para o caudal ecológico, mas ao fim podem apresentar conceitos um pouco diferentes entre os autores, conforme expresso a seguir:

- Caudal remanescente ou residual: é o caudal mínimo que deve permanecer no troço de água após a concessão de todos os usos consuntivos, corresponde a um valor fixo mínimo que deve atender a um percentual de um caudal de referência (PINTO et al., 2016);

- Caudal ambiental: é o caudal resultante de uma análise mais ampla, pois explicita a inclusão de elementos sociais, económicos e a consequência dos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos (PINTO et al., 2016). Caudal que forneça contribuição à saúde do rio, desenvolvimento económico e alívio da pobreza (DYSON et al., 2008). O conjunto de caudais de limpeza, manutenção e ecológico definem o regime de caudais ambientais (ALVES; BERNARDO, 2003); e

- Caudal mínimo: termo geral utilizado para descrever o caudal necessário para manter apenas parte das condições necessárias ao ecossistema de um rio (BROWN; KING, 2003) (HIRJI; DAVIS, 2009). Caudal existente no rio durante prolongada estação seca (SMAKHTIN, 2001).

No presente trabalho os três termos anteriormente pormenorizados não serão, dentro do possível, utilizados privilegiando a terminologia “clássica” caudal ecológico quando referenciado ao meio ambiente.

As definições apresentadas no início do presente Capítulo podem ser consideradas um tanto generalistas por expressarem a necessidade da manutenção de um caudal ecológico para conservação dos ecossistemas aquáticos sem identificar quaisquer elementos que devam efetivamente ser considerados na composição desse caudal e que, portanto, suportem a conservação do ecossistema aquático.

Para procurar essa identificação deve-se considerar que não há dois rios exatamente iguais e nenhuma teoria por si só abrange o grande número de interações biofísicas e respostas a distúrbios naturais e humanos que tornam cada rio único. No entanto, princípios fundamentais aplicam-se (STANFORD et al., 1996). A sensibilidade, a resistência e a resiliência de bacias hidrográficas à alteração humana podem ser melhor representadas por métricas de heterogeneidade espaciotemporal das condições do habitat biofísico como escoamento, sedimentação, temperatura e nutrientes (MCCLUNEY et al., 2014). A alteração do escoamento, do sedimento, da matéria orgânica e dos regimes térmicos interagem para reduzir a diversidade biológica e a integridade ecológica dos ecossistemas de água doce e assim degradar as propriedades e os serviços ecológicos mais valorizados pelos seres humanos - caudais ecológicos deixados em rios ou restaurados para o desenvolvimento de rios, sustentarão muitos valores ecológicos e sociais (ARTHINGTON et al., 2010). Segundo PALMER *et al.* (2014) a montante ou no troço de rio em objeto, métricas físicas como pH, oxigênio e poluentes químicos são elementos a serem considerados. Acrescentando, BENETTI *et al.* (2003) analisa o escoamento, a temperatura, o oxigênio e acrescenta aos fatores físicos anteriores a observação do substrato do leito fluvial, bem como considerações sobre a forma de pressão desses elementos nos ecossistemas aquáticos conforme resumido a seguir:

- Escoamento: o escoamento transporta nutrientes e remove dejetos, além de refletir uma condição de adaptabilidade e distribuição de espécies aquáticas em virtude do fato de algumas estarem harmonizadas a viver exclusivamente em zonas de rios com escoamento mais rápido enquanto outras em zonas de escoamento mais lento;

- Substrato: inúmeros organismos aquáticos apresentam afinidades com tipos específicos de substratos, condição que atua diretamente na quantidade e distribuição dessas espécies. Por

exemplo, como normalmente se observa um substrato composto por pedras e pedregulhos no leito de rios situados em regiões montanhosas ou de nascente e leitos arenosos em regiões planas ou da foz, algumas espécies de peixes utilizam a primeira região por essa ser mais favorável à desova;

- Temperatura: afeta o metabolismo dos organismos, regulando muitas atividades do ciclo de vida como o acasalamento, reprodução, desenvolvimento de ovos e crescimento. Portanto, a faixa de variação da temperatura deve ser aquela que confira viabilidade a esse ciclo de vida, consequentemente mantendo a sobrevivência da espécie; e

- Oxigênio: trata-se de um elemento limitante da ictiofauna e que depende do escoamento para que esse renove a água conferindo o gradiente na concentração de oxigênio dissolvido e necessário a vida dos peixes. Sua solubilidade decresce com o aumento da temperatura influenciando nas atividades metabólicas dos peixes, os quais como resultando possuem maior *stress* em águas com temperaturas elevadas do que em águas com temperaturas mais frias.

BUNN e ARTHINGTON (2002) referem que mudanças nos caudais influenciam os ecossistemas aquáticos de quatro formas básicas:

- Moldando novos habitats no leito fluvial como piscinas, corredeiras e ilhas, afetando assim a diversidade física necessária para suportar diversas comunidades aquáticas;

- Influenciando os processos do ciclo da vida, pois existem espécies aquáticas que dependem de condições específicas de escoamento durante os estágios da vida, como a reprodução;

- Alterando a mobilidade de espécies que precisam se movimentar a montante ou a jusante do rio durante o ciclo de vida, como o caso de espécies de peixes migratórios; e

- Criando condições propícias para a invasão de espécies exóticas e introduzidas.

Por fim, deixando a subjetividade por vezes inerente à parte conceitual e tratando da determinação do caudal ecológico, o que vai tornar realidade produtiva uma referência específica de caudal a ser mantida no leito fluvial, segundo THARME (2003) existem ao menos 207 diferentes métodos, inseridos em várias categorias e com registro de uso em 44 países, para tal efeito. Em virtude da complexidade da matéria, que advém muito pela ausência de um padrão global, as metodologias serão abordadas de maneira mais discricionária ao longo dos Capítulos subsequentes.

## 1.2 Justificativa e objetivos

Existe um cenário estabelecido em que a necessidade de se aumentar a participação das fontes de energia renováveis na composição da matriz energética mundial para fomentar um desenvolvimento económico e social sustentável, em estrito respeito com o meio ambiente, bem como de elemento atenuante para as alterações climáticas, confronta-se com a pressão da procura pelos usos de recursos naturais gerada pelo inerente crescimento da população mundial. Por essa situação conflituosa se tornar mais latente para a produção hidroelétrica ao ser essa uma fonte de energia que compete no uso da água perante inúmeras outras procuras da sociedade e meio ambiente, existem ao redor do mundo centenas de metodologias que se propõem a estabelecer certos limites para esse uso. Entretanto, mesmo sendo metodologias que em comum possuam o facto de procurar a harmonia entre as necessidades, na maioria das vezes são métodos que diferem sensivelmente entre si quanto aos resultados por não se alicerçarem em bases padronizadas, o que acarreta incertezas. Nesse sentido, o presente trabalho justifica-se ao realizar investigação que forneça como resultado elementos práticos para mensurar o impacto que diferentes métodos podem implicar no domínio hidroelétrico e auxiliar nos processos de tomada de decisão dentro da gestão dos recursos hídricos.

O trabalho tem como objetivo geral identificar as principais metodologias utilizadas para a determinação do caudal ecológico no Brasil e em Portugal Continental, bem como outros métodos adotados num cenário global. Sob um prisma específico, utilizando como estudo de caso os dados da central mini-hídrica Saudade, no Estado de Minas Gerais, Brasil, o trabalho procurará comparar os impactos na produção hidroelétrica de cada caudal ecológico resultante da aplicação dos métodos do caudal médio para um período de 7 dias consecutivos associado a um período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), Tennant, curva de permanência, perímetro molhado, Instituto da Água (INAG) e *Global Environmental Flow Calculator* (GEFC).

## 1.3 Organização do trabalho

Para dar resposta aos objetivos atrás referidos, estruturou-se esta dissertação em oito Capítulos e Anexos, a saber: Introdução geral; Metodologias para a avaliação de caudais ecológicos; Principais metodologias utilizadas no Brasil; Principais metodologias utilizadas em Portugal Continental; Outras metodologias com aplicação no cenário Global; Determinação de caudais ecológicos - Estudo de caso; Resultados e discussão das diferentes metodologias no estudo; Resultados e discussão sobre o custo energético das diferentes metodologias do estudo; Conclusões e recomendação para futuro trabalho; e Anexos.

No Capítulo 1 (Introdução geral) é realizada uma descrição geral não somente sobre o tema do trabalho, mas também do contexto global que o faz relevante, da justificação do tema e a organização do trabalho.

No Capítulo 2 (Metodologias para a avaliação de caudais ecológicos) são abordadas as classificações conhecidas e dessas é tratada especificamente aquela que mais comumente é adotada em todo o mundo e que versa sobre metodologias para determinação de caudais ecológicos inseridas em quatro distintos grupos: métodos hidrológicos, hidráulicos, de classificação de habitats e holísticos.

No Capítulo 3 (Principais metodologias utilizadas no Brasil) é realizada uma exposição geral sobre a legislação brasileira aplicada no intuito de regular o caudal ecológico, bem como exposição e definição dos métodos amplamente utilizados no Brasil.

No Capítulo 4 (Principais metodologias utilizadas em Portugal Continental), de maneira análoga ao Capítulo anterior, é apresentado o que diz a legislação portuguesa sobre caudal ecológico e também feita uma exposição e definição de métodos com histórico de utilização em Portugal.

No Capítulo 5 (Outras metodologias com aplicação no cenário Global), de forma complementar, apresentam-se outras metodologias não abordadas ainda no trabalho, mas que são aceitas no ambiente das principais organizações e ou instituições mundiais que tradicionalmente estudam o assunto, nomeadamente: o *International Water Management Institute* (IWMI), *World Bank* e *International Union for Conservation of Nature* (IUCN).

No Capítulo 6 (Determinação de caudais ecológicos - Estudo de caso), utilizando como estudo de caso os dados da central mini-hídrica Saudade, concedida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil em favor da concessionária Construtora Vibrat Ltda. (VIBRAL), são determinados os valores de caudais ecológicos resultantes da aplicação dos métodos  $Q_{7,10}$ , Tennant, curva de permanência, perímetro molhado, INAG e GEFC.

No Capítulo 7 (Resultados e discussão sobre o custo energético das diferentes metodologias do estudo) estuda-se o custo de cada caudal resultante numa variação anual e durante todo o período de concessão do aproveitamento hidroelétrico para, na sequência, realizar análise sobre o impacto das metodologias aplicadas.

No Capítulo 8 (Conclusões e recomendação para futuro trabalho) são descritos de forma sucinta as principais conclusões inferidas ao longo da dissertação e, face a aspeto que de modo inequívoco ficou por resolver, propõe-se sugestão para a elaboração de futuro trabalho no âmbito da temática de caudais ecológicos.

Nos Anexos são apresentados: a) tabelas contendo os caudais médios mensais relativos ao aproveitamento de Saudade e as estações fluviométricas utilizadas como referência no trabalho; b) Secções contendo levantamento topobatimétricos; e c) memórias de cálculo geradas após simulação pelo programa computacional CASiMiR.



## 2. Metodologias para a avaliação de caudais ecológicos

### 2.1 Introdução

O desenvolvimento, ainda que embrionário, de metodologias para determinação de caudais ecológicos começou no final da década de 40 do século passado no oeste dos EUA, mais precisamente na Califórnia para atender à proteção das espécies salmonídeas (THARME, 2003). Entretanto, de forma intensa, o progresso nessa área deu-se nesse mesmo país durante a década de 70 em resposta à evolução das legislações ambientais criando condições para, entre as décadas de 70 e 80 (ver Figura 4), começarem a surgir metodologias sintonizadas com os avanços teóricos da ecologia dos rios (LONGHI; FORMIGA, 2011). As metodologias para determinação de caudais ecológicos ganharam espaço em outros países a partir da década de 80, nomeadamente na Austrália, Inglaterra, Nova Zelândia e África do Sul ou posteriormente, no Brasil, Portugal e Japão (THARME, 2003).

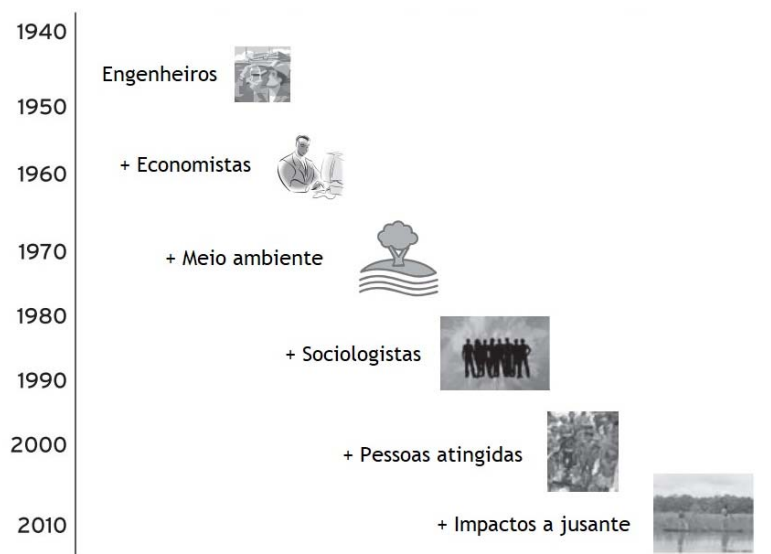


Figura 4 - Evolução das influências no planeamento de barragens. Adaptado de HIRJI e DAVIS (2009).

Ao longo dos anos, com a evolução do tema através de diferentes agentes em todo o mundo que consideraram um número cada vez maior de fatores na avaliação dos caudais ecológicos (ver Figura 4), surgiram vários grupos ou categorias de classificação e, dentre os mais representativos, salientam-se:

- STALNAKER *et al.* (1995) que classifica em três grupos: técnicas de fixação de padrões, técnicas intermediárias e técnicas incrementais;

- JOWETT (1997) que divide em três categorias: histórico do regime de caudais, hidráulica e habitat;

- BROWN e KING (2003) que divide em quatro categorias: métodos de índice hidrológico, métodos de avaliação hidráulica, painéis de especialistas e abordagens holistas;

- ACREMAN e DUNBAR (2004) indica que as aproximações desenvolvidas em vários países podem ser divididas em quatro categorias: consulta a tabelas, análise de dados, análise funcional e modelagem de habitat hidráulico.

Por fim, a classificação mais largamente utilizada em todo o mundo, por essa razão ter-se tornado referência no presente trabalho, foi apresentada por THARME (2003) como sendo o agrupamento mais razoável e que se resume em quatro distintas categorias de métodos: hidrológicos, hidráulicos, de classificação de habitat e holísticos.

Como já mencionado neste trabalho, com base no amplo levantamento elaborado por THARME (2003), foram identificados 207 métodos diferentes (ver Figura 5) com registo de utilização em 44 países e pode-se inferir que atualmente o número tenha aumentado expressivamente em virtude do interesse pelo tema e da facilidade de acesso à informação.

Para um melhor entendimento, cada uma das categorias propostas por THARME (2003) serão pormenorizados ao longo das Secções deste Capítulo.

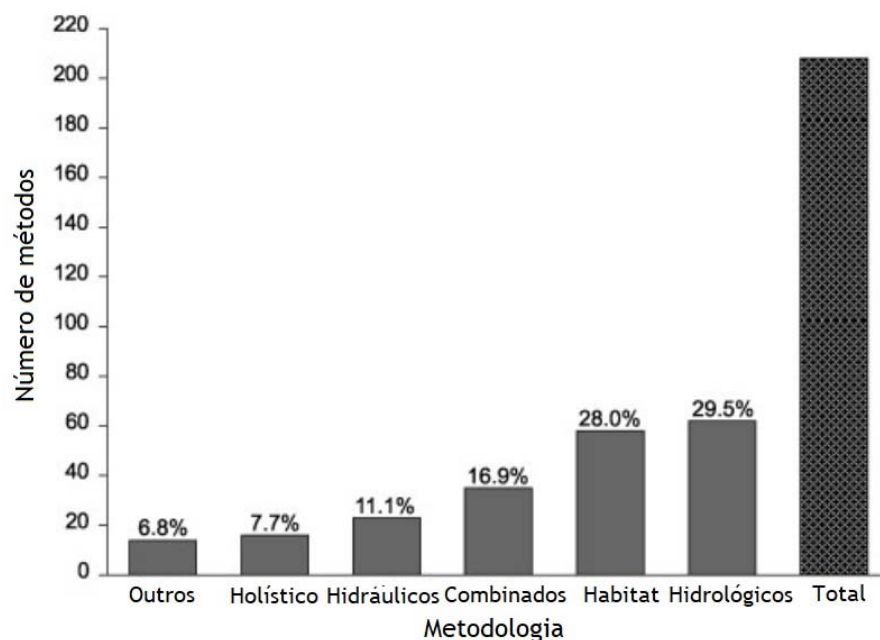


Figura 5 - Percentagem de cada metodologia em relação ao total. Adaptado de THARME (2003).

## 2.2 Métodos hidrológicos

São métodos representativos da categoria mais utilizada no mundo, cerca de 30%, relativamente simples e fáceis de aplicar, recorrendo exclusivamente a dados hidrológicos como séries históricas de caudais diários ou mensais visando identificar a duração, frequência e intensidade dos caudais em períodos húmidos ou de seca para alicerçar recomendações sobre o caudal ecológico a adotar. Normalmente essas recomendações para manter os ecossistemas nos seus respetivos estados naturais de funcionamento são feitas através de percentagens fixas previamente determinadas e que são variáveis de acordo com a peculiaridade de cada método adotado e seus objetivos conceituais.

Sem tratar especificamente da eficiência no tocante à abrangência na proteção dos ecossistemas, mas sim na eficiência da aplicabilidade dos métodos em si, a confiabilidade dos resultados está diretamente ligada à qualidade e ao histórico de dados fluviométricos disponíveis por se utilizarem exclusivamente dessa base. Quanto maior a disponibilidade de registos, por períodos temporais significativos, maior será a representatividade dos regimes hidrológicos naturais e com probabilidades diminutas de ocorrerem eventos extremos não previstos. Esse facto suporta a consideração adicional de que tais métodos somente devem ser aplicados em cursos de água em condições naturais ou em que sofreram ação antrópica num espaço temporal dilatado para que possam ser obtidos dados hidrológicos a longo termo e as espécies do ecossistema local tenham conseguido se adaptar ao novo cenário.

Além de serem na sua maioria métodos de baixo custo e rápida implementação, dispensam o reconhecimento *in loco*, o que pelo lado prático é uma grande vantagem. São características que os tornam extremamente apropriados durante as fases embrionárias de estudos de viabilidade para procuras como a produção hidroelétrica, em que a determinação da água necessária à manutenção dos ecossistemas aquáticos pode ser um fator crucial.

Entretanto, sofrem críticas justamente por serem métodos conceptualmente simples, que não relacionam as alterações dos regimes hidrológicos com a resposta dos ecossistemas, ou seja, se baseiam em abordagens destituídas de significado ecológico. Mesmo com essa desvantagem, devido às vantagens de ordem prática e de custo, é provável que continuem integrando a lista dos métodos mais utilizados no mundo, quer na sua forma original, quer em versões atualizadas e aplicadas a regiões específicas.

Como exemplos de aplicação a nível global pode-se citar os métodos de *Tennant* (Montana) e o  $Q_{7,10}$ , e a nível regional os métodos da curva de permanência; área de drenagem; caudal base; proposto por INAG, Direcção de Serviços de Planeamento (DSP), 2003; 2,5 - 5% do caudal modular anual; dentre outros (ALVES; HENRIQUES, 1994; BENETTI et al., 2003; THARME, 2003; KING et al., 2008; LONGHI; FORMIGA, 2011). Na sequência apresenta-se (Tabela 2) um resumo

dos métodos hidrológicos mais aplicados, com a base de dados que utilizam e as desvantagens de cada.

Tabela 2 - Resumo dos métodos hidrológicos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).

	MÉTODO	O QUE UTILIZA	DESVANTAGEM
HIDROLÓGICOS	<i>One Flow Method (OFM)</i>	Dados hidrológicos (características da secção)	Custo elevado na aquisição de dados
	<i>Northern Great Plains Resource Program</i>	Curva de permanência de caudais (série histórica de caudais naturais)	Não recomendado para cursos de águas quentes
	Método de <i>Hope</i>	Curva de permanência de caudais (série histórica de caudais naturais)	Não recomendado para cursos de águas quentes
	Método de <i>Tennant</i> ou de <i>Montana</i>	Dados hidrológicos (largura do leito, profundidade, velocidade do escoamento, etc.)	Válido somente para a região onde foi desenvolvido e inexistência de validação biológica
	Método <i>Califórnia</i>	Mapas planimétricos para velocidade, profundidade, material de aluvião e cobertura	Poucos critérios para recomendação de caudal ecológico
	Método <i>Q<sub>7,10</sub></i>	Série histórica de caudais naturais	Não considerar a especificidade dos ecossistemas e a dinâmica natural da ictiofauna
	Método de <i>Lyons</i>	Dados hidrológicos (série histórica de caudais naturais)	Limitações para aplicação em rios de outras regiões
	<i>Consensus Criteria for Environmental Flow Needs - CCEFN</i>	Dados hidrológicos (percentuais de caudal natural estimada antes da ação antrópica)	Limitações para aplicação em rios de outras regiões
	Método de <i>Utah</i>	Dados hidrológicos (série histórica de caudais naturais)	Método arbitrário, carece de comprovação de adequação para a ictiofauna
	<i>Aquatic Base Flow (ABF)</i>	Série histórica de caudais naturais (média para o mês mais seco do ano)	Baixo nível de precisão e resultados mais conservadores
	<i>Maximum Steelhead Spawning Area Method</i>	Dados hidrológicos e série histórica de caudais naturais	Falta especificação de procedimento para recomendação de caudal ecológico
	<i>Range of Variability Approach (RVA)</i>	Dados hidrológicos (características da secção)	Custo elevado na aquisição de dados
	Indicadores de Alteração Hidrológica - IAH	Curva de permanência de caudais (série histórica de caudais naturais)	Não recomendado para cursos de águas quentes

## 2.3 Métodos hidráulicos

Representam cerca de 11% do total de métodos utilizados em todo o mundo e foram desenvolvidos nos Estados Unidos da América entre as décadas de 60 e 70 com a intenção de recomendar caudais tendo em vista a importância econômica da pesca de salmonídeos (THARME, 2003). Os métodos hidráulicos são relativamente simples e de rápida aplicabilidade, mas exigindo, ao contrário dos hidrológicos, trabalhos em campo por fazerem uso de parâmetros hidráulicos e características físicas dos rios tais como: dimensões de seções transversais (altura, largura, perímetro molhado) do leito fluvial e margens, velocidade do escoamento, rugosidade, raio hidráulico, gradiente hidráulico, dentre outros, para realizar simulações que produzam recomendações de caudais ecológicos necessários à manutenção de áreas de habitat, com foco para a ictiofauna.

Não são de caráter eminentemente ecológico, mas ao se pautarem na consideração de características hidráulicas para estabelecer uma relação superficial entre caudais e o habitat de espécies alvo do ecossistema aquático representam uma certa evolução nesse sentido, principalmente se comparados aos métodos hidrológicos descritos na Secção anterior. O limite se dá pelo facto de se basearem em características hidráulicas do leito fluvial e, dessa forma, não abrangerem espécies para além do canal do rio.

Além da questão ecológica, outra restrição pode ser colocada em relação ao facto que para a aplicação dessas metodologias ser necessário a localização e escolha de pelo menos uma secção representativa do rio, que para o caso da produção hidroelétrica deve-se estar preferencialmente inserida no troço de causal reduzido, a qual, portanto, será alvo do estudo de relação entre os parâmetros hidráulicos e características físicas com o habitat. Como esses dados são extremamente influentes no desenvolvimento e podem variar significativamente de secção para secção, uma escolha incorreta, de maneira aleatória e sem justificativas técnicas, pode comprometer a qualidade dos resultados obtidos ou até mesmo esses serem inconclusivos.

Pode-se citar o método do perímetro molhado como sendo aquele mais utilizado em todo o mundo e até às últimas décadas era o terceiro método mais utilizado nos EUA para determinar o caudal ecológico (REISER et al., 1989; THARME, 2003; KING et al., 2008). Como exemplos adicionais, cita-se os métodos do Colorado; Oregon; região 4 do *United States Fish and Wildlife Service* (USFWS); raio hidráulico ecológico; dentre outros (LONGHI; FORMIGA, 2011). Na sequência apresenta-se (Tabela 3) um resumo dos métodos hidráulicos mais aplicados, com a base de dados que utilizam e as desvantagens de cada.

Tabela 3 - Resumo dos métodos hidráulicos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).

	MÉTODO	O QUE UTILIZA	DESVANTAGEM
HIDRÁULICOS	Método da Região 4 do <i>USFWS</i>	Caracterização de seções transversais / modelo de simulação hidráulica	Método de uso restrito em regiões montanhosas
	<i>Washington Toe-Width</i>	Largura do fundo do rio	Requer tempo e rigor em medições de altura de lâmina e velocidade da água
	Método de <i>Oregon</i>	Conceitos de Largura Ponderada Utilizável e Largura Utilizável de rios	Custo elevado
	Método do <i>Colorado</i>	Seções transversais com seleção e simulação hidráulica de diversos parâmetros do rio	Trabalhoso e de custo elevado
	Método de <i>Washington</i>	Cartografia de trechos do rio (mapa de isolinhas)	Muito trabalho de campo e custo elevado
	Método do Perímetro Molhado (MPM)	Informação hidráulica do rio / simulação hidráulica / construção de gráfico perímetro molhado <i>versus</i> caudal	Considera as características físicas e não as necessidades da biota do rio
	Raio Hidráulico Ecológico	Informação do rio (raio hidráulico, rugosidade e gradiente hidráulico)	Carece de credibilidade

## 2.4 Métodos de classificação de habitats

Os métodos de classificação de habitat, quando comparados aos métodos hidrológicos e hidráulicos, utilizam processos mais complexos que requerem maiores informações tanto em relação à variabilidade dos habitats quanto aos caudais e são parte da segunda categoria de metodologias mais utilizada no mundo com cerca de 28% do total (THARME, 2003).

As metodologias de simulação de habitat tentam avaliar caudais ecológicos com base em respostas bióticas para o habitat físico disponível às espécies de interesse pesquisadas, geralmente peixes ou macroinvertebrados. Dentro de tais metodologias, as mudanças no microhabitat físico são modeladas recorrendo a dados de uma ou mais variáveis hidráulicas, mais comumente a profundidade, a velocidade do escoamento, a composição do substrato e, mais recentemente, o estresse bentónico (KING et al., 2008) por essas variáveis associadas representarem coletivamente os fatores ambientais mais importantes que afetam os organismos em ambientes lóticos. Como em parte abordado na Secção 1.1 deste trabalho, o escoamento afeta a disponibilidade de recursos alimentares, a velocidade deste está relacionada com a força física que os organismos precisam despende para manter-se em determinada posição na coluna de água e o substrato oferece espaço de habitat para uma variedade de atividades tais como repouso, reprodução, refúgio contra predadores e alimentação (partículas orgânicas) ou superfícies que agregam alimentos (BOVEE et al., 1998; PINTO et al., 2016). Esses dados são recolhidos em múltiplas secções transversais dentro da área de abrangência do estudo e as

condições simuladas de habitats disponíveis são baseadas nas informações sobre condições de microhabitat adequadas e inadequadas para as espécies alvo e seus estágios de vida (KING et al., 2008). Como resultado, são geradas para a biota alvo curvas de preferência de habitat e a Superfície Ponderada Útil (SPU) (ver Figura 6) ou na terminologia anglo-saxónica *Habitat Suitability Curves* (HSC) e *Weighted Usable Area* (WUA) respetivamente (BOAVIDA et al., 2014), onde se analisa a quantidade de habitat físico disponível, expresso em metro quadrado por quilómetro (metro) linear do troço de água, considerando diferentes caudais de forma a recomendar aquele ecológico ótimo (GUEDES et al., 2014).

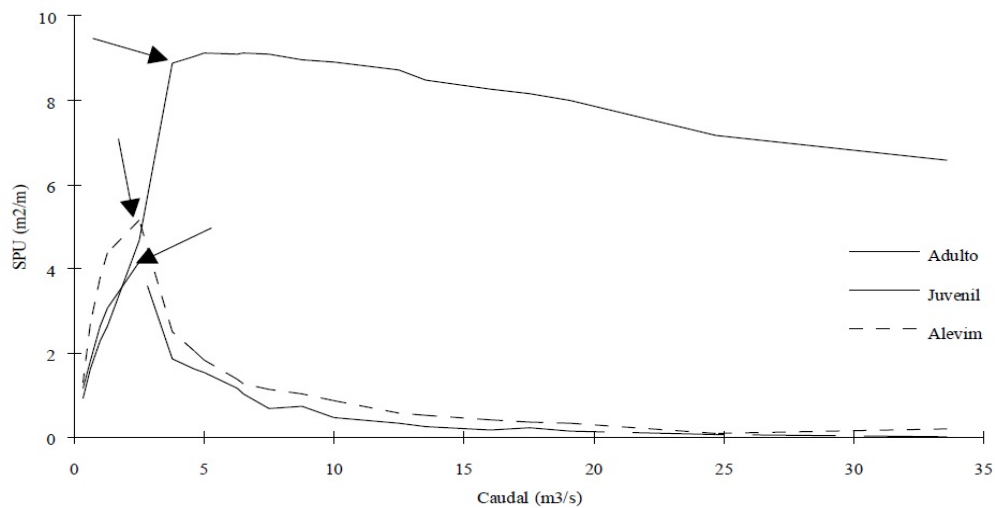


Figura 6 - Exemplo de gráfico de SPU em função de um caudal e diferentes fases da vida de uma espécie de peixe (ALVES; HENRIQUES, 1994).

Como esses métodos de simulação estão habilitados para avaliar os impactos no habitat físico devido às mudanças incrementais no caudal e usualmente englobam séries temporais de componentes hidrológicos e de habitat, então podem ser usados para examinar vários cenários alternativos de caudais ecológicos para várias espécies e fases de vida. Além disso, como os métodos são baseados em programas computacionais, são capazes de processar de forma eficiente grandes quantidades de dados hidrológicos, hidráulicos e biológicos de forma padronizada, mas ao mesmo tempo flexível e interativa. Cada vez mais os resultados são obtidos em alta resolução espacial e temporal, muito em virtude devido aos avanços ocorridos no campo da modelação hidráulica multidimensional. Essa modelagem reflete mais precisamente as condições hidráulicas que são experimentadas pela biota em diferentes tipos de rios (KING et al., 2008).

Como um exemplo tradicional de auxílio computacional para a modelação anteriormente descrita, cita-se o programa *River2D* da Universidade de Alberta, no Canadá. Executa uma modelagem hidrodinâmica e de habitat de peixes em duas dimensões e, portanto, essa modelação de elementos finitos simula condições hidrodinâmicas e utiliza as curvas de

preferência de habitat contendo os dados da biota para calcular a Superfície Ponderada Útil em diferentes fases da vida das espécies (ver Figura 6) (BOAVIDA et al., 2014).

As deficiências das metodologias de simulação de habitat residem fundamentalmente no facto de que o foco é principalmente em espécies alvo e todos os seus respetivos problemas. Como existem conjuntos de espécies complexas e altamente diversificadas, a escolha da espécie alvo é uma tarefa difícil e nenhuma recomendação de um único caudal ecológico supostamente pode ser utilizada para atender uma comunidade em geral. Também, embora as metodologias sejam suficientemente flexíveis para serem aplicadas para muitas espécies e atividades, ainda não podem ser prontamente utilizadas para certos componentes do ecossistema ribeirinho, como a vegetação ripícola, e não atendem a questões relacionadas com a mudança geomorfológica de longo prazo dos rios. Por fim, são criticados em virtude de serem métodos caros por exigirem a utilização de inúmeros especialistas de diversas áreas (KING et al., 2008).

Poucos dos métodos disponíveis foram submetidos a rigorosos estudos, testes de verificação e validação, além de contar com a aprovação de ecologistas, e desses métodos cita-se como exemplo incontestável o *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM). É o único que é legalmente reconhecido e defendido nos EUA, sendo aprovado pelo serviço local que trata dos peixes e vida selvagem, o USFWS. O IFIM foi desenvolvido na década de 70 e é o método para determinação de caudais ecológicos mais utilizado nos EUA, em 38 Estados (REISER et al., 1989; THARME, 2003; KING et al., 2008). Na sequência apresenta-se (Tabela 4) um resumo dos métodos de classificação de habitat mais aplicados, com a base de dados que utilizam e as desvantagens de cada.

Tabela 4 - Resumo dos métodos de classificação de habitat mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).

	MÉTODO	O QUE UTILIZA	DESVANTAGEM
CLASSIFICAÇÃO DE HABITAT	<i>IFIM</i>	Procedimentos teóricos (história do rio, espécies de peixes e ciclo de vida, etc.) e computacionais (caudais, profundidades e velocidades do escoamento)	Requer muitos dados de campo; difícil uso; requer bom entendimento das espécies de estudo
	<i>Riverine Community Habitat Assessment and Restoration Concept (RCHARC)</i>	Combina conceitos do <i>Index of Biotic Integrity (IBI)</i> que caracteriza biologicamente comunidades de peixes de riachos) e Physical HABitat Simulation System (PHABSIM) (pesquisa do microhabitat de locais de amostragem selecionados)	Não faz comparações quantitativas entre trechos do rio e requer grande número de dados
	<i>Tidal Distributary/ Estuary Method</i>	Modelo de regressão que correlaciona níveis de água como uma função da maré e caudal	Não considera a salinidade, fator importante nos estuários

(Continua)

(Continuação)

CLASSIFICAÇÃO DE HABITAT	MÉTODO	O QUE UTILIZA	DESVANTAGEM
	<i>Hatfield e Bruce Western Salmonid Regressions</i>	Equações que avaliam o caudal que maximiza a área utilizada ponderada com estudos do <i>PHABSIM</i>	Recomendado apenas para nível de reconhecimento
	<i>Mesohabitat Simulator MesoHABSIM</i>	Sistema <i>MesoHABSIM</i> (mapeamento do <i>habitat</i> de todas as seções do rio sob caudais múltiplas)	Dificuldade de logística para o estudo; custo elevado
	<i>Demonstration Flow Assessment - DFA</i>	Observação direta do <i>habitat</i> do rio sob diferentes caudais, profissionais elegem as alternativas adequadas	Subjetividade e incerteza, pois não utiliza quantificação

## 2.5 Métodos holísticos

As metodologias holísticas representam cerca de 8% do total global, com pelo menos 16 métodos conhecidos nos últimos anos e, embora predominantemente desenvolvidos e utilizados na África do Sul e na Austrália, recentemente esses métodos começaram a atrair o crescente interesse internacional tanto nas regiões desenvolvidas como em desenvolvimento e possuem registros de aplicação em mais de 12 países na Europa, América Latina, Ásia e África (ARTHINGTON et al., 1992; THARME, 2003).

Os métodos holísticos visam abordar os requisitos de água de todo o ecossistema do rio em vez das necessidades de apenas algumas espécies como geralmente peixes ou macroinvertebrados. Essas metodologias são sustentadas pelo conceito de paradigma dos caudais naturais (critério estabelecido na variabilidade do caudal) e princípios básicos que orientam a restauração do escoamento do rio. Compartilham um objetivo comum que é o de manter ou restaurar os componentes biofísicos relacionados ao caudal e os processos ecológicos dos contribuintes, sistemas de água subterrânea, planícies de inundação e exigências a jusante como, por exemplo, lagos, zonas húmidas e estuários (descrito na Secção 1.1) (ARTHINGTON et al., 2003).

Os componentes do ecossistema que são comumente considerados em avaliações holísticas incluem geomorfologia, habitat hidráulico, qualidade da água, vegetação ripícola e aquática, macroinvertebrados, peixes e outros vertebrados com alguma dependência do ecossistema do rio ou ripícola como, por exemplo, anfíbios, répteis, aves e mamíferos. Cada um desses componentes pode ser avaliado usando uma gama de técnicas de campo e em gabinete através das quais, com várias abordagens sistemáticas, são feitas recomendações de caudais ecológicos (ARTHINGTON et al., 2003).

As metodologias holísticas apresentam várias vantagens em relação a outros tipos de metodologia de escoamento ambiental, principalmente porque podem ser utilizadas para abordar todos os componentes do ecossistema ribeirinho e possuem fortes vínculos com o

regime hidrológico natural. Entretanto, como desvantagens citam-se o facto de que, tal como a maioria das outras metodologias para a determinação de caudal ecológico atualmente, há poucas aplicações de metodologias holísticas além do seu local de origem. Assim, as metodologias exigem comparação com outras abordagens internacionais, testes e verificações de seus pressupostos e avaliações de sua capacidade preditiva. Também, um modelo detalhado de habitabilidade física e qualidade da água não é rotineiramente aplicado em metodologias holísticas até o momento (KING et al., 2008). Por fim, como já externado e muito devido a quantidade de profissionais de inúmeras áreas envolvidas, outra desvantagem é o custo elevado da aquisição de dados (LONGHI; FORMIGA, 2011).

Citam-se como exemplos de métodos holísticos, o *Building Block Methodology* (BBM) (THARME; KING, 1998), o Método Holístico (ARTHINGTON et al., 1992), o *Downstream Response to Imposed Flow Transformations* (DRIFT) (ARTHINGTON et al., 2003; THARME, 2003; KING et al., 2008), dentre outros (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo dos métodos holísticos mais utilizados. Adaptado de LONGHI e FORMIGA (2011).

	MÉTODO	O QUE UTILIZA	DESVANTAGEM
HOLÍSTICOS	BBM	<i>Workshop com partes interessadas, estudos de gabinete e de campo, pesquisa socioeconômica, análise hidráulica e hidrológica do rio</i>	<i>Avaliar sua efetividade necessita de tempo</i>
	Método Holístico	<i>Profissionais fazem análises acerca das consequências ecológicas para vários caudais no rio, em relação aos aspectos quantitativos e temporais</i>	<i>Não possui conjunto estruturado de procedimentos para uso; requer treinamento especializado; custo elevado na aquisição de dados</i>
	DRIFT	<i>Módulos de estudo biofísico, sociológico, de desenvolvimento de cenários e módulo econômico</i>	<i>Limitação das interações sinérgicas entre diferentes cenários de caudais</i>

## 3. Principais metodologias utilizadas no Brasil

### 3.1 Introdução

No Capítulo 3, a abordagem dos caudais ecológicos será restrita ao Brasil em virtude de ser esse o país onde o aproveitamento hidráulico para a central mini-hídrica Saudade, caso de estudo desenvolvido no Capítulo 6, está inserido. Com o direcionar do foco, permite-se sair de um cenário geral e global, como o desenvolvido nos Capítulos antecessores, e realizar um tratamento mais detalhado que permitirá pormenorizar aqueles métodos para determinação desse caudal mais comumente utilizados, bem como os princípios em que assenta relativo ao tema, nesse país sul-americano que conta atualmente com aproximadamente 1.400 grandes barragens construídas ao longo de toda a sua área territorial (ICOLD, 2018b).

No Brasil, as técnicas utilizadas para determinação de caudais ecológicos em rios resumem-se aos métodos hidrológicos, sendo mais específico o método  $Q_{7,10}$ , adotando-se como caudal ecológico uma percentagem deste valor referencial, também o método da curva de permanência, no qual o caudal ecológico é uma fração do  $Q_{90}$  (caudal associado à permanência de 90% no tempo), ou do  $Q_{95}$  (caudal associado à permanência de 95% no tempo) (LONGHI; FORMIGA, 2011).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), quando o poder público analisa uma solicitação de outorga de um dado usuário, considerando uma captação a fio de água, deve considerar o caudal solicitado para o empreendimento frente ao percentual definido como outorgável em relação ao caudal de referência adotado com base nos métodos  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ou  $Q_{7,10}$  (ANA, 2011).

À exceção das regiões do norte do país (Acre, Amapá, Amazonas e Rondônia), regiões com a maior disponibilidade de recursos hídricos superficiais do Brasil, e o estado do Rio Grande do Sul, que ainda não estabeleceram regras para concessão de direito ao uso da água (PINTO et al., 2016), as metodologias recomendadas pelos Estados (Tabela 6) são destituídas de qualquer base ecológica e se resumem em duas hidrológicas: a) as baseadas numa percentagem do  $Q_{7,10}$ , utilizadas pelos Estados do sudeste brasileiro; e b) as baseadas em curvas de permanências ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$ ), utilizadas pelos demais Estados e União.

Tabela 6 - Métodos para determinação de caudal ecológico nos Estados brasileiros. Adaptado de PINTO et al. (2016).

Estado	Referência	Estado	Referência
União	Q95	Pará	Q95
Acre	—	Paraíba	Q95
Alagoas	Q90	Paraná	Q95
Amapá	—	Pernambuco	Q90
Amazonas	—	Piauí	Q95
Bahia	Q90	Rio G. do Norte	Q90
Ceará	Q90	Rio Grande do Sul	—
Distrito Federal	Q7,10 ou Q90	Rio de Janeiro	Q7,10
Espirito Santo	Q7,10	Rondônia	—
Goiás	Q95	Roraima	Q7,10 ou Q90
Maranhão	Q90	Santa Catarina	Q98
Mato Grosso	Q95	São Paulo	Q7,10
Mato Grosso do Sul	Q95	Sergipe	Q90
Minas Gerais	Q7,10	Tocantins	Q90

Em carácter excepcional ou informal, existem registos no Brasil da aplicação de outros métodos como o caso de PELISSARI (2000 *apud* LONGHI e FORMIGA, 2011; PINTO *et al.*, 2016) que realizou o primeiro trabalho de investigação formal sobre caudal ecológico, utilizando os métodos IFIM, Tennant, Perímetro Molhado, *Aquatic Base Flow* e  $Q_{7,10}$  para a determinação do caudal ecológico no rio Timbuí, no Estado do Espírito Santo. Foi utilizado o Método de Tennant na elaboração dos planos diretores de recursos hídricos das bacias dos rios das Velhas e Paracatu, no Estado de Minas Gerais (CAMARGOS, 2004). Já PAULO (2007) utilizou o método do perímetro molhado com base no programa computacional *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System* (HEC-RAS) para simulação da variação do caudal no troço de caudal reduzido do Aproveitamento Hidroelétrico (AHE) Capim Branco I no Estado de Minas Gerais. Ainda no Estado de Minas Gerais, GUEDES et al. (2014) utilizando o programa computacional *River2D* e conceitos de SPU, utilizaram método de classificação de habitat com base em espécies neotropicais para determinar regime de caudais ecológicos para o rio Formoso.

Apesar do crescente aumento do número de estudos relacionados com caudais ecológicos, principalmente na segunda década do século XXI, o número de trabalhos é considerado pequeno face às dimensões continentais do território brasileiro, sua diversidade geográfica, hídrica, demográfica, geológica, econômica e cultural (PINTO et al., 2016).

### 3.2 Legislação brasileira e no Estado de Minas Gerais

Em geral, a determinação de caudais ecológicos no Brasil tem sido feita fundamentalmente através da legislação nos níveis estadual e federal, principalmente para utilização nos procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga de água com fim de construção de barragens (SARMENTO, 2007).

Na esfera federal, o primeiro movimento legal no sentido de se estabelecer o dever para com a manutenção de um caudal suficiente para a proteção dos ecossistemas aquáticos e outras necessidades é de 1934 e foi então intitulado de Código de Águas (BRASIL, 1934) que previa em seu artigo n° 143 que “em todos os aproveitamentos de energia hidráulica serão satisfeitas exigências acauteladoras dos interesses gerais: a) da alimentação e das necessidades das populações ribeirinhas; b) da salubridade pública; c) da navegação; d) da irrigação; e) da proteção contra as inundações; f) da conservação e livre circulação do peixe; e g) do escoamento e rejeição das águas.”

Atualmente, sob a luz da carta magna brasileira (BRASIL, 1988) que dividiu a gestão dos recursos hídricos entre a União, Estados e Distrito Federal, encontra-se em vigor a Lei 9.433 de 1997 (BRASIL, 1997) que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e o dever de descentralização da gestão dos recursos hídricos. Em seu artigo 3° restam expressas as diretrizes para: “I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; e II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, económicas, sociais e culturais das diversas regiões do País.”

Portanto, cabe à esfera estadual, para a grande maioria dos rios brasileiros, a responsabilidade de estabelecer concessões para as diferentes procuras de uso da água e determinação de caudais ecológicos. As poucas exceções caem sobre rios que se localizem na divisão entre Estados ou que atravessem diversos Estados e, por consequência, passam a ser de responsabilidade da União (Governo Federal). Para os poucos casos em que a União é a responsável, em função das peculiaridades de cada região do país, não se encontra definida uma metodologia específica para o caudal de referência (PINTO et al., 2016). A ANA apresentou a Resolução n° 467/2006 que dispõe sobre critérios técnicos a serem observados na análise dos pedidos de outorga em lagos, reservatórios e rios fronteirços e transfronteirços porém, não trata sobre os caudais de referência (ANA, 2006).

A legislação do Estado de Minas Gerais, que até março do ano de 2012 era a mais restritiva do país (PINTO et al., 2016), dispõe atualmente da Resolução n° 1548/2012 (MINAS GERAIS, 2012) para determinação da disponibilidade hídrica. Essa, no seu artigo 1°, estabelece o Q<sub>7,10</sub> (caudal mínimo de um período de sete dias consecutivos associados a um período de dez anos de recorrência) como o caudal de referência a ser utilizado no cálculo de disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado e indiretamente estabelece o caudal ecológico como sendo 70% do Q<sub>7,10</sub>.

Com exceção dos Estados (Acre, Amapá, Amazonas, Rio Grande do Sul e Rondônia), conforme expresso na parte introdutória do presente Capítulo, que ainda não estabeleceram regras para concessão de direito ao uso da água, para os demais Estados resta evidente a preocupação em suas leis para garantir a parcela máxima de água passível de ser outorgável e expressam a

metodologia para o cálculo de um caudal de referência ( $Q_{7,10}$ ;  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) do qual, de forma indireta através de uma percentagem, é determinado o caudal ecológico.

### 3.3 Método $Q_{7,10}$

Por vezes também intitulado de  $7Q_{10}$ , trata-se de um método hidrológico desenvolvido nos Estados Unidos da América, no ano de 1976 por CHIANG e JOHNSON (1976 *apud* LOAR e SALE, 1981), para determinar o caudal no Estado da Pensilvânia que permitisse manter condições adequadas de qualidade da água e que, posteriormente, passou a servir para o cálculo de caudais por todo aquele país, principalmente nas suas regiões leste e sudeste. Como exemplo, cita-se o trabalho desenvolvido por CARTER e PUTMAN (1978), em parceria com o Departamento de Recursos Naturais do Estado da Geórgia, contendo análises e frequência de caudais em todo esse Estado utilizando o método  $Q_{7,10}$ .

O conceito deste método está na recomendação de um caudal de referência baseado no caudal médio mínimo observado durante um intervalo de 7 dias consecutivos ao longo de um ano hidrológico, para um período de retorno de 10 anos, o qual é o número de anos que deve, em média, decorrer para que esse caudal ocorra ou seja excedido. Para tanto, deve-se realizar uma análise frequencial hidrológica e relacionar a magnitude dos valores extremos com a sua frequência de ocorrência, através da utilização de distribuições de probabilidade.

O período de retorno ( $T$ ) é determinado pelo inverso da função de excedência  $1 - F(x)$  (Equação 1 e 2), onde:  $F(x)$  - traduz a probabilidade de não excedência;  $N$  - número total de elementos da amostra; e  $m$  - corresponde à posição de cada valor da série quando agrupados segundo uma ordenação crescente.

$$F(x) = \frac{m}{N + 1} \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (2)$$

Segundo GUIMARÃES (2015) para se efetuar a análise frequencial pode-se recorrer ao posicionamento gráfico dos dados na forma de uma distribuição cumulativa de probabilidade ou utilizar técnicas analíticas baseadas em fatores de frequência. A segunda opção é a mais utilizada no desenvolvimento do método  $Q_{7,10}$  e utiliza-se principalmente para tal feito a distribuição de Gumbel ou outras como as distribuições Weibull, normal, log-normal e log-Gumbel.

As vantagens e desvantagens do método enquadram-se naquelas peculiares das metodologias hidrológicas, quer sejam vantagens de menor custo e tempo para o levantamento de dados, com aplicação relativamente simples, quer desvantagens por não considerar qualquer fator ecológico. Segundo GOPAL (2013) e STALNAKER *et al.* (1995), o  $Q_{7,10}$  é um método hidrológico inadequado para estabelecer caudais para peixes e foi desenvolvido para garantir que a necessidade das estações de tratamento de água não prejudicasse os padrões de qualidade da água nos rios durante as secas. Posição semelhante é a de LONGHI e FORMIGA (2011) que aponta o facto de que sua utilização para recomendação de caudal não possui base ecológica, pois não considera as especificidades dos ecossistemas e ignora a dinâmica natural da ictiofauna.

### 3.4 Método da curva de permanência do caudal médio diário - (Q90 / Q95)

A curva de permanência ou curva de duração do caudal médio diário teve o seu primeiro registo de utilização atribuído ao engenheiro hídrico norte-americano Clemens Herschel aproximadamente em 1880 e desde então, principalmente com consideráveis avanços devidos a tecnologia dos computadores, tem sido francamente utilizada (VOGUEL, 1994). Referem VOGEL e FENNESSEY (1995) que as curvas de permanência de caudais exemplificam o velho provérbio chinês “uma imagem vale mais que mil palavras” dado a habilidade de condensar uma riqueza de informações hidrológicas num simples gráfico. Curvas de permanência são usadas para resumir os resultados detalhados e complexos de estudos de recursos hídricos. Ainda VOGEL e FENNESSEY (1995) definem que uma curva de permanência de caudal ilustra a percentagem de tempo que um determinado caudal foi igualado ou excedido durante um período de tempo específico. Historicamente, as curvas de permanência de caudal foram utilizadas em estudos hidrológicos, incluindo engenharia aplicada a centrais hidroelétricas, controle de inundações, gestão de qualidade da água, sedimentação de rios e engenharia hídrica. Para SMAKHTIN (2001), uma curva de duração de caudais é um dos métodos mais informativos para exibir a gama completa de descargas de rios desde caudais mínimos até eventos de inundação. É uma relação entre qualquer valor de descarga dado e a percentagem de tempo que esta descarga é igualada ou excedida, ou em outras palavras - a relação entre magnitude e frequência de descarga dos caudais.

A curva de permanência de caudais numa secção de referência de uma bacia hidrográfica é uma função hidrológica que demonstra a disponibilidade hídrica nessa secção. É um resumo hidrológico que fornece percepção do potencial de utilização, sobretudo na faixa dos caudais médios a mínimos, e relaciona o caudal, geralmente no eixo das ordenadas, e a percentagem do tempo em que é superado ou igualado sobre todo o período histórico utilizado para sua construção, geralmente no eixo das abscissas. Para sua elaboração podem ser usados diferentes

referências temporais de caudais com base em dados anuais, mensais ou diários, sendo os últimos aqueles que fornecem mais detalhe sobre as descargas de um rio.

Portanto, o método em questão usa a curva de permanência como uma ferramenta de análise estatística ou um referencial sobre o qual é aplicada uma fração associada à sua permanência em porcentagem para a determinação do caudal ecológico, ou seja, o  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$  se referem ao caudal associado à permanência de 90%, 95% e 98% no tempo respectivamente (ver Figura 7).

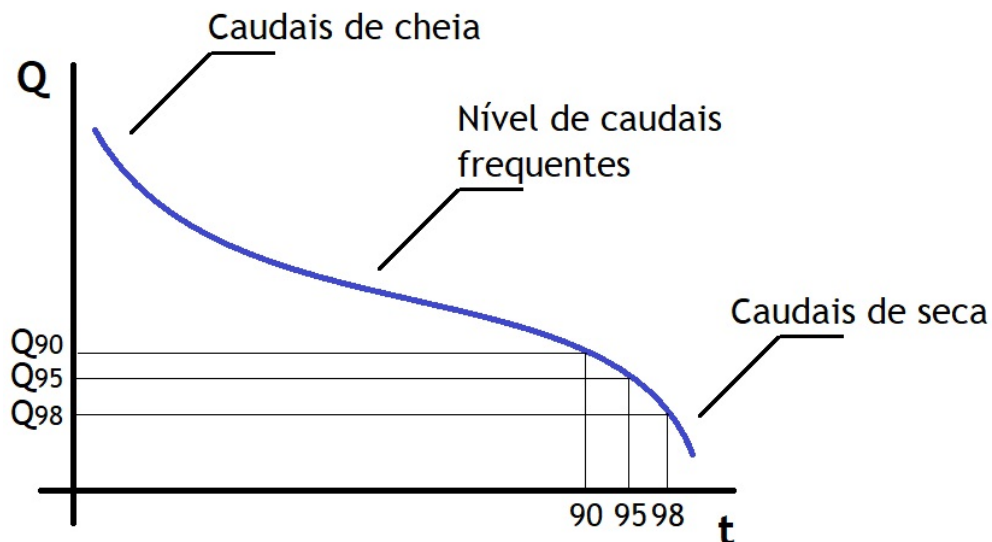


Figura 7 - Curva de permanência.

As curvas de permanência são atraentes porque tendem a simplificar os problemas de recursos hídricos e permitem explicações fáceis para esses, mas sua principal limitação é que eles tendem a simplificar demais (VOGEL; FENNESSEY, 1995). Por fim, no quesito desvantagens e demérito comum aos métodos hidrológicos, por se basear principalmente na série histórica de caudais, é interpretado como um método limitado em virtude de não levar em consideração as procuras dos ecossistemas aquáticos.

## 4. Principais metodologias utilizadas em Portugal Continental

### 4.1 Introdução

De forma análoga ao Capítulo anterior, o que se segue fará uma abordagem específica sobre o caudal ecológico em Portugal Continental identificando e detalhando aqueles métodos para a sua determinação rotineiramente aplicados, bem como a estrutura legal que versa sobre a temática, nesse país da Península Ibérica que conta com aproximadamente 217 barragens de grande porte (ICOLD, 2018b).

Pode-se externar que, conforme será tratado com maiores detalhes, em Portugal Continental não existe fundamentação legal com explícito e impositivo apontamento de um ou mais métodos para a determinação do caudal ecológico, seja no âmbito legislativo ou através dos órgãos que compõem o executivo. Os registos históricos apontam para a determinação do caudal ecológico através de análises individuais dos casos e que de uma forma geral apontam, excessivamente após o ano de 1989 quando houve obrigação de manter um caudal mínimo a jusante de barragens, para uma abordagem estratificada conforme citada por ALVES e BERNARDO (2003):

- Aproveitamentos mini-hídricos e outros aproveitamentos a norte do rio Tejo: o caudal ecológico é definido como um valor compreendido entre o intervalo de 2,5 a 5% do caudal modular anual do curso de água, a manter ao longo de todo o ano, sempre que o caudal instantâneo que ocorre em regime natural o permita;
- Aproveitamentos hidroagrícolas a sul do rio Tejo: o caudal a manter na linha de água a jusante da barragem deverá ser, para cada mês, igual ou superior a 5% do caudal modular do curso de água, em ano médio, sempre e só se o caudal assim determinado for inferior ou igual ao caudal médio mensal. Ainda, observação que para grandes aproveitamentos na região a sul do rio Tejo, ALVES e BERNARDO (2003) sugerem o uso de metodologia de avaliação de caudais ecológicos em curso de água de regime torrencial mediterrâneo;
- Grandes aproveitamentos hidráulicos: tem-se registos ao longo dos anos da utilização de métodos e procedimentos variados desenvolvidos internacionalmente, verificando-se recentemente uma tendência generalista pela aplicabilidade do IFIM, conforme mais a frente, ainda nessa parte introdutória, será exemplificado; e

- Planos de bacia hidrográfica dos rios internacionais: para as bacias hidrográficas dos rios Luso-espanhóis (Minho, Lima, Douro, Tejo e Guadiana), em suas secções internacionais, propostas de regimes de caudais ecológicos calculados por métodos baseados em registos de caudais.

Por ser uma temática que se mostrava até poucas décadas ainda incipiente em Portugal, principalmente se comparada a países como Estados Unidos da América, houve espaço ao longo dos últimos anos para inúmeros desenvolvimentos práticos e teóricos aplicados a realidade do local. Uma exposição cronológica, a seguir elencada, contendo alguns marcos representativos dessas passagens teóricas e práticas exprime um pouco da recente evolução do assunto:

- O caudal ecológico a manter no troço de rio a jusante do aproveitamento hidroelétrico do Torga (mini-hídrica), no rio Tuela, na bacia do rio Douro, foi alvo de cálculo através de três metodologias diferentes: o método de Tennant, Perímetro Molhado e, de forma limitada, o IFIM (ALVES; HENRIQUES, 1994);

- Para o estudo do caudal ecológico a manter a jusante da barragem de Alqueva, no rio Guadiana, região do Alentejo, recorreu-se ao uso da metodologia incremental IFIM (ALVES, 1996);

- Através do convénio estabelecido entre o Ministério do Ambiente e a Eletricidade de Portugal para o troço de rio a jusante da barragem de Touvedo, no rio Lima, abrangendo indiretamente também a barragem do Alto Lindoso (ver Figura 8) cerca de 20km a montante, foram aplicados os métodos do IFIM, perímetro molhado e do caudal base (LOPES et al., 2002);



Figura 8 - Barragem Hidroelétrica Alto Lindoso, com detalhe da descarga do caudal ecológico.

- O INAG, no âmbito do Plano Nacional da Água, publica obra, talvez a mais resoluta relativa ao tema, sobre caudais ecológicos em Portugal por ALVES e BERNARDO (2003). Nesse manual resta exposto de forma abrangente e objetiva, não se limitando, aos conceitos e à importância do caudal ecológico para o ecossistema lótico e ribeirinho, bem como a vegetação ripícola, realiza enquadramento da legislação aplicável, faz descrição sobre os métodos mais utilizados no país e a nível global e desenvolve equações de regressão múltipla tendo em vista a estimativa de parâmetros para a definição de regimes de escoamento. Por fim, ponto importante que cabe salientar com ênfase, desenvolve a base de um novo método hidrológico para definição de caudais ecológicos específico para Portugal Continental e denominado de Método INAG, DSP, 2003. Método esse que se tornou referência nas Autarquias Públicas quando da Avaliação de Impactes Ambientais (AIA) e consequente elaboração de pareceres relativos aos Estudos de Impacte Ambiental (EIA) e Relatórios de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) apresentados por agentes com interesse na implantação de barragens de Aproveitamentos Hidroelétricos (AH);
  
- PORTELA (2005) apresentou proposta para definição de caudais ecológicos em cursos de água do Sul de Portugal Continental com base em critérios hidrológicos e hidráulicos. Para o primeiro tipo, a proposta levou em conta a escassez de recursos hídricos que caracteriza a região mencionada e que atende à variabilidade (intra e interanual) das séries de caudal afluente em regime natural. Os critérios do segundo tipo fizeram intervir, na determinação dos caudais ecológicos, a geometria das secções que comportam o escoamento;
  
- A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), através do parecer n° 366 elaborado pela comissão de avaliação do RECAPE para o Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua, no rio Tua, recomendou a utilização do método incremental IFIM para a determinação do caudal ecológico (APA, 2010);
  
- A APA, através do parecer n° 395 elaborado pela comissão de avaliação do RECAPE para o Aproveitamento Hidroelétrico do Alvito, no rio Ocreza, concordou com a utilização do método incremental IFIM para a determinação do caudal ecológico (APA, 2011a);
  
- A APA, através do parecer n° 402 elaborado pela comissão de avaliação do RECAPE para os aproveitamentos hidroelétricos de Gouvães (rio Louredo), Alto Tâmega e Daivões (rio Tâmega), indicou a utilização do método incremental IFIM na determinação do caudal ecológico em todos os aproveitamentos e em detrimento do método do Caudal Base inicialmente prevista para o AH de Daivões (APA, 2011b);
  
- A APA, através do parecer n° 415 elaborado pela comissão de avaliação do RECAPE para o Aproveitamento Hidroelétrico de Girabolhos, no rio Mondego, foi apontado que o Agente interessado se valeu dos métodos do INAG, DSP, 2003 (outubro a março) e do incremental IFIM

(abril a setembro) para determinação dos caudais ecológicos. Entretanto, restou no parecer que a metodologia a ser utilizada deveria ser exclusivamente a incremental IFIM (APA, 2011c);

- Em virtude das inúmeras metodologias aplicadas na Península Ibérica para determinação de caudais ambientais serem aceites sempre com reservas, foi desenvolvida por GODINHO *et al.* (2014) uma metodologia intitulada de “*AQUALOGUS-eFLOW*” inspirada naquelas classificadas como holísticas e que compreende a aplicação se sete passos sequenciais, tendo registro de aplicação desde o ano de 2008 nas bacias hidrográficas de Cávado (rios de Cávado, Homem e Rabagão) e Guadiana (rios Amoreiras, Brenhas e São Pedro);

- A APA, através do parecer n° 2587 elaborado pela comissão de avaliação do RECAPE para o Aproveitamento Hidroelétrico de Pretarouca, no rio Balsemão, foi analisada a utilização da metodologia incremental IFIM, após um lapso temporal de estudo de aproximadamente 3 anos, sendo aprovada o uso desta com ressalvas (APA, 2015a); e

- Mesmo a APA rejeitando a aprovação do o Aproveitamento Hidroelétrico (mini-hídrica) a fio de água de Sistelo, no rio Vez, principalmente pela rechaça dos moradores da localidade de Arcos de Valdevez, serve de exemplo recente que para esse AH foi sugerido, no âmbito do processo de AIA, um caudal ecológico como sendo 10% do caudal modular mensal, com um mínimo de 5% do caudal modular anual (APA, 2015b).

Com base na análise documental necessária a exposição anterior, se pode inferir que a realidade prática atualmente adotada em relação ao cálculo de caudais ecológicos em Portugal, principalmente no que tange aos grandes aproveitamentos hidráulicos, tem sido conduzida numa linha comum, qual seja a da aplicação do método incremental IFIM. Entretanto, sua utilização e mera apresentação dos resultados obtidos, não são garantia de aprovação pelos Agentes Públicos responsáveis que, claramente durante as análises pertinentes, adotam o rito de confrontar esses resultados com aqueles esperados (intervalo) pelo método do INAG, DSP, 2003, não sendo toleradas divergências.

Por fim, verifica-se que ao longo do tempo a abordagem da temática caminha para aquela sugerida em 2003 como sendo a ideal quando restou expresso por ALVES e BERNARDO (2003) que no caso de obras de interesse público promovidos pelo Estado ou por entidades privadas acionistas, considera-se desejável a aplicação de metodologias mais complexas, como a metodologia incremental IFIM, desenvolvidas no sentido de responder de modo direto e com eficácia aos diversos tipos de problemas que os sistemas lóticos e ribeirinhos colocam em matéria de necessidades hídricas e de habitats, tendo presentes as particularidades de cada sistema lótico.

## 4.2 Legislação europeia e portuguesa

Conforme brevemente citado na parte introdutória deste Capítulo 4, em Portugal Continental, bem como na União Europeia (UE), não existe fundamentação legal com explícito e impositivo apontamento de um ou mais métodos para a determinação do caudal ecológico. Entretanto, mesmo não abordando a questão dos métodos em si, não se deve supor que a temática não seja tratada direta ou indiretamente dentro de toda a estrutura legal relativa, tanto no âmbito da legislação europeia como da portuguesa.

A Constituição da República Portuguesa de 1976, atualmente em sua 7ª revisão (PORTUGAL, 1976), estabeleceu diretrizes e dentre essas, com fulcro específico, cita-se o Artigo 9º que trata das tarefas fundamentais do Estado: alínea d) “Promover o bem estar e a qualidade de vida do povo e a igualdade real entre os portugueses, bem como a efetivação dos direitos económicos, sociais, culturais, ambientais, mediante a transformação e modernização das estruturas económicas e sociais”; Artigo 66º que versa sobre o ambiente e qualidade de vida estabelece em seu item segundo que “para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos: alínea d) Promover o aproveitamento racional dos recursos naturais, salvaguardando a sua capacidade de renovação e a estabilidade ecológica, com respeito pelo princípio da solidariedade entre gerações”; e no Artigo 81º que trata das incumbências, resta expresso que incumbe prioritariamente ao Estado no âmbito económico e social: alínea n) “Adotar uma Política nacional da água, com aproveitamento, planeamento e gestão racional dos recursos hídricos”. Nesses preceitos, em 7 de abril de 1987 foi publicada a Lei nº 11/87 (PORTUGAL, 1987), intitulada de Lei de Bases do Ambiente, na qual restou, através de seus Artigos, a obrigatoriedade de uma gestão dos recursos hídricos de tal forma que fosse mantida a estabilidade ecológica e, por consequentemente, a manutenção de um caudal nos leitos fluviais com esse fim se fez necessário.

Em seguimento a exposição de interesse, tem-se o Decreto-Lei nº 70/90 (PORTUGAL, 1990b), de 2 de março, que se prestou a definir o regime de bens do domínio público hídrico do Estado, e expressou em seu Artigo 3º que o processo de planeamento deveria observar: alínea b) “Racionalidade, visando a otimização da exploração das várias origens da água e a satisfação das várias necessidades, articulando a procura e a oferta e salvaguardando a preservação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos”. No Decreto-Lei nº 186/90 de 6 de junho (PORTUGAL, 1990a), que transpõe para a ordem jurídica nacional o disposto na Diretiva nº 85/337/CEE de 27 de junho (CEE, 1985), obriga a uma AIA os planos e projetos que, pela sua localização, dimensão ou características, sejam suscetíveis de provocar incidências significativas no ambiente e apresenta em seu ANEXO III, item 10: alínea f) “Barragens e outras instalações destinadas a reter a água ou a armazená-la a longo prazo”. Já no Decreto-Lei nº 45/94 (PORTUGAL, 1994a), de 22 de fevereiro, que regula o processo de planeamento de

recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos, torna-se já clara a preocupação com o habitat aquático quando de forma expressa alerta que o meio hídrico, como ecossistema, reveste-se de enorme sensibilidade e requer a tomada de medidas específicas de salvaguarda das suas características biofísicas, adicionando em seu Artigo 6º a necessidade do inventário dos ecossistemas aquáticos e zonas húmidas. Entretanto, somente no Decreto-Lei n° 46/94 (PORTUGAL, 1994b), de 22 de fevereiro, que estabelece o regime de utilização do domínio público hídrico sob jurisdição do INAG, é que de maneira inequívoca a terminologia caudal ecológico aparece. Ao se consultar o Artigo 33º tem-se expressa a necessidade para o “estabelecimento dos caudais ecológicos e reservado, julgados necessários para salvaguardar o interesse público ou legítimos interesses de terceiros”. Por fim, no Artigo 44º, desse mesmo Decreto-Lei, resta “a obrigatoriedade de instalação dos dispositivos necessários para deixar passar os caudais ecológico e reservado para salvaguarda do interesse público e legítimos interesses de terceiros”.

Para o caso de rios denominados de transfronteiriços (rios Lima, Minho, Douro, Tejo e Guadiana), em 17 de agosto de 1999, foi ratificada a Convenção sobre cooperação para a proteção e o aproveitamento sustentável das águas das bacias hidrográficas luso-espanholas (PORTUGAL; ESPANHA, 1999). No Artigo 16º dessa convenção, em seu parágrafo primeiro, estabelece a manutenção de um “regime de caudais necessário para garantir o bom estado das águas, os usos atuais e previsíveis e o respeito do regime vigente dos Convénios de 1964 e 1968”. Em adição, o Decreto n° 59/99 de 17 de dezembro (PORTUGAL, 1999), denominado de Convenção de Espoo, estabelece a necessidade de mecanismos para avaliação dos impactes provocados no ambiente por determinados projetos públicos ou privados com relevantes efeitos transfronteiras, dentre esses, conforme expresso no item 11 do Apêndice I, “Grandes barragens e reservatórios”.

Dos importantes marcos legais anteriormente citados até o atual momento, inúmeras Leis e Decretos-Leis, que de forma direta ou indireta se relacionavam ao tema em estudo, cumpriram a plenitude do ciclo de serem promulgados, consolidados e revogados para então serem substituídos por outros de mesmos pressupostos só que atualizados, com isso, criou-se um grande acervo histórico o qual não é pertinente elencar para o presente trabalho. Entretanto, torna-se oportuno trazer ao conhecimento os mais expoentes atualmente em vigência e, nessa linha, citam-se: a Lei n° 19/2014 de 14 de abril (PORTUGAL, 2014), atual de Lei de Bases do Ambiente; o Decreto-Lei n° 151-B/2013 de 31 de outubro (PORTUGAL, 2013) que trata do regime jurídico de AIA com incorporação do contexto transfronteiriço da Convenção de Espoo (PORTUGAL, 1999), foi alterado em último pelo Decreto-Lei n° 179/2015 de 27 de agosto (PORTUGAL, 2015) e transpõe para a ordem jurídica interna a diretiva n° 2011/92/EU de 13 de dezembro (PARLAMENTO EUROPEU, 2011); a intitulada de Lei da Água promulgada pela Lei n° 58/2005 de 29 de dezembro (PORTUGAL, 2005) que estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas, foi alterada em último pela Lei n° 44/2017 de

19 de junho (PORTUGAL, 2017) e transpõe para a ordem jurídica interna a intitulada Diretiva Quadro da Água (DQA) nº 2000/60/CE de 23 de outubro (PARLAMENTO EUROPEU, 2000); e, por fim, o Decreto-Lei nº 77/2006 de 30 de março (PORTUGAL, 2006) que complementa a DQA ao estabelecer um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, alterado pela última vez através do Decreto-Lei nº 42/2016 de 01 de agosto (PORTUGAL, 2016).

### 4.3 Método 2,5 a 5% do caudal módulo anual

Refere-se a presente Secção a uma metodologia hidrológica simples e de aplicação direta, também tratada como caudal médio anual e na terminologia anglo-saxónica por *Mean Annual Flow* (MAF) ou *Average Annual Flow* (AAF). Consoante o já visto na parte introdutória deste Capítulo, esse método para determinação de caudais ecológicos foi aplicado rotineiramente durante muito tempo em Portugal Continental de uma forma geral a todos os tipos de aproveitamentos hidráulicos, entretanto, durante a última década, verificou-se o declínio de sua aceitação por parte das Autarquias Públicas em virtude de sua ausência de alicerce ecológico e por tratar de forma homogénea todo o território, dessa forma, desconsiderando as características hidrológicas peculiares de cada parte do país (Norte e Sul). Facto esse corroborado por ALVES e HENRIQUES (1994) ao expressarem que o método não toma em consideração as características do regime hidrológico do curso de água e dos ecossistemas a ele associados, pelo que os objetivos de qualidade ambiental poderão não ser atingidos. Os últimos registos de aplicação, através de sugestões feitas por agentes interessados, têm sido no âmbito de aproveitamentos hidráulicos menores como o caso das mini-hídricas.

THARME (2003) sugere que essa metodologia é uma forma modificada em parte do conceitual desenvolvido no Método de Tennant em 1976, método esse que será exposto no próximo Capítulo. Esse mesmo autor refere que pelo menos 25 países aplicaram o método originalmente exposto por Tennant numa forma modificada com base em vários critérios hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos ou simplesmente com várias percentagens e intervalos de caudal médio anual arbitrariamente designados. Cita como exemplos de uso de percentagens específicas de caudal médio anual para definir os caudais ecológicos em Espanha, com a percentagem de 10% para as bacias hidrográficas para os quais há informações limitadas disponíveis, e aplicação rotineira em Portugal do intervalo de 2,5 a 5%.

Portanto, de forma sucinta, o caudal ecológico é dado pela aplicação de uma percentagem compreendida no intervalo de 2,5 a 5% para aquele caudal médio anual ( $Q_{MOD}$ ) que exprime a relação (Equação 3) entre o volume de água ( $\Delta V$ ) que passa numa dada secção do curso de água ao longo de um ano ( $\Delta t$ ), expresso geralmente em  $m^3/s$  ou  $l/s$  e dado por:

$$Q_{MOD} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

## 4.4 Método do Instituto da Água

Como já referido, no âmbito do Plano Nacional da Água, o INAG - DSP publicou no ano de 2003 um documento referente a caudais ecológicos em Portugal pelos autores ALVES e BERNARDO (2003) os quais, não se limitando, desenvolveram um método considerado hidrológico para determinar caudais ecológicos a serem mantidos a jusante de aproveitamentos hidráulicos em Portugal Continental e que se encontra designado informalmente pelo Método do INAG, DSP, 2003.

Os autores consideram no método a divisão do país em três regiões hidrologicamente homogéneas (Norte do rio Tejo, Sul do rio Tejo e Sub-região Terra Quente) e referem que os critérios para seu desenvolvimento não são somente alicerçados nas características do regime hidrológico natural do curso de água, mas, também, por base pericial, em diversos aspetos relativos à biota, como o período de migração para reprodução de espécies piscícolas e o impacto do período de estiagem sobre a fauna aquática. O método possui como um dos pressupostos base a mimetização, ou seja, a simulação da variabilidade do regime hidrológico ao longo do ano se atentando ao facto que para não agravar os constrangimentos ambientais a biota já normalmente inerentes ao período de estiagem, a redução dos caudais naturais deve ser muito baixa ou até mesmo nula para essa época, reservando a maior redução de caudais naturais durante o período de janeiro a março quando são maiores as disponibilidades hídricas.

A definição do regime de caudais ecológicos foi desenvolvida à escala mensal (Tabela 7) com base nos caudais obtidos a partir das curvas de duração (Secção 3.4) de cada mês de referência e para cada uma das regiões consideradas hidrologicamente homogéneas.

Conforme apresentado nesse Capítulo, na realidade prática, o método do INAG, DSP, 2003, tem sido utilizado pelas Autarquias Públicas de forma indireta ao se confrontar como referência comparativa face aos caudais ecológicos resultantes da aplicação da metodologia incremental IFIM, essa que será alvo de análise detalhada na próxima Secção.

Tabela 7 - Critérios para a definição de regimes de caudal ecológico. Adaptado de ALVES e BERNARDO (2003).

Regime de Caudal Ecológico			
Mês	Região		
	Norte do rio Tejo, excluindo a sub-região Terra Quente	Sul do rio Tejo	Sub-região Terra Quente
Outubro	q75	qmed	q50
Novembro	q75	q25	q50
Dezembro	q75	$(q50 + q25) \times 0,5$	q75

(Continua)

(Continuação)

Janeiro	q75	q50	q75
Fevereiro	q90	q50	q75
Março	q90	q50	q75
Abril	q90	q50	q90
Maiο	q90	q50	q90
Junho	q90	q50	q75
Julho	q75	qmed	q50
Agosto	q75	qmed	qmed
Setembro	q75	qmed	qmed

#### 4.5 Método incremental IFIM

Como mencionado no Capítulo 2, o IFIM é uma referência global (BROWN; KING, 2003; GOPAL, 2013) quando se incide sobre as metodologias disponíveis de classificação de habitat e, ainda, conforme apresentado nesse Capítulo, tem vindo a consolidar-se em Portugal Continental como o método para determinação de caudais ecológicos a serem mantidos a jusante de grandes aproveitamentos hidráulicos. Método esse que foi desenvolvido nos EUA, no final da década de 70 pelo atual USFWS, em Fort Collins, Colorado, é resultante de uma modificação de técnicas anteriores, fornecendo avaliações incrementais dos efeitos da redução do caudal no habitat do peixe e, ao contrário de outras metodologias, o IFIM é um processo interdisciplinar usado para avaliar os efeitos de caudais individuais ou combinados na disponibilidade de habitat para uma ou várias espécies piscícolas em suas diferentes fases de vida (REISER et al., 1989).

O método IFIM pode até ser tratado como uma coleção de modelos de computador e procedimentos analíticos projetados para prever mudanças no habitat de peixes devido a incrementos de mudança de caudais, o que é verdade. Mas, também pode ser usado para avaliar impactos tão diversos quanto as mudanças na estrutura do canal (leito fluvial) ou alterações produzidas pelo lançamento de resíduos de uma fonte de poluição. A sua análise inicia-se com a identificação do problema e estruturação do estudo até a uma análise final para a solução do mesmo. Possui como princípios básicos: i) que a implementação de um regime de caudais é inseparável da gestão dos recursos hídricos e o IFIM deve ser pensado como uma ferramenta de gestão de água. Também, não se destina à modelação de ecossistemas, mesmo sendo projetado para ter aplicações ambientais e ecológicas; ii) é um método que não se destina a gerar uma única solução, mas a prever os impactos de diferentes alternativas; iii) os objetivos de qualquer aplicação devem ser rigorosamente definidos, uma vez ser possível que duas aplicações idênticas da metodologia resultem em soluções muito diferentes devido unicamente aos objetivos dos analistas (BOVEE, 1982).

Este tipo de método considera a distribuição longitudinal e lateral das espécies em função de variáveis como a profundidade média, velocidade média, temperatura, qualidade da água ou outras características que resultem em mudanças graduais nessa distribuição com a sua

variação e fique definido um intervalo de caudal que poderia ser potencialmente habitado por cada uma das espécies. Ainda outras características do macrohabitat como geologia, declive e regime hidrológico criam mudanças no leito fluvial e são elementos importantes para a determinação dos tipos de microhabitat que ocorrem localmente no curso de água. Como peixes e invertebrados não respondem diretamente às características físicas do macrohabitat, mas sim às condições de microhabitat associadas a esses e não é viável medi-los ao longo de todo o comprimento do rio, é necessário apurar o microhabitat em locais identificados pelo investigador que terminem por refletir mudanças longitudinais no macrohabitat físico (BOVEE, 1982).

Em suma, o IFIM pode ser definido como um conjunto de processos analíticos e de modelos de computador elaborados para prever mudanças nos habitats dulciaquícolas devido a alterações do caudal do curso de água. O carácter incremental desta metodologia prende-se com o modo como cada problema é encarado, permitindo que a solução seja encontrada a partir de variações incrementais do caudal, com base numa solução inicial, considerando várias alternativas. A aplicação do IFIM envolve o desenvolvimento de um procedimento específico de cada problema em análise (ALVES; BERNARDO, 2003). A variável de decisão gerada pelo método é a área de habitat total (ver Figura 9) disponível para as espécies piscícolas, considerando o macro e o microhabitat, sendo estimadas as alterações na área de habitat disponível para cada fase do ciclo de vida (alevim, juvenil, adulto) ou para uma atividade particular (reprodução, alimentação, repouso), devido a mudanças no regime hidrológico do curso de água (BOVEE, 1982; ALVES; BERNARDO, 2003). O resultado é uma função, representada graficamente, entre caudal e área de habitat total para cada necessidade de atividade ou fase do ciclo de vida da espécie disponível no curso de água. Portanto, com base nessas informações disponíveis, uma análise deverá ser realizada para simular e determinar o caudal ecológico capaz de manter minimamente as condições de habitat necessárias às espécies alvo do estudo em concomitância com outras procuras pelo uso da água e demais interesses.

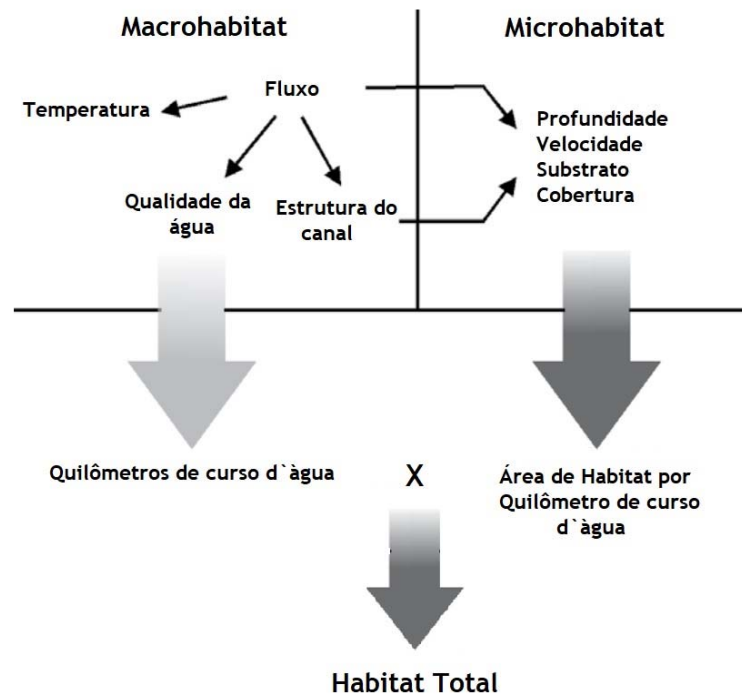


Figura 9 - O habitat total é uma composição do macro e micro-habitat. Adaptado de GOPAL (2013) e STALNAKER *et al.* (1995).

Com vistas a maiores detalhes, no que tange ao desenvolvimento do método, segundo BENETTI *et al.* (2003), BOVEE *et al.* (1998), GOPAL (2013) e STALNAKER *et al.* (1995) esse pode ser descrito em cinco distintas fases, a seguir pormenorizadas:

- Fase de identificação do problema: esta etapa abrange duas componentes, a análise legal institucional e a análise física. A primeira identifica todas as partes envolvidas com o projeto proposto, suas preocupações, as necessidades de informações e como se desenvolverá o processo de decisão. A segunda é relativa à análise física que por sua vez determina: a) a localização e a extensão geográfica das mudanças físicas e químicas do sistema; e b) os recursos aquáticos de maior preocupação juntamente com os objetivos de sua manobra. A etapa de identificação é, em geral, desenvolvida através de encontros entre os órgãos de manobra e de regulação e o proponente do projeto que deve indicar uma alternativa preferencial, sendo essa preferência traduzida em séries hidrológicas supondo que o projeto está em operação como proposto. Nesta etapa deve ser desenvolvida também uma série hidrológica de base, representando ou a situação atual ou outra situação que seja consensualmente aceita. Estas séries hidrológicas estabelecem a base para o planejamento do estudo.

- Fase de planejamento do estudo: nesta fase são identificadas as informações necessárias para atender às preocupações de cada grupo afetado pelo projeto, o que já existe e o que será necessário obter. Isso resultará na elaboração de um documento conciso descrevendo quem fará o quê, quando, onde, como e por quanto. O plano deverá ser exequível, considerando os prazos e recursos humanos e financeiros disponíveis, bem como o planejamento do estudo levará

a identificação de: a) a escala temporal e espacial das avaliações; b) as variáveis importantes para as informações desejadas; e c) como as informações serão obtidas, caso não existam.

- Fase de implementação do estudo: esta fase compreende a recolha de dados, a calibração de modelos, a simulação de alternativas e a síntese dos resultados. Os dados podem incluir temperatura, pH, oxigénio dissolvido, parâmetros biológicos e medidas hidrológicas e hidráulicas tais como caudal, velocidade, altura de água, substrato e cobertura já que estas variáveis descrevem a relação entre caudal e quantidade e qualidade de habitat disponível. Obtém-se uma série temporal de habitat de referência, a qual determina a quantidade total de habitat que estaria disponível para cada etapa de vida de cada espécie ao longo do tempo e dada através da utilização de programa computacional que gera uma função representada por um gráfico de SPU (ver Figura 6 - Secção 2.4). A referência de habitat oferece a base na qual decisões podem ser feitas sobre propostas de operação alternativas e modelos de simulação devidamente calibrados são utilizados para simular novos cenários de necessidades ou diferentes estudos de projetos já existentes.

- Fase de análise de alternativas: essa fase compara as alternativas propostas pelas partes interessadas com a condição de referência e tem o propósito de avaliar os impactos das alternativas, iniciar um processo de negociação e criar novas alternativas mais compatíveis com os múltiplos interesses. São examinadas as alternativas no que se refere principalmente a quatro quesitos que são a efetividade, viabilidade física, riscos e economia: a) a efetividade avalia a sustentabilidade das alternativas e os custos e benefícios em termos de manutenção do habitat de cada alternativa; b) a viabilidade física avalia se os reservatórios irão secar, se os direitos de uso de água são respeitados e se haverá água suficiente para todas as necessidades; c) os riscos examinam a frequência com que os sistemas biológicos poderão entrar em colapso e se os efeitos são reversíveis; e, por fim, d) o aspeto económico avalia os custos e benefícios de cada alternativa.

- Fase de resolução do problema: nesta fase, os participantes devem integrar os conhecimentos acerca dos recursos biológicos e necessidades sociais para chegarem a uma solução negociada que ofereça um equilíbrio entre valores conflitantes. Em geral, uma solução ótima não pode ser identificada com precisão científica em virtude de: a) os valores biológicos e económicos não serem inteiramente mensuráveis; b) as informações recolhidas e modelos de simulação não serem perfeitos; c) as pessoas racionais chegarem a diferentes conclusões; e d) as incertezas sobre o futuro estarem sempre presentes. Nesta fase procura-se identificar oportunidades para que as quantidades de água extraídas maximizem os benefícios para as partes interessadas e, para os casos em que as condições de habitat para a manutenção das espécies de interesse sejam boas ou ótimas, a melhor alternativa é aquela que oferece o menor desvio das condições de referência.

Durante a aplicação da terceira fase, referente à implementação do estudo, é rotina o uso de um dos inúmeros programas computacionais existentes no mercado e que simulam a relação entre caudal e habitat físico disponível para as diversas fases do ciclo de vida ou para atividades específicas de uma determinada espécie alvo. Para tanto, esses programas recorrem, geralmente a parâmetros hidráulicos como a velocidade, a profundidade e a rugosidade do leito do curso de água em análise. Um dos programas mais tradicionais e intrínseco ao método IFIM, de tal forma que, segundo STALNAKER *et al.* (1995), muitas pessoas confundem essa ferramenta com o método em si, é o *Physical HABitat Simulation System*. O PHABSIM é um modelo unidimensional específico que criou um procedimento base, atualmente referenciado pelos programas congêneres, que calcula um índice com a quantidade de microhabitat disponível às necessidades das espécies utilizando-se dois componentes principais, como citado anteriormente, o hidráulico e o de habitat. O componente hidráulico simula profundidades e velocidades da água em função de caudais e resta calibrado a partir de levantamentos de campo que obtêm medidas de profundidade, velocidade e tipo de substrato no leito do curso de água (ver Figura 10 - A) para diferentes caudais.

O elemento de habitat do PHABSIM utiliza índices que variam entre 0 e 1 para avaliar atributos físicos (velocidade, profundidade, substrato, dentre outros) de habitat, sendo o índice 1 indicativo de uma condição mais favorável do atributo para o habitat e esses índices variam em função da fase do ciclo de vida do peixe. Os índices dos atributos são intitulados de índices de adequação de habitats (ver Figura 10 - B) ou, na terminologia anglo-saxônica, por *Habitat Suitability Indices* e são apurados através de: a) observações diretas dos atributos mais frequentemente usados numa fase do ciclo de vida da espécie alvo; b) opiniões de especialistas sobre os atributos requeridos para as fases do ciclo de vida; e c) combinação de observações e parecer de autoridades e especialistas (STALNAKER *et al.*, 1995; BENETTI *et al.*, 2003). Em linha com o que resta expresso na Secção 2.4 deste trabalho, esses dados são coletados em múltiplas secções transversais dentro da área de abrangência do estudo e as condições simuladas de habitats disponíveis são baseadas nas informações sobre condições de microhabitat adequadas e inadequadas para as espécies alvo e seus estágios de vida (KING *et al.*, 2008). Como resultado, são geradas para a biota alvo curvas de preferência de habitat e a SPU (ver Figura 10 - C) (BOAVIDA *et al.*, 2014), onde se analisa a quantidade de habitat físico disponível no comprimento do curso de água ou trecho estudado, expresso em metro quadrado por quilómetro (metro) linear do trecho de água, considerando diferentes caudais de forma a recomendar aquele ecológico ótimo (GUEDES *et al.*, 2014).

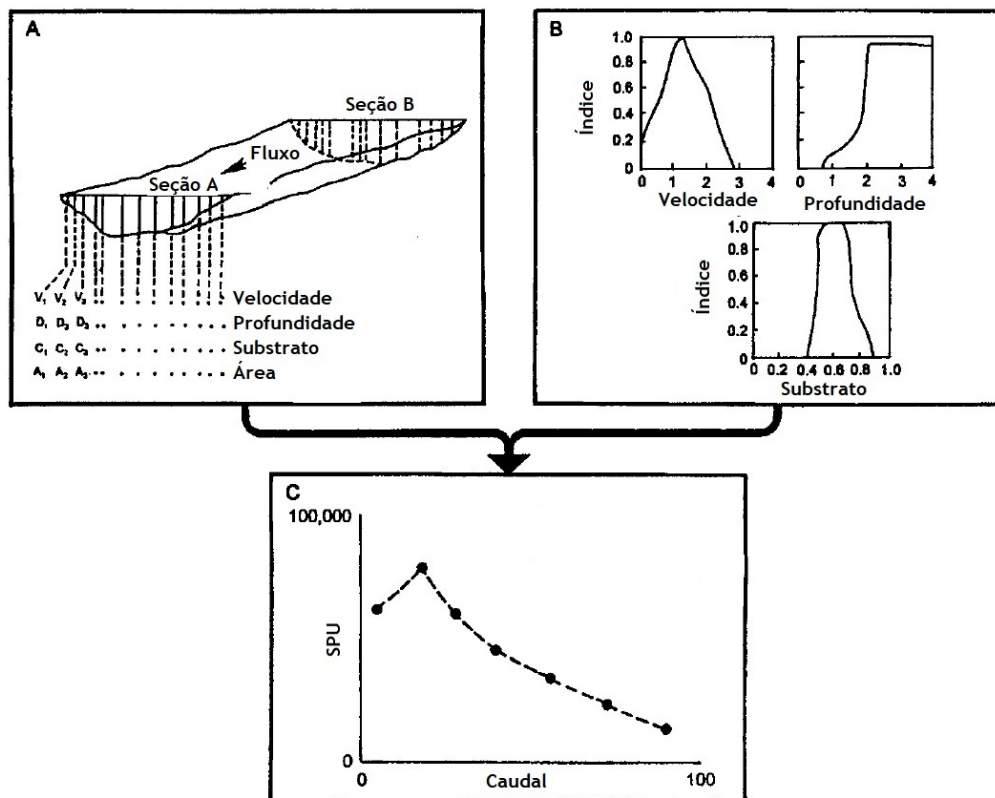


Figura 10 - Processo de determinação da superfície ponderada útil *versus* caudal. A) Dados de microhabitat num troço de curso de água; B) Índice de adequação de habitats; e C) Habitat físico disponível em relação ao caudal. Adaptado de STALNAKER *et al.* (1995).

Segundo PINTO *et al.* (2016), outros exemplos de programas unidimensionais mais comumente utilizados são o *River HYdraulic HABitat SIMulation* (RHYHABSIM) e o *River HABitat SIMulation* (RHABSIM), enquanto o *Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements - 1D/2D* (CASIMIR), desenvolvido pela Universidade de Estugarda, pode ser utilizado tanto em uma quanto em duas dimensões. Como modelos exclusivamente bidimensionais pode-se citar o River 2D, que permite a simulação direta de habitat para a área estudada, enquanto no Hydro2D, no *Riverine Modeling Aquaveo* (RMA2) e no *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System* (HEC-RAS) as análises de habitat são obtidas por meio de pós processamento dos resultados. Ainda segundo PINTO *et al.* (2016), atualmente, um novo programa computacional denominado de *System for Environmental Flow Analysis* (SEFA), desenvolvido por pesquisadores e autores dos programas computacionais mais utilizados no emprego da metodologia IFIM como Ian Jowett (RHYHABSIM), Robert Milhous (PHABSIM) e Thomas Payne (RHABSIM), além de Juan Manuel Diez Hernández, promete integrar toda a estrutura conceitual da metodologia IFIM numa única ferramenta computacional.

Por fim, as vantagens e desvantagens do método enquadram-se naquelas peculiares das metodologias de classificação de habitats e que foram devidamente expressadas na Secção 2.4 deste trabalho.

## 5. Outras metodologias com aplicação no cenário global

### 5.1 Introdução

Neste Capítulo serão apresentados detalhamentos sobre outros métodos de interesse para determinação de caudais ecológicos para além daqueles geralmente adotados no Brasil e em Portugal Continental. Como não é o propósito deste trabalho realizar uma abordagem detalhada de todos os métodos adotados mundialmente, até mesmo porque seria versar para mais de 207 diferentes métodos (THARME, 2003), toma-se como referência os métodos de maior interesse extraídos do conjunto dos que são mais utilizados e de aceitação no âmbito de instituições e organizações que a nível global têm interesse em desenvolver estudos e realizar investimentos na área (Tabela 8). Nesse sentido considera-se a esfera que inclui o *World Bank*, o *International Water Management Institute (IWMI)* e o *International Union for Conservation of Nature (IUCN)*, cada um com abordagens que lhes são peculiares como financiamentos a países em desenvolvimento, uso sustentável da água e conservação da natureza respetivamente.

Tabela 8 - Principais exemplos de métodos reconhecidos por Instituições/Organizações com atuação a nível global. Atualizado e adaptado de GOPAL (2013).

Instituição / Organização	Exemplos de métodos
IUCN	Q95
	Tennant
	IAH
	Perímetro molhado
	BBM
	Avaliação por painel de especialistas
	PHABSIM
	IFIM
	DRIFT
Word Bank	Tennant
	Perímetro molhado
	BBM
	IFIM
	DRIFT

(Continua)

(Continuação)

Instituição / Organização	Exemplos de métodos
IWMI	Tennant
	Perímetro molhado
	IFIM
	BBM
	DRIFT
	GEFC
	Avaliação por painel de especialistas

## 5.2 Método de Tennant

O método hidrológico de Tennant, também conhecido como método de Montana, foi desenvolvido em 1975 nos EUA e baseia-se exclusivamente em simples variáveis hidrológicas (TENNANT, 1976). Trata-se de um dos mais antigos métodos desenvolvidos especificamente para as necessidades dos peixes e baseou-se em 17 anos de experiência e ensaios realizados por Donald Leroy Tennant em centenas de cursos de água, mais especificamente em dados de calibração apurados através de testes de campo nos Estados de Nebraska, Wyoming e Montana (GOPAL, 2013). Segundo KING *et al.* (2008), na década de 90, era o segundo método mais utilizado em todo os EUA e também rotineiramente aplicado em inúmeros outros países.

A recomendação de um caudal tem suporte num conjunto de percentagens do caudal médio anual, calculado para o local do aproveitamento hidráulico, recorrendo a diferentes percentagens (Tabela 9) para o período seco e para o período húmido (TENNANT, 1976).

A aplicação do método raramente envolve o reconhecimento de campo, sendo a recomendação de caudais baseada unicamente na tabela desenvolvida (SARMENTO, 2007), e segundo ALVES e BERNARDO (2003) e TENNANT (1976) a aplicação deste método envolve as seguintes etapas:

- Primeira: determinação do caudal médio anual no local do aproveitamento hidráulico;
- Segunda: observação do curso de água durante os períodos em que o caudal existente no leito fluvial é aproximadamente 10%, 30% e 60% do caudal médio anual, documentando-o com recurso de fotografias dos vários tipos de habitat característicos e medições em secções transversais características obtendo a largura do leito e profundidade, bem como velocidade do escoamento. Outros caudais podem ser igualmente analisados, mas estes três permitem abranger a gama de caudais que, de um modo geral, será recomendado para a proteção dos ecossistemas aquáticos e ripícolas da maioria dos cursos de água; e

- Terceira: utilização da informação obtida para elaborar recomendações de caudais a manter no curso de água com base nas referências (Tabela 9).

Tabela 9 - Regime de caudais recomendados pelo Método de Tennant. Adaptado de TENNANT (1976).

Caudal	Regime de caudais recomendado	
	Período seco	Período húmido
De descarga ou máximo	200% do caudal médio anual	
Gama de variação óptima	60 - 100% do caudal médio anual	
Excelente	40%	60%
Muito bom	30%	50%
Bom	20%	40%
Fraco ou degradante	10%	30%
Pobre ou mínimo	10%	10%
Degradação elevada	0 - 10% do caudal médio anual	

O caudal correspondente a 10% do caudal médio anual constitui o caudal instantâneo mínimo que permite manter, por um curto período de tempo, as condições de habitat necessárias à sobrevivência da maior parte das espécies aquáticas. Para este caudal, a largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento são significativamente reduzidas conduzindo à degradação do habitat para a maior parte das espécies. A temperatura da água pode subir, podendo tornar-se um fator limitante para algumas espécies, particularmente durante o período de estiagem. As populações de macroinvertebrados são bastantes afetadas, podendo pôr em risco a produção piscícola do curso de água. Os peixes concentram-se nas zonas mais profundas, atingindo densidades elevadas e nos locais onde a profundidade é baixa a circulação de indivíduos de maiores dimensões fica limitada. A vegetação ripícola poderá ficar sujeita a stress hídrico (TENNANT, 1976; ALVES; BERNARDO, 2003).

O caudal correspondente a 30% do caudal médio anual é o caudal recomendado para manter condições adequadas de habitat para a maior parte das espécies aquáticas. A largura do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento, assim como a temperatura, são mantidas a níveis considerados satisfatórios para a maior parte das espécies. As populações de macroinvertebrados são afetadas, mas a níveis que não colocam em risco a produtividade piscícola. A vegetação ripícola não é afetada (TENNANT, 1976; ALVES; BERNARDO, 2003).

O caudal correspondente a 60% do caudal médio anual permite a manutenção de condições ótimas de habitat para a maior parte das espécies aquáticas durante as primeiras fases do ciclo da vida (TENNANT, 1976; ALVES; BERNARDO, 2003; LONGHI; FORMIGA, 2011).

O método tem sofrido diversas modificações que visam uma melhor adaptação dos regimes de caudais ecológicos calculados ao regime natural de caudais nas diversas regiões diferentes daquela para a qual o método foi desenvolvido. A sua maior limitação é que ele só deverá ser aplicado a cursos de água morfológicamente semelhantes àqueles a partir dos quais esta técnica foi desenvolvida, sendo mais adequado a rios de grandes dimensões, que exibem uma pequena variação do caudal ao longo do ano (SARMENTO, 2007).

As modificações anteriormente citadas, que normalmente são intituladas de método de Tennant modificado, são verificadas, na literatura, principalmente no sentido da redistribuição das percentagens de acordo ao regime hidrológico no local onde será aplicado o método. No Brasil (região sudeste) e, segundo ALVES (2010), para Portugal Continental (bacias hidrográficas internacionais) o sensato seria o ajuste para que o período de caudais ecológicos máximos seja definido como sendo de dezembro a março e o período de caudais ecológicos mínimos de junho a setembro, sendo os intervalos compreendidos entre abril e maio, e outubro e novembro (Tabela 10), classificados como meses de transição com valores ajustados de caudais intermédios.

Tabela 10 - Regime de caudais recomendados pelo Método de Tennant “Modificado” para o Brasil (região sudeste) e Portugal Continental (bacias hidrográficas internacionais). Adaptado de ALVES (2010).

Caudal	Regime de caudais recomendado		
	Jun-Set	Abr/Mai/Out/Nov	Dez-Mar
De descarga ou máximo	200% do caudal médio anual		
Gama de variação óptima	60 - 100% do caudal médio anual		
Excelente	40%	50%	60%
Muito bom	30%	40%	50%
Bom	20%	30%	40%
Fraco ou degradante	10%	20%	30%
Pobre ou mínimo	10%	10%	10%
Degradação elevada	0 - 10% do caudal médio anual		

Por fim, mesmo tratando-se de um método simples, fácil e de rápida aplicação, pode apresentar resultados bastante satisfatórios face a métodos mais sofisticados. Segundo LONGHI e FORMIGA (2011), através de estudos comparativos, constataram que muitas vezes o caudal recomendado por um método mais complexo, como o IFIM, está muito próximo da faixa de caudais resultantes de um método simples, como o método de Tennant. Isto demonstra que há a possibilidade, em situações de insuficiência de dados e/ou recursos materiais e humanos, de utilizar métodos de menor complexidade e mais acessíveis.

### 5.3 Método do perímetro molhado

O método do perímetro molhado foi desenvolvido no início da década de 70 pelo Montana *Department of Fish Wildlife and Parks* (GOPAL, 2013) e era na década de 90 o método hidráulico mais utilizado no mundo e o terceiro mais utilizado nos EUA (THARME, 2003), facto esse que provavelmente ainda se mantém atualmente.

O método supõe que as necessidades de desova e passagem de peixes num curso de água são garantidas quando é mantida uma descarga mínima que é determinada em uma curva relacionando perímetros molhados com caudais e, normalmente, para o estudo deverá ser escolhido um troço do curso de água considerado crítico para a manutenção das funções dos organismos aquáticos (BENETTI et al., 2003). São definidas secções transversais em uma ou mais zonas de rápidos e realizadas medições de velocidades e profundidades do escoamento, no mínimo para cinco caudais, podendo igualmente recorrer-se à modelação hidráulica (auxílio do programa HEC-RAS, por exemplo). É definido um gráfico do perímetro molhado em função do caudal e identificado o principal ponto de inflexão da curva (ver Figura 11) a partir do qual o aumento de caudal traduz-se num aumento pouco significativo do perímetro molhado e numa rápida deterioração das condições do habitat (ALVES; BERNARDO, 2003).

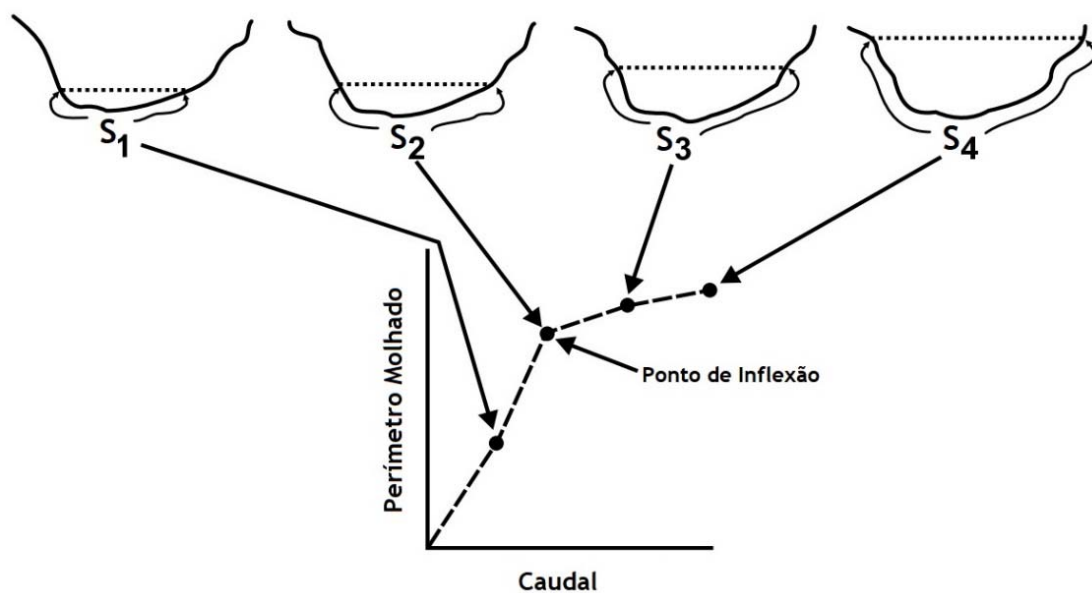


Figura 11 -Método do perímetro molhado para estimar caudais. Adaptado de STALNAKER et al. (1995).

Abrange somente caudais baixos, não considera a variabilidade ao longo dos anos e, adicionalmente, não considera a geomorfologia do canal, a qualidade da água, além de ser aplicado para canais com zonas de estagnação bem definidas. Para canais (ver Figura 12) com secções transversais com formas parabólicas ou em forma de V, a relação perímetro molhado e caudal não apresentam o ponto de inflexão bem definido (SARMENTO, 2007; LONGHI;

FORMIGA, 2011). Em adição, o ponto de inflexão na curva é determinado subjetivamente o que pode ocasionar inconsistência na seleção do local do ponto de quebra da curva e há complicações quando o ponto de quebra na curva não é definido, como no caso anterior de secções em V, ou onde ocorrem múltiplos pontos de quebra.

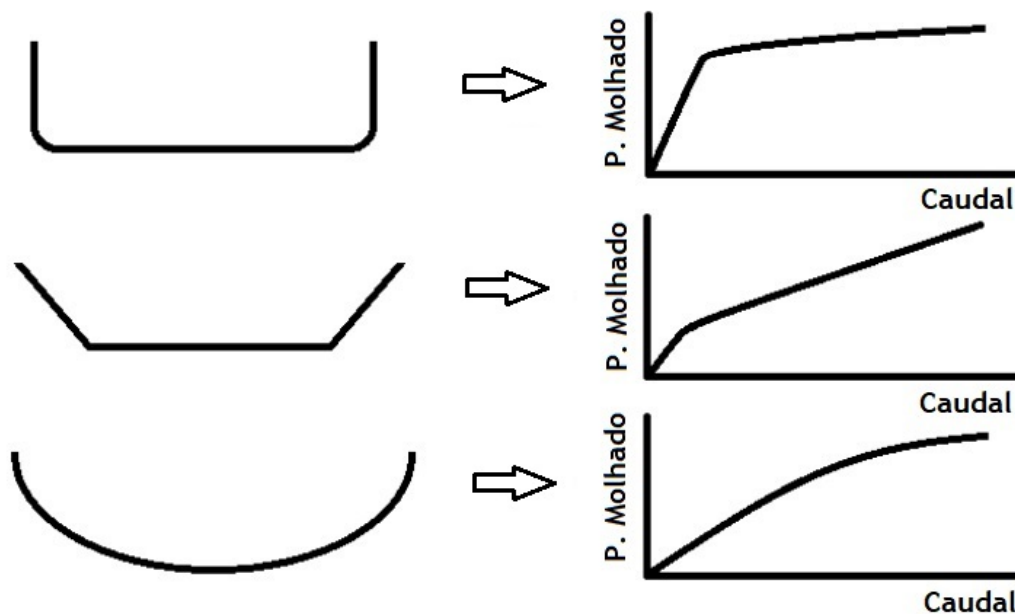


Figura 12 - Curvas perímetro molhado versus caudal para secções diferentes. Adaptado de CDFW (2013).

O método tem sido aplicado principalmente em rios que apresentam secções transversais relativamente largas, retangulares (ver Figura 12) e pouco profundas, uma vez que a forma do canal influencia os resultados da análise (STALNAKER et al., 1995). Também, não é aplicável a cursos de montanha, em que predominam as cascatas ou a cursos de pequeno declive em que as zonas de rápidos são pouco significativas (ALVES; BERNARDO, 2003), observações essas que limitam a aplicação do método.

## 5.4 Método de construção de blocos (Building Block Methodology - BBM)

O mais frequente método holístico usado em todo o mundo (ARTHINGTON et al., 2003), o método de construção de blocos ou, na terminologia anglo-saxónica, *Building Block Methodology*, foi desenvolvido para os cursos de água da África do Sul entre 1993 e 1995 através de um convénio entre a *University of Cape Town* e o *Water Research Commission* (WRC) (THARME; KING, 1998) no sentido de identificar um conjunto de caudais que permitissem atender às necessidades e à conservação dos ecossistemas aquáticos na sua globalidade. Passou a ser adotado como método padrão na África do Sul após a promulgação nesse país no ano de 1998 do Acto nº 36 (REPUBLIC OF SOUTH AFRICA, 1998), semelhante a Lei da Água, no qual

restou expresso em seu Capítulo 2, item 6: alínea l)” a necessidade de promover a gestão das bacias hidrográficas de uma forma holística e integrada”.

O método difere de outros mais tradicionais na medida em que se concentra na manutenção da “saúde” do sistema fluvial completo e não na preservação de espécies específicas com base na sua importância comercial ou de conservação. De forma pragmática, relaciona-se muito fortemente com os aspetos de engenharia, gestão da água e tomada de decisão dos recursos hídricos (THARME; KING, 1998), além de funcionar em situações com grande ou pequena disponibilidade de dados (ARTHINGTON et al., 2003) e ser aplicável a rios regularizados e não regularizados quando versando sobre restauração de caudais (SARMENTO, 2007).

O BBM baseia-se nos seguintes pressupostos (THARME; KING, 1998; ALVES; BERNARDO, 2003):

- Primeiro: a biota de um curso de água está adaptada às características do seu regime hidrológico. A manutenção de caudais não característicos desse curso de água constituirá uma perturbação do ecossistema que poderá alterar o seu carácter;
- Segundo: a identificação das principais características do regime hidrológico natural e a sua incorporação no regime hidrológico modificado contribuirá para a manutenção do ecossistema; e
- Terceiro: a identificação dos caudais que influenciam a geomorfologia e a sua inclusão no regime de caudais modificados contribuirá para a manutenção da estrutura do canal e da diversidade dos biótipos físicos.

O método BBM depende do conhecimento disponível e do parecer de especialistas, reunidos num processo estruturado de *workshops*, nos quais são reunidos especialistas das áreas de peixes, invertebrados aquáticos, vegetação ciliar, integridade de habitats, geomorfologia fluvial, hidráulicos, hidrólogos, químicos aquáticos e cientistas sociais. O resultado dos *workshops* é uma descrição quantitativa, no espaço e no tempo, do regime de caudais que deve possibilitar a manutenção do ecossistema do recurso hídrico num estado de qualidade desejado (BENETTI et al., 2003).

A denominação *Building Block* refere-se aos componentes do regime de caudais que são específicos para o curso de água estudado, onde os “blocos” (ver Figura 13) de caudal usualmente pertencem às seguintes categorias: caudais de base em períodos de estiagem, caudais de base em períodos de chuvas, cheias nas estações chuvosas, picos de curta duração e caudais subsuperficiais na estação seca. Os mínimos volumes de água para cada “bloco” são determinados e, desta forma, define-se um regime de caudais para manter os ecossistemas

aquáticos o qual é identificado e descrito em termos de tempo de ocorrência, duração e magnitude (BENETTI et al., 2003).

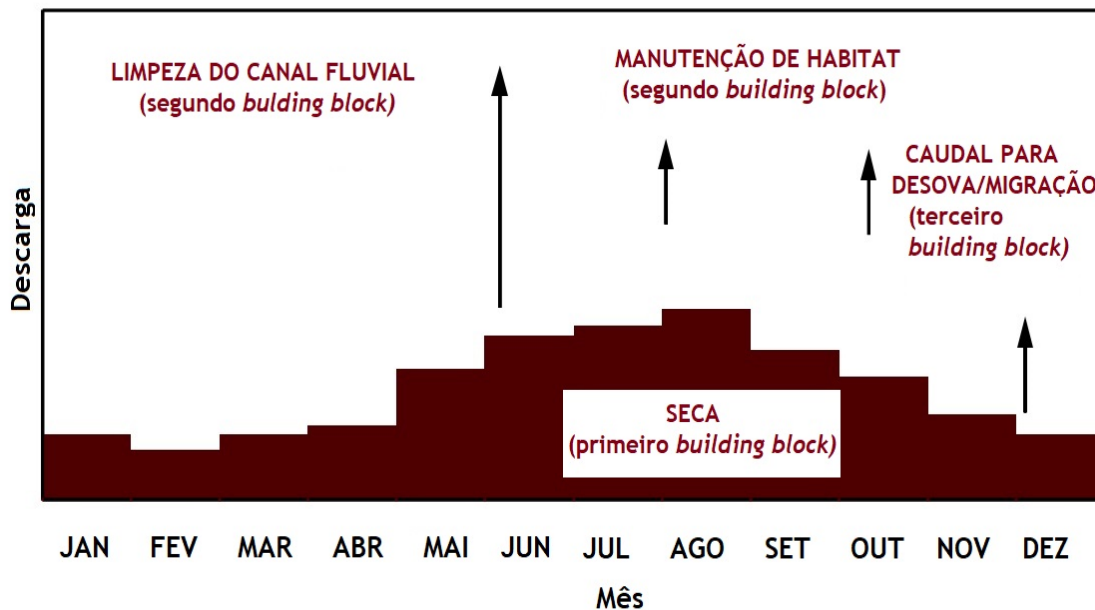


Figura 13 - Exemplo de regime de caudal construído usando blocos de construção. Adaptado de ACREMAN e DUNBAR (2004).

As atividades do método são divididas em três fases: a) preparação do *workshop*, b) execução do *workshop*, e c) atividade posterior ao *workshop* já no âmbito do planeamento e construção de projeto (THARME; KING, 1998). A fase de preparação do *workshop*, com uma duração média de 6 meses (ALVES; BERNARDO, 2003), consta de uma série de atividades incluindo consulta às partes interessadas, estudos de gabinete e de campo para a seleção do local, análise geomorfológica do troço de curso de água, inquéritos sociais e de integridade do habitat do rio, estabelecimento de objetivos para a condição futura do rio, avaliação da importância ecológica e econômica do rio, análises hidráulica e hidrológica (SARMENTO, 2007). A fase de execução do *workshop*, com uma duração de dois a quatro dias, envolve em média cerca de 20 pessoas e inclui especialistas de diversas áreas: gestão de recursos hídricos, hidrologia, modelação, ecologia, etc. O *workshop* é constituído por quatro sessões principais: visita a cada local selecionado, troca de informação e caracterização dos caudais para cada local selecionado e síntese final (THARME; KING, 1998). A terceira e última fase tem lugar depois da realização do *workshop* e nela se procede à elaboração de cenários, em que são considerados dois ou mais estados futuros desejáveis para o curso de água. Com base nesses cenários, procede-se à avaliação de possíveis conflitos de utilização e das consequências sócio económicas do regime modificado de caudais proposto, num processo que consta com a participação do público. As conclusões relativas ao regime hidrológico são incluídas na fase de estudo de viabilidade e conceção de projeto (ALVES; BERNARDO, 2003).

Apresenta como pontos fracos: a) a descrição do estado futuro considerado desejável é predominantemente qualitativa e não quantitativa; b) considera que o ecossistema fluvial manterá no horizonte do projeto as características que possui atualmente; c) os resultados obtidos estão fortemente relacionados com a informação disponível, a qual pode não ser muito completa; d) os aspetos de qualidade da água não são devidamente considerados nesta metodologia; e e) locais selecionados devem estar em condições primitivas, o que por vezes é difícil (THARME; KING, 1998; ALVES; BERNARDO, 2003).

## 5.5 Global Environmental Flow Calculator (GEFC)

Uma investigação foi conduzida em 2004 com centenas de especialistas de vários países através da Universidade de *Linköping* (Suécia), em colaboração com o IWMI, IUCN e *Stockholm International Water Institute* (SIWI), para identificar as razões do porquê dos conceitos básicos para avaliação dos requisitos ecológicos de rios ou fornecimento efetivo de caudais ecológicos estimados, não serem aplicados em muitas regiões do mundo. A investigação revelou um alto nível de interesse no conceito sobre caudais ecológicos, mas uma falta geral de conscientização, orientação política insuficiente, falta de ferramentas e capacidade de gerir essa implementação. Mesmo com o alto nível de informações e conhecimento sobre caudais ecológicos atualmente disponíveis, muitos especialistas em recursos hídricos têm pouca compreensão da terminologia, os principais componentes dos caudais ecológicos e etapas necessárias para avaliá-los. Dessa forma, concluiu-se ser imperativo tornar o conceito de caudais ecológicos mais acessível aos gestores das bacias hidrográficas, políticos que moldam a legislação sobre alocação de água, Organizações Não Governamentais (ONGs), Agências Governamentais e Internacionais, dentre outros (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

O *Global Environmental Flow Calculator* foi desenvolvido como resultado desse “desafio” e se propõem a introduzir o conceito, principalmente nos países subdesenvolvidos, através do uso de uma ferramenta relativamente simples para auxiliar a estimar caudais ecológicos, mesmo em regiões onde os dados hidrológicos são escassos. Portanto, trata-se de um método e pacote de *software* computacional, com bases tais que o enquadraram maioritariamente como um método hidrológico, e que se propõem a avaliar e determinar, em qualquer ponto do globo, caudais ecológicos para manter num curso de água numa certa condição ecológica acordada. Desenvolvido pelos especialistas em hidrologia Vladimir Smakhtin e Nishadi Eriyagama, com apoio do IWMI e o *Challenge Program on Water and Food* (CPWF) e com registo das primeiras aplicações no ano de 2006 nas bacias hidrográficas da Índia, o método usa dados de caudais mensais e é construído em torno de uma curva de duração (permanência) de forma a garantir que os elementos da variabilidade do caudal natural sejam preservados nas séries de caudal ecológico estimadas. Mesmo sendo um método hidrológico, considera breve aspeto ecológico uma vez que a curva é calculada levando em consideração várias categorias de proteção do ecossistema aquático, as quais ficam inseridas num intervalo de classificação compreendido

desde um *status* de rio e habitat naturais (conservados) até severamente modificados (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

A classificação anteriormente citada é referida de classes de manejo ambiental ou, na terminologia anglo-saxónica, por *Environmental Management Classes* (EMC) e foi desenvolvida pelo *Department of Water Affairs and Forestry* (DWAF) da África do Sul (ACREMAN; DUNBAR, 2004) e o GEFC possui seis diferentes classes de A a F (Tabela 11). Quanto maior o EMC, maiores caudais terão de ser alocadas para a manutenção ou conservação do ecossistema aquático e será necessária uma maior variabilidade. Essas classes devem basear-se em relações empíricas entre caudal e condições ecológicas associadas a limiares claramente identificáveis (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008) ou segundo GOPAL (2013) os rios são colocados em diferentes EMC, através de julgamento especializado, usando um sistema de pontuação (Tabela 11).

Tabela 11 - *Environmental Management Classes*. Adaptado de ACREMAN e DUNBAR (2004), GOPAL (2013) e SMAKHTIN e ERIYAGAMA (2008).

Pontuação total do indicador em percentagem	EMC	Provável condição ecológica	Perspetiva de manejo
91 - 100	A	Rios naturais com mínima modificação dos caudais e habitat ripícola	Rios e bacias protegidas. Reservas e parques nacionais. Não foram permitidos novos projetos de água como barragens, diversões, etc.
75 - 90	B	Rios ligeiramente modificados e/ou ecologicamente importantes com biodiversidade e habitats em grande parte intactos, apesar de necessidades pelos recursos hídricos e/ou modificações da bacia	Necessidades para abastecimento de água ou desenvolvimento de irrigação presentes e/ou permitidas
50 - 74	C	Os habitats e a dinâmica da biota foram perturbados, mas as funções básicas do ecossistema ainda estão intactas. Algumas espécies sensíveis são perdidas e/ou reduzidas em extensão. Presença de espécies invasoras.	Múltiplos distúrbios associados à necessidade de desenvolvimento socioeconómico, como barragens, diversões, dentre outro com modificação do habitat e redução da qualidade da água

(Continua)

(Continuação)

Pontuação total do indicador em percentagem	EMC	Provável condição ecológica	Perspetiva de manejo
30 - 49	D	Grandes mudanças no habitat natural, biota e funções básicas do ecossistema. Uma variedade de espécies claramente inferior a esperada. Presença reduzida de espécies intolerantes e as espécies invasoras prevalecem	Distúrbios significativos e claramente visíveis associados ao desenvolvimento de bacias e recursos hídricos, como barragens, desvios, transferências, modificação do habitat e degradação da qualidade da água
15 - 29	E	Diversidade e a disponibilidade de Habitat diminutas. Variedade de espécies surpreendentemente mais baixa do que o esperado e somente espécies tolerantes são observadas. As espécies nativas já não podem se reproduzir e as invasoras dominaram o ecossistema	Alta densidade populacional humana e extensa exploração de recursos hídricos. Geralmente, esse status não deve ser aceitável como objetivo de manejo. As intervenções de manejo são necessárias para restaurar o padrão de escoamento e "mover" um rio para uma categoria de gerenciamento mais alta
0 - 14	F	As modificações atingiram um nível crítico e o ecossistema foi completamente modificado com quase total perda do habitat e biota natural. No pior caso, as funções básicas do ecossistema encontram-se destruídas e as mudanças são irreversíveis	Esse status não é aceitável para perspectiva de manejo. As intervenções de manejo são necessárias para restaurar o padrão de escoamento e os habitats do rio (se ainda for possível/viável) para "mover" um rio para uma categoria de gerenciamento mais alta

Segundo SMAKHTIN e ERIYAGAMA (2008) o procedimento para estimação do caudal ecológico no GEFC é realizado em quatro etapas:

- a) Seleção da base de dados hidrológicos: o utente da ferramenta poderá escolher entre uma base de dados global simulada numa interface de mapa (ver Figura 14), essa fornecida pela Universidade de *New Hampshire* (EUA), pré inserida no *software* e que é denominada de *Global Flow Database* ou realizar a inserção de dados próprios. Para a segunda opção, pode-se utilizar uma série histórica de caudais médios mensais para um período de até 100 anos;

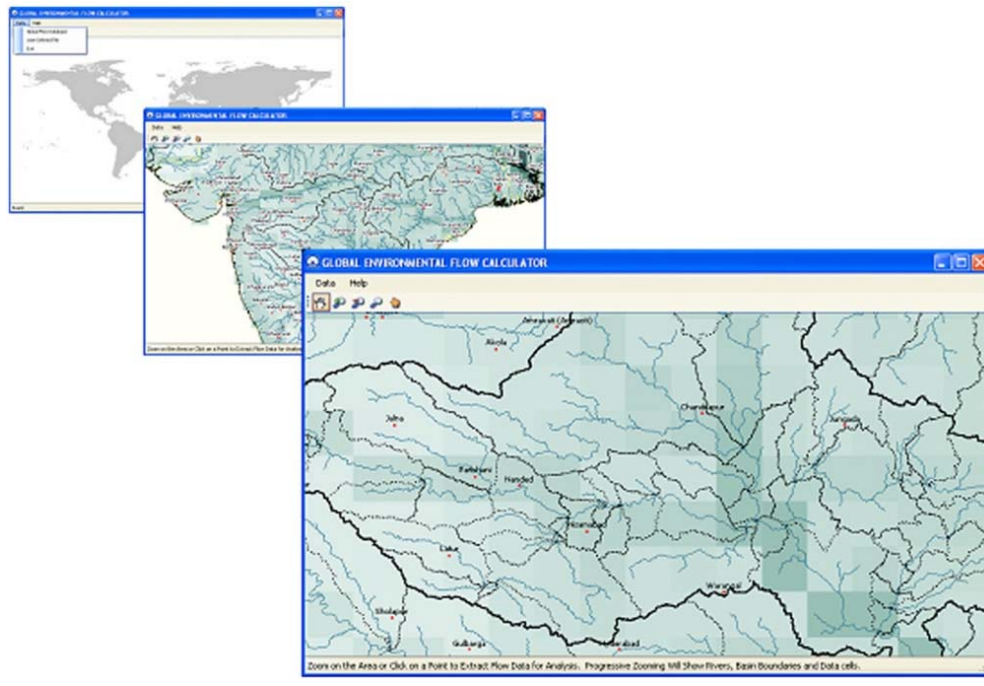


Figura 14 - Interface para acesso a base de dados do GEFC (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

b) Apresentação das características hidrológicas: uma vez definida a base de dados hidrológicos, o GEFC apresenta as principais características hidrológicas (ver Figura 15) como série histórica de caudais mensal e anual, curva de permanência (duração), distribuição mensal de caudais e estatísticas;

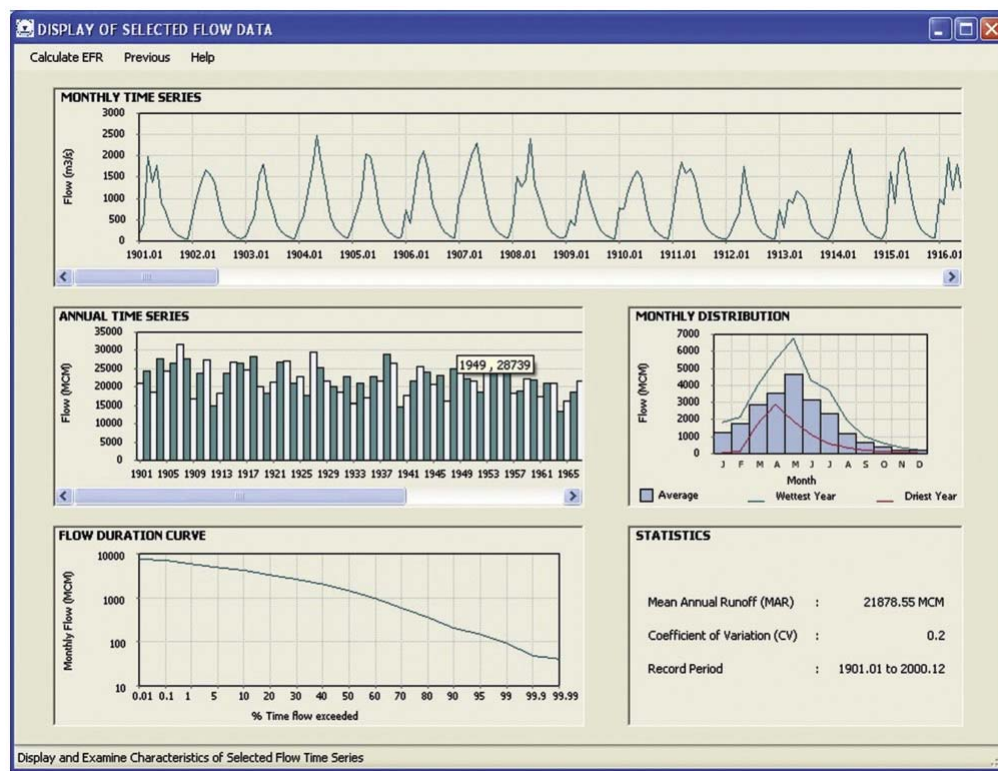


Figura 15 - Exemplo da apresentação das principais características hidrológicas (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

- c) Determinação dos caudais ecológicos: a ferramenta determina a curva de permanência para o caudal em condições naturais e para todos os caudais ecológicos resultantes de cada uma das classes EMC (ver Figura 16), podendo ser selecionada a mais apropriada em relação a situação ecológica do curso de água; e

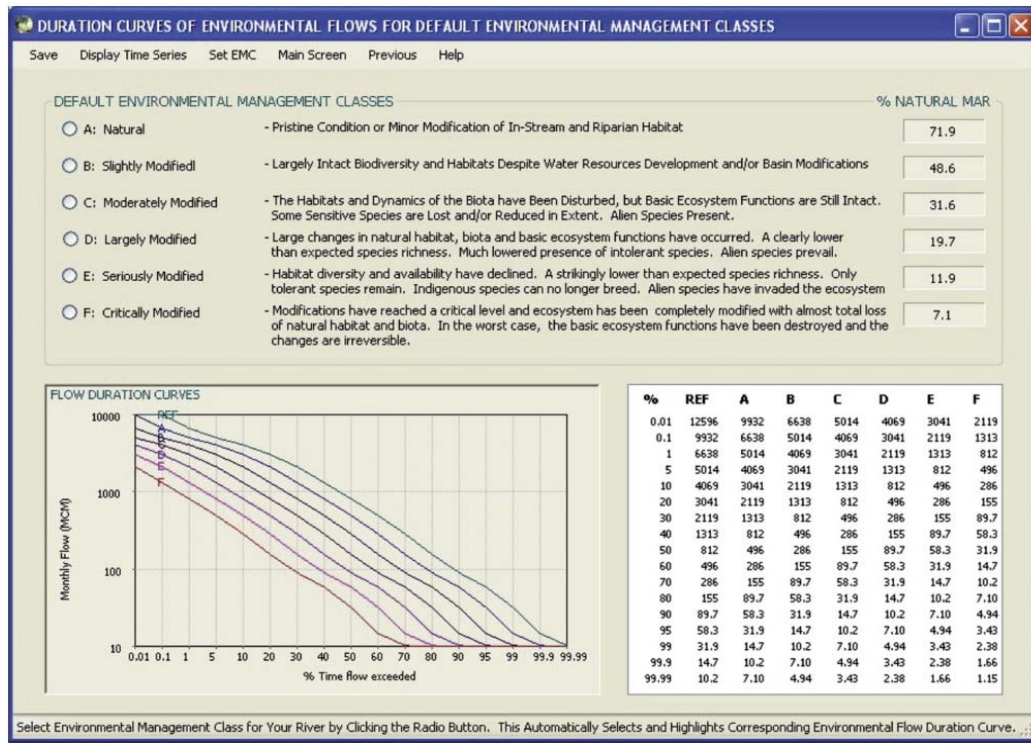


Figura 16 - Exemplo da apresentação das diferentes curvas de permanência (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

- d) Exibição da série histórica mensal do caudal ecológico: a partir da curva de duração escolhida na etapa anterior, o software gera, utilizando procedimento de interpolação espacial não linear, a série histórica mensal do caudal ecológico e natural (ver Figura 17).

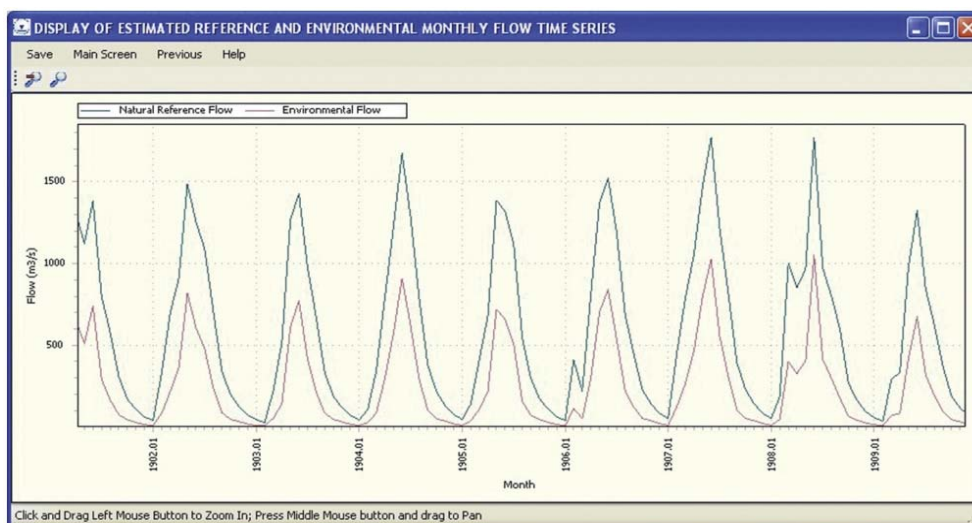


Figura 17 - Exemplo de série histórica para o caudal ecológico selecionado (SMAKHTIN; ERIYAGAMA, 2008).

O método possui, de uma forma geral, as vantagens e desvantagens inerentes aos métodos hidrológicos. O facto de contar com uma base de dados a nível global, mesmo esses não sendo muito elaborados e confiáveis para resultados de maior precisão, é uma vantagem quando da ausência desses *in loco*. De forma análoga, o facto de o *software* permitir como uma segunda opção a possibilidade de inserir séries históricas de caudais médios mensais para períodos de até 100 anos é, quando da disponibilidade destes, uma mais-valia para a confiança dos resultados.

## 6. Determinação de caudais ecológicos - Estudo de caso

### 6.1 Introdução

Neste Capítulo, utilizando-se como estudo de caso a central mini-hídrica Saudade, concedida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil à Construtora Vibrat Ltda. (VIBRAL), são determinados os valores de caudais ecológicos resultantes da aplicação de vários métodos, esses devidamente analisados ao longo das próximas Seções. Para tal feito, serão apresentados os principais elementos que compõem a central, juntamente com elementos sobre a bacia hidrográfica na qual está inserida, bem como dados fluviométricos (completamente atualizados até à data da elaboração deste trabalho) e relativos ao meio ambiente, para esse último versando especificamente sobre a ictiofauna e o habitat.

Com base em todas as informações apresentadas ao longo dos Capítulos anteriores, por um lado, se pôde apresentar aqueles métodos para determinação do caudal ecológico mais comumente utilizados no Brasil e em Portugal Continental, bem como outros a nível mundial aceites no âmbito do IUCN, *World Bank* e IWM que são largamente utilizados ou de interesse. Por outro lado, obstante o avolumado rol de informações e dados gentilmente disponibilizados pela VIBRAL a respeito do aproveitamento Saudade e utilizados ao longo de todo este Capítulo (VIBRAL, 2012, 2015), tem-se estabelecida a limitação inerente para tornar realidade produtiva a aplicação de diversos métodos em virtude do facto de suas características, por vezes peculiares, exigirem levantamentos e estudos específicos, os quais não foram desenvolvidos. Portanto, a partir da intersecção desses dois “conjuntos” é que a seleção dos métodos alvo deste trabalho teve origem e, nesse sentido, selecionaram-se os métodos  $Q_{7,10}$ , Tennant, curva de permanência, perímetro molhado, INAG e *Global Environmental Flow Calculator*.

### 6.2 Caracterização da central mini-hídrica Saudade

#### 6.2.1 A Central mini-hídrica Saudade

Com potência instalada de 9,90MW a central mini-hídrica Saudade, também intitulada de Pequena Central Hidroelétrica (PCH) Saudade ou simplesmente PCH Saudade, concedida pela ANEEL à VIBRAL através da Resolução Autorizativa n° 4.606 de 25 de março de 2014 e publicada no Diário Oficial da União do dia 04 de abril de 2014, será implantada no rio Cágado, bacia do Atlântico em seu trecho leste, sub-bacia do Paraíba do Sul, no Município de Mar de Espanha (ver Figura 18), região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, Brasil. Com Coordenadas Geográficas Lat. 21° 53'44"S e Long. 43° 05'7"W (datum SAD-69), o aproveitamento situa-se 38,5 km a montante da foz do rio e cerca de 5km a jusante da estação hidrométrica de Estevão Pinto, essa operada pela ANA.

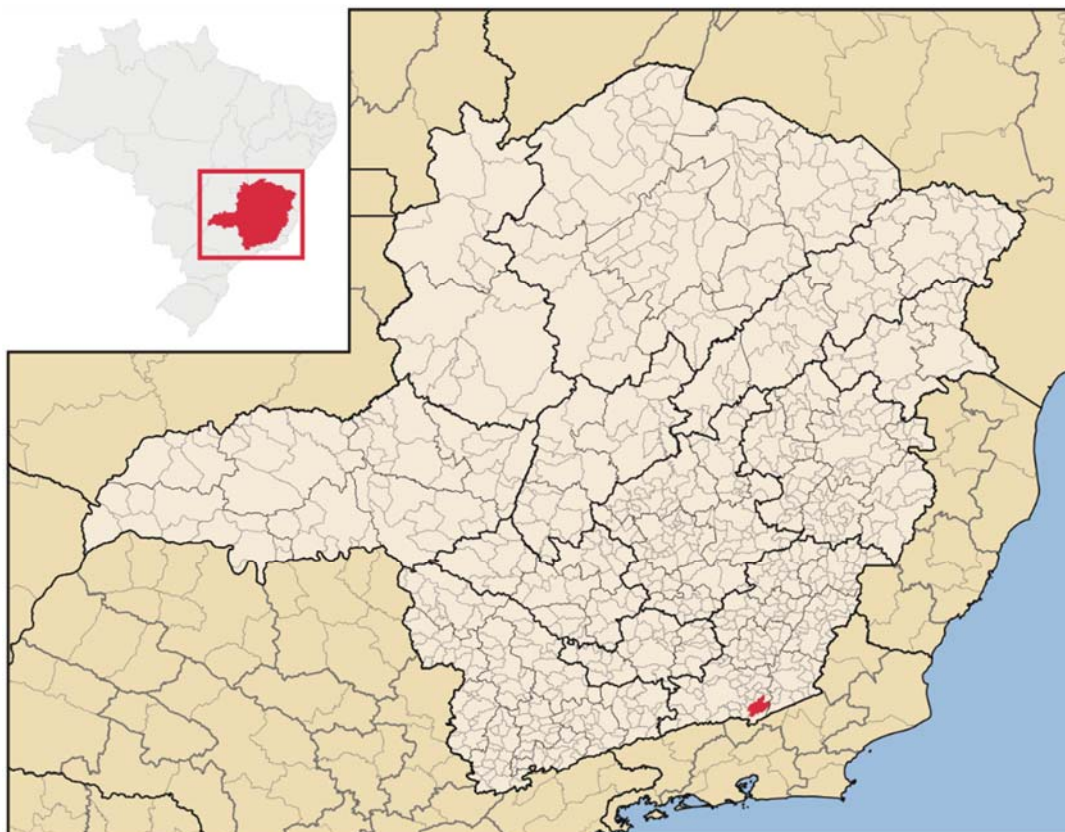


Figura 18 - Localização do Município de Mar de Espanha (VIBRAL, 2012).

O aproveitamento hidráulico caracteriza-se por uma sucessão de cascatas ao longo de aproximadamente 4.700,00 m do rio e totalizando cerca de 50,00 m de queda natural. Topografia essa que conduziu ao melhor projeto (ver Figura 19) de uma única central de desvio com um sistema de adução composto por um canal aberto de betão com perfil trapezoidal de 2.600,00 m de comprimento, uma câmara de carga (ver Figura 20) e uma conduta forçada com 200,00 m de comprimento. A mini-hídrica irá operar em regime de fio de água, tendo o seu açude (ver Figura 21) como única função a de garantir o nível na tomada de água localizada junto à margem esquerda da barragem e constituindo um reservatório de apenas 0,25 km<sup>2</sup>, o qual resultará num baixíssimo impacte ambiental. A barragem será de gravidade com aproximadamente 9,00 m de altura média, construída em betão convencional vibrado e com um descarregador de cheias do tipo “Creager”.

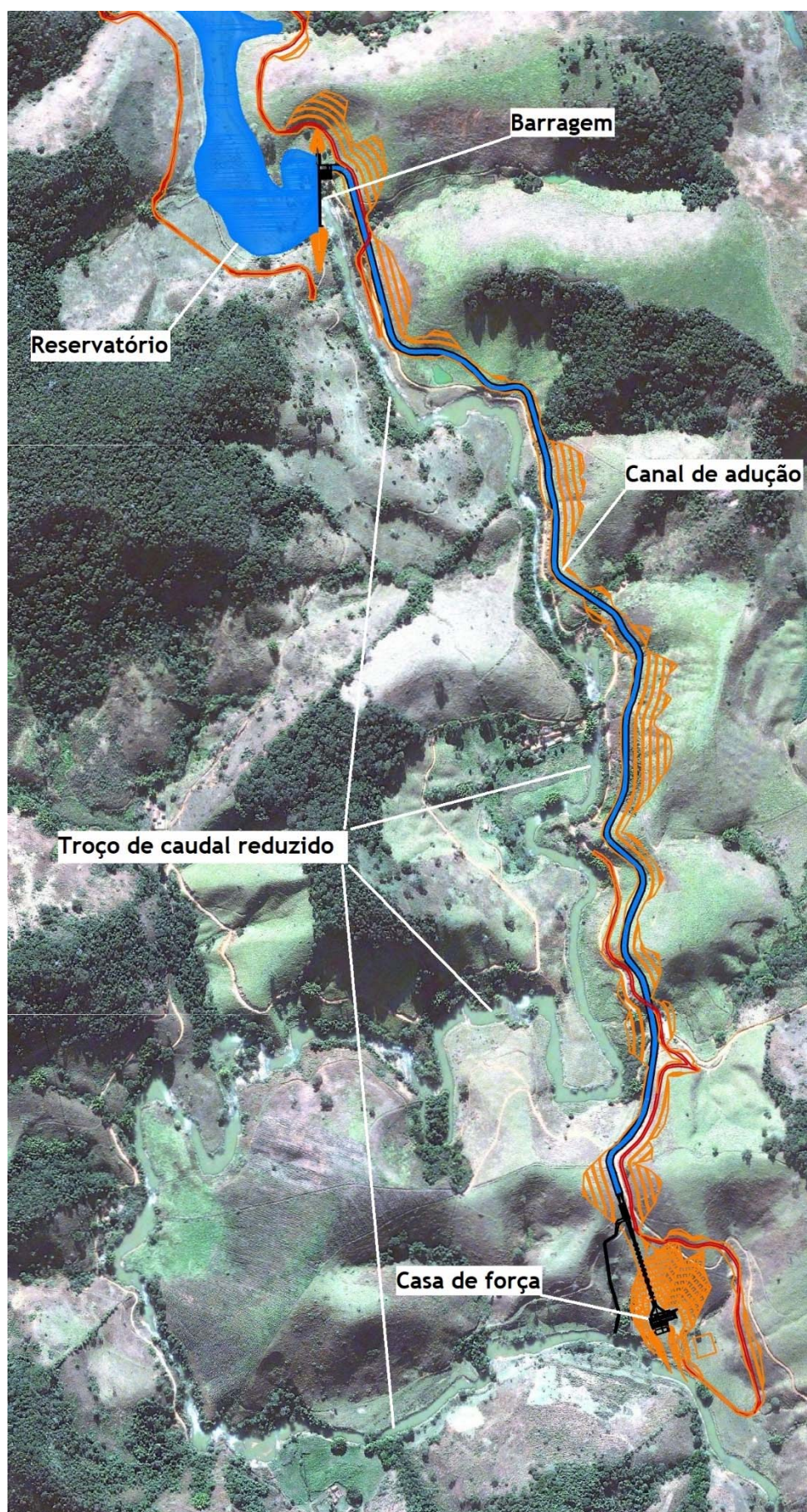


Figura 19 - Projeto geral da central mini-hídrica Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).

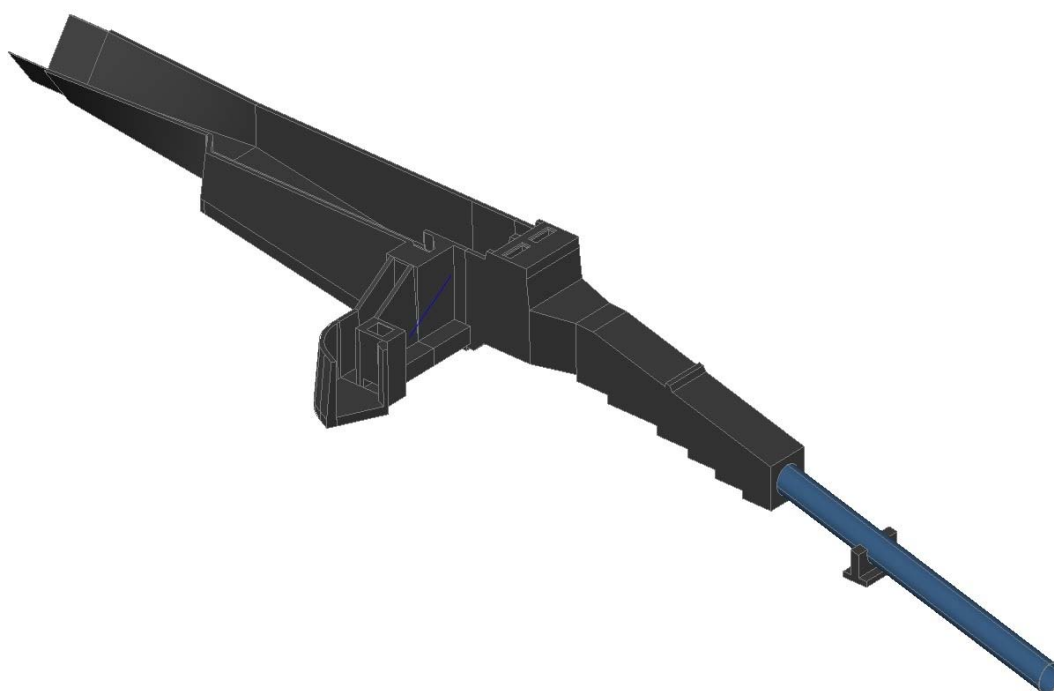


Figura 20 - Modelo tridimensional da câmara de carga da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).

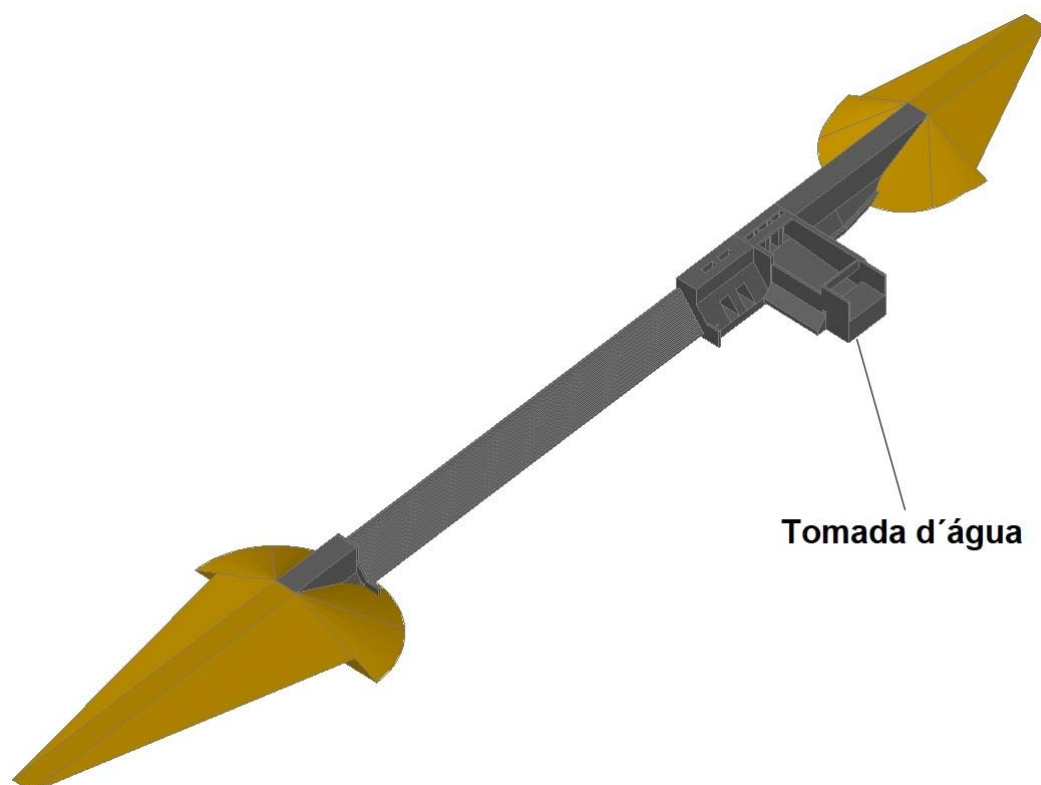


Figura 21 - Modelo tridimensional da barragem da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).

A casa de máquinas (ou casa de força) abrigará três grupos geradores (ver Figura 22) de 3,30 MW cada, com turbinas tipo Francis simples de eixo horizontal. Essa opção visou conferir grande

flexibilidade operativa à central de acordo com a variabilidade hidrológica local, permitindo maximizar seu potencial de produção.

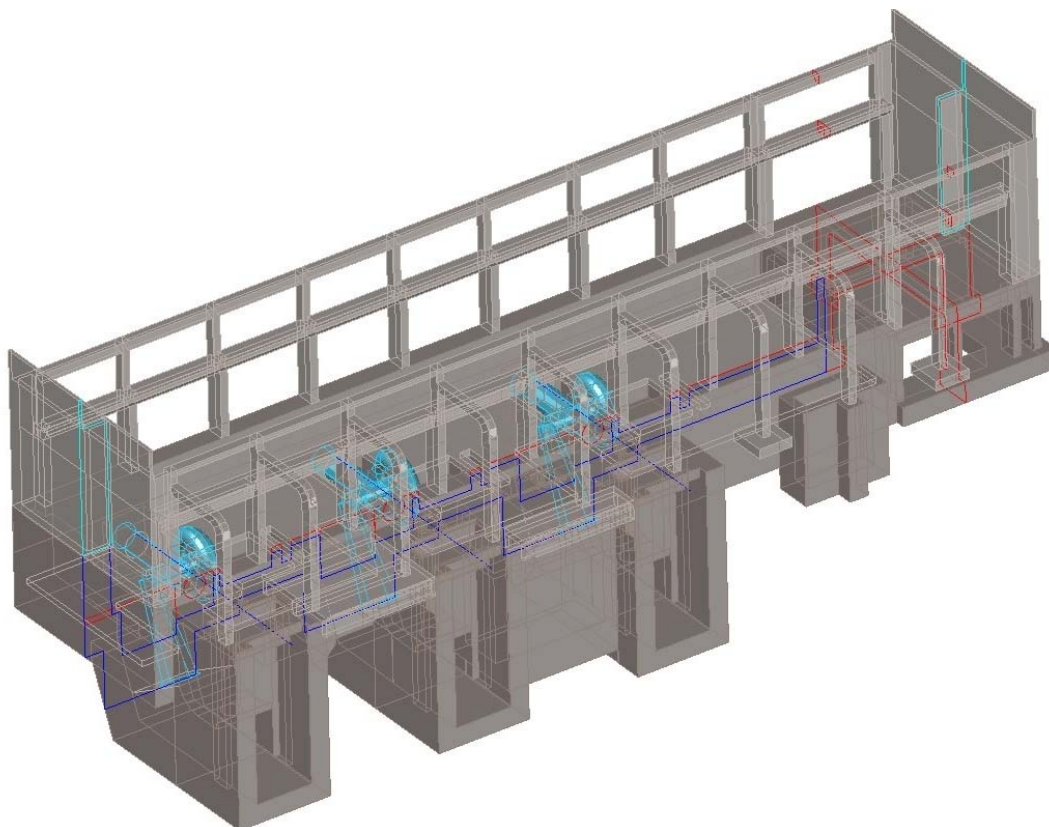


Figura 22 - Modelo tridimensional da casa das máquinas da central mini-hídrica Saudade (VIBRAL, 2012).

Como o ponto de ligação ao sistema de distribuição nacional será próximo da central, a linha de transmissão adotará tensão de 22 kV e possuirá aproximadamente 6.000 m de comprimento. As características gerais da central estão apresentadas de forma resumida na Tabela 12. Por fim, atualmente, o aproveitamento hidráulico de Saudade encontra-se em fase final do licenciamento ambiental, etapa essa que vai ultimar os procedimentos burocráticos necessários à sua implantação de facto, estando o início efetivo das obras previsto para o ano de 2020.

Tabela 12 - Resumo dos principais dados da mini-hídrica de Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).

Potência Instalada (MW)	9,90
Fator de capacidade (%)	56,8
Grupos geradores	3 unidades
Turbinas	Francis simples de eixo horizontal
Queda bruta (m)	60,20
Queda útil (m)	58,28

(Continua)

(Continuação)

Caudal de projeto (m <sup>3</sup> /s)	19,64
Área inundada pelo reservatório (km <sup>2</sup> )	0,249
Volume do reservatório (hm <sup>3</sup> )	0,614
Altura média da barragem (m)	8,90
Tipo de vertedouro	Perfil Creager
Tecnologia do betão	Betão convencional vibrado
Sistema de adução	Canal aberto de secção trapezoidal com câmara de carga e conduta de alta pressão
Comprimento do canal (m)	2.600,00
Comprimento da conduta forçada (m)	200,00
Diâmetro da conduta forçada (m)	3,00
Nível normal operacional a montante (m)	425,00
Nível normal a jusante (m)	364,80

### 6.2.2 Bacia hidrográfica

Conforme expresso brevemente no início da Secção anterior, a bacia hidrográfica do rio Cágado (código ANA - 58560000) está localizada no estado de Minas Gerais, na bacia do Atlântico em seu trecho leste (código ANA - 5), sub-bacia do Paraíba do Sul (código ANA - 58) e situa-se entre os paralelos 21° 39' e 22° 03' de latitude sul e os meridianos 42° 51' e 43° 21' de longitude oeste. Essa bacia hidrográfica, com uma área de drenagem de aproximadamente 1.120,00 km<sup>2</sup>, possui na sua abrangência os Municípios de Juiz de Fora, Santa do Deserto, Mar de Espanha, Senador Cortes, Bicas, Pequeri, Guarará, Chácara e Maripá de Minas (ver Figura 23). Não existem aproveitamentos hidroelétricos implantados na bacia e dentre as suas principais características fisiográficas, podem ser destacadas as apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Principais características fisiográficas da bacia do rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).

Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	1.116,00
Comprimento do curso de água principal (km)	153,50
Declividade média do talvegue (m/km)	4,768
Perímetro (km)	215,00
Coefficiente de forma (Kf)	0,05
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,80
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	2,10
Tempo de concentração	28 horas



### 6.2.2.1 Dados pluviométricos

Em termos pluviométricos, em virtude de a precipitação ser um fenômeno espacial, para se obter uma caracterização mais específica na bacia hidrográfica do aproveitamento Saudade, a VIBRAL (2012) optou por determinar a precipitação ponderada através do método das isoietas. Para tanto, foram utilizadas informações disponíveis na base de dados da ANA e oriundas de estações pluviométricas existentes na região (ver Figura 24). Primeiramente, listaram-se todos os postos existentes no Município de Mar de Espanha e outros adjacentes com suas respectivas coordenadas geográficas para, na sequência, obter-se as séries históricas de precipitações destes postos, estas analisadas uma a uma em relação à sua densidade de dados mantendo aquelas estações que apresentaram séries extensas. Por fim, com base nas séries históricas, foram calculadas as precipitações anuais médias de cada estação (Tabela 14).

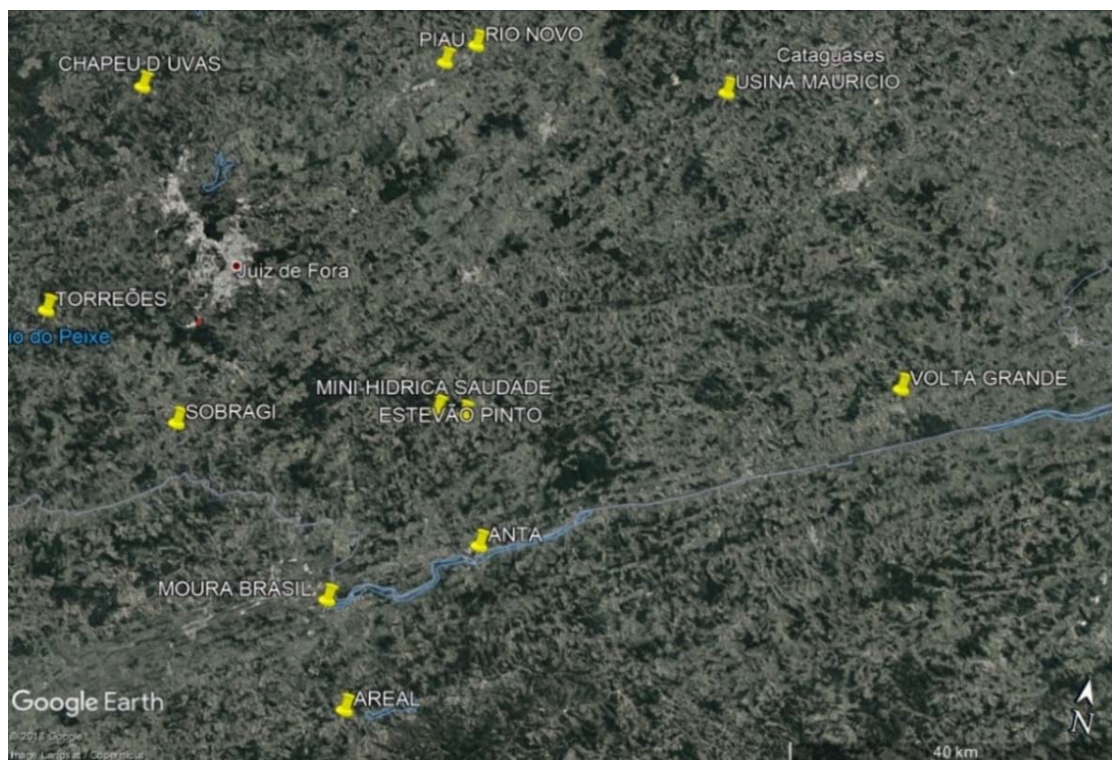


Figura 24 - Localização das estações pluviométricas utilizadas na região da mini-hídrica Saudade (elaborado com auxílio do programa computacional *Google Earth*).

Tabela 14 - Precipitações totais médias por estação de 1963 a 2009 (VIBRAL, 2012).

Código ANA	Nome	Município	Latitude (SAD-69)	Longitude (SAD-69)	Norte UTM	Leste UTM	Total Anual médio (mm)
2143021	Sobragi	Belmiro Braga	21 57 59 S	43 22 21 W	7569991,97	668048,48	1310
2142006	Central Maurício	Itamarati de Minas	21 28 17 S	42 48 47 W	7624254,27	724189,64	1489
2143016	Torreões	Juiz de Fora	21 52 09 S	43 33 20 W	7580945,14	649245,19	1497

(Continua)

(Continuação)

Código ANA	Nome	Município	Latitude (SAD-69)	Longitude (SAD-69)	Norte UTM	Leste UTM	Total Anual médio (mm)
2143020	Chapéu D'Uvas	Juiz de Fora	21 35 39 S	43 30 19 W	7611340,82	654735,06	1525
2143013	Estevão Pinto	Mar de Espanha	21 53 47 S	43 02 29 W	7577342,78	702345,40	1261
2143022	Piau	Piau	21 29 58 S	43 09 13 W	7621437,86	691272,47	1628
2143018	Rio Novo	Rio Novo	21 28 21 S	43 07 16 W	7624381,10	694675,96	1390
2242028	Anta	Sapucaia	22 02 07 S	42 59 27 W	7561895,39	707368,04	1267
2243015	Moura Brasil	Três Rios	22 07 38 S	43 09 08 W	7551924,95	690583,11	1148
2243013	Areal	Três Rios	22 14 31 S	43 06 16 W	7539160,80	695353,52	1261
2142008	Volta Grande	Volta Grande	21 46 09 S	42 32 23 W	7590687,70	754418,87	1215

Ainda com base nas informações recolhidas através das séries históricas de precipitações das estações de referência, pode-se elaborar um diagrama cronológico das precipitações anuais (ver Figura 25).

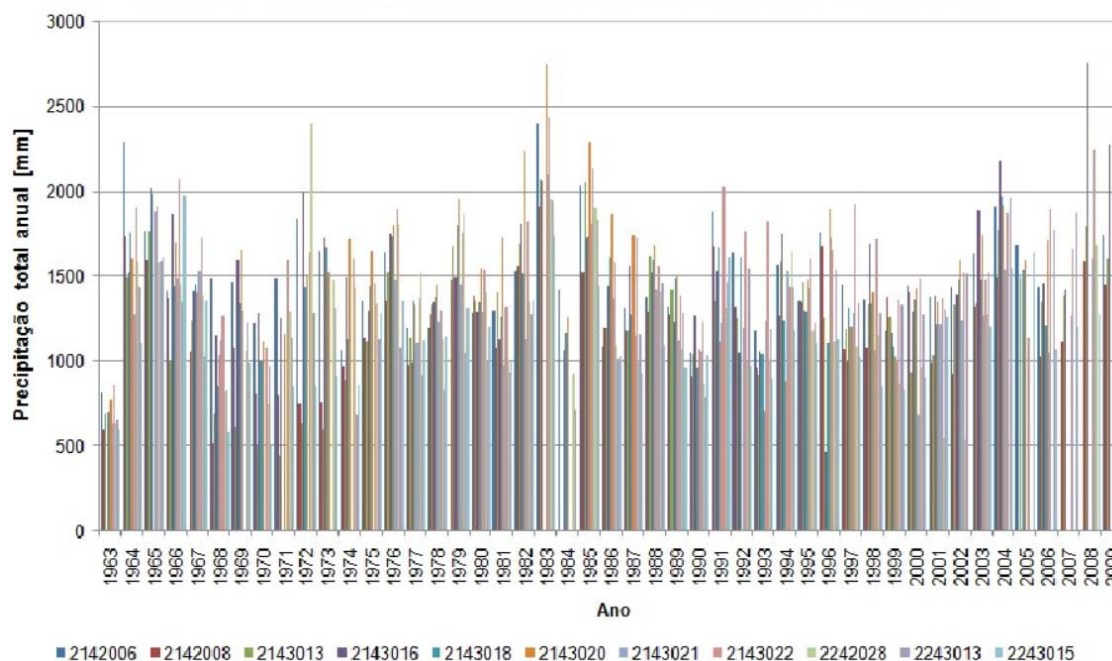


Figura 25 - Diagrama cronológico da precipitação anual das estações em estudo (VIBRAL, 2012).

As precipitações anuais médias foram tratadas através de Sistema de Informações Geográficas (SIG), interpoladas para a área de interesse por meio do método de regressão de Krigagem, esse que parte do princípio de que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados, e gerando-se um mapa de isoietas (ver Figura 26) que são curvas que delimitam regiões de mesma pluviosidade.

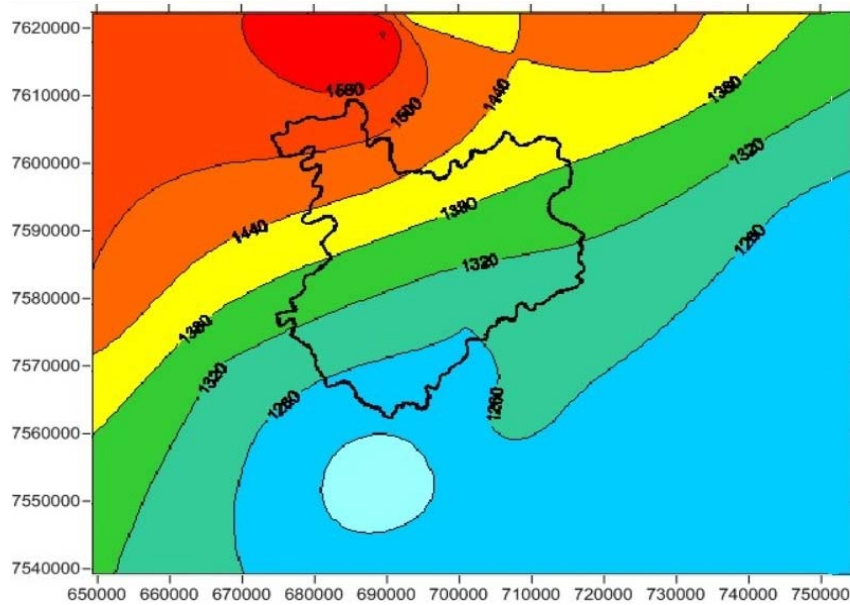


Figura 26 - Bacia hidrográfica do aproveitamento Saudade sobreposta às isoietas (VIBRAL, 2012).

Ponderando-se as precipitações médias entre as isoietas em relação às suas áreas dentro da bacia hidrográfica, obtém-se uma precipitação anual média de 1.344 mm na bacia de contribuição para o aproveitamento Saudade. Para uma análise da variabilidade mensal da chuva nessa região, selecionou-se a série da estação Estevão Pinto, em função da sua extensão e proximidade com o local do aproveitamento. Nos registos de precipitações mensais médias dessa estação (ver Figura 27), constata-se que os meses de janeiro e dezembro são destacadamente os mais chuvosos, com médias bem superiores aos demais. De forma análoga, os meses julho e agosto são os mais secos, sendo os mais críticos para o ecossistema aquático.

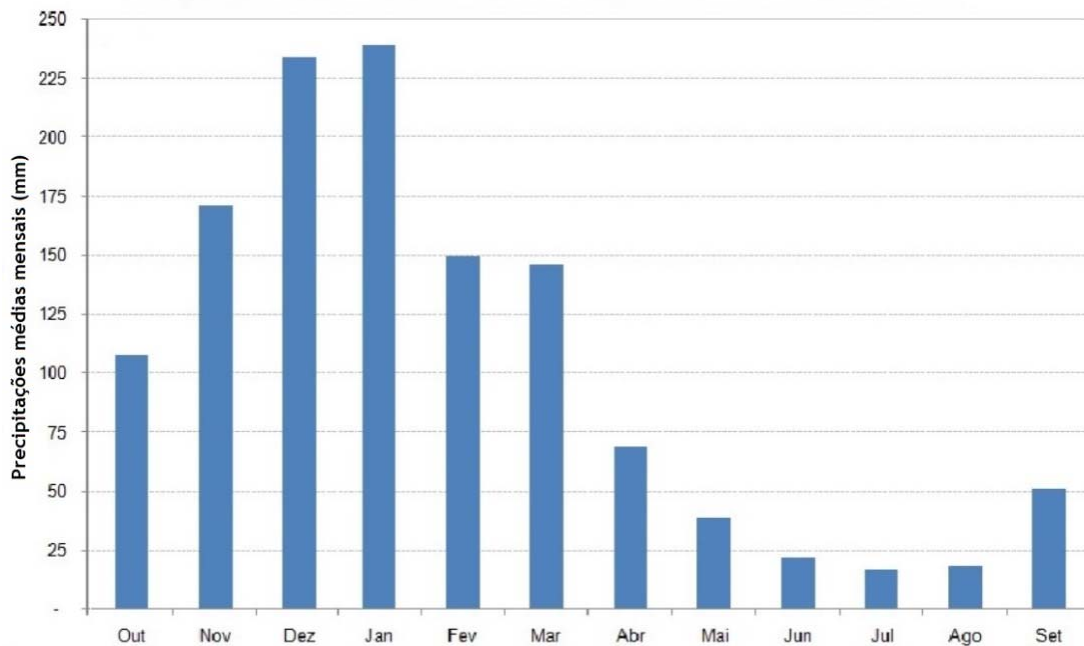


Figura 27 - Precipitações médias mensais - Estação Estevão Pinto de 1963 a 2009. Adaptado de VIBRAL (2012).

### 6.2.2.2 Dados fluviométricos

Em virtude, no que diz respeito ao aspeto temporal, dos estudos hidrológicos constantes nos materiais disponibilizados pela VIBRAL (2012, 2015) serem datados até o ano de 2010, houve para o presente estudo a necessidade da completa atualização dos mesmos. Nesse sentido, para atualização específica do estudo hidrológico, adotou-se como referência os dados (Tabela 15) apurados da estação fluviométrica de Estevão Pinto, instalada no rio Cágado em uma localidade conhecida pelo mesmo nome. Essa estação foi selecionada em função da sua proximidade ao local do aproveitamento Saudade, a qual dista aproximadamente 5 km do seu eixo do barramento e, dessa forma, termina por conferir grande semelhança hidrológica. Também, por possuir grande representatividade estatística uma vez que a sua série histórica de caudais é bastante extensa, iniciada em outubro de 1931. Entretanto, como alguns poucos registos de caudais diários não foram apontados, aproximadamente 20 dias ao longo da série histórica de 86 anos dessa estação, para suprir essa pequena lacuna, completando a série histórica, foram transpostos dados (Tabela 15) da estação Bom Jardim, com caudal médio a longo prazo semelhante à estação de Estevão Pinto e situada a apenas 68 km de distância dessa estação de referência.

Tabela 15 - Principais dados das estações fluviométricas utilizadas no estudo. Adaptado de VIBRAL (2012).

Nome da estação	Estevão Pinto	Bom Jardim
Código ANA da bacia	5	5
Código ANA da sub-bacia	58	58
Código ANA da estação	58610000	58827000
Curso de água	Rio Cágado	Rio Grande
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	783	553
Latitude (Datum SAD-69)	21° 53' 47" S	22° 09' 24" S
Longitude (Datum SAD-69)	43° 02' 29" W	42° 24' 58" W
Altitude (m)	426	570
Caudal médio a longo prazo (m <sup>3</sup> /s)	14,418	14,410
Caudal específico (l/s.km <sup>2</sup> )	18,41	26,05
Início dos registos	outubro/1931	setembro/1934
Fim dos registos	outubro/2017	setembro/2017

As séries históricas completas relativas às estações anteriormente referidas encontram-se disponíveis para *download* em seu estado não tratado no sistema de informações hidrológicas da ANA, podendo ser consultadas através de uma ferramenta de banco de dados *on line* intitulada de HidroWeb (ANA, 2018). Assim, para uma melhor acurácia e consequente confiança, refere-se que todas as informações e dados hidrológicos apresentados neste

trabalho, frutos de exaustivo tratamento através de editor de Excel, são oriundos de medições diárias nas respectivas estações, inclusive aqueles dados que por vezes ficam compilados ao longo deste trabalho para facilitar a sua compreensão.

Inicia-se a exposição dos dados e informações com a apresentação das curvas de vazão de ambas as estações (ver Figuras 28 e 29) que possuem elevados coeficientes de determinação ( $R^2$ ), indicando uma boa qualidade das séries de caudais gerados a partir dessas estações.

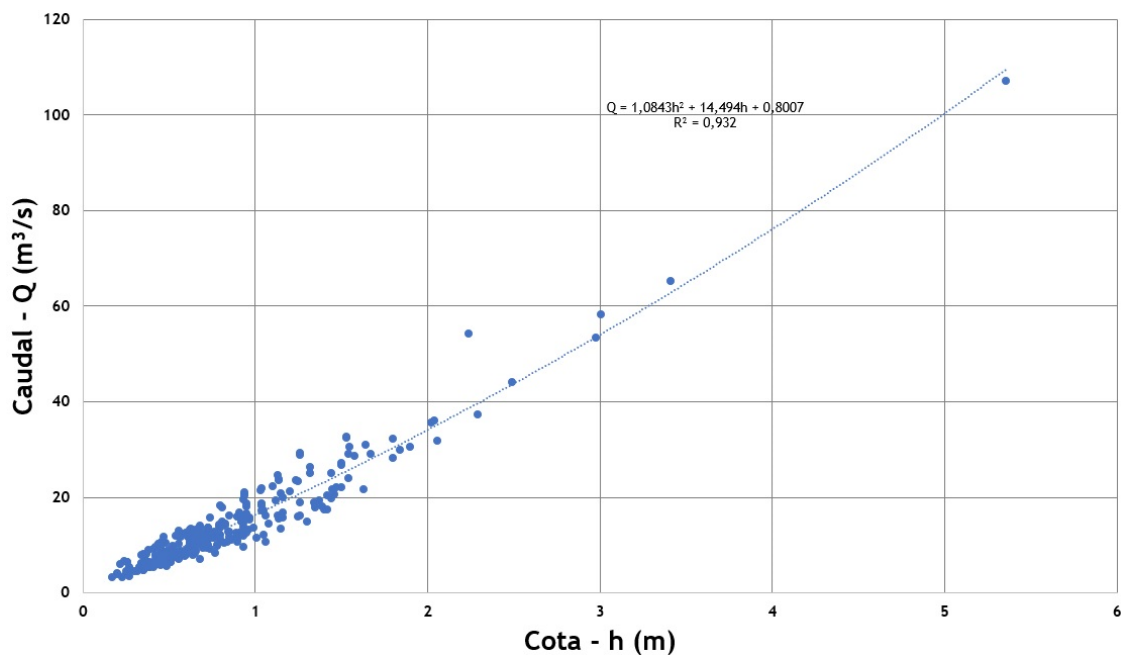


Figura 28 - Curva de vazão da estação Estevão Pinto.

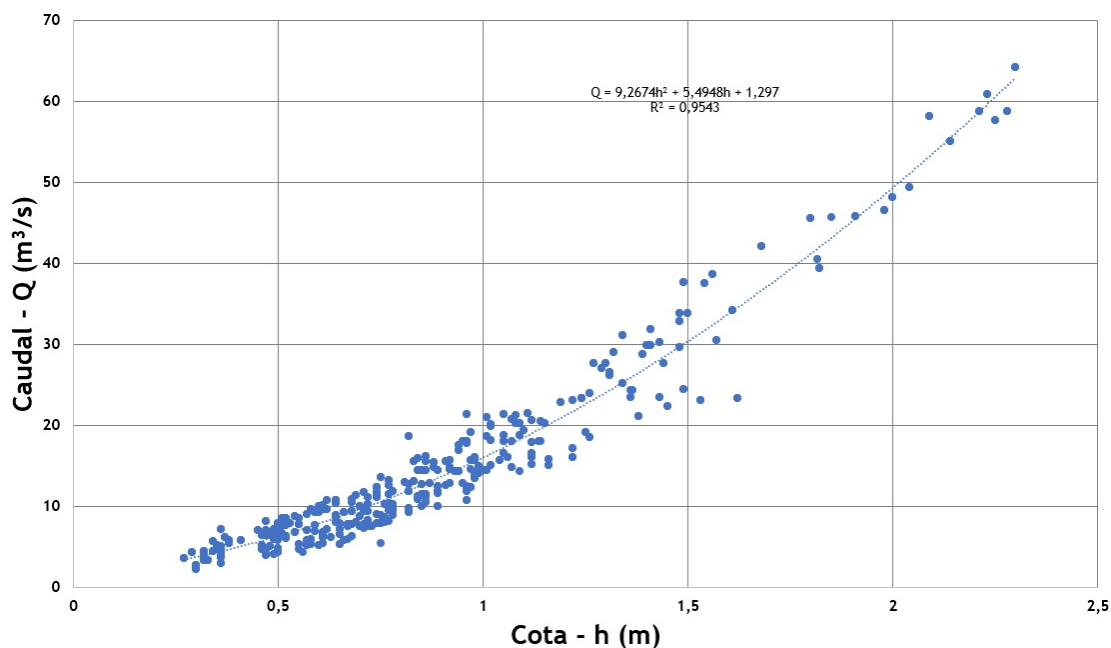


Figura 29 - Curva de vazão da estação Bom Jardim.

Os dados compilados que contêm registos de caudais médios mensais constam no Anexo A do presente trabalho (Tabelas A.1 e A.2) e a partir dos quais foram elaborados hidrogramas (ver Figuras 30 e 32), além de gráficos dos caudais médios mensais (ver Figuras 31 e 33).

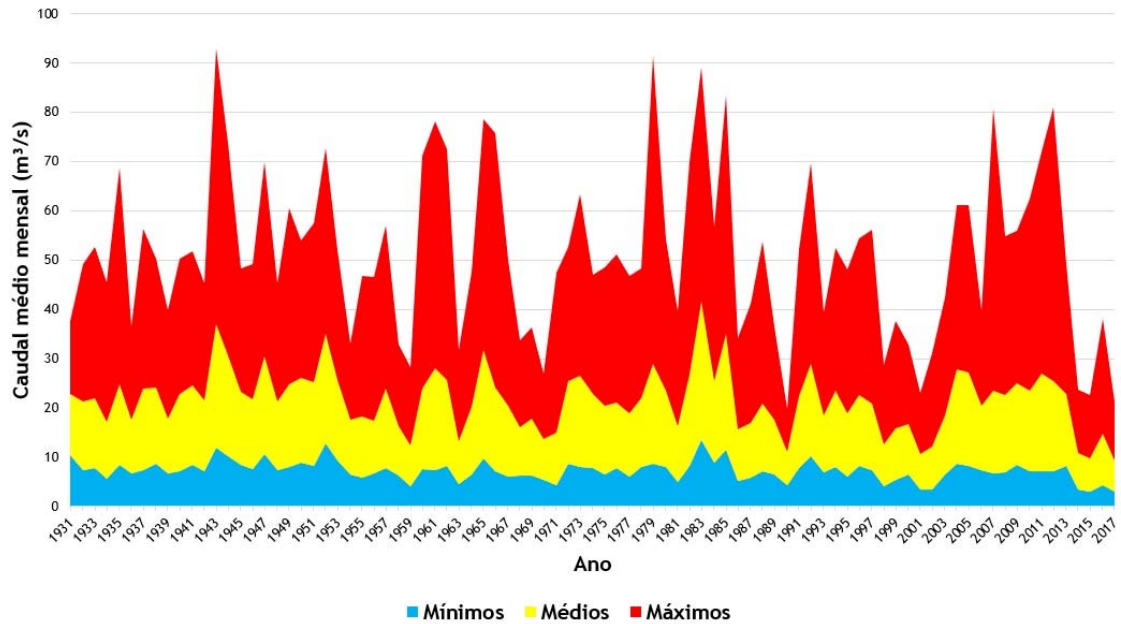


Figura 30 - Hidrograma de período completo da estação Estevão Pinto - Caudais médios mensais.

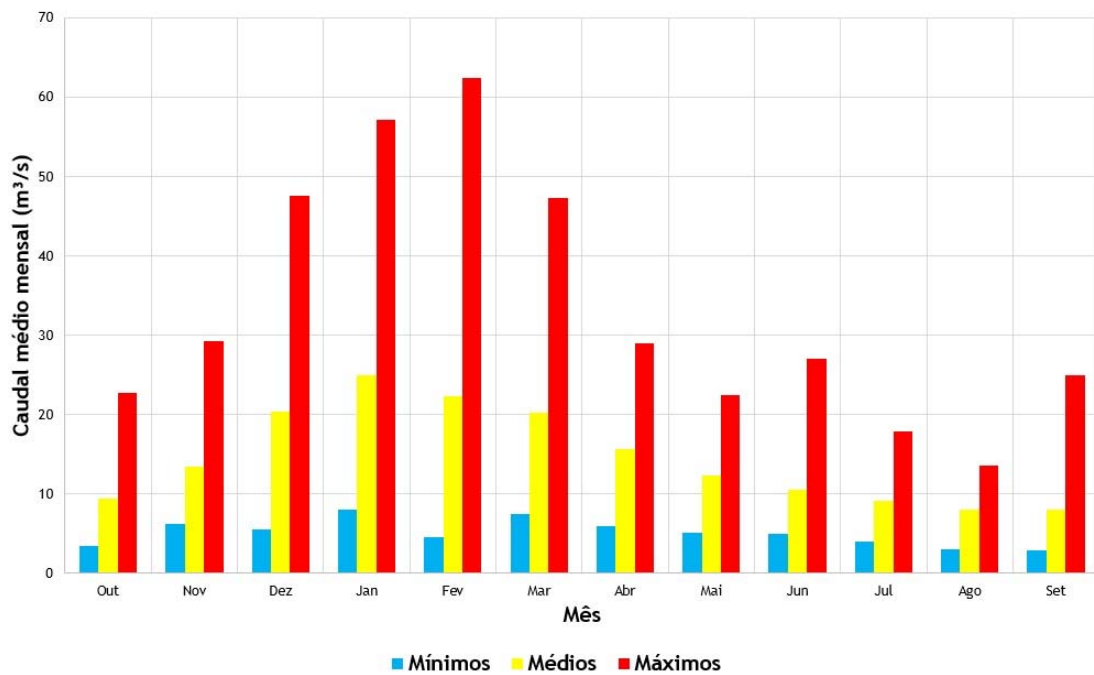


Figura 31 - Caudais médios mensais para a estação Estevão Pinto de 1931 a 2017.

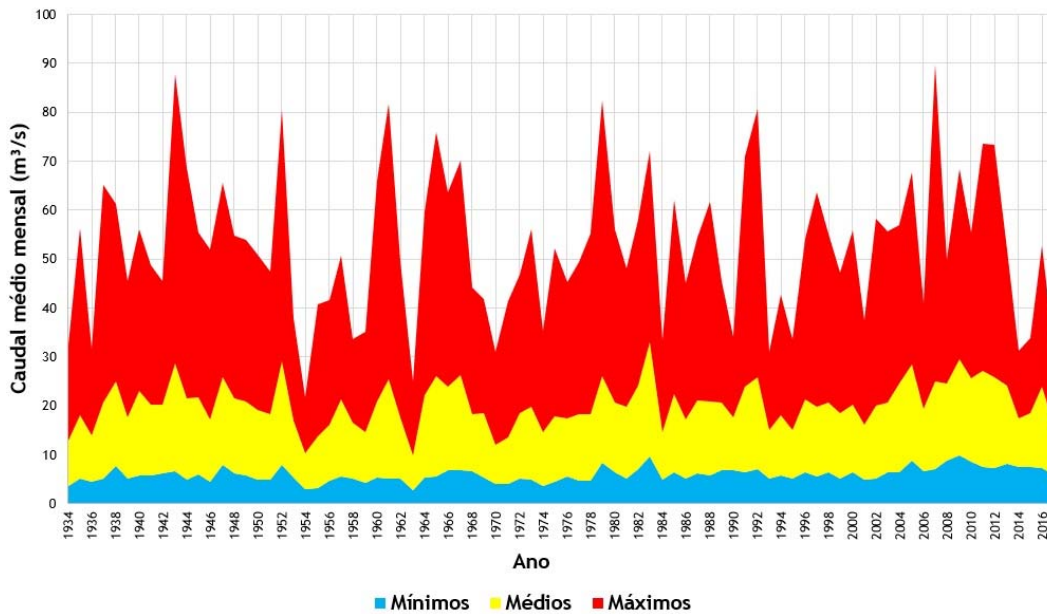


Figura 32 - Hidrograma de período completo da estação Bom Jardim - Caudais médios mensais.

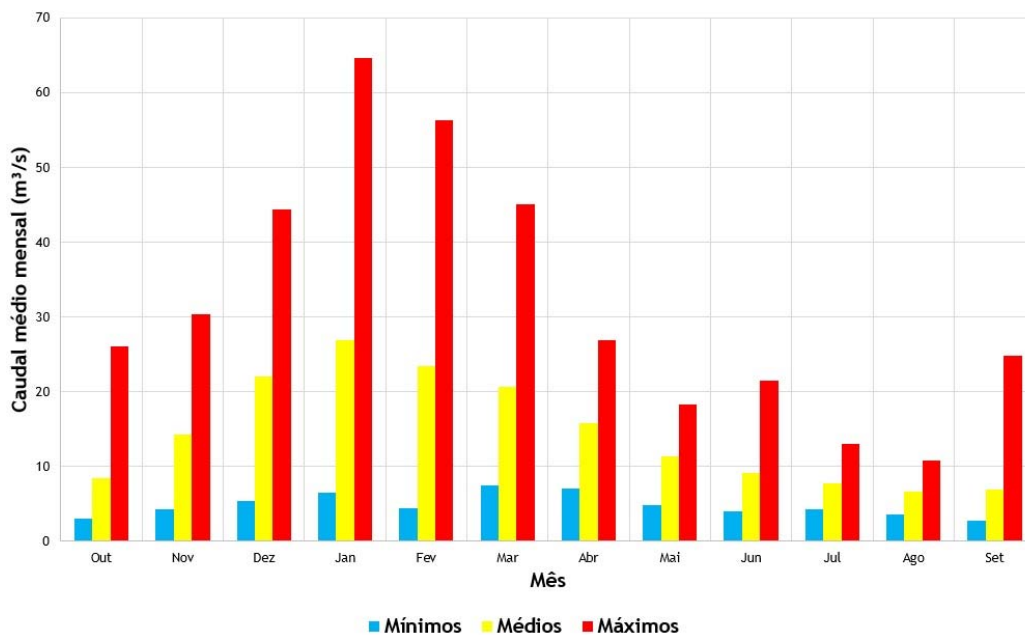


Figura 33 - Caudais médios mensais para a estação de Bom Jardim de 1934 a 2017.

Considerando que o eixo do futuro barramento para o aproveitamento hidráulico de Saudade dista da estação fluviométrica de referência (Estevão Pinto) 5.016 m, que as respectivas áreas de drenagem são geomorfológica e hidrológicamente semelhantes e apresentam características topográficas e de uso e ocupação do solo também semelhantes, efetuou-se a transposição direta de caudais para o local de interesse. Inclusive, pode-se determinar o caudal médio a longo prazo transposto estimado em função da área de drenagem, área essa obtida a partir de cartas topográficas digitalizadas da região (Tabela 16), utilizando a Equação 4:

$$Q_T = q \times Ad \quad (4)$$

Sendo:  $Q_T$  - caudal transposto ( $m^3/s$ );  $q$  - caudal específico ( $m^3/s.km^2$ ); e  $Ad$  - área de drenagem do aproveitamento ( $km^2$ ).

Tabela 16 - Área de drenagem do aproveitamento e do rio Cágado (VIBRAL, 2012).

	Área de drenagem ( $km^2$ )	Distância da foz (km)
Eixo do barramento	826,00	38,50
Rio Cágado	1.127,85	0

A transposição de caudais foi realizada através da relação direta entre as áreas de drenagem do posto fluviométrico Estevão Pinto e do aproveitamento. Para tanto, definiu-se um Fator de Transposição (FT), calculado assumindo-se que os caudais específicos do aproveitamento e das estações base são iguais, dadas as semelhanças hidrológicas, geomorfológicas e de uso e ocupação do solo de suas áreas de drenagem. A série de caudais para o aproveitamento Saudade foi obtida utilizando-se a Equação 5.

$$Q_{SAUD} = Q_{EST} \times FT \quad (5)$$

Sendo:  $Q_{SAU}$  - caudal transposto para o aproveitamento Saudade ( $m^3/s$ );  $Q_{EST}$  - caudal da estação de referência ( $m^3/s$ ); e FT- fator de transposição.

O FT é calculado (Equação 6) através da seguinte equação:

$$FT = \frac{Ad_{SAUD}}{Ad_{EST}} \quad (6)$$

Sendo:  $Ad_{SAUD}$  - área de drenagem do aproveitamento Saudade ( $km^2$ ); e  $Ad_{EST}$  - área de drenagem da estação de referência ( $km^2$ ).

Na sequência os fatores de transposição das estações Estevão Pinto e Bom Jardim para o aproveitamento Saudade são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Fatores de transposição de caudal (VIBRAL, 2012).

Transposição para o aproveitamento Saudade ( $Ad_{SAUD} = 826 km^2$ )		
Estação	Área de drenagem ( $km^2$ )	FT (-)
Estevão Pinto	783	1,055
Bom Jardim	553	1,494

Conforme expresso na parte introdutória dessa Secção, o preenchimento das falhas na série histórica de caudais diários da estação Estevão Pinto foi realizado utilizando-se a série da

estação Bom Jardim e, a partir do fator de transposição, foi obtida a série de caudais diários para o aproveitamento Saudade, os quais compilados em caudais médios mensais restam expressos no Anexo A do presente trabalho (Tabela A.3). O hidrograma de período completo (ver Figura 34) e o gráfico com caudais médios mensais (ver Figura 35) a seguir ilustram os dados obtidos.

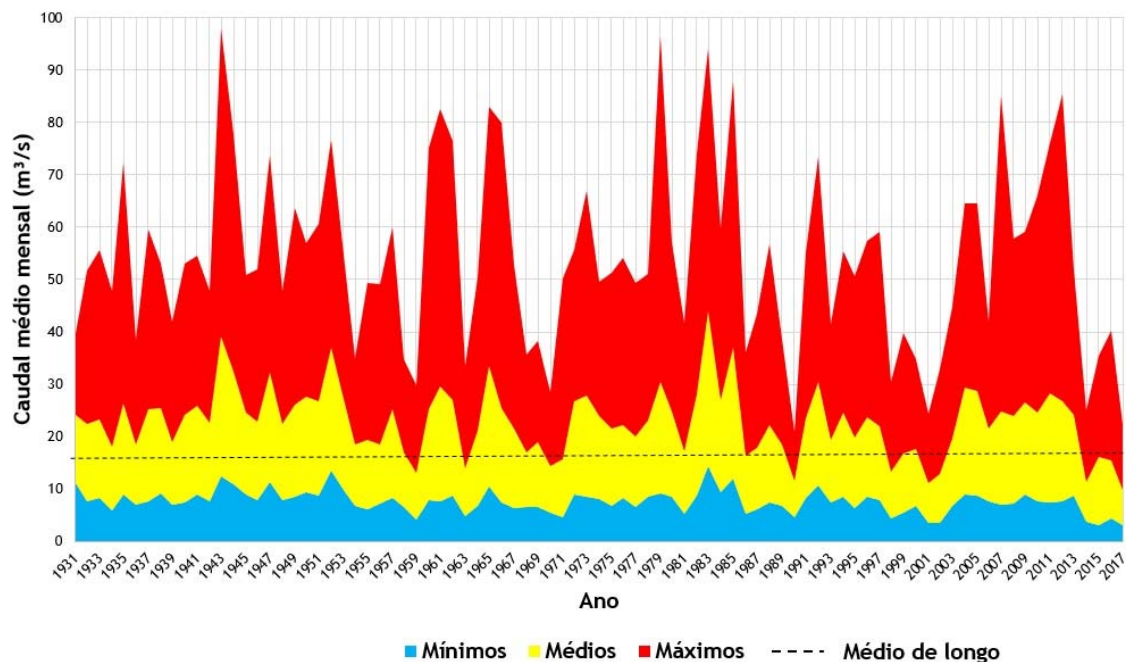


Figura 34 - Hidrograma de período completo para o aproveitamento Saudade - Caudais médios mensais.

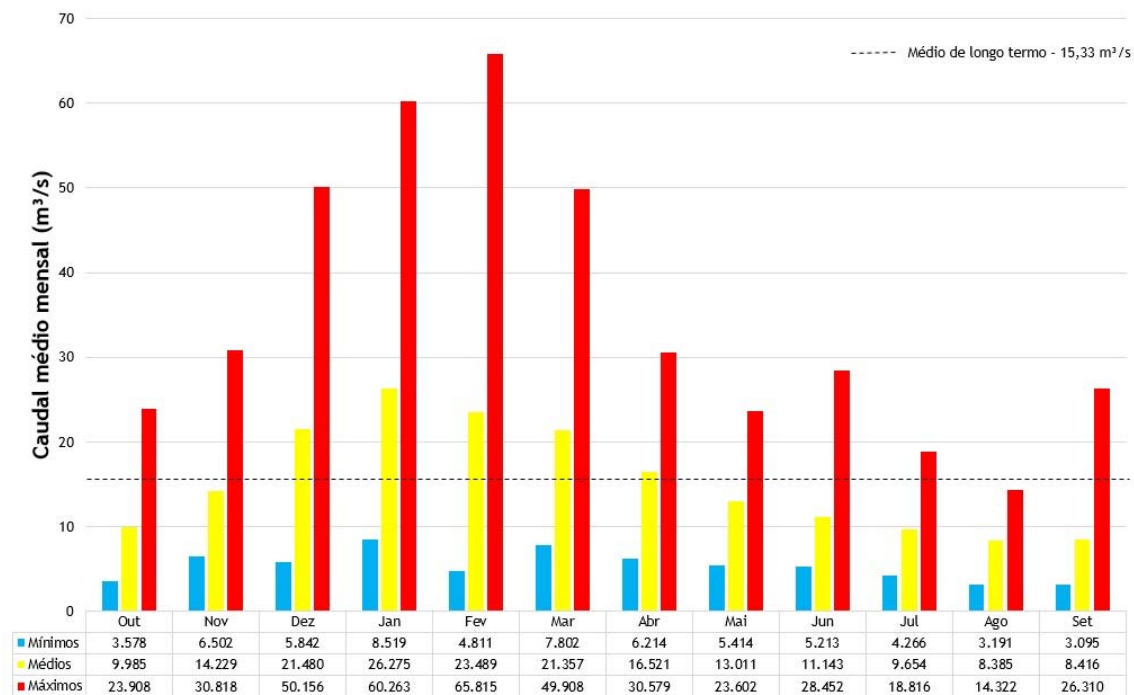


Figura 35 - Caudais médios mensais para o aproveitamento de Saudade.

Para finalizar esta Secção, de uma forma resumida, os principais dados hidrológicos apurados e devidamente atualizados do aproveitamento Saudade apresentam-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Resumo hidrológico do aproveitamento Saudade (VIBRAL, 2012).

Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	826
Caudal médio de longo termo (m <sup>3</sup> /s)	15,330
Caudal médio mensal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	3,095
Caudal médio mensal máximo (m <sup>3</sup> /s)	60,263
Caudal específico (l/s.km <sup>2</sup> )	18,560

### 6.2.3 Aspectos ambientais no troço de caudal reduzido

O troço de rio que terá o seu caudal reduzido (ver Figura 36) quando da operação do aproveitamento Saudade, o qual se estende da barragem até a casa das máquinas, possui comprimento de aproximadamente 5.500,00 m (VIBRAL, 2012). Nesta Secção, será apresentada de uma maneira sucinta os principais aspectos ambientais relacionados ao ecossistema aquático existente nesse troço de rio, o qual exigirá um caudal ecológico quando da operação da mini-hídrica, e necessários na aplicação do método GEFC. Para tal feito, serão expostos a ictiofauna local e as condições de habitat identificadas após levantamentos de campo e análises laboratoriais, essas representadas pela qualidade das águas e os seus parâmetros físico-químicos, bem como comunidades biológicas. Por fim, reitera-se que as informações a seguir apresentadas constituem apenas uma pequena e restrita parcela dos dados, relativa somente ao trecho de interesse.



Figura 36 - Vista do rio Cágado no troço correspondente ao caudal reduzido (VIBRAL, 2012).

### 6.2.3.1 Ictiofauna

Com o intuito de identificar a ictiofauna presente no rio Cágado, foi procedida pela VIBRAL (2012) uma pesquisa de campo contemplando a coleta de espécies em nove diferentes pontos ao longo do rio e de pequenos afluentes deste, além de pesquisa com moradores e pescadores locais. Como resultado foram capturados 156 exemplares, representando 19 espécies, distribuídas em 16 gêneros e 10 famílias, os quais somam-se as outras 5 espécies identificadas através de pesquisa perfazendo um total de 24 espécies. Este número representa apenas 15% das espécies citadas em literatura para toda a bacia do rio Paraíba do Sul, mas não se pode inferir de modo imediato que houve perda significativa de espécies locais uma vez que essa porcentagem se encontra próxima do que se esperaria para um pequeno afluente da região, sendo algumas dessas espécies apresentadas na Figura 37.

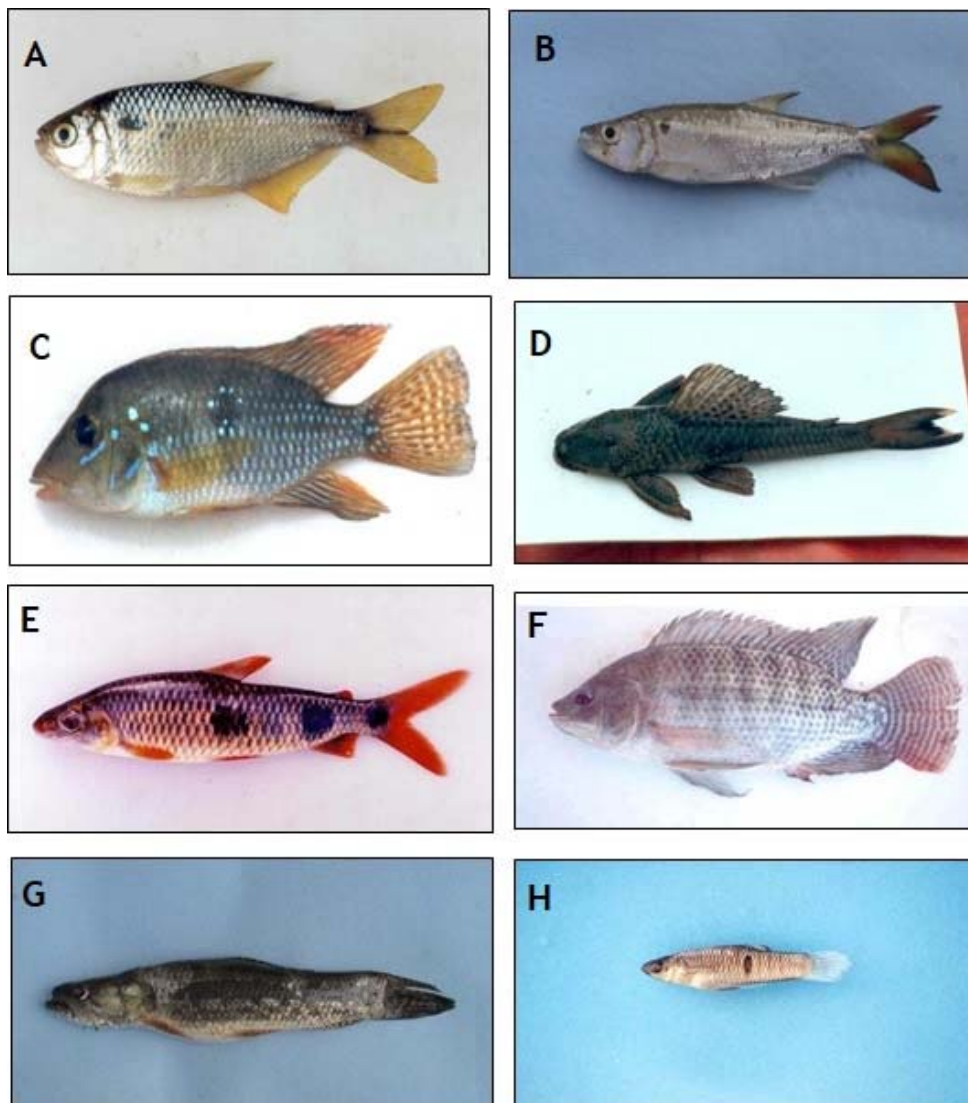


Figura 37 - Espécies de peixes encontradas no rio Cágado. A) Lambari (*Astyanax bimaculatus*); B) Bocarra (*Oligosarcus hepsetus*); C) Cará (*Geophagus brasiliensis*); D) Cascudo (*Hypostomus luetkeni*); E) Piau-vermelho (*Leporinus copelandii*); F) Tilápia (*Tilapia rendalli*); G) Trairão (*Hoplias lacerdae*); e H) Barrigudinho (*Phaloceros caudimaculatus*). Adaptado de VIBRAL (2012).

A lista completa de espécies de peixes capturadas e identificadas através de entrevistas com moradores e pescadores locais é apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Espécies de peixes identificadas no rio Cágado na área de influência do aproveitamento Saúde. Adaptado de VIBRAL (2012).

Capturados	
Espécie	Nome popular
Ordem Characiformes	
Família Characidae	
Astyanax bimaculatus	Piaba-do-rabo-amarelo
Astyanax aff. taeniatus	Piaba
Astyanax scabripinnis	Piaba
Hyphessobrycon bifasciatus	Lambari
Oligosarcus argenteus	Peixe-cachorro
Família Crenuchidae	
Characidium sp.	-
Família Erythrinidae	
Hoplias aff. lacerdae	Trairão
Família Anostomidae	
Leporinus copelandii	Piau-vermelho
Leporinus mormyrops	Piau
Ordem Siluriformes	
Família Loricariidae	
Harttia sp.	Cascudinho
Hypostomus luetkeni	Cascudo-preto
Hypoptopomatinae sp.	Cascudinho
Família Heptapteridae	
Rhamdia quelen	Bagre
Família Trichomycteridae	
Trichomycterus cf. alternatus	Cambeva
Ordem Gymnotiformes	
Família Gymnotidae	
<i>Gymnotus carapo</i>	Sarapó
Ordem Perciformes	
Família Cichlidae	
Geophagus brasiliensis	Vará
Tilapia rendalli	Tilápia
Ordem Cyprinodontiformes	
Família Poeciliidae	
Poecilia reticulata	Barrigudinho
Phalloceros caudimaculatus	Barrigudinho
Informações locais	
Cichlasoma facetum	Cará
Cyphocharax gilberti	Sagüiru
Leporinus conirostris	Piau-branco
Parauchenipterus striatulus	Cumbaca
Pimelodella sp.	Mandi

Importante salientar que as espécies *Tilapia rendalli* (originária da África) e *Poecilia reticulata* (originária da América Central) são exóticas ou, como também denominadas, invasoras.

Especificamente para o troço de rio que contará com seu caudal reduzido quando da operação da mini-hídrica e de interesse para o presente estudo, apenas um sítio de amostragem foi estabelecido e intitulado como I3 (UTM 7576318 N; 23 698671 E). Provavelmente muito em

virtude das características para essa parte do leito fluvial, a qual conta com sucessivos desníveis e com o rio encaixado em grandes afloramentos rochosos, o índice de riqueza (número de indivíduos por espécie), diversidade e homogeneidade relativo às espécies (Tabela 20) recolhidas tenha sido baixo, com predomínio de espécies típicas de rápidos e não migratórias.

Tabela 20 - Principais informações obtidas no sítio de recolha I<sub>3</sub>. Adaptado de VIBRAL (2012).

Sítio de recolha I <sub>3</sub>						
Espécie	Nº de indivíduos	Exótico	Migração	Porte	Hábito alimentar	Reofilia
<i>L. mormyrops</i>	15	Não	Não	Médio	Herbívoro	Sim
<i>Characidium sp</i>	1	Não	Não	Pequeno	Invertívoro	Sim
Índice de riqueza		Índice de diversidade		Índice de homogeneidade		
2		1,0		0,337		

Portanto, tem-se o predomínio de espécies que possuem a tendência de se colocarem em sentido oposto ao do escoamento (reofilia) e que leva a concluir ser essa uma métrica física importante para o futuro troço de caudal reduzido. Resultado que corrobora ao que foi expresso ainda na Secção 1.1 sobre o facto de o escoamento refletir uma condição de adaptabilidade e distribuição de espécies aquáticas em virtude do facto de algumas estarem harmonizadas a viver exclusivamente em zonas de rios com escoamento mais rápido.

### 6.2.3.2 Habitat

Foram estabelecidos pela VIBRAL (2012) cinco diferentes pontos de recolha de amostras de água do rio Cágado e afluentes para análise. As amostragens para elaboração do diagnóstico da qualidade da água ocorreram trimestralmente em cada ponto de forma a contemplar um ano hidrológico, sendo:

- A primeira amostragem realizada num mês de maio e caracterizou a qualidade da água no período de transição da estação chuvosa para a estação seca e durante a amostragem o tempo permaneceu estável com as temperaturas do ar variando entre 17 °C e 22 °C;
- A segunda amostragem realizada num mês de julho procurou caracterizar a qualidade da água já no período de seca e durante a amostragem o tempo permaneceu estável com as temperaturas do ar variando entre 11 °C e 15 °C;
- A terceira amostragem realizada num mês de outubro procurou caracterizar o período de transição entre as estações seca e chuvosa e durante a amostragem o tempo permaneceu estável com as temperaturas do ar variando entre 20 °C e 25 °C; e
- A quarta e última amostragem realizada num mês de janeiro procurou caracterizar o período em que são registados os maiores índices pluviométricos e durante a amostragem o tempo permaneceu estável com as temperaturas do ar variando entre 23 °C e 26 °C.

As análises foram balizadas quanto a parâmetros físico-químicos e biológicos, a saber:

- Físico-químicos: acidez total em CaCO<sub>3</sub>, alcalinidade total em CaCO<sub>3</sub>, cloretos, condutividade elétrica, cor, procura bioquímica de oxigénio (DBO5 dias), procura química de oxigénio (DQO), dureza total, ferro solúvel, ferro total, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrogénio amoniacal, nitrogénio total, óleos e graxas, ortofosfato, oxigénio dissolvido, pH, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, temperatura, turbidez; e

- Biológicos: coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos fecais, fitoplâncton, zoobênton e zooplâncton.

Especificamente para o troço de rio que contará com seu caudal reduzido quando da operação da mini-hídrica e de interesse para o presente estudo, apenas um sítio de amostragem foi estabelecido e intitulado como CAG-03 (UTM 23K 7576389 N; 698700 E) com largura do leito do rio de aproximadamente 8,00 m, profundidade média estimada em 0,30 m, inserido num trecho com cascata e rápidos.

Os resultados gerais dos parâmetros físicos e químicos estão apresentados na Tabela 21. Entretanto, a pormenorização de cada um desses elementos não será realizada em virtude do facto de não ser um aprofundamento necessário ao escopo do presente trabalho.

Tabela 21 - Resultados das análises físico-químicas para o ponto CAG-03. Adaptado de VIBRAL (2012).

Parâmetros	CAG-03/Mês			
	Maio	Julho	Outubro	Janeiro
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	3,50	2,00	16,00	15,00
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	19,00	18,00	17,00	32,00
Cloretos (mg Cl-/l)	2,30	1,40	0,06	0,15
Condutividade elétrica (µS/cm)	40,00	37,00	3,40	1,80
Cor (Unid. Hazen)	114	86	42	46
DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	0,10	0,60	179,00	117,00
DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	< 5,00	14,00	0,40	0,40
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	20,00	28,00	5,00	< 5,00
Ferro solúvel (mg Fe/l)	0,33	0,12	22,00	14,00
Ferro total (mg Fe/l)	2,38	0,89	0,10	< 0,01
Fósforo total (mg P/l)	0,04	0,03	2,02	2,70
Nit. Amoniacal (mg P/l)	0,21	0,17	0,22	0,22
Nit. Total (mg P/l)	0,80	0,60	0,30	0,25
Nitratos (mg P/l)	0,50	0,40	0,90	0,70

(Continua)

(Continuação)

Parâmetros	CAG-03/Mês			
	Maio	Julho	Outubro	Janeiro
Nitritos (mg P/l)	< 0,001	< 0,001	0,500	0,300
Óleos e graxas (mg/l)	< 0,500	0,600	< 0,001	< 0,001
Ortofosfato (mg P/l)	0,02	0,01	1,20	0,80
Oxigênio dissolvido (mg O <sub>2</sub> /l)	8,81	8,32	0,17	0,01
pH (-)	7,97	7,90	7,39	9,56
Sólidos dissolvidos (mg/l)	17,00	19,00	7,29	7,43
Sólidos em suspensão (mg/l)	22,00	6,00	26,00	20,00
Sólidos sedimentáveis (mg/l)	0,20	0,20	38,00	21,00
Sólidos totais (mg/l)	39,00	25,00	0,50	0,50
Temperatura da água (°C)	20,31	19,02	64,00	41,00
Temperatura do ar (°C)	22,00	18,00	19,95	23,72
Turbidez (U.N.T.)	10	4	25	26
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	5000	1100	21	10
Coliformes totais (NMP/100 ml)	16000	16000	9000	9000
Estreptococcus fecais (NMP/100 ml)	1600	300	16000	16000

Já para o Índice de Qualidade de Água (IQA), o qual reflete a interferência de esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, além de nutrientes e sólidos presentes no curso de água, as águas do rio Cágado apresentam índice de qualidade bom durante a estiagem (mês de julho) e nível de qualidade médio nos demais períodos (ver Figura 38).

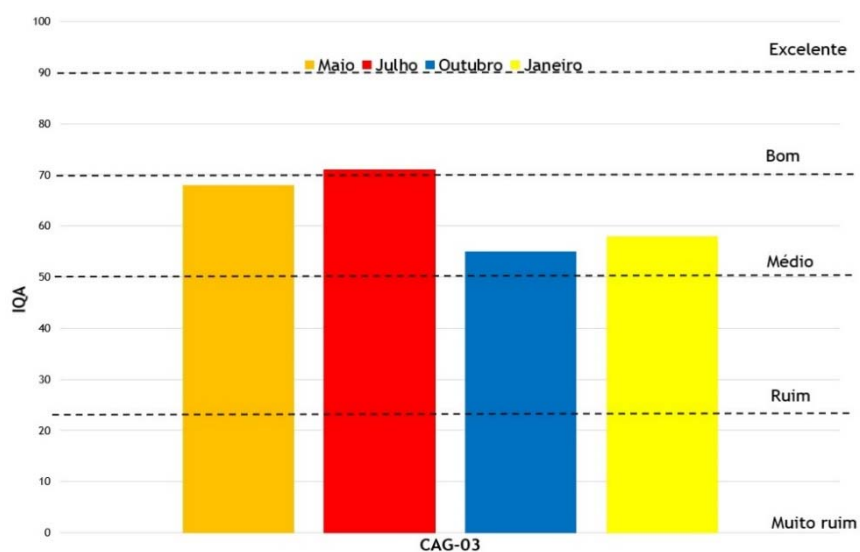


Figura 38 - Índice de Qualidade da Água do rio Cágado no ponto CAG-03. Adaptado de VIBRAL (2012).

Em relação ao fitoplâncton, nas águas continentais podem ser encontrados representantes de praticamente todos os grupos de algas. Entretanto, a predominância de um ou outro grupo é função, principalmente, das características predominantes do meio, sendo que a disponibilidade de nutrientes e a radiação subaquática são os fatores mais importantes na distribuição e variação do fitoplâncton em ambientes tropicais. Os principais grupos com representantes no plâncton de água doce são a Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Chrysophyta e Pyrrophyta.

A composição da comunidade no rio Cágado (ver Figura 39) foi bastante variável entre as campanhas de recolha, apesar das algas diatomáceas (Chrysophyta) terem sido o grupo dominante em quase todos os pontos e tal dominância está dentro do esperado, uma vez que estas algas são tidas como as mais abundantes em sistemas lóticos.

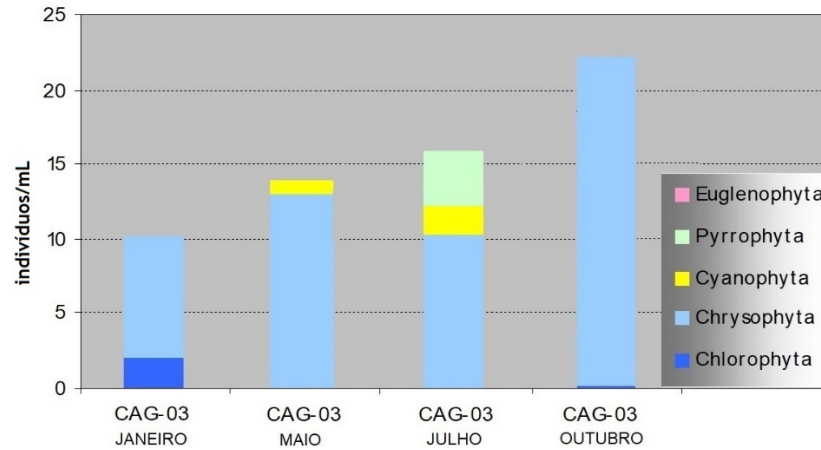


Figura 39 - Composição da comunidade fitoplanctônica no rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).

Ao contrário do fitoplâncton, que é mais rico e diverso em ecossistemas de águas continentais do que em ambientes marinhos, o zooplâncton tem maior importância ecológica em mares e oceanos, sendo que em água doce caracteriza-se pela baixa diversidade. O período de transição entre seca e chuva não mostrou grande alteração em termos de composição desta comunidade (ver Figura 40) e os protozoários, principalmente do género *Vorticella*, mantiveram-se como a forma dominante, seguidos pelo rotífero *Bdelloidea* e os crustáceos formaram o grupo numericamente menos importante.

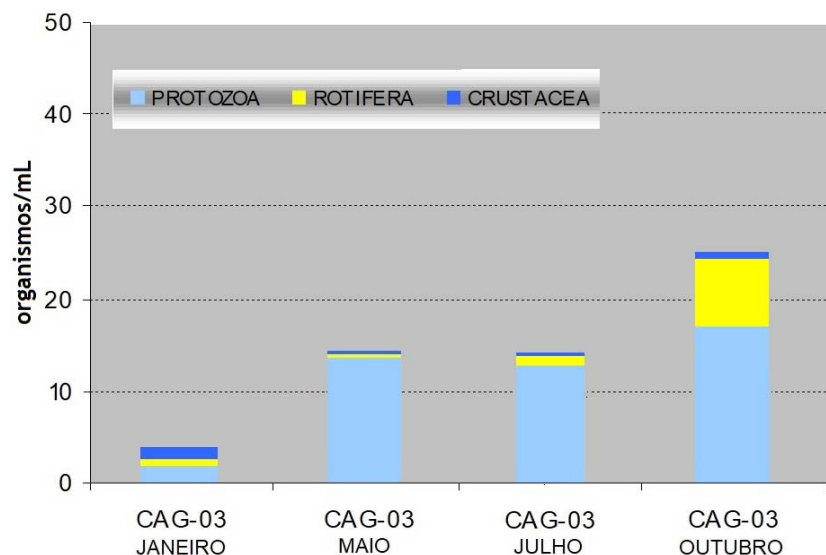


Figura 40 - Composição do zooplâncton no rio Cágado. Adaptado de VIBRAL (2012).

De uma forma geral, o habitat no troço de rio que terá seu caudal reduzido se encontra em boas condições, a qual somente não é melhor em virtude do baixo IQA identificado no período chuvoso.

### 6.3 Método $Q_{7,10}$

Para aplicação do método, com auxílio de editor de Excel, primeiro determina-se os caudais médios mínimos de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ) a partir de toda a série histórica de caudais diários do aproveitamento de Saudade, selecionada de 1932 a 2014 por ser esse o intervalo temporal disponível sem falhas diárias ao longo de todo o ciclo anual (1931, 2015 e 2017 contêm interrupções nos registos), para na sequência realizar ordenação dos menores  $Q_7$  mínimos de cada ano da série conforme apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Caudais médios de sete dias consecutivos mínimos.

Ano	$Q_7$ mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Ano	$Q_7$ mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Ano	$Q_7$ mínimo (m <sup>3</sup> /s)
1932	6,007	1960	6,086	1988	6,977
1933	6,964	1961	6,822	1989	6,067
1934	5,064	1962	7,667	1990	3,472
1935	6,995	1963	4,417	1991	6,656
1936	6,052	1964	5,395	1992	9,813
1937	6,892	1965	9,335	1993	5,386
1938	7,923	1966	6,889	1994	7,618
1939	5,405	1967	5,538	1995	5,066
1940	6,607	1968	5,870	1996	7,870
1941	8,412	1969	5,641	1997	6,715
1942	6,727	1970	4,954	1998	3,923
1943	11,021	1971	3,854	1999	4,904
1944	9,035	1972	7,877	2000	5,465
1945	6,969	1973	7,441	2001	3,083
1946	7,254	1974	7,063	2002	2,653
1947	9,115	1975	5,509	2003	5,857
1948	6,281	1976	6,524	2004	7,808
1949	7,974	1977	5,168	2005	7,603
1950	8,408	1978	6,918	2006	6,292
1951	7,036	1979	8,491	2007	5,412
1952	11,109	1980	6,252	2008	6,270
1953	8,512	1981	4,878	2009	7,832
1954	6,560	1982	7,884	2010	6,545
1955	5,825	1983	12,851	2011	6,935
1956	5,782	1984	7,333	2012	6,722
1957	6,081	1985	9,307	2013	6,568
1958	5,770	1986	4,168	2014	2,840
1959	4,030	1987	5,031		

Após a determinação e ordenação dos menores  $Q_7$  mínimos de cada ano da série, devem ser estabelecidas suas distribuições de probabilidade empírica e teórica e, nesse sentido, foram avaliadas as distribuições de Gumbel e Weibull. Em continuidade, após ajuste por Desvio Médio Quadrático (DMQ) e correlação para medir a precisão dos valores às séries temporais ajustadas,

determinam-se os caudais mínimos por tempo de recorrência conforme apresentado na Tabela 23 e na Figura 41.

Tabela 23 - Caudais mínimos por tempo de recorrência com distribuição de Gumbel e Weibull.

TR (anos)	Gumbel	Weibull
	(m <sup>3</sup> /s)	
1,0625	7,7	9,7
1,125	7,4	8,9
1,25	7,2	8,1
1,3	7,1	7,9
1,4	6,9	7,5
1,5	6,8	7,3
1,6	6,7	7,0
1,7	6,6	6,8
1,75	6,6	6,8
1,8	6,5	6,7
1,9	6,5	6,5
2	6,4	6,4
5	5,4	5,0
10	4,7	4,4
20	4,1	4,0
50	3,2	3,6
100	2,6	3,4
200	2,0	3,3
500	1,1	3,2
1000	0,5	3,1
2000	0,0	3,1
5000	0,0	3,0
10000	0,0	3,0

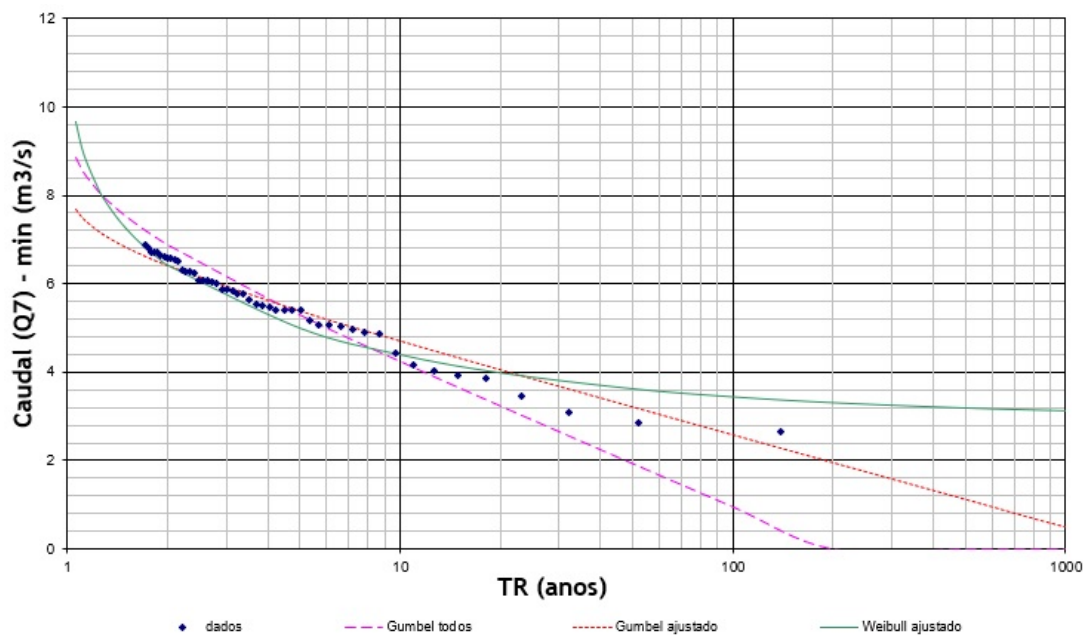


Figura 41 - Caudais mínimos por tempo de recorrência com distribuição Gumbel e Weibull.

Como a distribuição Gumbel e Weibull ajustados para o caudal médio mínimo de sete dias consecutivos com tempo de recorrência de 10 anos mostraram valores relativamente próximos, definiu-se a mediana simples entre esses. Conforme exposto na Secção 3.3, tem-se o Caudal Ecológico ( $Q_{ECO}$ ):

$$- Q_{7,10} = Q_{ECO} = 4,550 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entretanto, especificamente para o sitio do aproveitamento Saudade (Estado de Minas Gerais, Brasil), conforme exposto na Secção 3.2, o  $Q_{ECO}$  regulamentar a ser mantido em seu troço de rio com caudal reduzido corresponde a 70 % do  $Q_{7,10}$ :

$$- 70\%Q_{7,10} = Q_{ECO} = 3,185 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 6.4 Método da curva de permanência

Utilizando-se o histórico de caudais diários transpostos para o aproveitamento Saudade, juntamente com o auxílio de um editor Excel, deve-se elencar as probabilidades de excedência (Tabela 24) para na sequência ser gerada a curva de permanência de caudais (ver Figura 42) relativa à mini-hídrica.

Tabela 24 - Permanência de caudais no aproveitamento Saudade.

Ordem	Probabilidade de excedência	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Ordem	Probabilidade de excedência	Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
31434	100,0%	2,280	14931	47,5%	12,137
30648	97,5%	4,831	14146	45,0%	12,566
29863	95,0%	5,496	13360	42,5%	13,059
29077	92,5%	6,082	12574	40,0%	13,631
28291	90,0%	6,524	11788	37,5%	14,224
27505	87,5%	6,857	11002	35,0%	14,953
26719	85,0%	7,230	10216	32,5%	15,515
25933	82,5%	7,495	9431	30,0%	16,236
25148	80,0%	7,873	8645	27,5%	17,019
24362	77,5%	8,142	7859	25,0%	17,970
23733	75,0%	8,433	7073	22,5%	18,908
22790	72,5%	8,641	6287	20,0%	20,057
22004	70,0%	8,985	5501	17,5%	21,423
21218	67,5%	9,234	4715	15,0%	23,002
20432	65,0%	9,570	3930	12,5%	24,974
19647	62,5%	9,869	3144	10,0%	27,790
18861	60,0%	10,232	2358	7,5%	30,966
18075	57,5%	10,584	1572	5,0%	36,314
17289	55,0%	10,909	786	2,5%	46,753
16503	52,5%	11,307	1	0,003%	136,453
15717	50,0%	11,701			

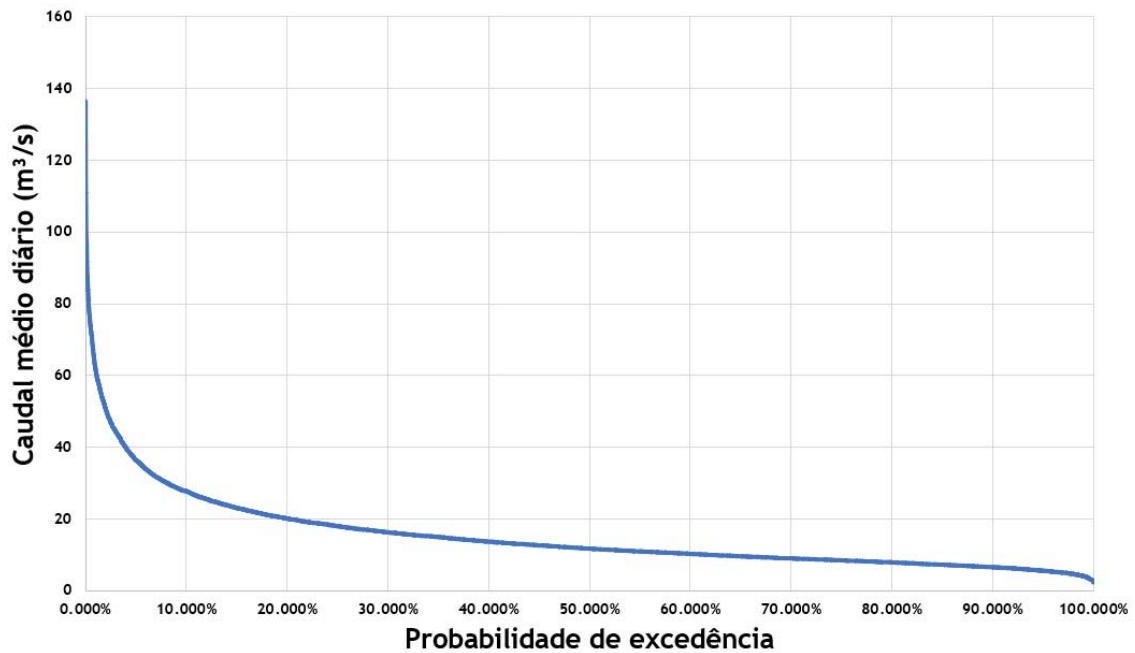


Figura 42 - Curva de permanência de caudais diários da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

Com base nas informações apuradas previamente, para um caudal ecológico referente a um caudal associado integralmente com a permanência de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) no tempo tem-se:

-  $Q_{90} = Q_{ECO} = 6,524 \text{ m}^3/\text{s}$ ; e

-  $Q_{95} = Q_{ECO} = 5,496 \text{ m}^3/\text{s}$

## 6.5 Método do Instituto da Água - INAG

Para se aplicar o método do INAG é necessário tratar com o auxílio de um editor de Excel um pouco mais o histórico de caudais diários transpostos para o aproveitamento Saudade, de forma a se obter as probabilidades de excedência referenciadas não somente ao ciclo hidrológico anual, mas para cada um dos meses e conseqüentemente gerar uma curva de permanência de caudais (ver Figuras 43 a 54) para cada um desses períodos mensais relativos à mini-hídrica (Figura 55).

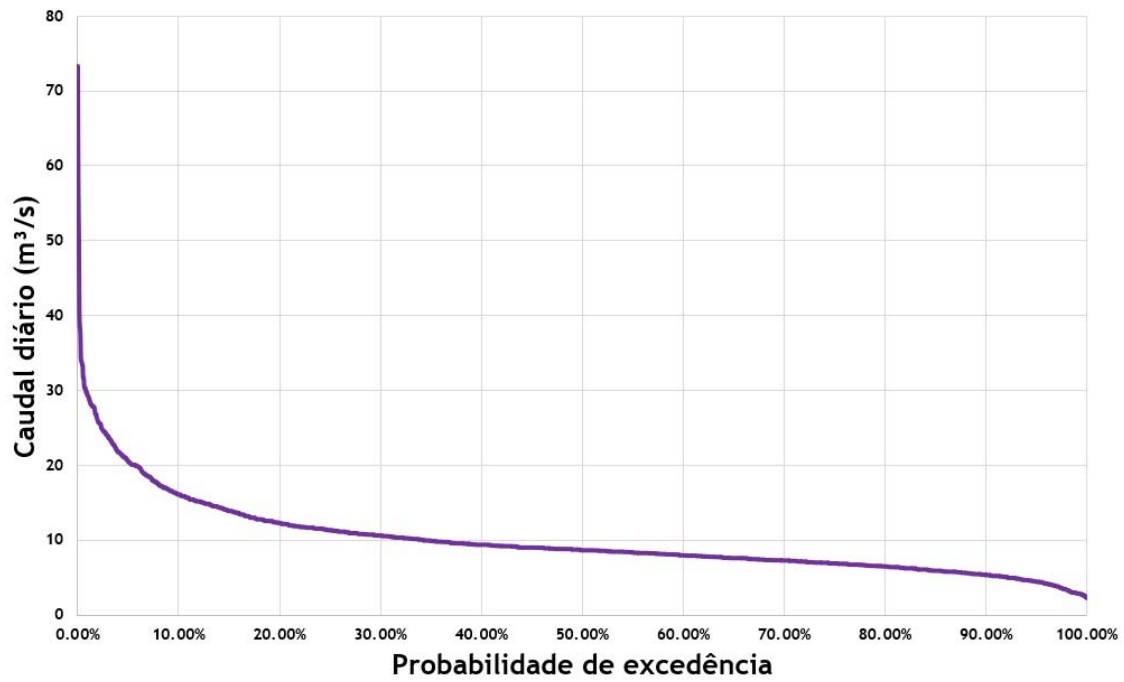


Figura 43 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de outubro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

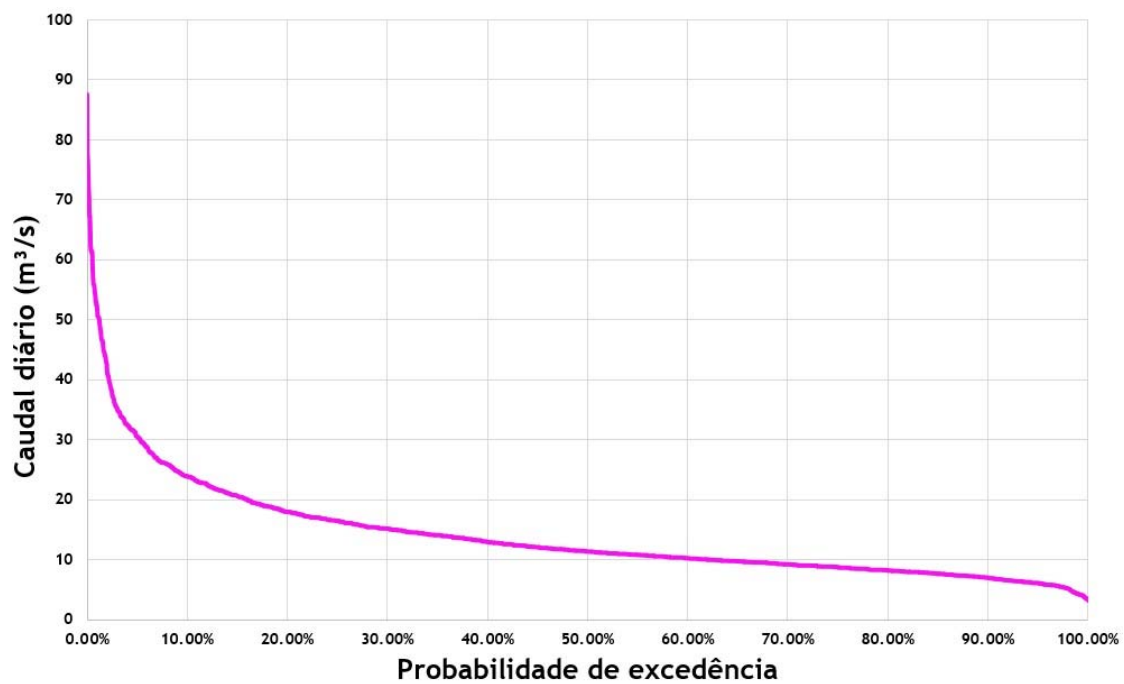


Figura 44 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de novembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

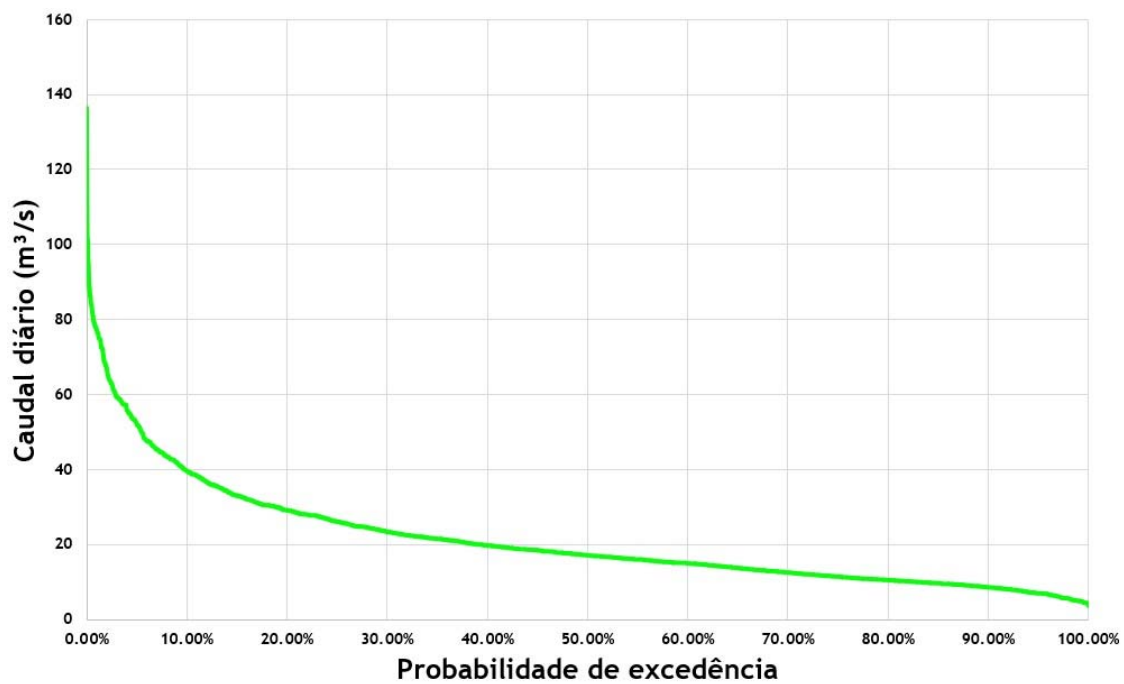


Figura 45 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de dezembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

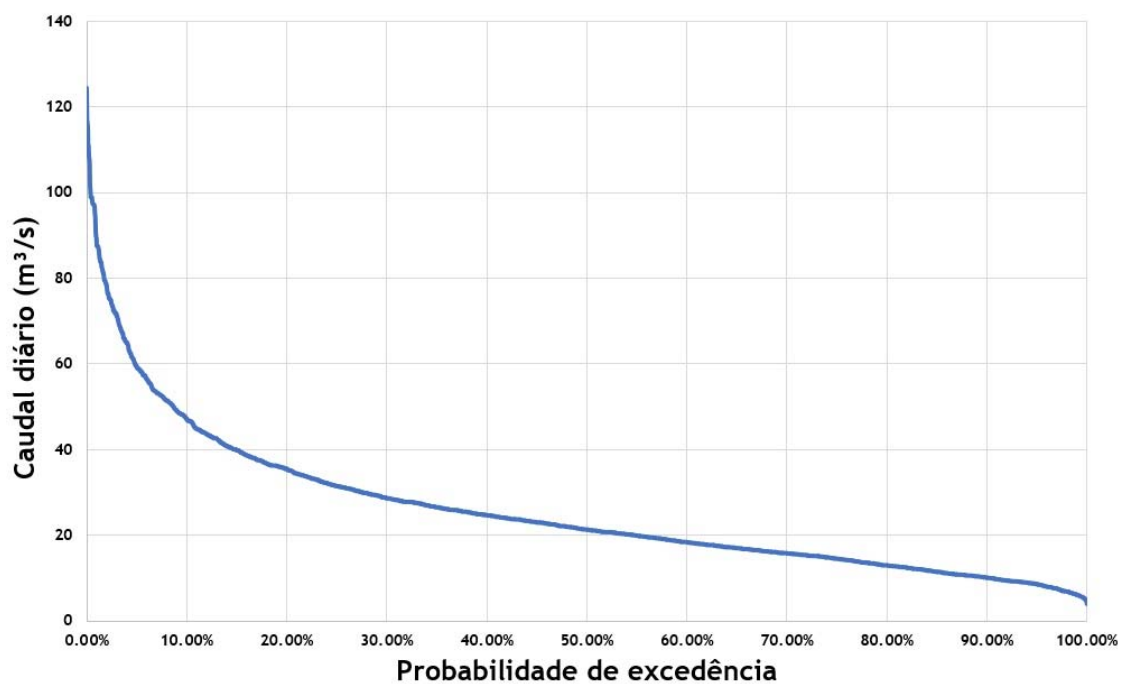


Figura 46 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de janeiro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

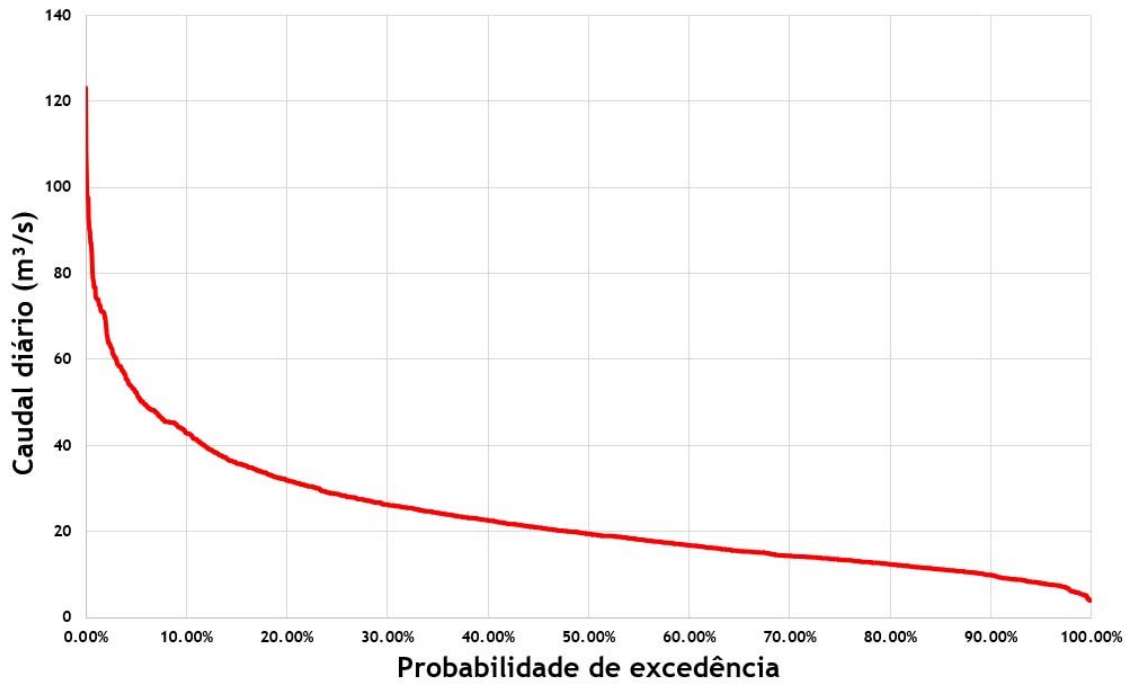


Figura 47 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de fevereiro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

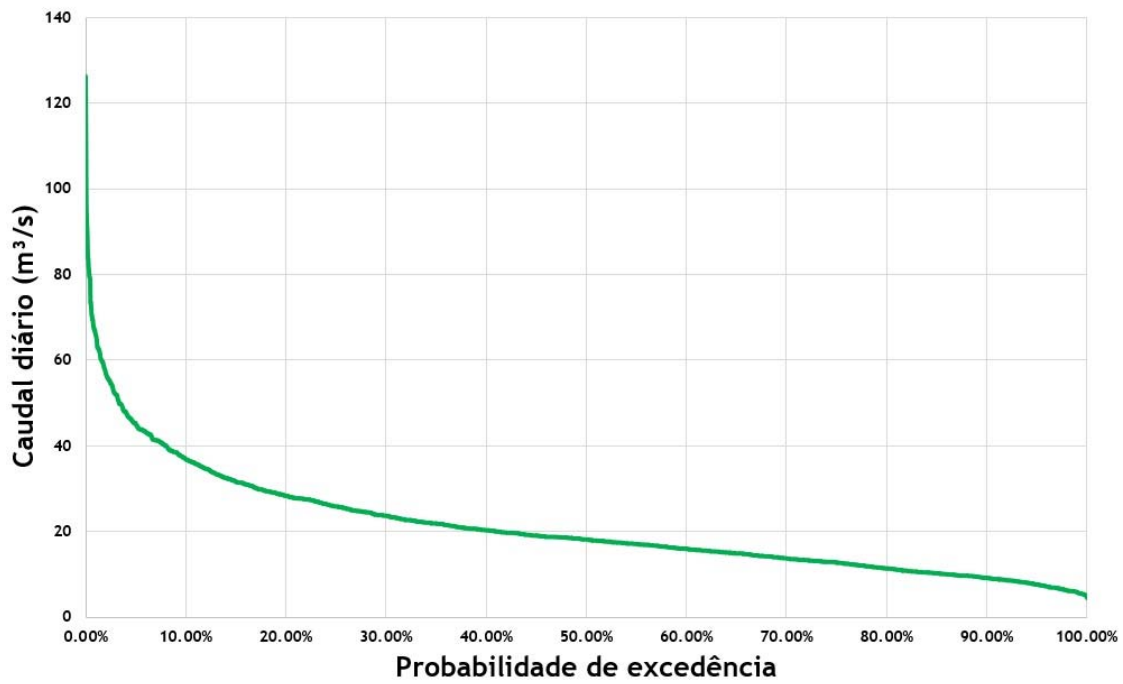


Figura 48 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de março da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

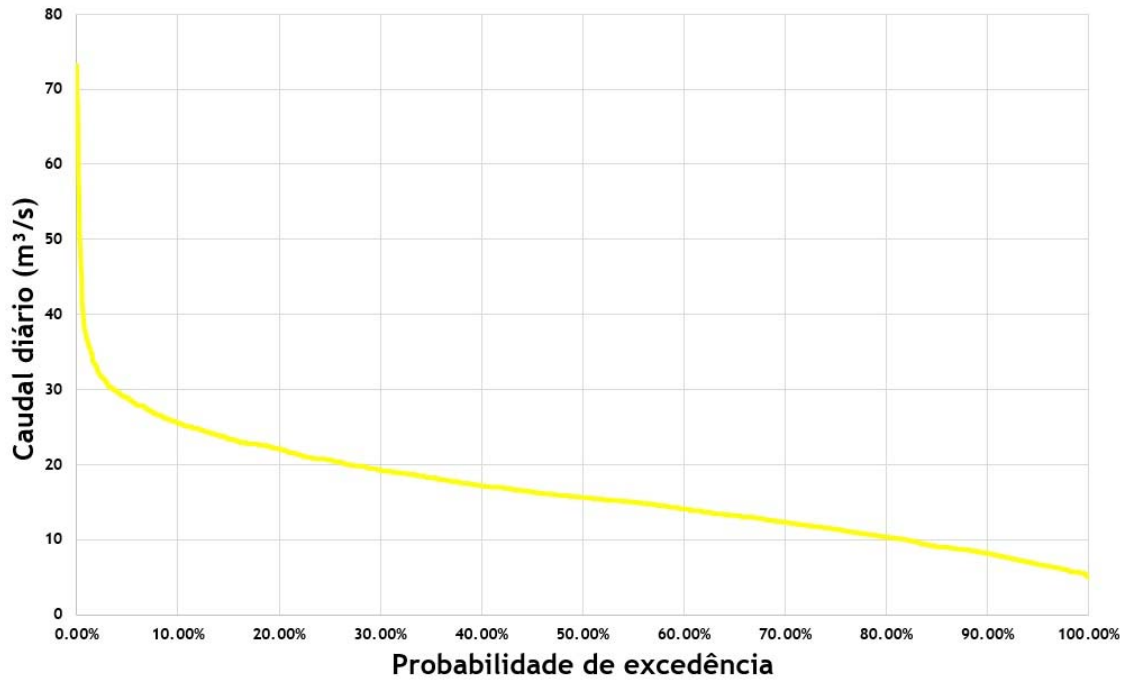


Figura 49 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de abril da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

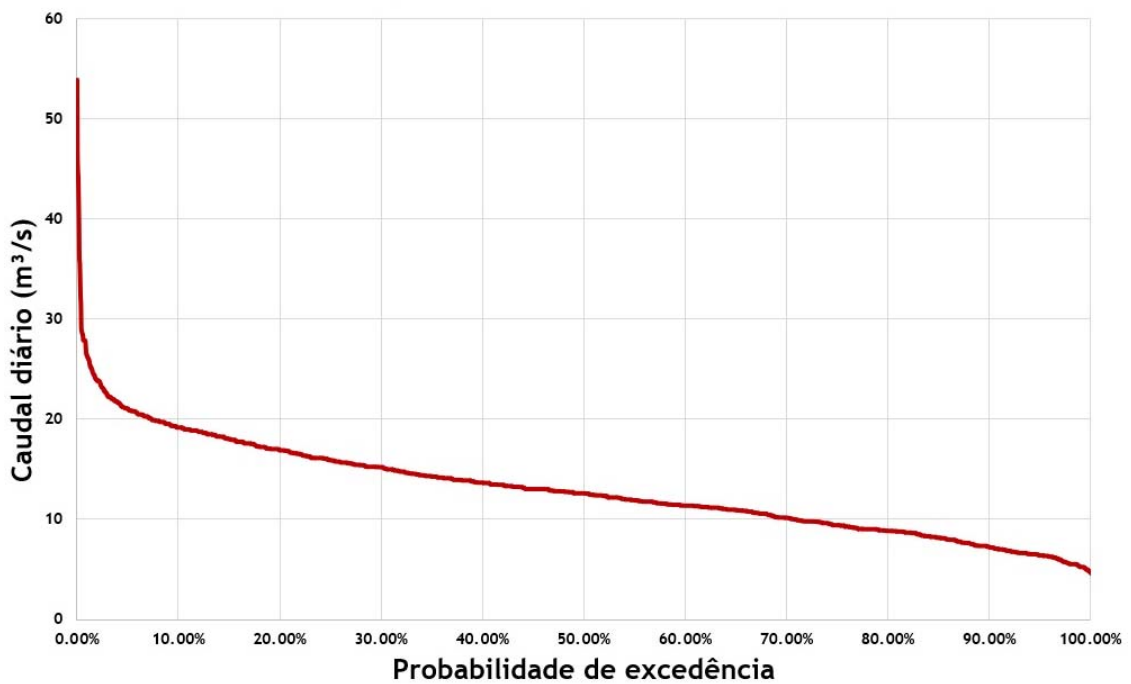


Figura 50 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de maio da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

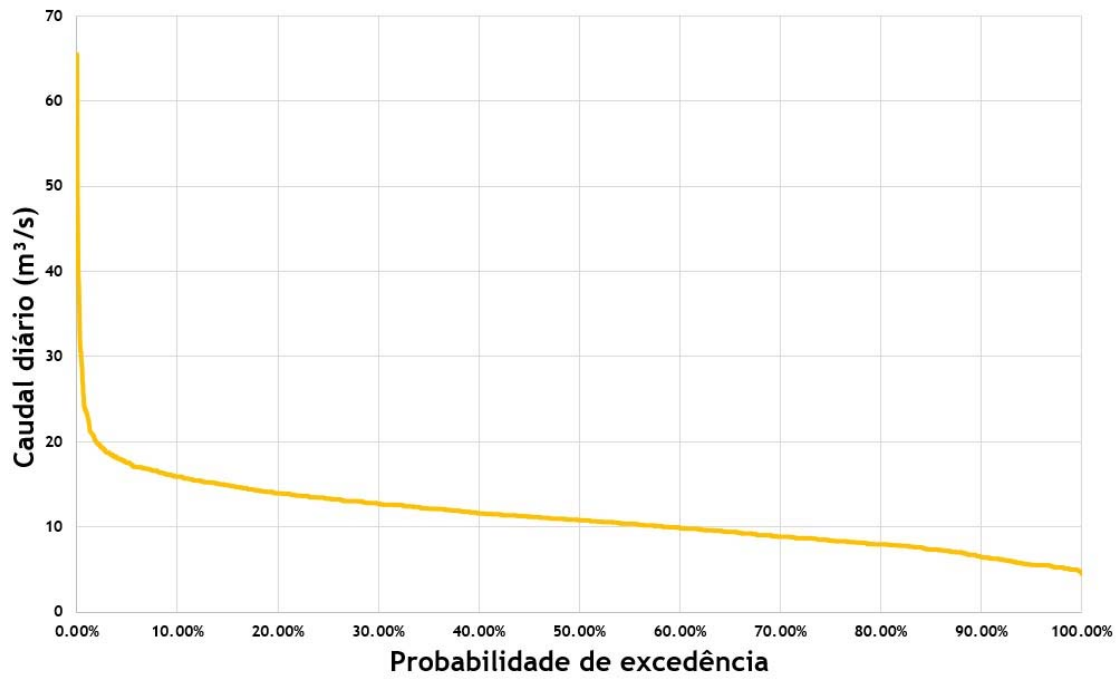


Figura 51 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de junho da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

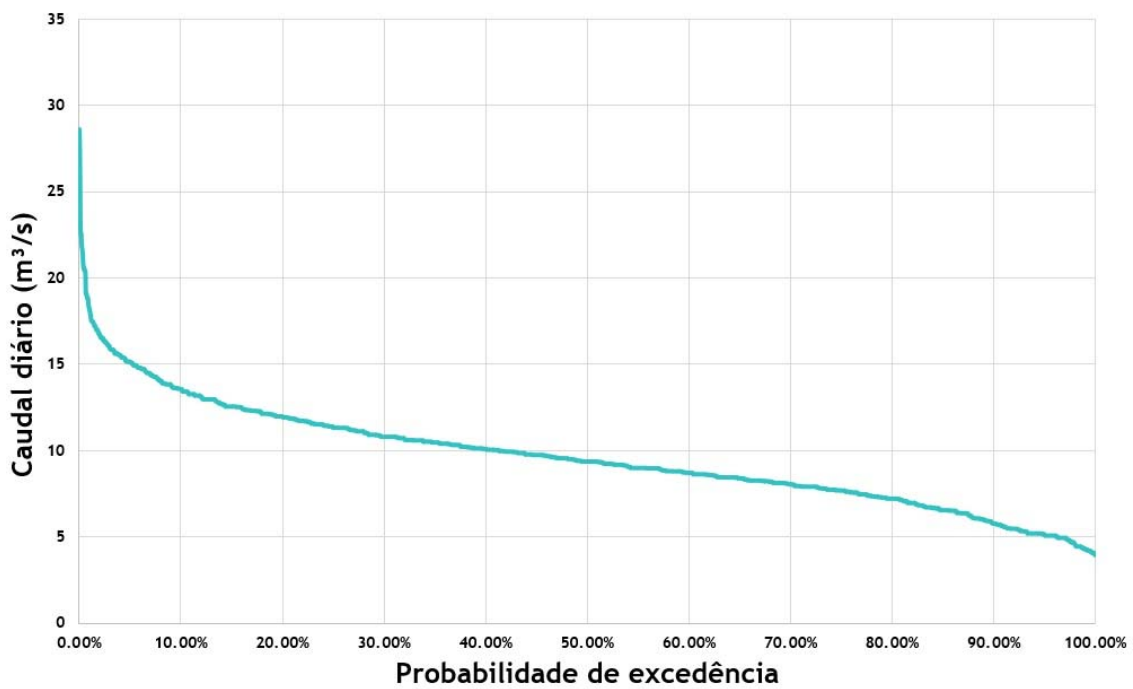


Figura 52 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de julho da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

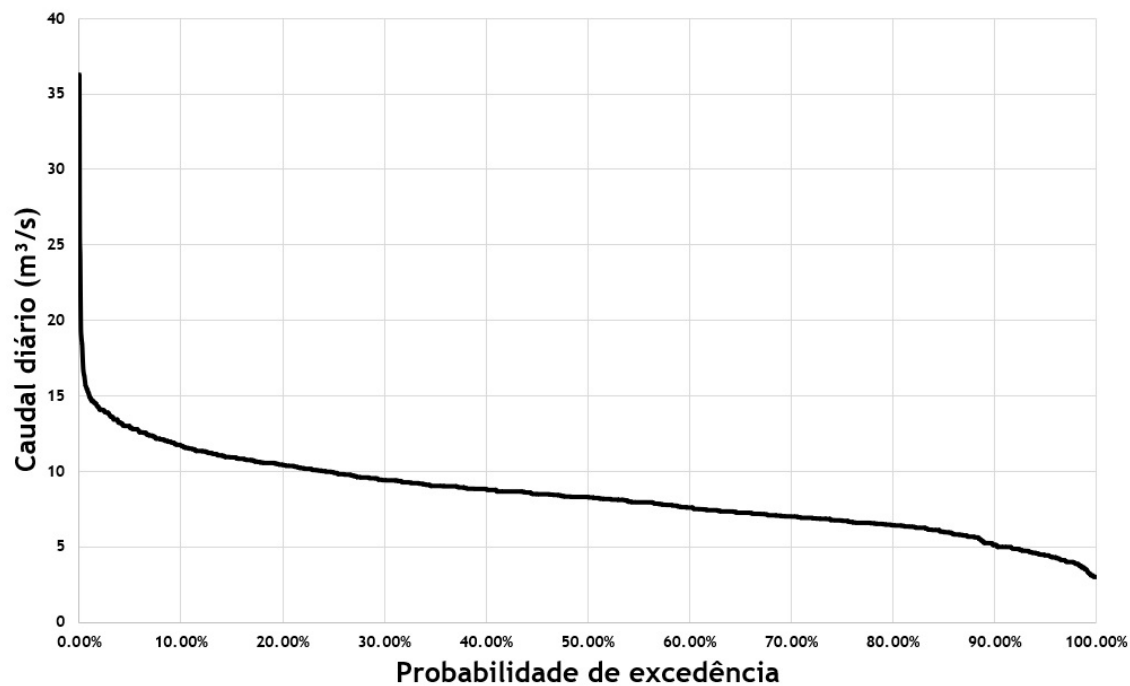


Figura 53 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de agosto da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

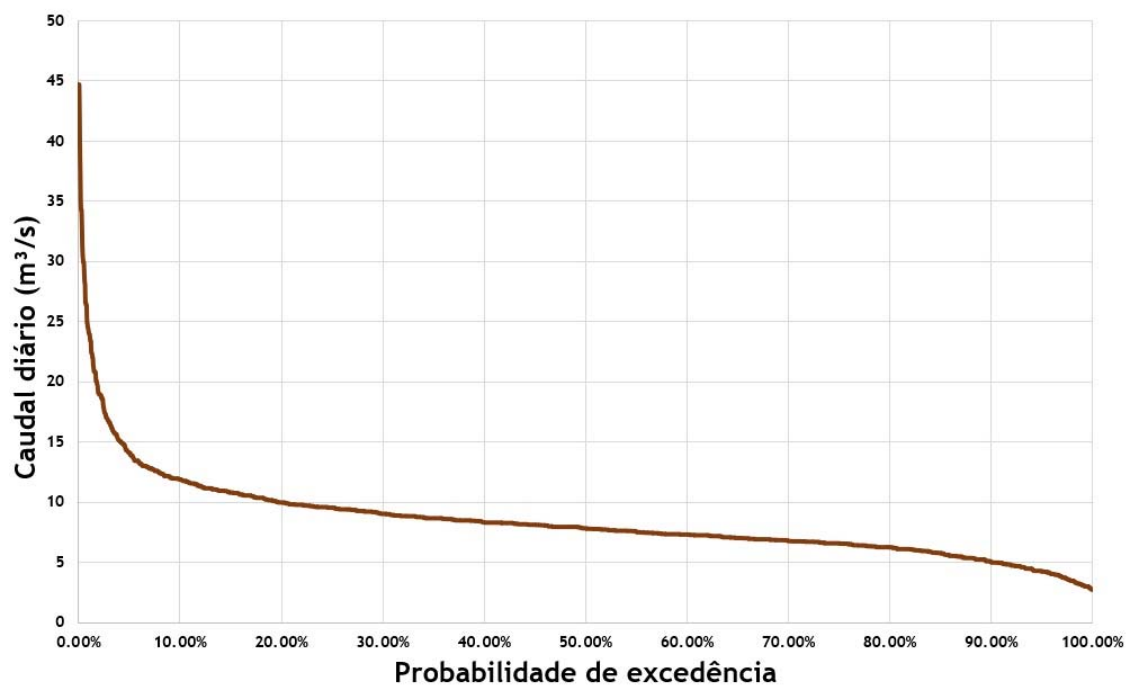


Figura 54 - Curva de permanência de caudais diários para o mês de setembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

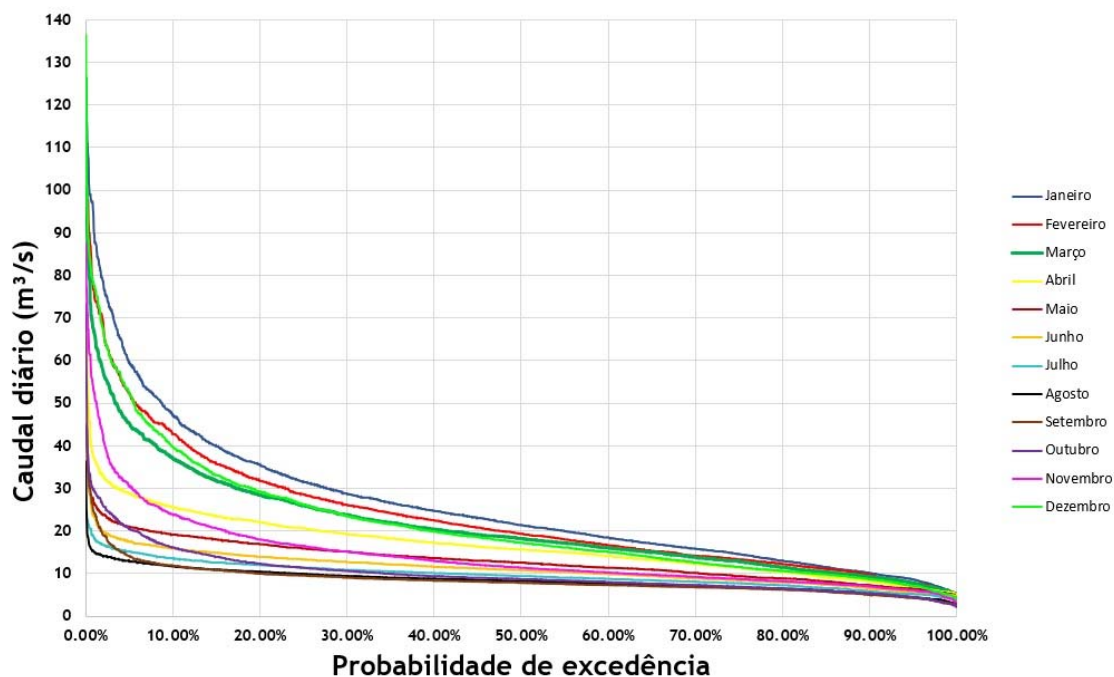


Figura 55 - Curva de permanência de caudais diários para os meses de janeiro a dezembro da mini-hídrica Saudade de 1931 a 2017.

Conforme apresentado na Secção 4.4, o método do INAG foi desenvolvido para ser aplicado exclusivamente em Portugal Continental e considera a divisão do país em três regiões hidrologicamente homogêneas onde cada qual possui uma escala mensal diferenciada para definição do regime de caudais ecológicos com o intuito de mimetizar a variabilidade do regime hidrológico. Entretanto, como para o presente estudo de caso se adotou uma referência no Brasil, foi escolhida a região de Portugal Continental que fosse hidrologicamente mais semelhante ao sítio da mini-hídrica Saudade (Sudeste do Brasil), a saber a “região do norte do rio Tejo, excluindo a sub-região Terra Quente”. Inclusive, especificamente em relação à pluviometria, não foi necessária a realização de quaisquer ajustes na escala do método em virtude dos períodos secos e húmidos serem bastante semelhantes. Ao se consultar as probabilidades de excedência em cada curva de permanência mensal, obtém-se os respectivos caudais associados e necessários para compor a escala apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Escala do regime de caudais ecológicos com base no método INAG.

Regime de Caudal Ecológico			
Mês	Dias	Semelhante ao Norte do rio Tejo, excluindo a sub-região Terra Quente	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
Outubro	31	q75	6,892
Novembro	30	q75	8,722
Dezembro	31	q75	11,533
Janeiro	31	q75	14,507
Fevereiro	28	q90	9,733
Março	31	q90	9,234
Abril	30	q90	8,142
Maio	31	q90	7,194
Junho	30	q90	6,409
Julho	31	q75	7,699
Agosto	31	q75	6,688
Setembro	30	q75	6,534

Como o método estabelece um regime de caudais que é variável de acordo com o mês de referência, para o efeito comparativo pretendido pelo presente estudo frente a outros métodos que, ao contrário, determinam um único caudal ecológico ao longo de todo o ciclo hidrológico, será adotado como caudal ecológico a média de caudais ecológicos resultante do regime observando o peso do número de dias de cada mês e, nesse sentido, tem-se:

$$Q_{ECO} = 8,610 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 6.6 Método de Tennant

O método, conforme apresentado na Secção 5.2, utiliza-se como referência percentagens sobre o caudal médio anual e para o atual estudo de caso, em virtude da grande dimensão da série histórica disponível para o aproveitamento Saudade, será adotado o caudal médio de longo termo que é de 15,330 m<sup>3</sup>/s para a determinação (Tabela 26) de todos os valores considerados pelo método e adaptados ao cenário hidrológico para o qual a mini-hídrica Saudade se enquadra.

Tabela 26 - Valores considerados pelo método de Tennant (adaptado ao caso da mini-hídrica Saudade).

Caudal	Regime de caudais recomendado		
	Jun-Set	Abr/Mai/Out/Nov	Dez-Mar
De descarga ou máximo (m <sup>3</sup> /s)	30,660		
Gama de variação óptima (m <sup>3</sup> /s)	9,198 a 15,330		
Excelente (m <sup>3</sup> /s)	6,132	7,665	9,198
Muito bom (m <sup>3</sup> /s)	4,599	6,132	7,665
Bom (m <sup>3</sup> /s)	3,066	4,599	6,132
Fraco ou degradante (m <sup>3</sup> /s)	1,533	3,066 m	4,599
Pobre ou mínimo (m <sup>3</sup> /s)	1,533	1,533	1,533
Degradação elevada (m <sup>3</sup> /s)	0 a 1,533		

Como para o método valores superiores a 30% do caudal médio anual são considerados satisfatórios (bom) no que tange à profundidade, largura e velocidade do escoamento, tem-se esse referencial para o caudal ecológico:

$$Q_{ECO} = 4,599 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 6.7 Método do *Global Environmental Flow Calculator* (GEFC)

Para aplicação do método GEFC seguem-se as etapas descritas na Secção 5.5 e, nesse sentido, primeiramente deve-se elaborar arquivo em formato específico (texto.txt) contendo os dados dos caudais médios mensais para que o programa possa processá-los. Em tempo, os dados utilizados foram aqueles do aproveitamento Saudade compreendidos entre o intervalo de 1932 a 2014, por ser esse o intervalo temporal disponível sem quaisquer falhas mensais ao longo de todo o ciclo anual.

Uma vez feita a verificação do programa em relação à consistência dos dados inseridos para com os seus padrões de análise, são geradas as principais características hidrológicas (ver Figuras 56 a 61) como série histórica de caudais mensal e anual, curva de permanência, distribuição mensal de caudais e estatísticas.

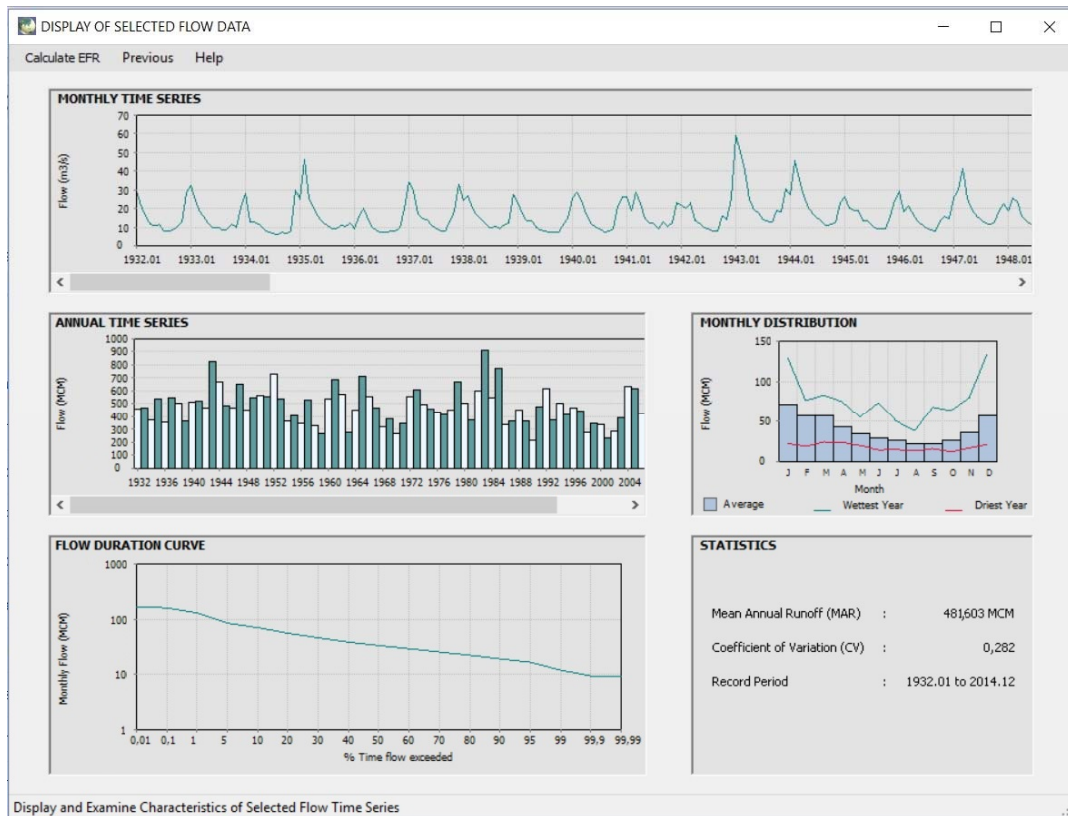


Figura 56 - Principais características hidrológicas geradas pelo GEFC.

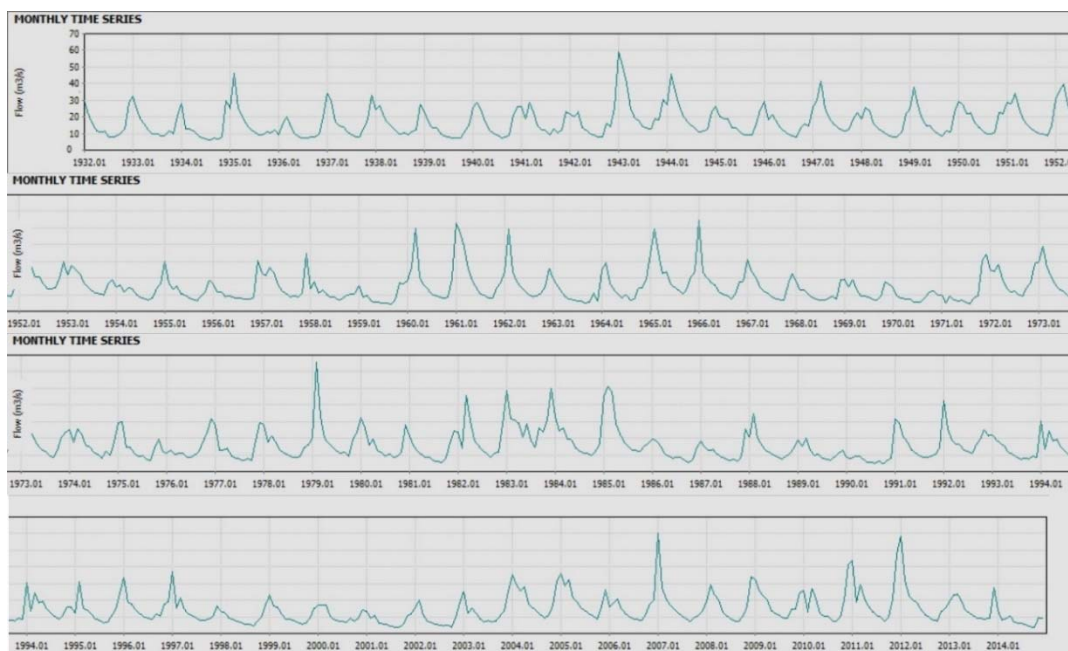


Figura 57 - Detalhe do gráfico gerado pelo GEFC contendo série histórica de caudais médios mensais para o período de 1932 a 2014.



Figura 58 - Detalhe do gráfico contendo a distribuição mensal dos caudais com registo do ano mais seco e mais húmido.

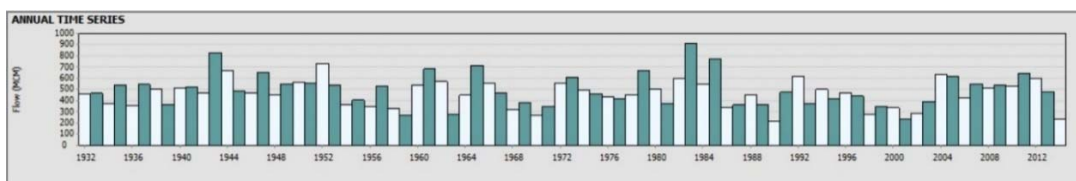


Figura 59 - Detalhe do gráfico gerado pelo GEFC contendo série histórica de caudais médios mensais para o período de 1932 a 2014.

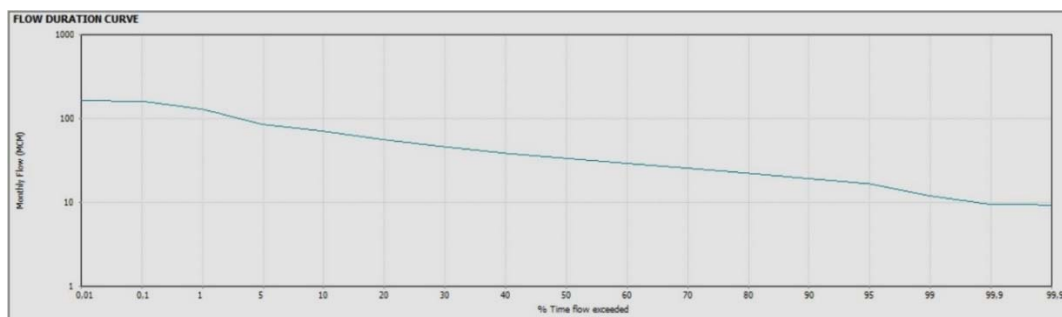


Figura 60 - Detalhe da curva de permanência gerada pelo GEFC.

STATISTICS	
Mean Annual Runoff (MAR)	: 481,603 MCM
Coefficient of Variation (CV)	: 0,282
Record Period	: 1932.01 to 2014.12

Figura 61 - Detalhe da estatística gerada pelo GEFC.

Na sequência a ferramenta determina a curva de permanência para o caudal natural e para todos os caudais ecológicos resultantes a cada uma das classes EMC (ver Figura 62), a partir de quando deve-se selecionar aquela mais apropriada em relação a situação ecológica do curso de água.

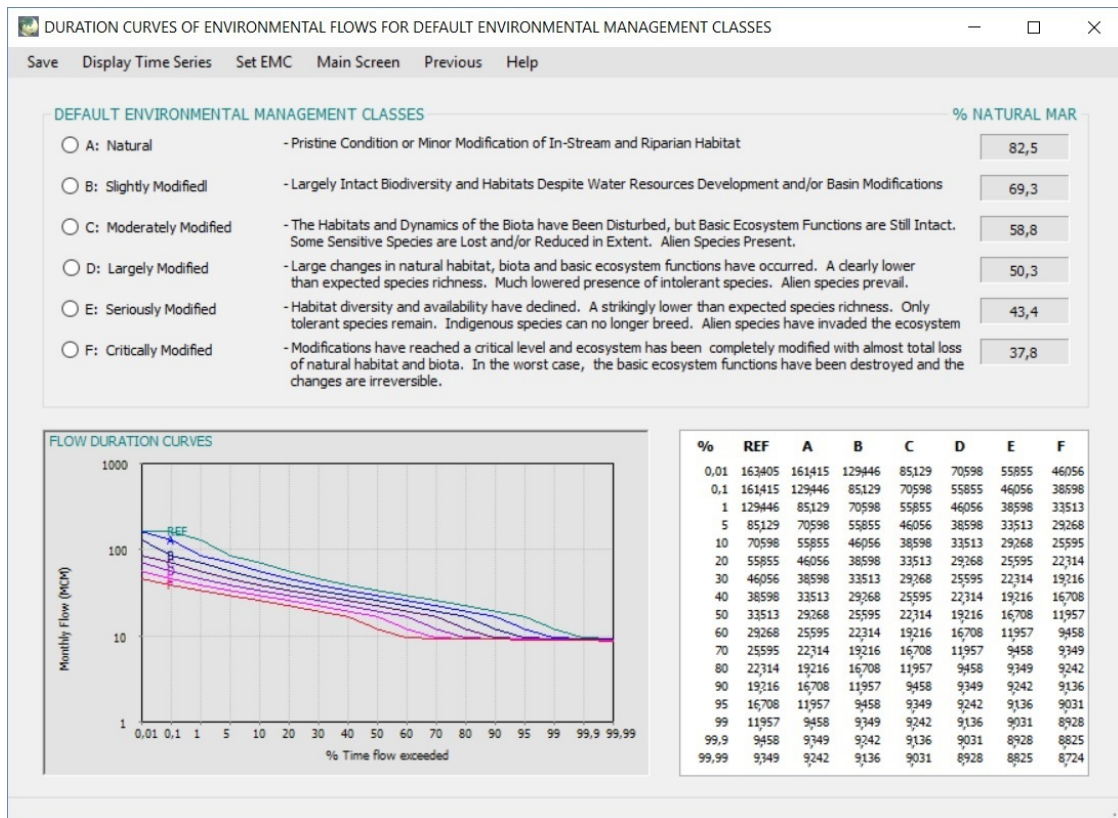


Figura 62 - Detalhe das curvas de permanência para cada classe EMC e do caudal natural do curso geradas pelo GEFC.

Para o aproveitamento Saudade, especialmente em seu futuro trecho de caudal reduzido e levando-se em consideração a situação ambiental identificada e descrita na Secção 6.3.3, conclui-se que a “Classe C” (ver Figura 63) é a que melhor se aplica ao cenário. Lembra-se que a “Classe C” possui as seguintes características:

- Aquela em que os habitats e a dinâmica da biota foram perturbados, mas as funções básicas do ecossistema ainda estão intactas (*verificado in loco*);
- Algumas espécies sensíveis são perdidas ou reduzidas em extensão (*verificado in loco*); e
- Presença de espécies invasoras (*verificado in loco*).

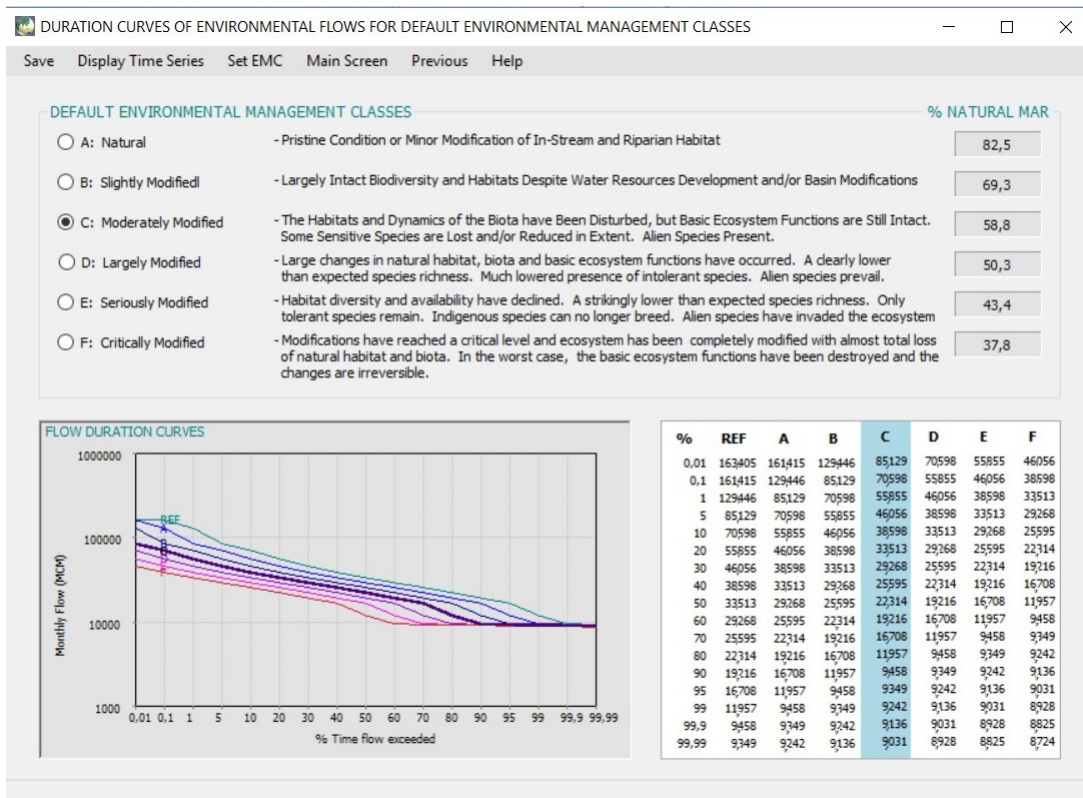


Figura 63 - Detalhe da escolha da “classe C”.

Por fim, a partir da curva de duração escolhida anteriormente, a ferramenta gera, utilizando-se de um procedimento de interpolação espacial não linear, um gráfico (ver Figura 64) contendo a série histórica média mensal para o regime de caudal ecológico (a vermelho) e natural (a verde) para o período considerado (1932 - 2014).

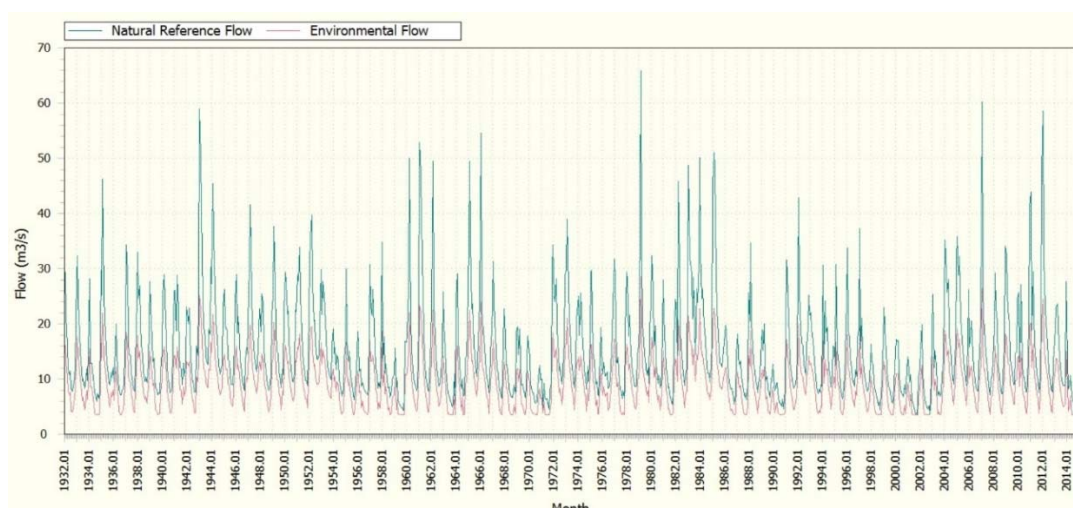


Figura 64 - Série histórica de caudais médios mensais ecológico e natural elaborada pelo GEFC.

Para o efeito comparativo pretendido pelo presente estudo face a outros métodos, não é interessante tratar-se de um regime de caudais ecológicos, por obvio, variável para cada

diferente mês. Para se determinar um único valor, tem-se que o GEFC estabelece que para um EMC “Classe C” o caudal ecológico deve ser o equivalente a uma percentagem de 58,8% do natural *Mean Annual Runoff* (MAR). O MAR é a quantidade média de água que flui pelo curso do rio ao longo do ano e foi calculado pelo GEFC no início do processamento (ver Figura 56) como 481,603 *Million Cubic Metre* (MCM). Uma vez que a unidade está em milhões de metros cúbicos por ano, deve-se obter o valor correspondente em metros cúbicos por segundo que é igual a 15,271 m<sup>3</sup>/s.

Portanto, o caudal médio de longo termo determinado pelo GEFC é de 15,271 m<sup>3</sup>/s, caudal esse que é corroborado pelo valor obtido nos estudos hidrológicos de Saudade (15,330 m<sup>3</sup>/s), e aplicando a percentagem de 58,8% (“Classe C” - EMC) encontra-se o caudal ecológico de interesse:

$$Q_{ECO} = 8,979 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 6.8 Método do perímetro molhado

Para a aplicação do método, conforme descrito na Secção 5.3, se faz necessário o recurso de uma ferramenta de modelação hidráulica para simular a variação do perímetro molhado numa dada secção topobatimétrica em relação a um regime de caudais associado a parâmetros hidráulicos estimados ao que se encontra *in loco* e, para tal feito, foi escolhido um programa computacional de análise de rios desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (*U.S. Army Corps of Engineers*) designado de HEC-RAS, o que remete a *Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*.

Foram disponibilizadas três secções com levantamentos topobatimétricos e dispostas ao longo do troço de rio que terá seu caudal reduzido quando da operação da mini-hídrica, as quais se encontram apresentadas no Anexo B do presente trabalho (Anexos B.1 a B.3), onde uma fica situada em seu início (próximo ao eixo da barragem) e outra no fim (próximo ao canal de fuga).

Após a inserção de inúmeros dados como, cotas, distâncias longitudinais e transversais, coeficientes de rugosidade de Manning para o fundo (0,035 - limpo, retilíneo, sem rápidos ou zonas profundas, com rochas e vegetação) e as margens esquerda e direita (0,03 - relva baixa), declividade, tipo de regime, caudais, etc; consegue-se obter como resultado da simulação (ver Figuras 66, 68 e 70) inúmeras informações e, dentre essas, seleciona-se aquelas que permitem definir, através do editor de Excel, o gráfico (ver Figuras 67, 69 e 71) do perímetro molhado em função do caudal com o intuito de identificar, se a geometria da secção permite obter, o principal ponto de inflexão da curva. Na sequência serão analisados cada um dos gráficos obtidos a partir das secções que são, em virtude de característica peculiar ao HEC-RAS, enumeradas ou identificadas de jusante para montante (ver Figura 65).



Figura 65 - Localização das secções utilizadas no método do perímetro molhado.

- Secção 01: a primeira secção (ver Figura 66) fica localizada no final do troço de rio com caudal reduzido, próxima ao canal de fuga da casa das máquinas, e onde a jusante deste prevalecerá o caudal restituído.

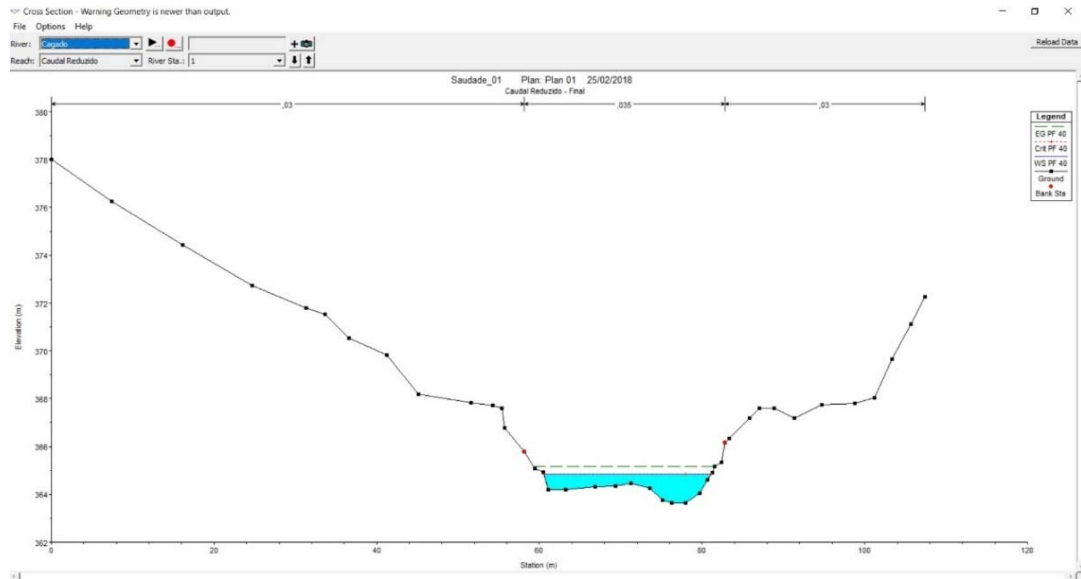


Figura 66 - Detalhe da secção topobatimétrica 01 gerada pelo HEC-RAS.

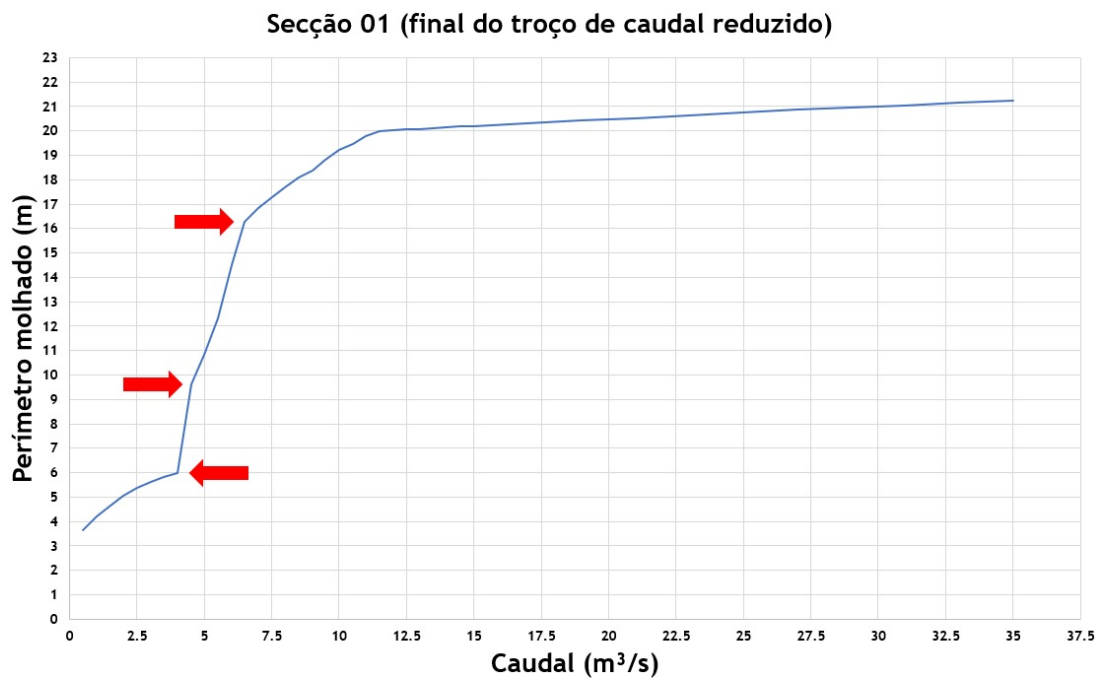


Figura 67 - Variação do perímetro molhado *versus* caudal para a secção 01.

Conforme observado na Figura 67, o gráfico referente à secção topobatimétrica em estudo (secção 01) apresenta pontos de inflexão bastante claros, entretanto, três desses (indicados no gráfico) relativos a caudais compreendidos em um pequeno intervalo, sendo de  $4,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $4,500 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $6,500 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente. Como a análise para determinação daquele caudal a ser apontado com o ecológico é subjetiva e não deve ser fruto de uma visão estrita, para esse caso em específico, uma solução de bom senso é a de se adotar uma média entre os valores identificados. Portanto, tem-se o apontamento de um caudal ecológico para essa secção no valor de  $Q_{\text{ECO}} = 5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Secção 02: a segunda e intermediária secção (ver Figura 68) fica localizada a cerca de 4.000,00 m a montante da secção 01.

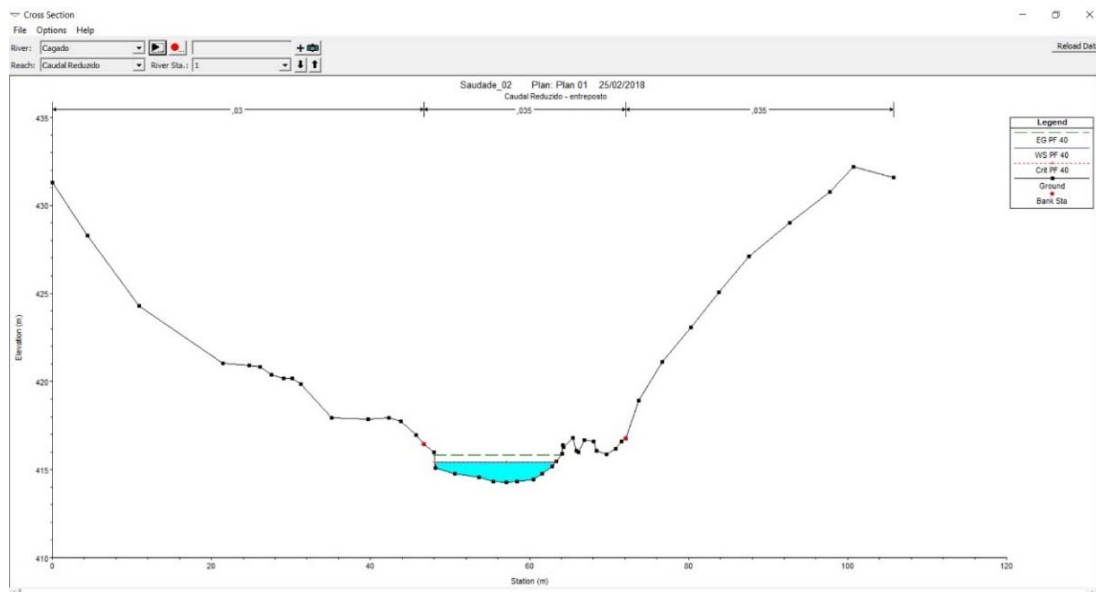


Figura 68 - Detalhe da secção topobatimétrica 02 gerada pelo HEC-RAS.

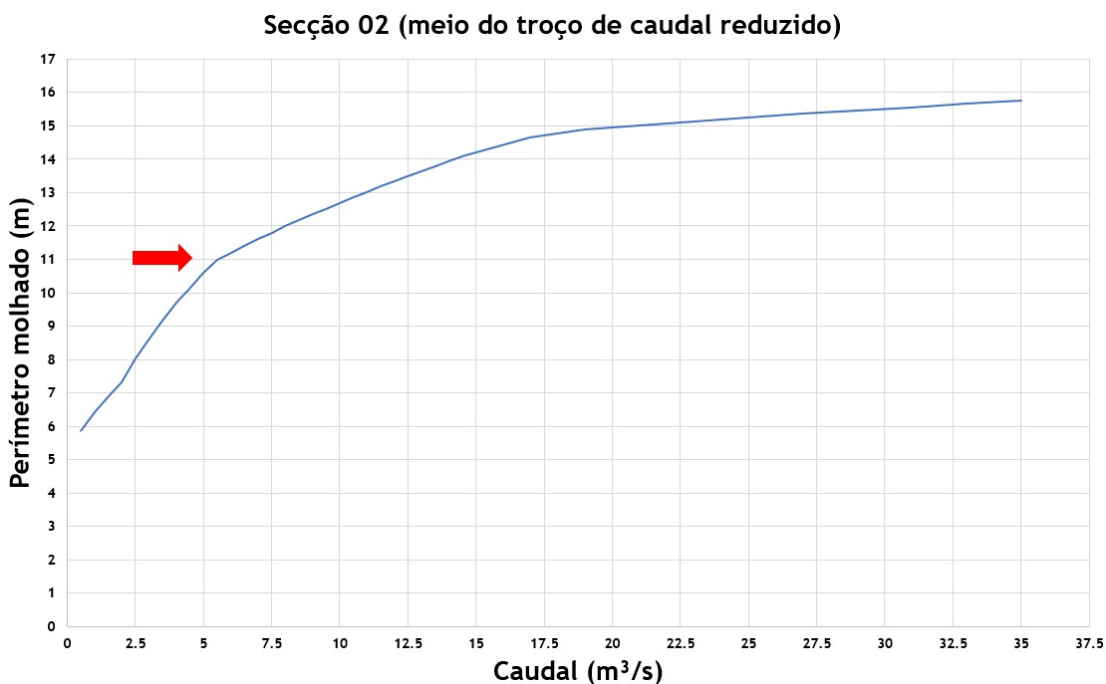


Figura 69 - Variação do perímetro molhado *versus* caudal para a secção 02.

Conforme observado na Figura 69, ao contrário da primeira secção, o gráfico referente à secção 02 apresenta um ponto de inflexão que não deixa dúvidas de que reflete uma mudança clara de tendência na relação perímetro molhado *versus* caudal e que se mantém em um grande intervalo amostral. Portanto, tem-se o apontamento de um caudal ecológico para essa secção no valor de  $Q_{ECO} = 5,500 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Secção 03: a terceira e última secção (ver Figura 70) utilizada fica localizada no início do troço de rio com caudal reduzido, próxima ao eixo de barramento, e cerca de 1.500,00 m a montante da secção 02.

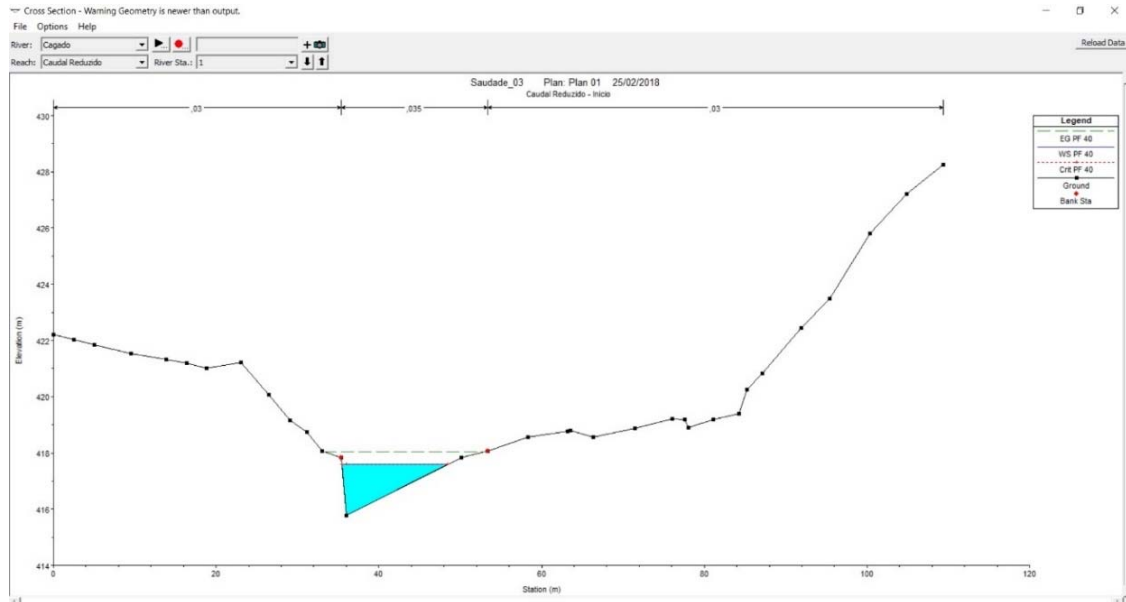


Figura 70 - Detalhe da secção topobatimétrica 03 gerada pelo HEC-RAS.

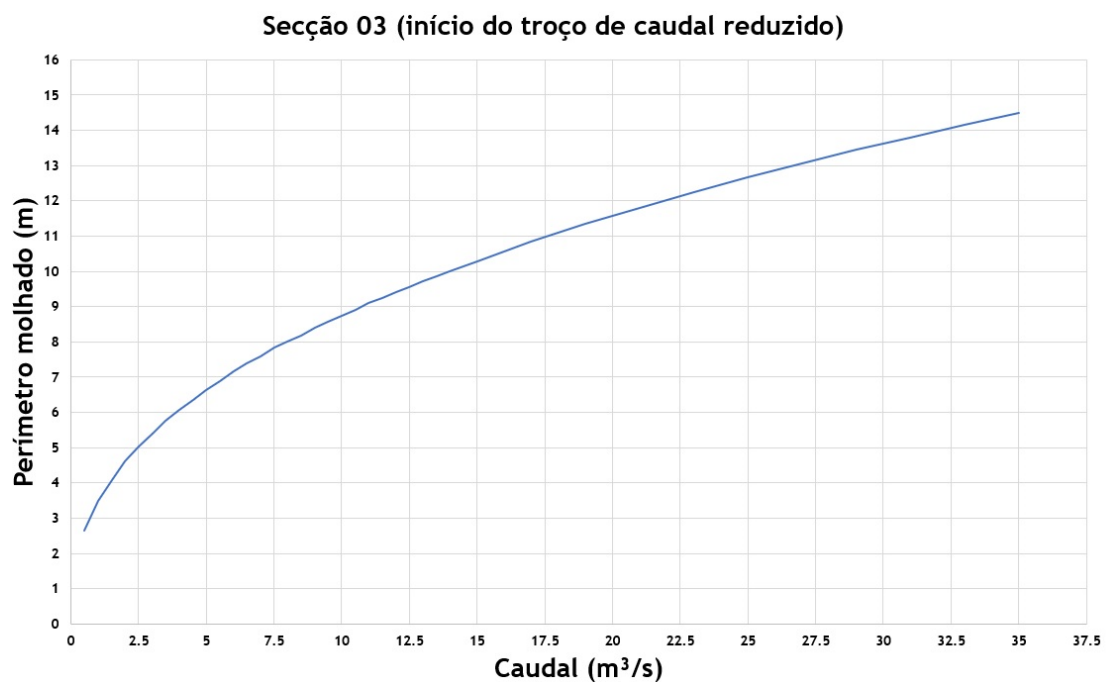


Figura 71 - Variação do perímetro molhado *versus* caudal para a secção 03.

Conforme observado na Figura 71 relativa à secção 03, infelizmente, não se verifica qualquer ponto claro de inflexão que permita inferir um caudal ecológico e tal facto é relacionado a geometria desta conforme exposto na parte que tratou dos pormenores do método.

Desta forma, tomando-se como referência os valores para caudais ecológicos avaliados através das duas secções úteis para esse fim, pode-se inferir o caudal ecológico resultante para o método do perímetro molhado como a média:

$$Q_{ECO} = 5,250 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 6.9 Considerações

Como encerramento do presente Capítulo de carácter mais prático, se faz necessária a consideração, mesmo que breve, de um aspeto não muito abordado na literatura relativa aos caudais ecológicos. Faz-se aqui referência sobre como de facto manter *in loco* aquele caudal previamente determinado, por vezes ainda variável conforme dado regime ao longo do ano, de forma a existir uma descarga confiável e regulável de caudais, em baixa ou alta pressão. Também, com a adequada dissipação da energia sem o risco de aparecimento de cavitação. Para tal feito, nos atuais tempos, são principalmente utilizadas válvulas denominadas de dispersoras ou difusoras ou, ainda, na terminologia anglo-saxónica, como “*Discharge Valve*” (ver Figura 72).



Figura 72 - Válvula dispersora em funcionamento.

Normalmente a válvula possui uma descarga cónica e o fechamento e regulação do caudal é efetuado através de um obturador cilíndrico móvel e de um cone guia fixo. A regulação ocorre com o movimento do obturador que desliza sobre o corpo da válvula alterando a secção cilíndrica aberta entre o obturador e o cone. A válvula pode ser operada submersa ou não e o

seu acionamento pode se dar manualmente, através de sistema motorizado por meio de um atuador elétrico ou com acionamento hidráulico por meio de dois cilindros hidráulicos de duplo efeito (HYDROSTEC, 2018).

Por fim, a válvula pode ser instalada na posição horizontal ao ar livre, em cone de dissipação ou em uma galeria. Existe ainda a possibilidade de sua implantação se dar em posição vertical para aquelas válvulas de menor diâmetro (ver Figura 73).

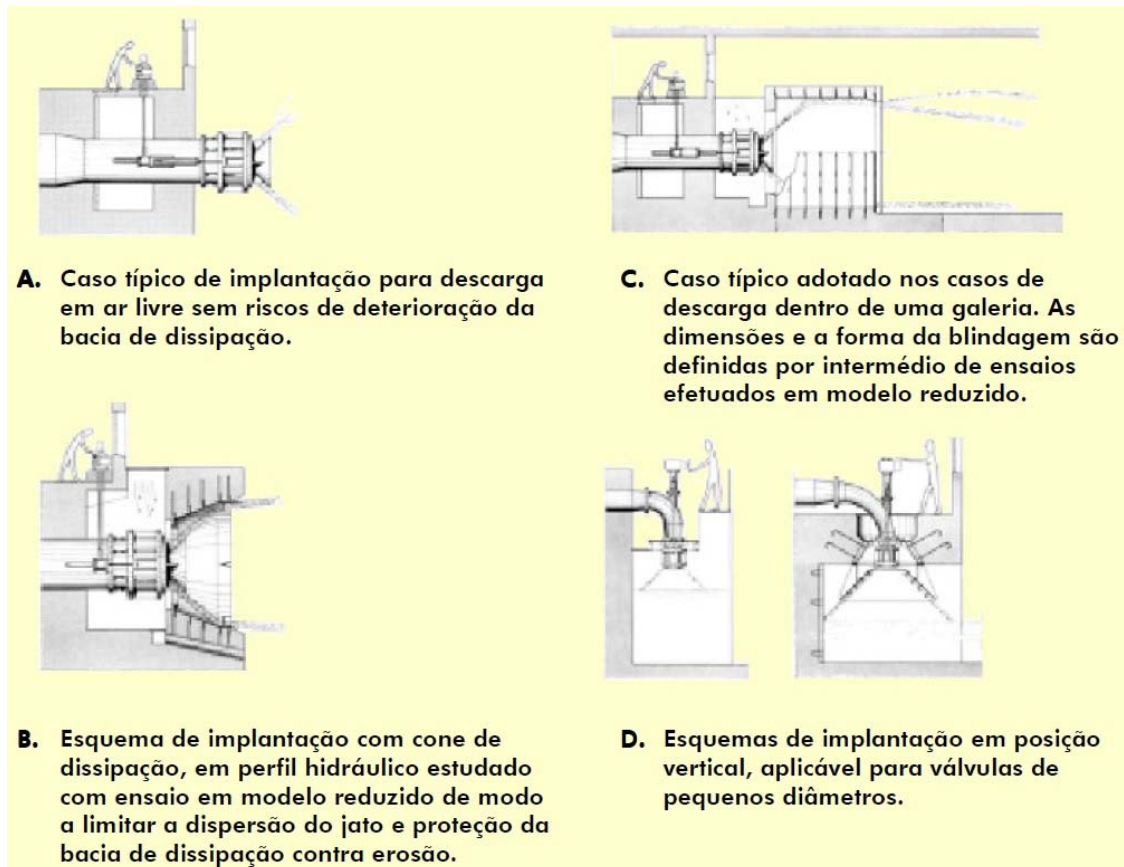


Figura 73 - Possibilidades para implantação de uma válvula dispersora (HYDROSTEC, 2018).



## 7. Resultados e discussão sobre o custo energético das diferentes metodologias do estudo

### 7.1 Introdução

Neste Capítulo serão confrontados os resultados obtidos nas Secções anteriores e as simulações realizadas, com auxílio de *software* computacional desenvolvido pela Universidade de Estugarda e intitulado de *Computer Aided Simulation Model for Instream Flow and Riparia* (CASiMiR) em sua versão “*hydro*”, do custo energético inerente a cada caudal resultante com a determinação do impacto anual e durante todo o período de concessão da mini-hídrica Saudade em gigawatt-hora (GWh) ou megawatt-hora (MWh), bem como em euros, adotando-se como referência o valor médio de mercado da energia em euros por megawatt-hora (€/MWh). Por fim, serão apresentadas breves considerações relativas à relação entre os caudais e os benefícios para o meio ambiente e a sociedade.

### 7.2 Comparação dos resultados obtidos

Na presente Secção é apresentada de maneira sucinta uma comparação direta entre os caudais ecológicos resultantes e obtidos a partir da aplicação dos métodos no estudo de caso (Tabela 27) alvo deste trabalho.

Tabela 27 - Comparação entre os caudais ecológicos obtidos após a aplicação de cada método no estudo.

Item	Método	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Varição (%)
1	70%Q <sub>7,10</sub>	3,185	0,000
2	Q <sub>7,10</sub>	4,550	42,857
3	Tennant	4,599	44,395
4	Perímetro Molhado	5,250	64,835
5	Q <sub>95</sub>	5,496	72,558
6	Q <sub>90</sub>	6,524	104,835
7	INAG	8,610	170,329
8	GEFC	8,979	181,915

Para fomentar a análise, toma-se como referência o menor volume calculado que é o relativo a 70% do Q<sub>7,10</sub> e esse, por coincidência, trata-se do caudal de facto relacionado com a mini-hídrica Saudade no Brasil. A partir desse referencial, observa-se que a amplitude da gama calculada é tamanha que chega em seu limite superior a apresentar um caudal ecológico com

volume cerca de 180% superior a aquele de base ( $Q_{7,10}$ ). Portanto, um simples e direto comparativo (ver Figura 74) entre os resultados já é suficiente para expor a sensibilidade do tema e o potencial impacto na sociedade, seja pela influência na produção hidroelétrica ou no meio ambiente, que a escolha de uma metodologia para determinação do caudal ecológico pode acarretar.

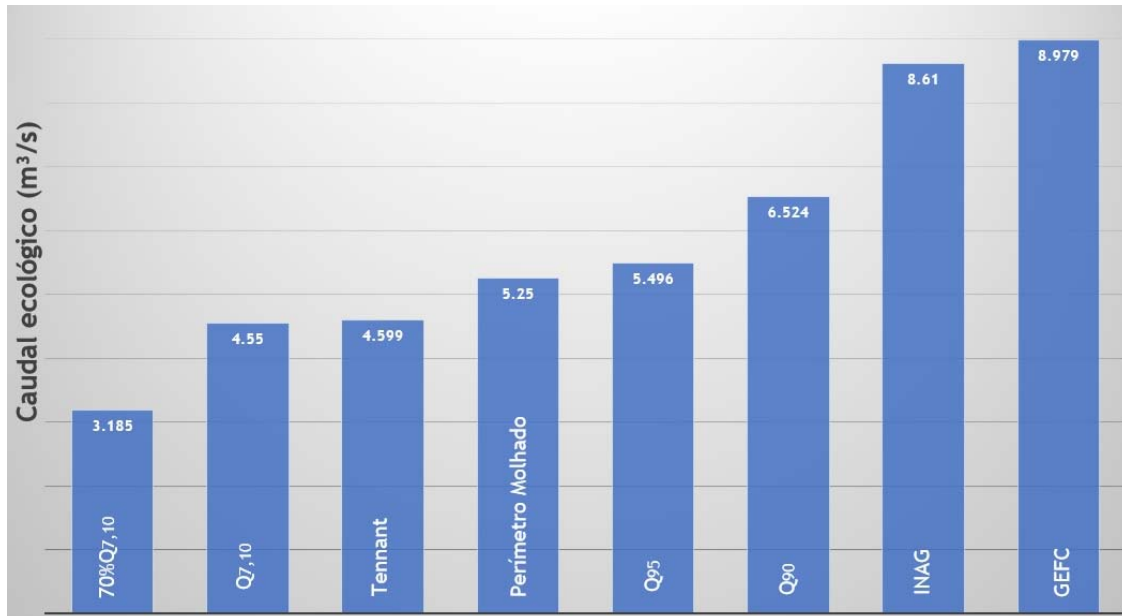


Figura 74 - Caudais ecológicos resultantes obtidos após a aplicação de cada método no estudo de caso.

Por fim, chamam a atenção dois “grupos”, um composto pelos métodos hidrológicos  $Q_{7,10}$  e Tennant com resultados praticamente idênticos e um outro composto pelo método hidráulico do perímetro molhado e o método hidrológico  $Q_{90}$  com resultados muito próximos.

### 7.3 Simulação do custo energético das metodologias do estudo

Conforme já tratado neste trabalho, mensurar o impacto no meio ambiente é algo extremamente complexo em virtude das inúmeras matérias e estudos envolvidos, além da utilização de uma extensa base de dados para tal feito. Esses requerem a necessidade do trabalho de vários profissionais especializados nas mais variadas áreas para ao fim de um longo período ainda restarem resultados e conclusões por vezes destituídas de cunho exato por essas enveredarem para o campo subjetivo. Entretanto, o impacto na produção hidroelétrica pode ser determinado através de simulações baseadas em procedimentos racionais e objetivos que conduzem a resultados menos subjetivos.

No início dos anos 90, o Instituto de Engenharia Hidráulica da Universidade de Estugarda desenvolveu o sistema de simulação auxiliado por computador CASiMiR que era focado principalmente na simulação de condições de habitat para organismos bentônicos. A motivação original era promover o uso do programa em alguns países europeus com o intuito de estudar

problemas oriundos das operações de produção de energia hidroelétrica, especialmente em relação a caudais mínimos. Um segundo módulo de programa foi desenvolvido para avaliar os efeitos económicos da regulação de caudais em centrais hidroelétricas. Enquanto isso, o sistema foi expandido de modo que oferecesse a modelação de habitat de alta resolução, incluindo os efeitos de mudanças estruturais e hidráulicas para peixes e organismos bênticos (SCHNEIDER et al., 2010). Atualmente o programa conta com registos de utilização em estudos e projetos em todo o mundo.

Para utilização do CASiMiR, que para o presente trabalho se fez no uso exclusivo de seu modulo ou versão intitulado de “*hydro*” que determina o impacto da mudança dos caudais na produção de energia, é necessária a inserção de uma série de parâmetros e ou dados a seguir listados:

- Série hidrológica de caudais diários: O programa apenas permite a inserção de dados relativos aos caudais diários até o limite de 368 registos, ou seja, para apenas um ano. Em virtude do presente estudo contar com registos superiores a 80 anos, procedeu-se com a elaboração prévia de uma série histórica de caudais diários médios com base em todo o período de registos disponíveis. O *software* também permite a inserção dos dados relativos à curva de permanência ou, ainda, realizar a simulação com um caudal fixo;
- Caudal ecológico: O programa oferece a possibilidade da inserção de um caudal ecológico constante, o que foi utilizado na simulação, ou variável de acordo com a disponibilidade dos caudais no leito fluvial ou, ainda, para períodos específicos;
- Queda útil: Pode ser uma altura variável e dependente da descarga ou fixa como para o presente caso onde restou definida a altura de 58,28m (Secção 6.2.1);
- Rendimento global: Pode ser utilizado um rendimento diretamente dependente a descarga ou fixo como para o presente caso.

O trinômio queda útil, caudal disponível para o aproveitamento e rotação conduzem a uma determinada rotação específica, grandeza adimensional que determina o tipo de turbina adequado que, no caso específico da mini-hídrica Saudade, são turbinas do tipo Francis. Em função do tipo de turbina e do porte do conjunto turbina-geradores, os rendimentos médios adotados para as simulações energéticas foram, de acordo com VIBRAL (2012), os indicados na Tabela 28.

Tabela 28 - Rendimentos eletromecânicos da mini-hídrica Saudade. Adaptado de VIBRAL (2012).

Rendimento das turbinas (%)	92,6
Rendimento dos geradores (%)	96,0
Rendimento do sistema de adução (%)	96,8
Rendimento global (%)	86,1

- **Caudal de projeto:** Deve-se inserir aqueles caudais mínimos e máximos de operação, ou seja, estabelecer o intervalo de operação da mini-hídrica. O caudal de projeto para o aproveitamento Saudade é de **19,64 m<sup>3</sup>/s**, o necessário para atendimento às três turbinas do tipo Francis, e o caudal mínimo para atendimento de uma máquina resta em **6,54 m<sup>3</sup>/s**; e

- **Tarifa de retorno financeiro:** Para o cálculo do retorno financeiro, o programa permite que seja introduzido o valor específico relativo a tarifa de produção. Como referência foi adotado o preço médio de mercado em Portugal Continental para a produção em 12 de abril de 2018 (ver Figura 75) e equivalente a **45,24 €/MWh** ou **4,524 Cent/kWh** (OMIE, 2018).



Figura 75 - Preço médio da energia elétrica no mercado em Portugal Continental em 12 de abril de 2018. Adaptado de OMIE (2018).

Após a execução de oito distintos modelos de simulação energética, cada qual com um dos volumes de caudal ecológico previamente determinados com os demais parâmetros e dados fixos, as principais informações devidamente compiladas (Tabela 29) são apresentadas na sequência e as memórias de cálculo geradas pelo CASiMiR restam dispostas no Anexo C do presente trabalho (Anexos C.1 a C.8).

Tabela 29 - Principais resultados apurados após as simulações no CASiMiR.

Item	Método	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Fator de Capacidade (%)	Energia Anual Produzida (MWh)	Retorno Financeiro Anual (EUR)
1	70%Q <sub>7,10</sub>	3,185	57,71	44.099,16	1 993 281.91
2	Q <sub>7,10</sub>	4,550	49,37	37.724,97	1 705 168.74
3	Tennant	4,599	48,76	37.263,15	1 684 294.37
4	P. Molhado	5,250	46,37	35.433,01	1 601 572.18
5	Q <sub>95</sub>	5,496	44,71	34.161,38	1 544 094.39
6	Q <sub>90</sub>	6,524	39,21	29.964,20	1 354 381.81
7	INAG	8,610	30,46	23.275,83	1 052 067.40
8	GEFC	8,979	29,41	22.472,98	1 015 778.89

O programa ainda disponibiliza gráficos, relativos a cada um dos métodos aplicados (ver Figuras 76 a 83), em três dimensões (3D) entre o caudal (m<sup>3</sup>/s) e a potência em quilowatt (kW) ao longo do tempo com cinco diferentes parâmetros: caudal principal disponível, caudal disponível após parcela devida ao caudal ecológico, caudal efetivamente turbinado, caudal ecológico em si e potência.

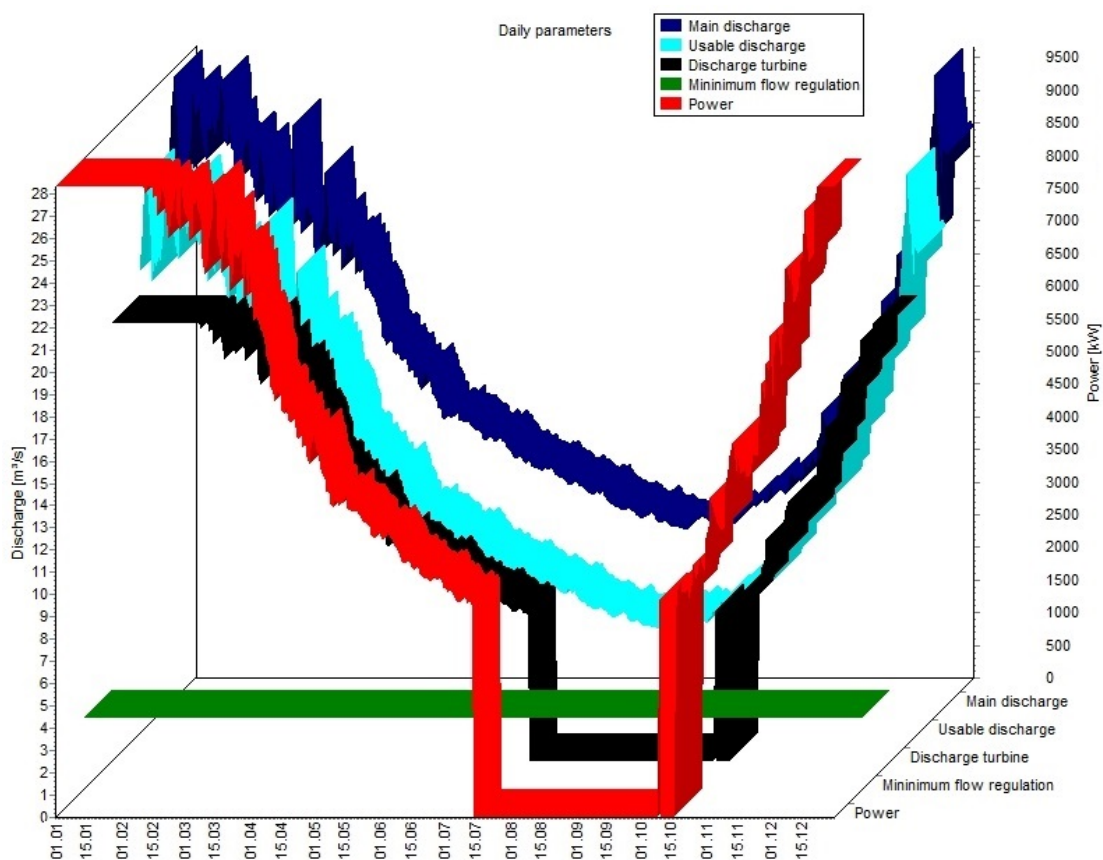


Figura 76 - Variação do caudal versus potência para o 70%Q<sub>7,10</sub> gerado pelo CASiMiR.

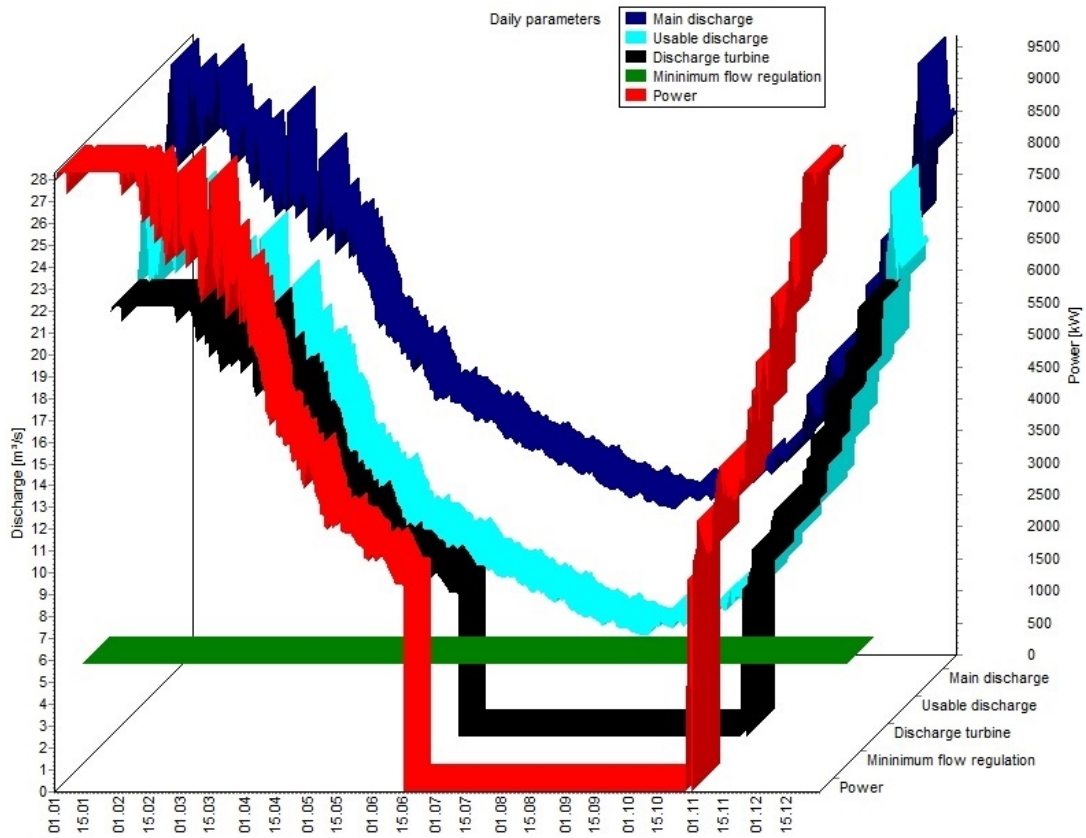


Figura 77 - Variação do caudal versus potência para o  $Q_{7,10}$  gerado pelo CASiMiR.

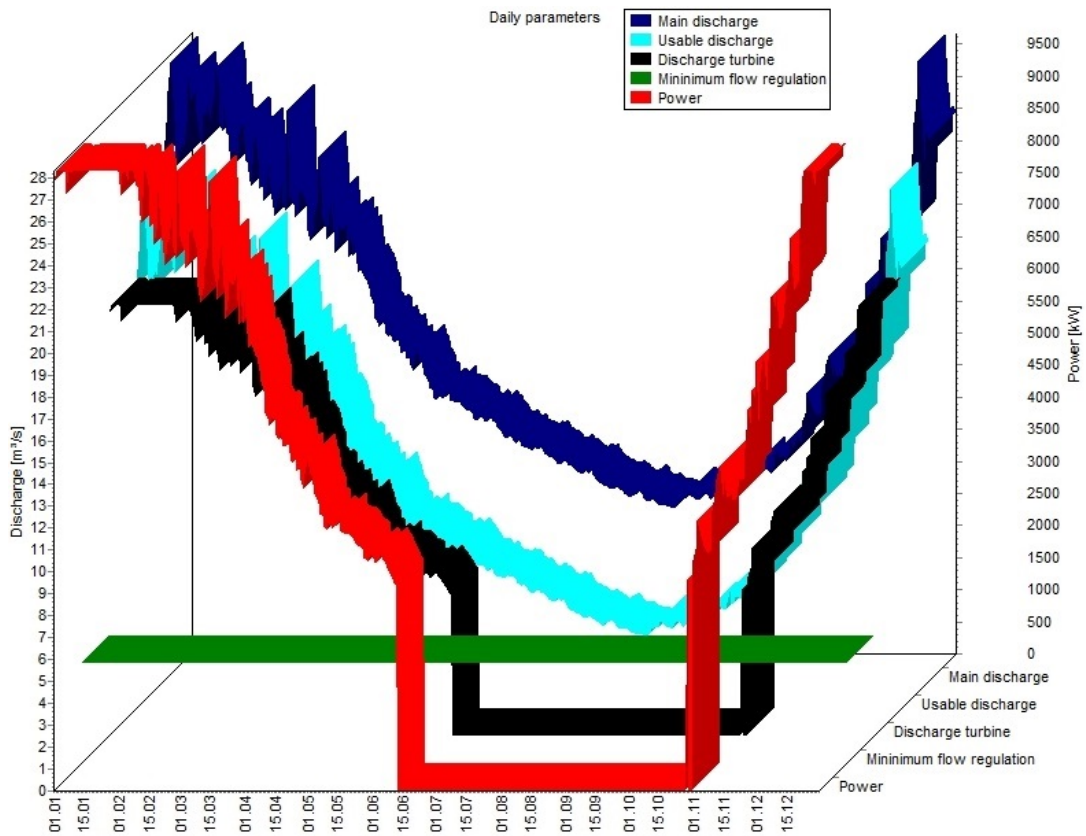


Figura 78 - Variação do caudal versus potência para Tennant gerado pelo CASiMiR.

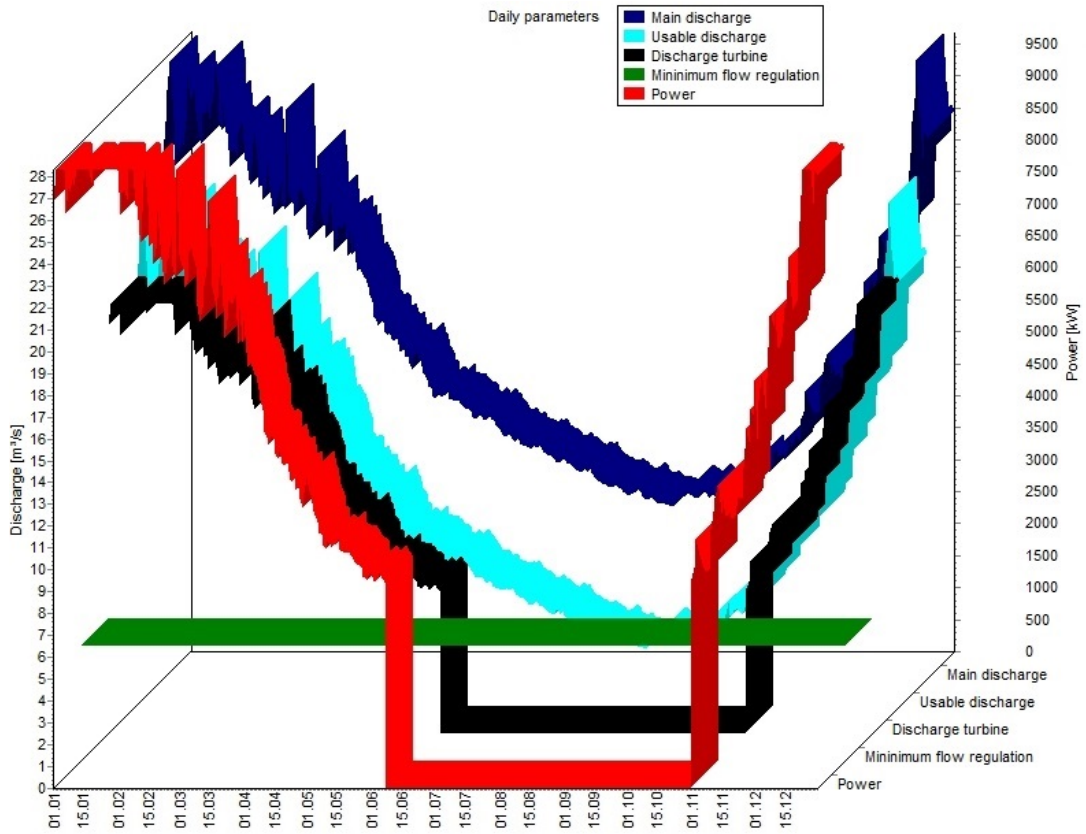


Figura 79 - Variação do caudal versus potência para o perímetro molhado gerado pelo CASiMiR.

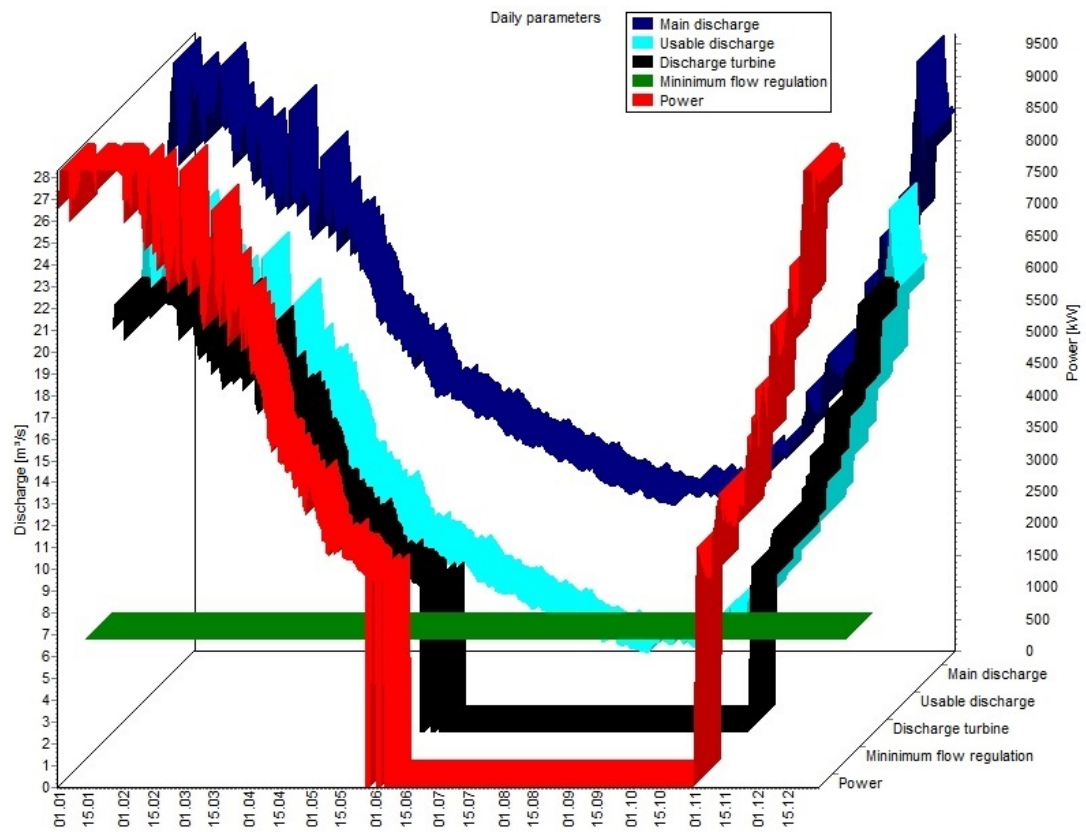


Figura 80 - Variação do caudal versus potência para o  $Q_{95}$  gerado pelo CASiMiR.

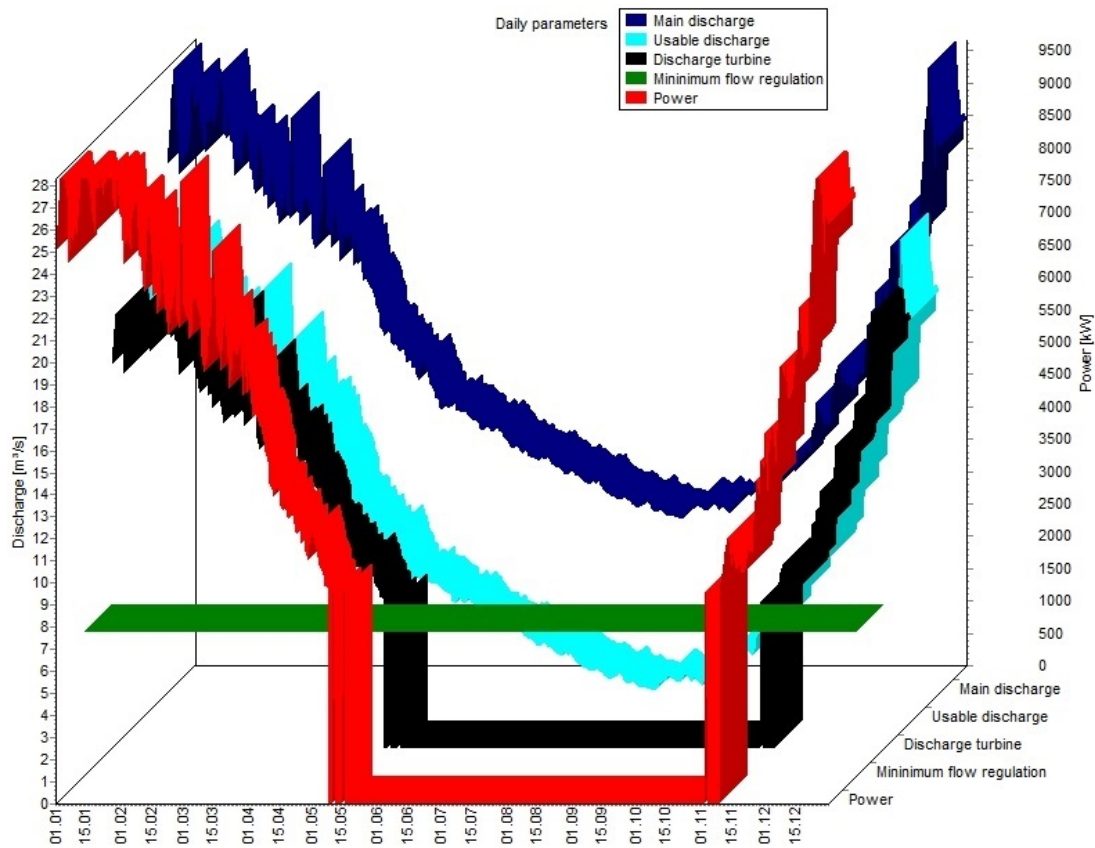


Figura 81 - Variação do caudal versus potência para o Q<sub>90</sub> gerado pelo CASiMiR.

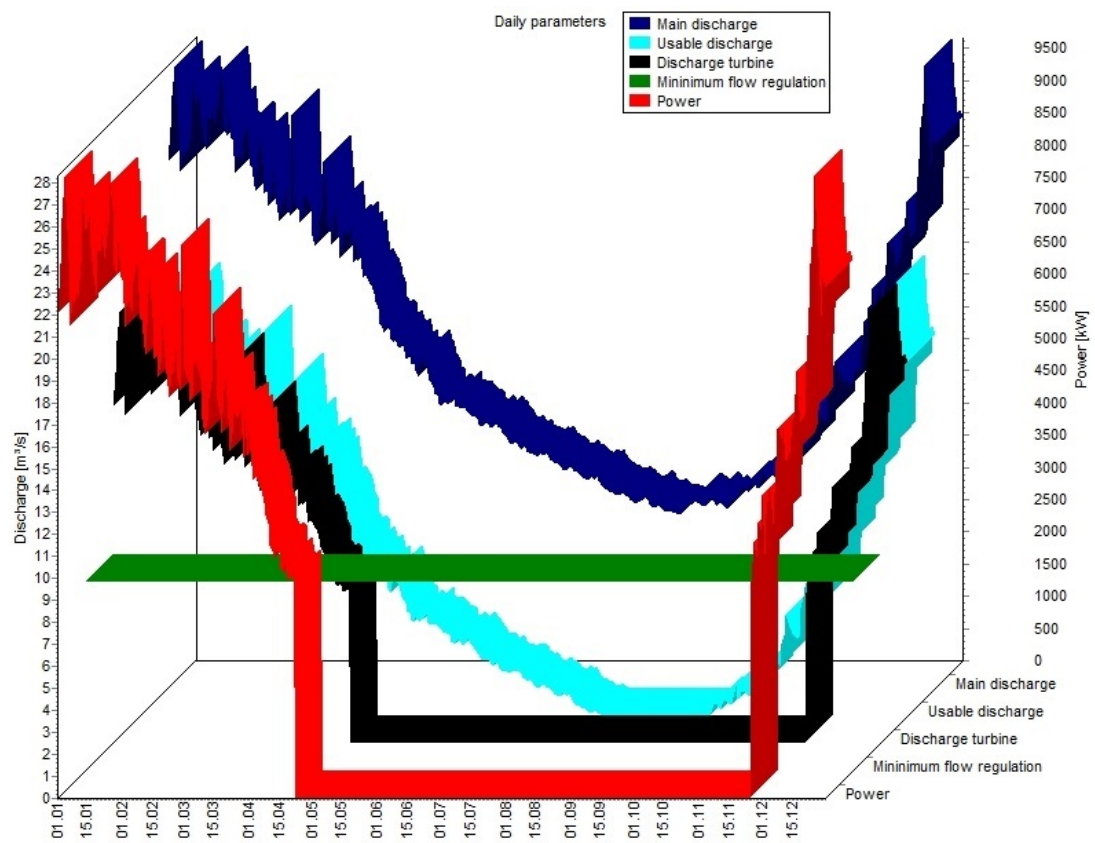


Figura 82 - Variação do caudal versus potência para o INAG gerado pelo CASiMiR.

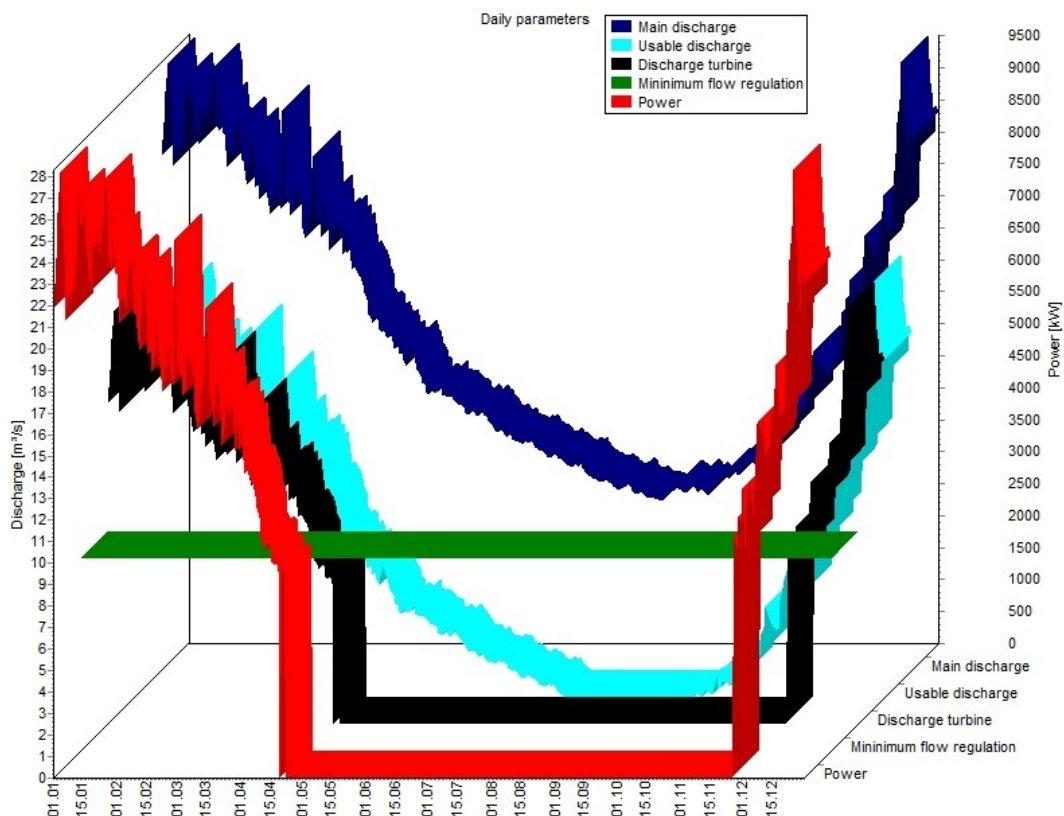


Figura 83 - Variação do caudal versus potência para o GEFC gerado pelo CASiMiR.

Como externado anteriormente, na simulação foram mantidos fixos os caudais de projeto do aproveitamento Saudade e somente alternada a referência para o caudal ecológico com base naqueles volumes resultantes para cada método aplicado. Com isso, a potência instalada da mini-hídrica foi mantida ( $\approx 9.900$  kW), mas o Fator de Capacidade (FC), que é a razão entre a produção média e a capacidade de produção disponível ou instalada, vai decrescendo a medida que o volume necessário para atender ao caudal ecológico aumenta. Se fosse mantido o FC referência do aproveitamento Saudade de aproximadamente 58%, o qual é usualmente tido como um patamar mínimo para viabilidade de um empreendimento desse porte, a potência instalada deveria ser ajustada (Tabela 30) para se manter tal relação.

Tabela 30 - Potência instalada ajustada para cada volume de caudal ecológico calculado.

Item	Método	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Fator de Capacidade (%)	Potência Instalada (kW)
1	70%Q <sub>7,10</sub>	3,185	57,71	$\approx 9.900$
2	Q <sub>7,10</sub>	4,550	57,71	7.566
3	Tennant	4,599	57,71	7.473
4	P. Molhado	5,250	57,71	7.106

(Continua)

(Continuação)

Item	Método	Caudal Ecológico (m <sup>3</sup> /s)	Fator de Capacidade (%)	Potência Instalada (kW)
5	Q <sub>95</sub>	5,496	57,71	6.851
6	Q <sub>90</sub>	6,524	57,71	6.009
7	INAG	8,610	57,71	4.668
8	GEFC	8,979	57,71	4.507

Da gama de caudais ecológicos, analisando-se os extremos tem-se uma diferença no retorno financeiro anual de aproximadamente 96%, com cerca de 977 500 EUR brutos. Se for considerado como horizonte o prazo de concessão pública para o aproveitamento de Saudade, que no Brasil é de 30 anos, tem-se um custo, sem considerar o custo de oportunidade, atualizações na tarifa de energia e correções de juros, de cerca de 29 500 000 EUR brutos. Análise similar, pode ser feita em relação a produção de energia onde a diferença de 21.626,18 MWh ao ano no período de concessão representariam aproximadamente 655 GWh. Tal montante de energia, considerando um consumo per capita de 4.700 kWh/ano, seria o suficiente para atender a uma cidade em torno de 140 mil habitantes. Por fim, para se manter inalterado o FC da mini-hídrica Saudade, a potência instalada pode decair até a menos da metade se comparada a situação mais favorável.

## 7.4 Considerações

Para além dos apontamentos realizados nas Secções anteriores, cabe exposição adicional sobre a relação entre caudais e seus benefícios apontada por BENETTI *et al.* (2003) onde as necessidades de caudais variam em função do método de quantificação adotado e da utilização a que o caudal deve atender. Entretanto, o mesmo autor preconiza que, independente do método adotado e uso do caudal, quase sempre a relação entre benefício e caudal apresenta-se na forma de um “U” invertido (ver Figura 84) e as seguintes fases podem ser identificadas em um gráfico benefício *versus* caudal:

- Fase 1: rápidos incrementos de benefícios com aumento dos caudais;
- Fase 2: incrementos decrescentes de benefícios com aumentos dos caudais;
- Fase 3: caudais de benefícios máximos;
- Fase 4: reduções de benefícios com aumentos dos caudais; e
- Fase 5: reduções acentuadas de benefícios com aumentos dos caudais.

Ainda segundo o autor anteriormente citado, caudais muito altos ou baixos podem apresentar benefícios negativos, sendo o caudal de benefício máximo em função do uso da água.

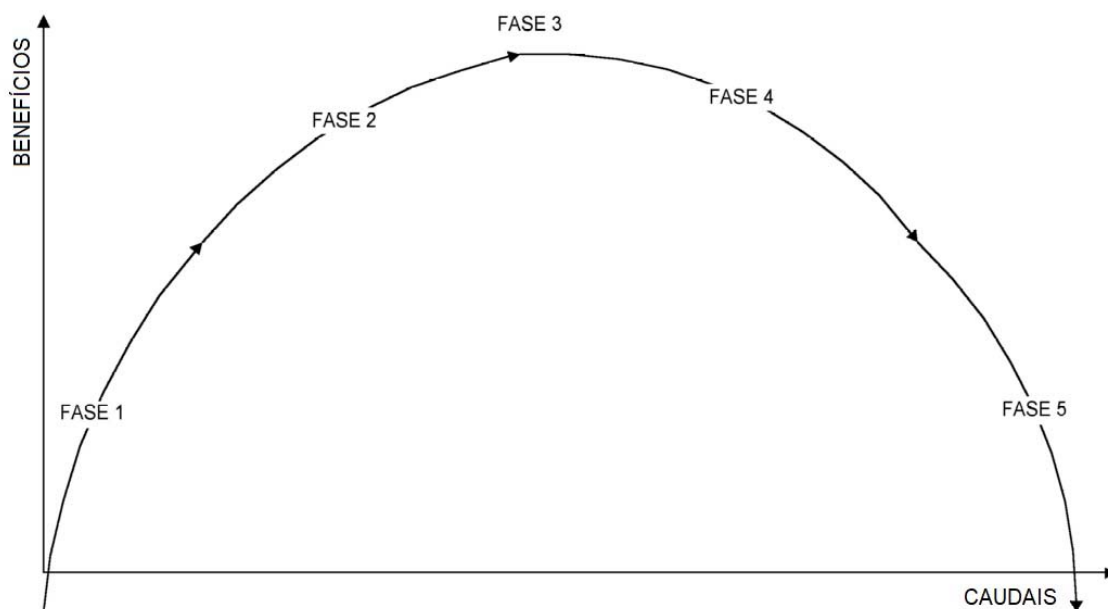


Figura 84 - Gráfico benefícios versus caudais. Adaptado de BENETTI et al. (2003 *apud* GILLILAN e BROWN, 1997).



## 8. Conclusões e recomendação para futuro trabalho

Foi cumprido o objetivo de identificar as principais metodologias utilizadas para a determinação do caudal ecológico no Brasil, em Portugal Continental, bem como outras adotadas num cenário global. Também, com êxito, através de um estudo de caso, foram estimados e comparados os impactos na produção hidroelétrica resultantes da aplicação de alguns dos métodos previamente identificados. Com o feito, neste derradeiro Capítulo, são apresentadas de forma sucinta as principais conclusões e recomendações estimadas com o desenrolar do presente trabalho, as quais são expressas no rol a seguir:

- Nenhum método pode ser aplicado de forma geral a todo e qualquer cenário em virtude de não existir um habitat idêntico ao outro frente ao grande número de interações biofísicas e respostas a distúrbios naturais e humanos. Tal situação também ocorre pelo facto de não existir regime hidrológico que consiga influenciar igualmente dois rios, o que se deve pela condição de que cada um possui características hidráulicas que lhe são peculiares como uma impressão digital;

- Desde quando a temática se tornou relevante e alvo de estudos, a cada década ocorreram sucessivas inclusões de novos parâmetros e procedimentos que majoraram os requisitos mínimos necessários para se determinar o caudal ecológico, o que trouxe complexidade e subjetividade às análises. Situação potencializada a partir do momento que se procurou o entendimento comum sobre o tema lançando mão do conhecimento e opiniões de indivíduos com diferentes áreas de formação como a de ciências exatas, humanas e de saúde. Essas constatações explicam, ao menos em parte, as grandes mudanças identificadas ao longo do tempo em relação as intervenções e exigências necessárias para atender às procuras pelo uso da água, sobretudo quando comparadas as existentes nos primórdios;

- Sem embargo da situação de existirem inúmeras e diferentes metodologias para determinação do caudal ecológico, várias delas lastreadas em amplos e complexos procedimentos com a participação de profissionais das mais variadas áreas e fruto de estudos de respeitáveis cientistas, facto é que, em suma, cada um desses métodos possui embasamentos e justificativas peculiares que, como resultado, criam suas próprias perspectivas sobre bases não padronizadas. Por mais ou menos elementos apresentados na defesa da utilização de dado método em detrimento de outro, não existe uma unanimidade a nível global sobre qual é o melhor ou que deixe de gerar algum tipo de incerteza e isso ocorre mesmo após décadas de estudos com centenas de publicações relativas ao tema. Conscientizando-se que sequer conceitos básicos para avaliação dos requisitos ecológicos de rios ou reserva efetiva de caudais ecológicos

estimados são aplicados em muitas regiões do mundo, resta o sentimento de que, talvez minimamente no tocante à abrangência, o “menos é mais” e nesse âmbito levam vantagem os métodos hidrológicos (adaptados ao cenário local) sobre os demais por serem mais simples, diretos, menos onerosos e ainda, se houver à disposição um histórico significativo de dados hidrológicos, com resultados concisos e satisfatórios. É de se compreender que justamente por essas razões, esses métodos continuem figurando na lista dos mais utilizados no mundo, seja da forma como concebidos ou em versões atualizadas e aplicadas a regiões específicas;

- No Brasil, apesar de alguns poucos registos excepcionais ou informais, facto constatado é de que todos os métodos utilizados de forma oficial para a definição do caudal ecológico nos Estados e na União são baseados na metodologia hidrológica. Cenário diferente do verificado em Portugal Continental que para além de possuir em seu histórico a utilização de métodos classificados como hidrológicos, recentemente e principalmente para grandes aproveitamentos hidráulicos, passou a aplicar o método incremental IFIM pertencente à metodologia de classificação de habitats;

- No aspeto legal, observando-se a preocupação demonstrada com constantes atualizações e aperfeiçoamentos das legislações aplicáveis, resta claro a maior importância dada ao tema, seja de forma direta ou indireta, em Portugal Continental e na Europa em desvantagem do que é praticado no Brasil. Entretanto, independente do fórum, o cerne de maior preocupação, claramente expresso nas legislações que tratam sobre o caudal ecológico, versa maioritariamente em relação à proteção do meio ambiente sem que ocorram também considerações ou ponderações em igual peso para com o aspeto socioeconómico. Se o propósito é o de se procurar um desenvolvimento social com a concomitante proteção do meio ambiente, as legislações também têm de prever instrumentos que tragam segurança jurídica ao investidor do setor energético e aos demais elementos da sociedade dependentes do uso da água, principalmente frente à rotina de constantes atualizações jurídicas conforme anteriormente citado;

- Com base no estudo de caso que experimentou a possibilidade de a amplitude entre os volumes de caudais calculados ser superior, em termos relativos, a até 180%, restou verificado que o potencial do impacto, quando existe a escolha de um método em detrimento de outro, no limite, é de tal magnitude que pode prejudicar severamente a produção de energia. É de senso que a prática de restrições mais rígidas que terminam por afetar a regular disponibilização do caudal necessário a operação das centrais hidroelétricas, dependendo do peso desse tipo de produção e a situação da matriz energética da região onde está inserida, pode afetar toda a operação de um sistema interligado, com conseqüente aumentos dos custos operacionais, mudanças de políticas de operação, reflexos na formação de preço de curto prazo e, eventualmente, aumento dos riscos de deficit de energia;

- A grande maioria dos empreendimentos se torna realidade prática com o imprescindível fomento de financiamentos de longo prazo através da iniciativa privada ou pública, os quais por sua vez, de forma inequívoca, são lastreados em garantias geradas por estudos energéticos apurados com base em dada disponibilidade hídrica. Conforme identificado no estudo de caso, uma alteração nas políticas para a definição do caudal ecológico no decorrer do período de concessão de uma central hidroelétrica que institua, entre um cenário antigo e novo, uma grande variação no volume desse caudal, pode vir a frustrar receitas e levar o empreendimento inclusive a insolvência. Situação semelhante pode ocorrer quando utilizados métodos de classificação de habitats, como o IFIM, ou outros com base em metodologia holística que definem um caudal ecológico (flexível) de projeto ou inicial a ser mantido no troço de rio, mas preveem uma monitorização constante durante a fase de operação das centrais que pode, caso necessário, resultar em um ajuste do volume direcionado ao caudal ecológico; e

- Mesmo que alterações nas políticas para a definição do caudal ecológico aconteçam após o fim dos períodos de concessão ou durante a renovação dos mesmos, como as centrais possuem normalmente uma vida útil superior à permissão de exploração do aproveitamento hidráulico, a depender da abrangência da restrição volumétrica imposta pelo método escolhido para a determinação do novo caudal, a central poderá operar com um fator de capacidade muito baixo em virtude do facto de passar a possuir sistemas eletromecânicos sobredimensionados para a nova situação. Em adição, justamente pelo projeto fixo dos sistemas eletromecânicos, mesmo em situação pouco provável de uma alteração nas políticas que surta como resultado não um decréscimo, mas sim um acréscimo do volume do caudal disponível para operação da central esse, principalmente naqueles aproveitamentos que operam a fio de água, trará um ganho prático limitado já que os sistemas passariam a ficar subdimensionados. Para ambos os cenários, em situações extremas e especialmente no caso de centrais mini-hídricas, se faria necessária uma redefinição da potência instalada com custos que refletiriam na formação de preços a curto prazo. Para o cenário extremo identificado no estudo de caso, mantendo-se inalterado o fator de capacidade, a central teria de ter sua potência instalada diminuída a menos da metade.

Por fim, coloca-se como sugestão para futuro trabalho, tendo-se como situação elementar e verosímil o facto de que a proteção ambiental deve coexistir com o crescimento e desenvolvimento de uma sociedade, identificar e executar estudo de caso que, primeiro, confronte as projeções futuras de consumo de energia de dada sociedade (País) tanto em relação a cada uma das fontes que compõem a matriz energética existente, como também frente aquela matriz planeada no horizonte temporal dessas mesmas projeções. Na sequência estimar, no cenário em que prevaleça a opção por metodologia de cálculo do caudal ecológico que penalize a produção hidroelétrica, com qual fonte da matriz restaria o maior peso de suportar, no que tange à capacidade e disponibilidade, essa parcela que deixasse de ser produzida pelos aproveitamentos hidráulicos. O intuito é identificar se, além do prejuízo na

produção, o aumento do volume direcionado exclusivamente para atendimento do caudal ecológico, por vezes em um troço de rio diminuto, não poderia gerar um falso benefício para o meio ambiente como um todo ao se transmitir, mesmo que parcialmente, a compensação dessa produção suprimida para uma fonte não renovável, como a térmica convencional a óleo ou a carvão.

## Bibliografia

- ACREMAN, M. C.; DUNBAR, M. J. (2004). Defining environmental river flow requirements - a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 8, n. 5, p. 861-876.
- ALVES, M. H. (1996) Uma Proposta De Caudal Ecológico Para a Barragem De Alqueva. VII SILUBESA-VII Simpósio Luso - Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. III, n. July, p. 501-512.
- ALVES, M. H.; BERNARDO, J. M. (2003). Caudais Ecológicos em Portugal. 1a ed. Lisboa: INAG - Instituto da Água., Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.
- ALVES, M. H.; HENRIQUES, A. G. (1994). O caudal ecológico como medida de minimização dos impactos nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. Actas do 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, p. 177-190.
- ALVES, R. S. (2010) Avaliação Ambiental de Metodologias para Definição de Caudais Ecológicos em Portugal. 2010. 105 f. Porto.
- ANA. (2006). RESOLUÇÃO Nº 467 de 30 de Outubro de 2006 - Agência Nacional de Águas. , p. 1-2.
- ANA. (2011). Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos. Caderno de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 6, p. 1-52.
- ANA. (2018) HidroWeb. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 2/2/2018.
- APA. (2010). PARECER n 366 DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO - APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE FOZ TUA. Agência Portuguesa do Ambiente, p. 31-32.
- APA. (2011a). PARECER n 395 DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO - APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DO ALVITO. Agência Portuguesa do Ambiente, p. 14-15.
- APA. (2011b) PARECER n 402 DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO SOBRE A CONFORMIDADE DO PROJETO DE EXECUÇÃO COM A DECLARAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL DOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS DE GOUVÃES, ALTO TÂMEGA E DAIVÕES. Agência Portuguesa do Ambiente, p. 63-66.
- APA. (2011c). PARECER n 415 DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO - APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE GIRABOLHOS. Agência Portuguesa do Ambiente, p. 9, 2011c.
- APA. (2015a). PARECER n 2587 DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO - APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DA BARRAGEM DE PRETAROUCA. Agência Nacional de Águas, p. 13-14.
- APA. (2015b). PARECER DA COMISSÃO DE AVALIAÇÃO - PROCESSO AIA n 2623 - APROVEITAMENTO

HIDROELÉTRICO DO SISTELO. Agência Nacional de Águas, p. p 43.

ARTHINGTON, A. H.; KING, J. M.; O`KEEFFE, J. H.; et al. (1992). Development of an Holistic Approach for Assessing Environmental Flow Requirements of Riverine Ecosystems. *Armidale*.

ARTHINGTON, A. H.; NAIMAN, R. J.; MCCLAIN, M. E.; NILSSON, C. (2010). Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: New challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*, v. 55, n. 1, p. 1-16.

ARTHINGTON, A. H.; THARME, R. E.; BRIZGA, S. O.; PUSEY, B. J.; KENNARD, M. J. (2003). Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies. Phnom Penh, Kingdom of Cambodia.

BENETTI, A.; LANNA, A.; COBALCHINI, M.; AL., E. (2003). Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 149-160.

BOAVIDA, I.; SANTOS, J. M.; CORTES, R.; FERREIRA, T.; PINHEIRO, A. (2014). Setting environmental flowS in a mediterranean river uSing 2d habitat modeling. *American Journal of Hydropower, Water and Environment Systems*, v. 1, n. October, p. 6-11.

BOVEE, K. D. (1982). A guide to stream habitat analysis using the instream incremental flow methodology.

BOVEE, K. D.; LAMB, B. L.; BARTHOLOW, J. M.; et al. (1998). Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Fort Collins: USGS - U.S. Geological Survey.

BRASIL. (1934). DECRETO Nº 24.643 de 10 de Julho de 1934 - Código de Águas. *Diário Oficial da União*, p. 1-25.

BRASIL. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Texto constitucional originalmente publicado no *Diário Oficial da União* de 5 de outubro de 1988., p. 496.

BRASIL. (1997). LEI Nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, p. 1-12.

BRASIL. (2009). LEI Nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009 - Política Nacional sobre Mudança do Clima. *Diário Oficial da União*, p. 1-4.

BRISBANE DECLARATION. (2007). The Brisbane Declaration: Environmental flows are essential for freshwater ecosystem health and human well-being. Declaration of the 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference.

BROWN, C.; KING, J. M. (2003). *Environmental Flows: Concepts and methods*. Washington, D.C.

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

- CAMARGOS, L. D. M. M. (2004). Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. IGAM, p. 1-228.
- CARTER, R. F.; PUTMAN, S. A. (1978). Low-flow frequency of Georgia streams. Doraville, Georgia.
- CDFW. (2013). Standard Operating Procedure for the Wetted Perimeter Method in California. Sacramento - California.
- CEE. (1985). Directiva 85/337/CEE, de 27 de junho de 1985 - relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente. Jornal Oficial da União Europeia.
- CHIANG, S. L.; JOHNSON, F. W. (1976). Low flow criteria for diversions and impoundments. ASCE - Journal of the Water Resource Planning and Management Division, , n. 102 (WR2), p. 27-238.
- DIAZ ALONSO, F. (2017). Renewable Energy in the EU. Eurostat Press Office, n. 43/2017, p. 3.
- DYSON, M.; BERGKAM, G.; SCANLON, J.; AL., E. (2008). The essentials of environmental flows. 2nd ed. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- GODINHO, F. N.; COSTA, S. C.; PINHEIRO, P. J.; ALVAREZ, T.; REIS, F. M. (2014). Metodologia integrada para determinação de regimes de caudais ecológicos aplicada em rios ibéricos - AQUALOGUS-eFLOW. Revista Recursos Hídricos, v. 35, n. 2, p. 19-27.
- GOPAL, B. (2013). Methodologies for the Assessment of Environmental Flows. In: B. Gopal (Ed.); Environmental Flows An Introduction for Water Resources Managers. 1.<sup>a</sup> ed., p.129-182.
- GUEDES, H. A.; SILVA, D. D.; DERGAM, J. A.; ELESBON, A. A. (2014). Estabelecimento do Regime de Vazões Ecológicas no Rio Formoso/MG com base em Espécies Neotropicais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 4, p. 72-82.
- GUIMARÃES, R. C. (2015). PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA APLICADAS À HIDROLOGIA. Universidade de Évora, n. 3, p. 1-49.
- HIRJI, R.; DAVIS, R. (2009). Environmental Flows in Water Resources Policies, Plans, and Projects. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development.
- HYDROSTEC. (2018). Válvulas Difusoras - Regulação e descarga (Prospecto D30.31.0-P).
- ICOLD. (2011). Constitution of ICOLD. International Commission on Large Dams, n. 2, p. 1-21.
- ICOLD. (2018a). General Synthesis of Worldwide Dams. Disponível em: <[http://www.icold-cigb.net/article/GB/world\\_register/general\\_synthesis/general-synthesis](http://www.icold-cigb.net/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis)>. Acesso em: 8/1/2018.
- ICOLD. (2018b). Number of Dams by Country Members. Disponível em: <<http://www.icold->

cigb.net/article/GB/world\_register/general\_synthesis/number-of-dams-by-country-members>. Acesso em: 8/1/2018.

IWMI. (2004). Environmental Flows. IWMI Newsletter, v. 1, n. 1, p. 1-4.

JOWETT, I. G. (1997). Instream flow methods: A comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management*, v. 13, n. 13, p. 115-127.

KING, J. M.; THARME, R. E.; VILLIERS, M. S. DE; AL., E. (2008). Environmental flow assessments for rivers: manual for the Building Block Methodology.

LONGHI, E.; FORMIGA, K. (2001). Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 20, p. 33-48.

LOPES, L. F. G.; CORTES, R. M. V.; CARMO, J. S. A. DO; FERREIRA, T. (2002). Determinação Do Caudal Ecológico a Jusante Da Barragem Do Touvedo - Rio Lima. 6º Congresso da Água, , n. May 2014, p. 13.

MARTÍNEZ, R.; O'CONNOR, P.; JOHNSON, M.; AL., E. (2015). Hydropower Market Report. US Department of Energy.

MCCLUNEY, K. E.; POFF, N. L.; PALMER, M. A.; et al. (2014). Riverine macrosystems ecology: Sensitivity, resistance, and resilience of whole river basins with human alterations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 12, n. 1, p. 48-58.

MINAS GERAIS. (2012). Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548 de 29 de Março de 2012. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, p. 3.

OMIE. (2018). Preços e Volumes - Dados de Mercado (Portugal). Disponível em: <<http://www.datosdelmercado.omie.es/pt-pt/datos-mercado>>. Acesso em: 12/4/2018.

PALMER, M. A.; HONDULA, K. L.; KOCH, B. J.; AL., E. (2014). Ecological Restoration of Streams and Rivers: Shifting Strategies and Shifting Goals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 45, n. 1, p. 247-269.

PARLAMENTO EUROPEU. (2000). Diretiva N.º 2000/60/CE de 23 de Outubro de 2000 - Domínio da Política da Água. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, p. 1-72.

PARLAMENTO EUROPEU. (2009). Decisão N.º 406/2009/CE de 23 de Abril de 2009 - Emissões de gases com efeito estufa. *Jornal Oficial da União Europeia*, p. 136-148.

PARLAMENTO EUROPEU. (2011). DIRECTIVA 2011/92/UE de 13 de dezembro - Relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente. *Jornal Oficial da União Europeia*, v. L26, p. 1-21.

PAULO, R. G. F. DE. (2007). Ferramentas para a Determinação de Vazões Ecológicas em Trechos de Vazão Reduzida: Destaque para Aplicação do Método do Método do Perímetro Molhado no Caso de Capim Branco I. 1-114 f. Universidade Federal de Minas Gerais UFMG.

- PELISSARI, V. B. (2000). Vazão ecológica de rios: estudo de caso: Rio Timbuí, Santa Teresa, ES. 2000. 151 f. Universidade Federal do Espírito Santo.
- PINTO, J. D. S. (2013). Aplicação do método dos fragmentos à geração de séries sintéticas de escoamentos diários Casos de estudo em Portugal Continental. 2013. 1-151 f. UBI - Universidade da Beira Interior.
- PINTO, V. G.; RIBEIRO, C. B.; SILVA, D. D.; AL., E. (2016). Instream flow and the Brazilian legal framework. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 1, p. 91-109.
- PORTELA, M. M. (2005). Proposta de procedimento hidrológico-hidráulico para definir caudais ecológicos em cursos de água do Sul de Portugal Continental. *Revista Recursos Hídricos*, v. 1, n. 26, p. 17-36.
- PORTUGAL. (1976). Constituição da República Portuguesa - 7a Revisão (2005). Assembleia da República Portuguesa, p. 91.
- PORTUGAL. (1987). Lei n 11/87, de 07 de abril - Lei de Bases do Ambiente. *Diário da República*, v. I Série, n. 81, p. 1386-1397.
- PORTUGAL. (1990a). Decreto-Lei n.º 186/90 de 6 de junho - Obrigação de avaliação de impacte ambiental (AIA). *Diário da República*, v. 130, n. I Série, p. 2462-2465.
- PORTUGAL. (1990b). Decreto Lei n.º 70/90 de 2 de março - Define o regime de bens do domínio público hídrico do Estado. *Diário da República*, v. I Série, n. 51, p. 887-893.
- PORTUGAL. (1994a). Decreto Lei n.º 45/94 de 22 de Fevereiro -Regula o processo de planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos planos de recursos hídricos. *Diário da República*, v. I Série A, n. 44, p. 768-771.
- PORTUGAL. (1994b). Decreto Lei n.º 46/94 de 22 de fevereiro - Estabelece o regime de licenciamento da utilização do domínio hídrico, sob jurisdição do Instituto da Água. *Diário da República*, v. I Série A, n. 44, p. 772-789.
- PORTUGAL. (1999). Decreto n.º 59/99 de 17 de Dezembro - Convenção de Espoo. *Diário da República*, v. I Série A, n. 292, p. 8979-8995.
- PORTUGAL. (2005). Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro - Lei da Água. *Diário da República: I Série*, n. 249, p. 7280-7310.
- PORTUGAL. (2006). Decreto-Lei nº 77/2006 de 30 de março - complementa a Diretiva Quadro da Água. *Diário da República*, v. I Série A, n. 64, p. 2331-2354.
- PORTUGAL. (2013). Decreto-Lei nº 151-B/2013 de 31 de Outubro - Aprova o regime jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental (AIA). *Diário da República*, v. 1a Série, n. 211, p. 6328-6/31.
- PORTUGAL. (2014). Lei n.º 19/2014 de 14 de Abril - Lei de Bases da Política de Ambiente. *Diário da República*, v. 1a Série, n. 73, p. 1-6.

PORTUGAL. (2015). Decreto-Lei nº 179/2015 de 27 de agosto - Avaliação de Impacte Ambiental. Diário da República, v. 1a Série, n. 167, p. 6429-6434.

PORTUGAL. (2016). Decreto-Lei nº 42/2016 de 01 de agosto - Ambiente. Diário da República.

PORTUGAL. (2017). Lei nº 44/2017 de 19 de junho - Altera a Lei da Água. Diário da República, v. 1a Série, n. 116, p. 3054.

PORTUGAL; ESPANHA. (1999). CONVENÇÃO SOBRE COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO E O APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DAS ÁGUAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS LUSO-ESPAÑHOLAS. Diário da República, v. I Série A, n. 191, p. 5410-5430.

REISER, D. W.; WESCHE, T. A.; ESTES, C.; AL., E. (1989). Status of instream flow legislation and practices in North America. Fisheries, v. 14, n. 2, p. 22-29.

REPUBLIC OF SOUTH AFRICA. (1998). Act No. 36,1998 - National Water Act. Government Gazette, , n. Act No. 36, p. 94.

SARMENTO, R. (2007). Estado da arte da vazao ecológica no Brasil e no mundo. UNESCO/ANA/CBHSF, Edital n. 05., v. 2, p. 38 p..

SCHNEIDER, M.; NOACK, M.; GEBLER, T.; KOPECKI, I. (2010). Handbook for the habitat simulation model CASiMiR. Module CASiMiR-Fish, Base Version. Estugarda.

SCHWAB, K. (2017). The Global Risks Report 2017. World Economic Forum, , n. 12th Edition, p. 1-78.

SMAKHTIN, V. U. (2001). Low flow hydrology: A review. Journal of Hydrology, v. 240, n. 3-4, p. 147-186.

SMAKHTIN, V. U.; ERIYAGAMA, N. (2008). Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows. Environmental Modelling and Software, v. 23, n. 12, p. 1396-1406.

STALNAKER, C.; LAMB, B. L.; HENRIKSEN, J.; BOVEE, K.; BARTHLOW, J. (1995). The Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM. , p. 53.

STANFORD, J. A.; WARD, J. V.; LISS, W. J.; et al. (1996). A General Protocol for Restoration of Regulated Rivers. Regulated Rivers: Research & Management, v. 12, n. 45, p. 391-413.

TENNANT, D. L. (1976). Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. Fisheries, v. 1, n. 4, p. 6-10.

THARME, R. E. (2003). 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, n. 5-6, p. 397-441.

THARME, R. E.; KING, J. M. (1998). Development of the Building Block Methodology for

Instream Flow Assessments and Supporting Research on the Effects of Different Magnitude Flows on Riverine Ecosystems. South Africa.

UNITED NATIONS. (1992). Earth Summit'92. (Agenda 21) The UN Conference on Environment and Development - 3 to 14 June 1992. Reproduction, n. 1, p. 1-351.

UNITED NATIONS. (2017). World Population Prospects The 2017 Revision Key Findings and Advance Tables. World Population Prospects The 2017, p. 1-46.

VIBRAL. (2012). Projeto Básico PCH Saudade - Processo ANEEL n° 48500.001972/2014-11. Agência Nacional de Energia Elétrica, v. 1, n. 1, p. 1-434.

VIBRAL. (2015). Projeto de Instalação de Estações Hidrométricas em Atendimento à Resolução Conjunta ANA ANEEL n° 03/2010 da PCH Saudade. Agência Nacional de Águas, v. 1, n. 1, p. 1-106.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. (1995). Flow duration curves II: a review of applications in water resources planning. Journal of the American Water Resources Association, v. 31, n. 6, p. 1029-1039.

# Anexo A

## Caudais médios mensais

Os registos dos caudais médios mensais citados na presente dissertação referentes às estações fluviométricas de Estevão Pinto, Bom Jardim e para o aproveitamento de Saudade são apresentados na íntegra nas Tabelas A.1 a A.3.

Tabela A.1															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Estevão Pinto (Cód. ANA 58610000) - Área de drenagem: 783 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1931										10,465	12,086	14,726	10,465	12,426	14,726
1932	27,826	20,308	15,236	11,057	10,198	10,836	7,659	7,323	8,154	9,543	11,884	26,963	7,323	13,916	27,826
1933	30,614	22,799	17,155	14,230	10,796	9,068	9,461	7,823	8,420	11,155	9,245	19,489	7,823	14,188	30,614
1934	26,667	12,151	12,152	10,747	8,544	7,099	6,320	5,678	6,978	6,113	7,318	28,208	5,678	11,498	28,208
1935	23,828	43,790	24,100	19,619	14,815	12,136	10,338	8,827	8,411	10,602	9,714	11,425	8,411	16,467	43,790
1936	8,889	14,893	18,970	13,581	9,242	7,630	6,776	6,690	7,439	7,751	8,976	18,826	6,690	10,805	18,970
1937	32,446	27,860	16,127	13,648	13,461	10,369	8,866	7,734	7,332	12,490	17,402	31,218	7,332	16,579	32,446
1938	23,287	25,392	18,948	15,383	13,490	10,839	9,097	9,869	8,771	10,650	11,724	26,143	8,771	15,299	26,143
1939	21,856	16,165	12,435	12,996	9,505	7,957	7,540	6,694	7,137	7,025	10,757	13,954	6,694	11,168	21,856
1940	23,958	27,430	22,934	16,378	11,749	9,679	8,641	7,111	7,293	8,568	20,083	24,573	7,111	15,700	27,430
1941	24,759	17,660	27,287	21,347	13,864	11,399	11,215	8,502	12,149	9,874	11,617	21,835	8,502	15,959	27,287
1942	20,785	18,951	21,678	13,000	11,445	9,383	8,574	7,254	7,221	15,160	13,485	23,836	7,221	14,231	23,836
1943	55,838	47,954	38,212	23,509	18,390	16,669	13,408	12,554	11,846	18,084	17,100	28,703	11,846	25,189	55,838
1944	25,860	43,114	33,694	25,011	19,417	16,277	14,132	11,945	10,273	10,982	11,887	21,963	10,273	20,380	43,114
1945	24,893	19,100	18,017	17,907	12,800	12,566	10,164	8,627	8,424	8,492	15,155	23,083	8,424	14,936	24,893
1946	27,465	17,368	20,176	16,343	12,617	10,786	9,064	8,021	7,516	12,599	14,893	13,768	7,516	14,218	27,465
1947	24,393	28,372	39,391	23,952	18,634	15,188	13,274	11,559	10,708	12,170	17,885	21,564	10,708	19,758	39,391
1948	17,626	24,064	22,488	15,059	12,683	10,966	9,326	7,957	7,424	7,853	10,113	20,478	7,424	13,836	24,064

Tabela A.1															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Estevão Pinto (Cód. ANA 58610000) - Área de drenagem: 783 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1949	23,627	35,651	25,275	17,934	14,066	13,827	10,795	9,266	8,021	11,133	10,135	21,228	8,021	16,746	35,651
1950	27,780	26,191	20,673	21,170	15,732	12,947	11,117	9,118	8,960	10,510	21,270	20,971	8,960	17,203	27,780
1951	27,185	26,312	32,083	23,685	17,528	14,294	12,226	10,530	9,226	9,067	8,285	13,744	8,285	17,014	32,083
1952	29,004	33,844	37,607	25,810	19,357	19,578	15,619	12,860	12,764	13,513	18,833	28,274	12,764	22,255	37,607
1953	20,576	26,196	23,837	21,668	16,549	13,632	11,609	10,387	9,969	9,327	15,374	18,042	9,327	16,430	26,196
1954	13,697	14,829	11,084	13,479	12,628	9,420	8,003	7,141	6,449	7,757	12,838	15,632	6,449	11,080	15,632
1955	28,415	16,218	12,482	14,273	9,959	9,345	7,638	6,706	5,928	8,942	10,986	17,597	5,928	12,374	28,415
1956	15,552	10,818	11,147	8,263	8,785	7,962	7,333	7,265	7,040	6,783	8,043	29,136	6,783	10,677	29,136
1957	21,787	20,368	24,858	21,643	15,011	11,547	10,116	7,894	8,876	8,021	10,223	32,919	7,894	16,105	32,919
1958	12,578	16,740	10,386	11,990	9,547	7,980	8,115	6,191	7,477	9,156	9,829	10,184	6,191	10,014	16,740
1959	14,721	8,058	9,013	5,890	5,132	5,058	4,496	4,550	4,028	6,784	15,968	15,757	4,028	8,288	15,968
1960	17,253	25,241	47,306	19,082	15,034	12,482	9,712	8,852	8,098	7,515	8,056	18,576	7,515	16,434	47,306
1961	50,114	44,782	36,524	24,217	17,359	13,512	9,879	9,223	7,493	7,307	12,936	16,454	7,307	20,817	50,114
1962	22,093	46,862	22,479	16,848	13,737	11,343	9,491	8,235	8,862	10,505	13,842	24,437	8,235	17,394	46,862
1963	18,575	14,683	11,188	8,160	6,912	6,473	5,775	5,532	4,633	5,413	10,364	5,537	4,633	8,604	18,575
1964	23,356	27,582	15,925	12,261	9,707	7,750	9,439	6,439	6,732	12,958	13,515	18,364	6,439	13,669	27,582
1965	32,601	46,930	33,350	21,473	22,373	15,447	13,637	11,956	9,858	12,531	19,446	22,454	9,858	21,838	46,930
1966	51,686	21,900	19,187	16,372	14,812	10,931	9,738	8,875	7,131	9,743	16,861	17,063	7,131	17,025	51,686

Tabela A.1															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Estevão Pinto (Cód. ANA 58610000) - Área de drenagem: 783 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1967	29,606	22,551	19,678	14,105	11,353	10,274	8,246	7,036	6,618	6,129	14,954	21,497	6,129	14,337	29,606
1968	16,982	11,965	11,964	9,630	7,860	6,851	6,302	6,272	7,351	8,473	6,902	17,612	6,272	9,847	17,612
1969	18,382	13,662	18,029	12,256	8,492	8,577	7,865	6,674	6,198	8,387	16,862	15,303	6,198	11,724	18,382
1970	13,299	8,521	7,395	7,147	7,110	5,321	5,305	5,495	8,028	10,993	11,797	9,339	5,305	8,312	13,299
1971	9,401	4,560	8,711	6,308	5,994	6,094	5,112	4,297	7,630	8,782	28,579	32,526	4,297	10,666	32,526
1972	23,572	22,726	26,724	18,192	13,568	10,761	11,503	9,466	8,585	13,438	16,169	27,285	8,585	16,832	27,285
1973	28,204	36,959	25,006	19,992	15,456	12,547	11,443	9,165	8,001	12,355	19,623	22,314	8,001	18,422	36,959
1974	23,748	16,924	24,278	21,101	14,979	13,889	11,018	9,558	7,702	11,617	9,067	16,539	7,702	15,035	24,278
1975	27,836	28,184	13,745	13,654	10,516	8,549	9,037	6,795	6,433	13,241	18,362	11,565	6,433	13,993	28,184
1976	10,284	12,247	9,875	10,217	10,676	7,804	8,206	9,635	11,518	17,175	22,378	30,054	7,804	13,339	30,054
1977	26,523	12,289	12,291	13,116	8,968	7,747	7,097	6,143	7,421	6,242	17,575	27,829	6,143	12,770	27,829
1978	26,529	16,846	20,415	16,312	12,161	10,544	9,321	8,225	8,035	8,629	13,803	15,172	8,035	13,833	26,529
1979	19,078	62,384	31,157	18,920	15,918	13,799	11,670	10,162	11,271	8,648	18,285	22,284	8,648	20,298	62,384
1980	30,675	24,851	14,983	18,576	12,083	10,899	8,748	10,088	8,014	8,698	10,977	26,379	8,014	15,414	30,675
1981	20,116	14,546	11,413	9,650	7,963	8,110	6,100	5,963	5,017	7,690	16,130	23,167	5,017	11,322	23,167
1982	22,419	13,473	43,472	28,985	17,755	15,035	11,919	10,421	8,306	10,330	11,116	27,063	8,306	18,358	43,472
1983	46,104	29,979	29,411	27,484	19,745	26,969	17,835	13,575	24,938	22,662	29,211	47,541	13,575	27,954	47,541
1984	31,180	23,205	24,865	18,599	18,086	13,527	11,860	10,419	10,451	8,970	11,658	15,971	8,970	16,566	31,180

Tabela A.1															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Estevão Pinto (Cód. ANA 58610000) - Área de drenagem: 783 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1985	42,787	48,291	45,801	27,259	21,262	17,078	14,303	12,134	11,899	11,475	14,390	15,900	11,475	23,548	48,291
1986	18,682	17,608	14,602	10,196	8,923	7,775	7,851	7,897	6,388	5,087	6,675	13,846	5,087	10,461	18,682
1987	17,171	13,623	11,932	12,463	9,973	8,391	7,483	6,254	7,030	5,884	8,470	24,222	5,884	11,074	24,222
1988	19,357	32,889	19,045	15,201	12,100	10,810	9,227	8,217	7,108	8,709	10,153	13,382	7,108	13,850	32,889
1989	17,960	14,427	18,943	12,287	9,178	9,919	7,763	7,033	6,417	8,294	10,350	12,088	6,417	11,221	18,943
1990	8,075	7,471	8,685	8,824	7,160	5,348	5,351	4,771	5,950	4,327	6,163	7,584	4,327	6,642	8,824
1991	29,867	27,524	19,743	16,870	12,355	10,483	9,181	7,817	8,199	8,752	9,879	13,772	7,817	14,537	29,867
1992	40,571	24,386	17,881	15,663	15,215	12,071	11,524	10,197	15,141	18,326	23,846	20,375	10,197	18,766	40,571
1993	20,928	18,120	16,011	14,350	10,841	9,922	8,065	7,034	7,771	7,149	8,490	8,178	7,034	11,405	20,928
1994	29,044	12,888	22,891	17,427	18,294	13,612	11,313	9,582	8,097	10,541	15,051	14,843	8,097	15,299	29,044
1995	11,654	29,182	14,268	13,100	10,799	8,217	7,516	6,020	6,460	10,027	13,868	22,977	6,020	12,841	29,182
1996	31,921	17,744	16,546	13,070	11,282	9,427	8,619	8,161	11,020	9,924	16,525	17,995	8,161	14,353	31,921
1997	35,296	14,562	19,950	13,601	11,018	10,109	8,599	7,527	7,368	8,260	9,558	15,519	7,368	13,447	35,296
1998	12,467	11,781	8,828	7,967	6,813	6,414	5,021	5,442	4,189	6,774	9,471	16,135	4,189	8,442	16,135
1999	21,722	15,649	14,814	10,890	8,283	8,127	7,272	6,267	5,306	5,916	8,883	14,158	5,306	10,607	21,722
2000	16,254	15,868	16,035	9,704	7,885	7,134	6,776	6,391	8,500	6,871	8,774	13,246	6,391	10,287	16,254
2001	12,482	8,792	10,174	6,028	5,445	4,941	4,044	3,541	3,459	5,070	9,823	11,193	3,459	7,083	12,482
2002	14,822	18,840	10,436	6,843	6,203	5,084	4,809	4,235	4,903	3,391	9,195	17,504	3,391	8,855	18,840

Tabela A.1															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Estevão Pinto (Cód. ANA 58610000) - Área de drenagem: 783 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
2003	23,937	11,356	14,269	11,790	8,386	6,584	7,296	6,508	7,208	10,151	12,585	24,007	6,508	12,006	24,007
2004	33,355	27,677	24,284	26,512	16,988	14,620	12,791	10,705	8,566	10,566	15,697	29,960	8,566	19,310	33,355
2005	33,995	27,298	30,541	19,978	17,888	14,514	12,902	11,181	9,788	8,298	15,221	24,860	8,298	18,872	33,995
2006	14,965	17,240	19,370	13,649	11,254	9,359	8,072	7,873	7,300	11,334	16,975	19,303	7,300	13,058	19,370
2007	57,121	25,649	19,726	16,147	13,795	11,585	9,873	8,390	6,746	9,298	10,212	12,763	6,746	16,775	57,121
2008	18,298	27,641	21,755	19,189	11,871	10,100	8,379	6,884	7,117	9,779	15,293	32,179	6,884	15,707	32,179
2009	30,893	24,375	21,278	18,997	12,883	11,400	10,448	8,504	8,637	13,912	14,085	23,282	8,504	16,558	30,893
2010	24,380	12,379	25,693	19,864	11,556	9,706	9,673	7,218	7,181	8,944	18,802	39,150	7,181	16,212	39,150
2011	41,574	17,774	27,864	20,133	15,558	12,412	10,331	9,277	7,147	9,450	19,732	45,277	7,147	19,711	45,277
2012	55,503	30,218	21,578	19,094	17,385	13,499	10,689	9,241	7,566	7,198	12,520	14,243	7,198	18,228	55,503
2013	18,026	21,818	22,348	18,305	13,042	11,674	10,125	8,569	8,392	8,294	8,816	26,234	8,294	14,637	26,234
2014	12,931	7,741	8,405	10,057	6,450	5,911	5,565	4,705	3,788	3,540	9,005	8,715	3,540	7,234	12,931
2015								3,025	4,779			12,685	3,025	6,830	12,685
2016	23,411	14,578	12,152	7,322	6,780	6,696	5,289	4,237	5,134	5,309	16,288	18,783	4,237	10,498	23,411
2017	11,924	10,596	8,103	6,115	6,854	5,192	4,515	4,127	2,934	4,026			2,934	6,439	11,924
Mínima	8,075	4,560	7,395	5,890	5,132	4,941	4,044	3,025	2,934	3,391	6,163	5,537	2,934		
Média	24,905	22,264	20,244	15,660	12,333	10,562	9,151	7,948	7,977	9,464	13,487	20,360		14,418	
Máxima	57,121	62,384	47,306	28,985	22,372	26,969	17,835	13,575	24,938	22,662	29,211	47,541			62,384

Tabela A.2															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Bom Jardim (Cód. ANA 58827000) - Área de drenagem: 556 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1934									3,705	5,382	7,577	19,824	3,705	9,122	19,824
1935	20,189	38,184	17,884	13,008	9,077	7,119	6,005	5,248	6,762	8,122	8,016	14,612	5,248	12,852	38,184
1936	8,056	12,597	17,700	15,161	8,813	6,341	5,082	4,497	4,876	6,064	8,415	15,362	4,497	9,414	17,700
1937	22,928	23,086	12,746	13,597	14,999	9,282	6,898	5,623	5,066	10,003	19,559	44,342	5,066	15,677	44,342
1938	36,259	28,009	25,514	20,840	14,300	11,448	8,934	10,837	7,666	8,591	11,426	24,333	7,666	17,346	36,259
1939	27,799	21,415	15,019	15,259	10,722	7,658	6,454	5,142	5,552	5,845	10,538	20,174	5,142	12,631	27,799
1940	31,128	33,119	28,458	16,793	12,689	9,776	7,343	6,039	5,913	7,409	16,911	29,760	5,913	17,111	33,119
1941	26,529	16,761	24,187	16,593	9,766	8,607	7,452	5,805	10,420	8,443	11,285	28,424	5,805	14,523	28,424
1942	25,173	13,764	22,576	13,891	10,946	7,602	9,947	7,641	6,190	12,090	14,591	24,351	6,190	14,064	25,173
1943	59,130	44,843	32,475	18,453	11,951	9,989	7,614	8,091	6,751	16,120	20,619	26,137	6,751	21,848	59,130
1944	19,321	47,140	34,819	18,822	14,104	9,757	9,430	6,137	5,029	6,019	7,567	20,314	5,029	16,538	47,140
1945	33,560	25,091	19,939	18,400	11,942	11,517	8,283	6,259	5,981	6,066	13,780	29,389	5,981	15,851	33,560
1946	34,646	15,755	19,469	14,594	9,363	7,392	5,806	4,704	4,433	8,220	16,506	13,507	4,433	12,866	34,646
1947	18,915	27,559	39,754	22,698	12,788	9,938	9,160	7,959	9,910	10,733	19,233	26,549	7,959	17,933	39,754
1948	19,305	26,976	28,300	16,464	11,607	8,759	7,228	7,056	6,230	6,825	11,434	33,347	6,230	15,294	33,347
1949	32,321	33,042	22,636	13,714	10,105	10,054	8,891	6,284	5,803	8,370	10,968	18,754	5,803	15,079	33,042
1950	30,500	31,588	19,333	17,020	12,228	8,490	6,693	5,388	5,023	6,418	11,917	16,428	5,023	14,252	31,588
1951	23,418	24,373	29,142	19,425	11,839	9,559	7,328	6,015	4,955	5,464	5,296	13,658	4,955	13,373	29,142

Tabela A.2															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Bom Jardim (Cód. ANA 58827000) - Área de drenagem: 556 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1952	35,158	51,354	33,186	23,143	14,461	12,464	9,430	8,059	9,447	7,912	20,597	28,656	7,912	21,156	51,354
1953	14,786	18,857	14,304	15,892	11,134	7,808	6,470	5,815	6,062	5,383	13,248	20,859	5,383	11,718	20,859
1954	11,547	10,654	7,483	11,247	9,471	7,163	6,301	5,454	2,947	2,945	4,280	8,732	2,945	7,352	11,547
1955	21,581	13,293	10,315	12,642	8,529	6,373	4,513	3,622	3,217	4,248	12,609	26,997	3,217	10,661	26,997
1956	22,344	10,802	15,376	10,361	9,573	8,144	6,254	7,019	4,843	4,786	11,083	25,485	4,786	11,339	25,485
1957	22,544	21,734	29,291	26,922	13,343	9,163	7,709	5,682	7,185	6,473	10,532	27,360	5,682	15,661	29,291
1958	12,867	14,733	11,802	14,330	11,682	8,819	7,253	5,195	8,033	10,229	17,064	14,833	5,195	11,403	17,064
1959	18,569	10,308	20,395	10,762	7,483	6,533	4,871	8,180	4,303	4,204	15,540	14,941	4,204	10,507	20,395
1960	19,141	29,390	45,126	19,275	12,264	8,901	7,252	6,127	5,412	6,043	8,891	17,113	5,412	15,411	45,126
1961	56,259	42,875	42,667	25,966	17,240	11,769	8,987	6,790	5,148	5,132	8,204	12,532	5,132	20,297	56,259
1962	21,748	31,838	17,718	11,484	9,576	7,934	6,174	5,093	5,556	7,135	11,534	15,968	5,093	12,646	31,838
1963	15,207	14,121	10,936	7,598	6,185	5,321	4,315	3,842	2,719	3,054	6,388	5,317	2,719	7,084	15,207
1964	29,210	37,512	20,486	15,624	10,714	7,568	8,751	5,840	5,426	7,968	16,948	34,851	5,426	16,741	37,512
1965	40,491	49,844	33,860	20,103	18,280	11,792	9,380	8,107	5,569	12,954	17,102	18,758	5,569	20,520	49,844
1966	39,583	15,906	18,487	18,444	11,427	10,224	8,943	7,476	6,812	10,400	30,385	28,473	6,812	17,213	39,583
1967	43,784	42,095	33,643	21,819	15,145	11,800	10,008	7,508	6,929	7,540	13,193	18,656	6,929	19,343	43,784
1968	18,320	16,132	25,844	13,458	9,366	7,343	7,548	6,901	6,709	8,083	6,567	16,033	6,567	11,859	25,844
1969	23,307	18,555	20,497	13,868	8,356	7,109	7,222	6,285	5,306	8,590	17,917	22,756	5,306	13,314	23,307

Tabela A.2															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Bom Jardim (Cód. ANA 58827000) - Área de drenagem: 556 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1970	19,001	9,658	9,382	7,087	4,788	4,019	4,268	4,040	6,493	7,952	10,923	9,444	4,019	8,088	19,001
1971	6,529	4,431	11,159	8,901	6,537	6,865	4,237	4,055	6,280	7,539	18,562	27,918	4,055	9,418	27,918
1972	15,275	17,800	19,846	15,288	11,582	7,306	7,472	6,157	5,089	10,400	18,263	28,206	5,089	13,557	28,206
1973	26,206	36,319	18,111	13,605	11,700	7,575	6,956	5,135	4,931	9,249	22,264	16,587	4,931	14,886	36,319
1974	15,200	12,322	17,689	16,281	9,380	9,011	6,206	4,751	3,694	7,588	7,885	20,838	3,694	10,904	20,838
1975	34,325	29,628	14,831	12,086	9,151	7,653	6,882	4,541	4,955	10,020	13,563	11,933	4,541	13,298	34,325
1976	11,323	14,996	12,893	9,010	6,986	5,556	5,923	6,033	9,934	13,839	19,480	27,808	5,556	11,982	27,808
1977	31,139	19,817	13,441	13,341	8,761	6,212	5,444	4,667	5,860	5,136	23,080	26,941	4,667	13,653	31,139
1978	36,862	23,800	15,929	11,687	10,889	8,588	6,577	6,282	4,862	4,768	17,800	15,490	4,768	13,628	36,862
1979	19,653	56,315	23,243	18,409	13,705	10,760	10,148	8,434	10,096	8,614	15,505	18,309	8,434	17,766	56,315
1980	31,672	20,316	11,260	12,303	8,617	7,363	6,694	7,001	6,456	9,897	14,131	35,357	6,456	14,256	35,357
1981	27,887	20,865	19,809	15,535	10,821	8,604	8,106	6,420	5,267	7,943	15,185	28,365	5,267	14,567	28,365
1982	31,467	16,846	33,926	25,365	13,857	11,712	8,318	9,954	7,034	11,906	9,628	25,074	7,034	17,091	33,926
1983	39,092	20,456	28,541	23,380	15,785	21,504	12,883	9,685	24,790	26,014	28,943	27,572	9,685	23,220	39,092
1984	18,728	9,310	8,282	12,760	11,893	6,045	5,483	5,846	5,967	4,967	13,085	13,883	4,967	9,687	18,728
1985	39,692	29,922	25,828	16,387	11,951	9,356	7,216	6,853	6,474	7,128	13,237	17,223	6,474	15,939	39,692
1986	27,905	19,935	16,281	13,102	10,538	7,927	5,444	5,569	5,539	5,126	5,910	22,276	5,126	12,129	27,905
1987	20,388	16,334	25,501	16,551	13,105	13,239	8,234	6,800	7,995	6,230	11,226	33,295	6,230	14,908	33,295

Tabela A.2															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Bom Jardim (Cód. ANA 58827000) - Área de drenagem: 556 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1988	16,770	40,659	18,748	15,919	16,871	11,682	9,915	7,107	5,786	8,823	15,433	14,977	5,786	15,224	40,659
1989	16,887	19,138	21,418	18,197	11,915	10,309	8,834	6,813	8,262	8,014	10,682	24,937	6,813	13,784	24,937
1990	16,466	10,594	16,009	13,328	10,484	7,472	8,284	6,843	10,180	9,539	10,217	10,207	6,843	10,802	16,466
1991	47,027	34,774	20,264	18,521	14,686	9,898	8,606	6,401	8,663	9,726	11,786	19,702	6,401	17,504	47,027
1992	54,803	24,122	14,079	13,412	10,277	8,074	7,577	7,183	12,838	14,769	29,017	29,105	7,183	18,771	54,803
1993	16,013	11,917	14,314	13,954	10,033	9,376	5,632	5,460	6,476	6,912	5,214	11,936	5,214	9,770	16,013
1994	24,613	9,699	22,363	18,362	12,571	9,847	8,014	7,001	5,821	5,966	8,493	15,520	5,821	12,356	24,613
1995	10,193	18,577	9,629	10,143	8,633	6,869	6,375	5,125	5,916	7,704	13,869	15,459	5,125	9,874	18,577
1996	26,855	16,119	14,238	11,338	9,079	7,959	6,907	6,473	10,884	8,338	28,250	32,841	6,473	14,940	32,841
1997	43,834	19,509	21,419	14,861	9,562	10,135	6,360	5,526	5,888	7,390	10,760	16,104	5,526	14,279	43,834
1998	17,376	34,536	15,907	14,316	10,398	8,739	6,413	6,444	6,551	11,445	18,656	21,141	6,413	14,327	34,536
1999	28,636	21,611	23,066	13,615	10,406	8,675	7,107	6,529	5,217	5,715	11,369	18,019	5,217	13,330	28,636
2000	35,511	21,094	19,093	14,637	9,065	6,363	6,511	7,175	10,786	7,716	10,874	18,935	6,363	13,980	35,511
2001	20,059	15,186	15,169	12,436	9,249	6,566	5,810	4,917	5,122	7,501	10,859	21,493	4,917	11,197	21,493
2002	29,346	28,569	17,954	12,114	8,992	6,545	6,218	5,266	7,833	5,310	12,219	38,166	5,266	14,878	38,166
2003	35,023	18,737	17,660	13,755	9,795	6,936	6,385	7,424	6,997	8,546	16,139	24,730	6,385	14,344	35,023
2004	32,382	27,636	24,481	21,694	14,907	12,032	11,964	9,147	6,515	10,697	15,983	29,684	6,515	18,093	32,382
2005	33,669	39,282	27,448	18,888	15,774	12,606	12,951	10,380	9,980	8,847	17,623	28,264	8,847	19,643	39,282

Tabela A.2															
Caudais médios mensais (m <sup>3</sup> /s) - Estação fluviométrica Bom Jardim (Cód. ANA 58827000) - Área de drenagem: 556 km <sup>2</sup>															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
2006	15,655	14,127	14,995	15,379	11,098	8,907	7,101	6,758	7,370	9,297	18,280	21,713	6,758	12,557	21,713
2007	64,628	31,483	19,464	15,794	14,168	10,797	9,099	7,759	7,098	7,276	11,458	17,039	7,098	18,005	64,628
2008	17,480	20,640	22,857	19,890	13,921	11,406	10,067	8,856	9,257	10,958	17,474	25,358	8,856	15,680	25,358
2009	38,816	28,400	19,397	18,602	14,084	12,496	11,145	9,914	10,170	17,705	25,076	30,363	9,914	19,681	38,816
2010	21,539	14,818	22,671	21,903	16,519	14,397	12,071	9,987	8,683	10,955	21,059	29,688	8,683	17,024	29,688
2011	46,287	20,116	27,692	19,472	12,901	13,994	10,946	9,575	7,617	10,437	18,785	37,295	7,617	19,593	46,287
2012	47,343	34,592	29,209	17,913	14,720	11,366	9,877	8,580	8,097	7,388	17,407	16,025	7,388	18,543	47,343
2013	19,874	24,770	27,793	19,679	13,422	10,943	10,644	8,249	8,735	9,549	12,865	23,681	8,249	15,850	27,793
2014	13,181	9,312	10,074	13,725	10,237	9,186	8,449	8,593	7,642	7,526	9,901	12,297	7,526	10,010	13,725
2015	8,480	12,173	12,638	12,932	10,153	8,282	7,574					15,425	7,574	10,957	15,425
2016	28,668	18,467	15,709	9,274	7,404	8,659						27,951	7,404	16,590	28,668
2017	15,166	11,210	13,282	11,824	9,667	8,621	8,415	5,756	6,511				5,756	10,050	15,166
Mínima	6,529	4,431	7,483	7,087	4,788	4,019	4,237	3,622	2,719	2,945	4,280	5,317	2,719		
Média	26,874	23,424	20,679	15,718	11,355	9,131	7,703	6,656	6,884	8,365	14,273	22,074		14,410	
Máxima	64,628	56,315	45,126	26,922	18,280	21,504	12,951	10,837	24,790	26,014	30,385	44,342			64,628

Tabela A.3

Caudais médios mensais (m3/s) - Aproveitamento Saudade - Área de drenagem: 826 km2

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1931										11,041	12,750	15,536	11,041	13,109	15,536
1932	29,356	21,425	16,074	11,665	10,758	11,432	8,080	7,726	8,603	10,067	12,537	28,446	7,726	14,681	29,356
1933	32,298	24,053	18,099	15,013	11,389	9,567	9,981	8,253	8,883	11,768	9,753	20,561	8,253	14,968	32,298
1934	28,134	12,819	12,821	11,338	9,014	7,489	6,667	5,990	7,361	6,450	7,721	29,760	5,990	12,130	29,760
1935	25,139	46,198	25,426	20,698	15,630	12,803	10,906	9,312	8,873	11,186	10,248	12,053	8,873	17,373	46,198
1936	9,378	15,712	20,014	14,327	9,750	8,050	7,149	7,058	7,848	8,178	9,469	19,861	7,058	11,400	20,014
1937	34,231	29,392	17,014	14,399	14,201	10,940	9,353	8,160	7,735	13,177	18,359	32,935	7,735	17,491	34,231
1938	24,568	26,788	19,990	16,229	14,231	11,435	9,597	10,412	9,253	11,236	12,369	27,581	9,253	16,141	27,581
1939	23,058	17,054	13,119	13,710	10,028	8,394	7,955	7,062	7,530	7,412	11,348	14,722	7,062	11,783	23,058
1940	25,276	28,938	24,196	17,279	12,395	10,211	9,116	7,502	7,694	9,039	21,187	25,924	7,502	16,563	28,938
1941	26,121	18,631	28,788	22,521	14,627	12,026	11,832	8,970	12,817	10,417	12,256	23,036	8,970	16,837	28,788
1942	21,928	19,994	22,871	13,715	12,074	9,899	9,046	7,653	7,618	15,994	14,227	25,147	7,618	15,014	25,147
1943	58,909	50,592	40,313	24,802	19,402	17,585	14,145	13,244	12,497	19,078	18,041	30,282	12,497	26,574	58,909
1944	27,282	45,485	35,547	26,387	20,485	17,172	14,910	12,602	10,838	11,586	12,541	23,171	10,838	21,500	45,485
1945	26,262	20,150	19,008	18,892	13,504	13,257	10,723	9,101	8,887	8,959	15,989	24,352	8,887	15,757	26,262
1946	28,975	18,323	21,286	17,242	13,311	11,379	9,563	8,462	7,929	13,292	15,712	14,525	7,929	15,000	28,975
1947	25,735	29,932	41,557	25,269	19,658	16,024	14,004	12,195	11,297	12,839	18,869	22,750	11,297	20,844	41,557
1948	18,596	25,388	23,725	15,887	13,380	11,569	9,839	8,394	7,833	8,285	10,670	21,604	7,833	14,597	25,388

Tabela A.3

Caudais médios mensais (m3/s) - Aproveitamento Saudade - Área de drenagem: 826 km2

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1949	24,927	37,612	26,665	18,920	14,840	14,587	11,388	9,775	8,462	11,745	10,692	22,396	8,462	17,667	37,612
1950	29,307	27,631	21,810	22,335	16,597	13,659	11,728	9,619	9,453	11,088	22,440	22,124	9,453	18,149	29,307
1951	28,680	27,759	33,848	24,988	18,492	15,080	12,898	11,109	9,733	9,566	8,740	14,500	8,740	17,949	33,848
1952	30,599	35,705	39,675	27,230	20,421	20,654	16,478	13,567	13,466	14,257	19,868	29,829	13,466	23,479	39,675
1953	21,707	27,637	25,148	22,860	17,459	14,382	12,248	10,958	10,517	9,839	16,219	19,035	9,839	17,334	27,637
1954	14,450	15,644	11,694	14,220	13,322	9,938	8,443	7,534	6,804	8,183	13,545	16,492	6,804	11,689	16,492
1955	29,978	17,109	13,168	15,058	10,507	9,859	8,058	7,074	6,254	9,433	11,590	18,565	6,254	13,054	29,978
1956	16,407	11,412	11,760	8,717	9,268	8,400	7,736	7,664	7,427	7,156	8,486	30,738	7,156	11,264	30,738
1957	22,985	21,488	26,225	22,834	15,837	12,182	10,672	8,328	9,364	8,462	10,785	34,730	8,328	16,991	34,730
1958	13,270	17,661	10,957	12,650	10,072	8,419	8,561	6,531	7,888	9,660	10,370	10,744	6,531	10,565	17,661
1959	15,531	8,501	9,509	6,214	5,415	5,337	4,743	4,800	4,249	7,157	16,846	16,624	4,249	8,744	16,846
1960	18,202	26,629	49,908	20,132	15,861	13,169	10,246	9,339	8,543	7,928	8,499	19,598	7,928	17,338	49,908
1961	52,870	47,245	38,533	25,548	18,314	14,255	10,422	9,730	7,905	7,709	13,647	17,359	7,709	21,961	52,870
1962	23,308	49,440	23,715	17,774	14,493	11,966	10,013	8,688	9,350	11,083	14,603	25,781	8,688	18,351	49,440
1963	19,596	15,491	11,803	8,609	7,292	6,829	6,093	5,836	4,888	5,710	10,934	5,842	4,888	9,077	19,596
1964	24,641	29,099	16,801	12,935	10,241	8,176	9,958	6,793	7,102	13,670	14,258	19,373	6,793	14,421	29,099
1965	34,394	49,511	35,184	22,654	23,603	16,297	14,387	12,614	10,400	13,220	20,516	23,689	10,400	23,039	49,511
1966	54,529	23,105	20,243	17,273	15,626	11,532	10,274	9,363	7,523	10,278	17,788	18,001	7,523	17,961	54,529

Tabela A.3

Caudais médios mensais (m3/s) - Aproveitamento Saudade - Área de drenagem: 826 km2

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1967	31,235	23,791	20,760	14,881	11,978	10,839	8,700	7,423	6,982	6,466	15,776	22,679	6,466	15,126	31,235
1968	17,916	12,623	12,622	10,159	8,293	7,228	6,649	6,617	7,755	8,939	7,282	18,581	6,617	10,389	18,581
1969	19,393	14,413	19,021	12,930	8,959	9,049	8,297	7,041	6,538	8,848	17,789	16,145	6,538	12,369	19,393
1970	14,031	8,989	7,802	7,540	7,501	5,613	5,596	5,797	8,470	11,597	12,446	9,853	5,596	8,770	14,031
1971	9,918	4,810	9,190	6,655	6,324	6,429	5,393	4,533	8,049	9,264	30,151	34,315	4,533	11,253	34,315
1972	24,868	23,976	28,194	19,193	14,314	11,353	12,135	9,987	9,057	14,177	17,059	28,785	9,057	17,758	28,785
1973	29,756	38,991	26,381	21,092	16,306	13,237	12,072	9,669	8,441	13,034	20,702	23,542	8,441	19,435	38,991
1974	25,054	17,855	25,613	22,261	15,803	14,652	11,624	10,084	8,126	12,256	9,566	17,449	8,126	15,862	25,613
1975	29,367	29,734	14,501	14,405	11,095	9,019	9,534	7,169	6,786	13,969	19,372	12,201	6,786	14,763	29,734
1976	10,849	12,920	10,418	10,779	11,264	8,233	8,657	10,165	12,152	18,120	23,609	31,707	8,233	14,073	31,707
1977	27,982	12,965	12,967	13,838	9,462	8,173	7,488	6,481	7,829	6,585	18,542	29,359	6,481	13,473	29,359
1978	27,988	17,772	21,538	17,210	12,829	11,124	9,834	8,677	8,477	9,103	14,562	16,006	8,477	14,593	27,988
1979	20,127	65,815	32,871	19,960	16,793	14,558	12,312	10,721	11,891	9,123	19,291	23,510	9,123	21,414	65,815
1980	32,362	26,218	15,807	19,598	12,747	11,498	9,229	10,643	8,454	9,176	11,580	27,830	8,454	16,262	32,362
1981	21,223	15,346	12,041	10,181	8,401	8,556	6,436	6,291	5,293	8,113	17,017	24,441	5,293	11,945	24,441
1982	23,652	14,214	45,863	30,579	18,732	15,862	12,574	10,994	8,762	10,898	11,727	28,551	8,762	19,368	45,863
1983	48,640	31,628	31,029	28,996	20,831	28,452	18,815	14,321	26,310	23,908	30,817	50,156	14,321	29,492	50,156
1984	32,895	24,481	26,232	19,622	19,080	14,271	12,512	10,992	11,025	9,464	12,299	16,849	9,464	17,477	32,895

Tabela A.3															
Caudais médios mensais (m3/s) - Aproveitamento Saudade - Área de drenagem: 826 km2															
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
1985	45,140	50,947	48,320	28,758	22,432	18,017	15,090	12,802	12,553	12,106	15,182	16,775	12,106	24,843	50,947
1986	19,710	18,576	15,405	10,757	9,413	8,202	8,283	8,331	6,740	5,367	7,042	14,608	5,367	11,036	19,710
1987	18,115	14,372	12,589	13,148	10,522	8,852	7,895	6,598	7,416	6,207	8,936	25,554	6,207	11,684	25,554
1988	20,422	34,697	20,093	16,037	12,765	11,404	9,735	8,669	7,498	9,188	10,711	14,118	7,498	14,611	34,697
1989	18,948	15,221	19,985	12,963	9,683	10,464	8,190	7,420	6,770	8,750	10,919	12,753	6,770	11,839	19,985
1990	8,519	7,882	9,163	9,310	7,554	5,642	5,646	5,033	6,277	4,565	6,502	8,001	4,565	7,008	9,310
1991	31,510	29,038	20,829	17,798	13,034	11,060	9,686	8,247	8,650	9,233	10,422	14,530	8,247	15,336	31,510
1992	42,803	25,727	18,864	16,524	16,052	12,734	12,158	10,758	15,974	19,334	25,158	21,496	10,758	19,798	42,803
1993	22,079	19,117	16,891	15,139	11,438	10,468	8,508	7,420	8,199	7,543	8,957	8,628	7,420	12,032	22,079
1994	30,641	13,597	24,150	18,385	19,300	14,361	11,935	10,109	8,543	11,121	15,879	15,659	8,543	16,140	30,641
1995	12,295	30,787	15,053	13,821	11,393	8,669	7,929	6,351	6,815	10,579	14,631	24,241	6,351	13,547	30,787
1996	33,677	18,719	17,456	13,788	11,902	9,945	9,093	8,609	11,626	10,470	17,433	18,984	8,609	15,142	33,677
1997	37,237	15,363	21,047	14,349	11,624	10,665	9,072	7,941	7,773	8,714	10,084	16,373	7,773	14,187	37,237
1998	13,153	12,429	9,313	8,405	7,187	6,767	5,297	5,741	4,419	7,147	9,992	17,023	4,419	8,906	17,023
1999	22,917	16,509	15,629	11,489	8,738	8,574	7,672	6,611	5,598	6,241	9,372	14,936	5,598	11,190	22,917
2000	17,148	16,741	16,917	10,237	8,318	7,526	7,149	6,743	8,968	7,248	9,257	13,975	6,743	10,852	17,148
2001	13,169	9,276	10,734	6,359	5,745	5,213	4,267	3,736	3,649	5,349	10,363	11,808	3,649	7,472	13,169
2002	15,637	19,876	11,010	7,219	6,544	5,363	5,073	4,468	5,173	3,577	9,701	18,467	3,577	9,342	19,876

Tabela A.3

Caudais médios mensais (m3/s) - Aproveitamento Saudade - Área de drenagem: 826 km2

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Mínima	Média	Máxima
2003	25,254	11,980	15,054	12,438	8,848	6,946	7,698	6,866	7,604	10,709	13,277	25,327	6,866	12,667	25,327
2004	35,189	29,200	25,620	27,970	17,922	15,424	13,495	11,294	9,037	11,147	16,561	31,608	9,037	20,372	35,189
2005	35,865	28,800	32,221	21,077	18,872	15,312	13,611	11,796	10,326	8,754	16,059	26,228	8,754	19,910	35,865
2006	15,788	18,188	20,436	14,400	11,872	9,874	8,516	8,306	7,702	11,957	17,908	20,364	7,702	13,776	20,436
2007	60,263	27,060	20,811	17,035	14,554	12,222	10,416	8,852	7,117	9,809	10,774	13,465	7,117	17,698	60,263
2008	19,304	29,161	22,951	20,245	12,524	10,655	8,839	7,263	7,508	10,317	16,134	33,949	7,263	16,571	33,949
2009	32,592	25,716	22,448	20,042	13,591	12,027	11,023	8,971	9,112	14,677	14,859	24,563	8,971	17,468	32,592
2010	25,721	13,060	27,106	20,957	12,192	10,240	10,204	7,615	7,576	9,436	19,836	41,303	7,576	17,104	41,303
2011	43,861	18,752	29,397	21,241	16,413	13,095	10,899	9,787	7,540	9,969	20,818	47,767	7,540	20,795	47,767
2012	58,556	31,880	22,765	20,144	18,341	14,241	11,276	9,749	7,982	7,594	13,209	15,027	7,594	19,230	58,556
2013	19,017	23,018	23,577	19,312	13,760	12,316	10,682	9,040	8,854	8,751	9,301	27,677	8,751	15,442	27,677
2014	13,642	8,167	8,867	10,610	6,805	6,236	5,871	4,964	3,997	3,734	9,500	9,195	3,734	7,632	13,642
2015	12,669	18,187	18,882	19,321	15,168	12,373	11,316	3,191	5,041			13,383	3,191	12,953	19,321
2016	24,699	15,380	12,821	7,725	7,153	7,065	5,579	4,470	5,416	5,601	17,184	19,816	4,470	11,076	24,699
2017	12,580	11,179	8,548	6,451	7,231	5,477	4,763	4,354	3,095	4,248			3,095	6,793	12,580
Mínima	8,519	4,811	7,802	6,214	5,414	5,213	4,266	3,191	3,095	3,578	6,502	5,842	3,095		
Média	26,275	23,489	21,357	16,521	13,011	11,143	9,654	8,385	8,416	9,985	14,229	21,480		15,28	
Máxima	60,263	65,815	49,908	30,579	23,602	28,452	18,816	14,322	26,310	23,908	30,818	50,156			65,815

## Anexo B

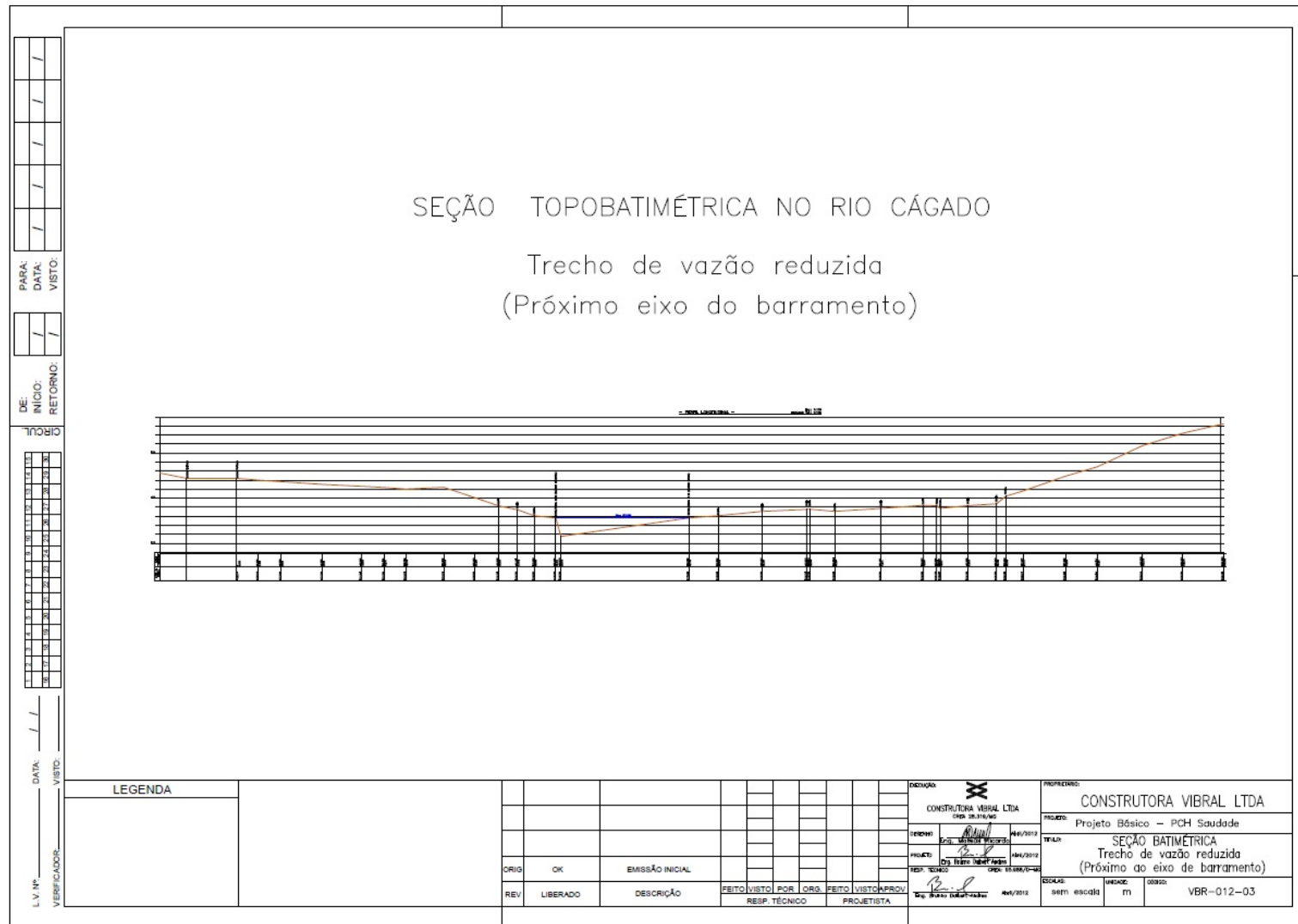
# Secções com levantamento topobatimétricos

As secções com levantamento topobatimétricos utilizadas no trabalho para aplicação do método do perímetro molhado são apresentadas nos Anexos B.1 a B.3.





Anexo B.3 - Seção 03 localizada proximo ao eixo do barramento.



PARA:	DATA:	VISTO:
DE:	INICIO:	RETORNO:
DATA:	VISTO:	
L.V. Nº:	VERIFICADOR:	

LEGENDA	

ORIG	OK	EMISSÃO INICIAL	FEITO VISTO POR	RES. TÉCNICO	FEITO VISTO POR	PROV.	PROJETISTA
REV	LIBERADO	DESCRIÇÃO					

EMPRESA:	CONSTRUTORA VIBRAL LTDA	PROPRIETÁRIO:	CONSTRUTORA VIBRAL LTDA
PROJETO:	Projeto Básico - PCH Saudade	TÍTULO:	SEÇÃO BATIMÉTRICA Trecho de vazão reduzida (Próximo ao eixo de barramento)
FECHA:	04/2012	ESCALA:	1:500
PROJETO:	03 - SEÇÃO BATIMÉTRICA	UNIDADE:	m
PROJETO:	03 - SEÇÃO BATIMÉTRICA	IDENTIFICADOR:	VBR-012-03

# Anexo C

## Memórias de cálculo

As memórias de cálculo geradas pelo programa computacional CASiMiR e resultantes de oito distintos modelos de simulação energética, cada qual com um dos volumes de caudal ecológico determinados no presente trabalho, são apresentadas nos Anexos C.1 a C.8.

Anexo C.1 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (70%Q7,10).

	Saudade_70%Q7_10_Anuar		
Annual energy production	44099.16 MWh	Financial return (4.52 Cent/kWh):	
1993281.91 Euro			
	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	5020.40 kW	9656.69 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	12.03 m <sup>3</sup> /s	25.12 m <sup>3</sup> /s	4.71 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	120489.50 kWh	231760.66 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	10.21 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.82 m <sup>3</sup> /s	6.52 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Volume of discharge			
Annual discharge	481158835.20 m <sup>3</sup>		
Usable discharge	380283379.20 m <sup>3</sup>	Discharge weir	57399926.40 m <sup>3</sup>
Turbines	322883452.80 m <sup>3</sup>		
Energy utilization ratio	57.71 %		
Settings			
Discharge	Q time series	File C:\Program Files	
		(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_01.WSDAT	
Minimum flow regulation	Constant	3.19 m <sup>3</sup> /s	
Head	Constant	58.28 m	
Efficiency	Constant	86.00 %	
Turbine Q min	6.54 m <sup>3</sup> /s		
Turbine Q max	19.64 m <sup>3</sup> /s	File C:\Program Files	
		(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_01.WSDAT	
High water switch point	40.00 m <sup>3</sup> /s		

Anexo C.2 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (Q7,10).

Saudade\_Q7\_10\_Anual

Annual energy production 37724.97 MWh Financial return (4.52 Cent/kWh):  
1705168.74 Euro

	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	4294.74 kW	9667.92 kW	0.00 kW
Efficiency	86.10 %	86.10 %	86.10 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	10.67 m <sup>3</sup> /s	23.76 m <sup>3</sup> /s	3.36 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	103073.69 kWh	232030.15 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	8.72 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.94 m <sup>3</sup> /s	6.51 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s

Volume of discharge

Annual discharge 481158835.20 m<sup>3</sup>

Usable discharge 337276915.20 m<sup>3</sup> Discharge weir 61384521.60 m<sup>3</sup>

Turbines 275892393.60 m<sup>3</sup>

Energy utilization ratio 49.37 %

Settings

Discharge Q time series File C:\Program Files  
(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_02.WSDAT

Minimum flow regulation Constant 4.55 m<sup>3</sup>/s

Head Constant 58.28 m

Efficiency Constant 86.00 %

Turbine Q min 6.54 m<sup>3</sup>/s

Turbine Q max 19.64 m<sup>3</sup>/s File C:\Program Files  
(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_02.WSDAT

High water switch point 40.00 m<sup>3</sup>/s

Anexo C.3 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (Tennant).

Annual energy production	Saudade_Tennant_Anual		
1684294.37 Euro	37263.15 MWh	Financial return (4.52 Cent/kWh):	
	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	4242.16 kW	9656.69 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	10.62 m <sup>3</sup> /s	23.71 m <sup>3</sup> /s	3.31 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	101811.88 kWh	231760.66 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	8.63 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.99 m <sup>3</sup> /s	6.53 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Volume of discharge			
Annual discharge	481158835.20 m <sup>3</sup>		
Usable discharge	335695795.20 m <sup>3</sup>	Discharge weir	62863948.80 m <sup>3</sup>
Turbines	272831846.40 m <sup>3</sup>		
Energy utilization ratio	48.76 %		
Settings			
Discharge	Q time series	File C:\Program Files (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_03.WSDAT	
Minimum flow regulation	Constant	4.60 m <sup>3</sup> /s	
Head	Constant	58.28 m	
Efficiency	Constant	86.00 %	
Turbine Q min	6.54 m <sup>3</sup> /s		
Turbine Q max	19.64 m <sup>3</sup> /s	File C:\Program Files (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_03.WSDAT	
High water switch point	40.00 m <sup>3</sup> /s		

Anexo C.4 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (Perímetro molhado).

	Saudade_P_Molhado_Anual		
Annual energy production	35433.01 MWh	Financial return (4.52 Cent/kWh):	
1601572.18 Euro			
	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	4033.81 kW	9667.92 kW	0.00 kW
Efficiency	86.10 %	86.10 %	86.10 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	9.97 m <sup>3</sup> /s	23.06 m <sup>3</sup> /s	2.66 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	96811.51 kWh	232030.15 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	8.19 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.77 m <sup>3</sup> /s	6.43 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Volume of discharge			
Annual discharge	481158835.20 m <sup>3</sup>		
Usable discharge	315141235.20 m <sup>3</sup>	Discharge weir	56010528.00 m <sup>3</sup>
Turbines	259130707.20 m <sup>3</sup>		
Energy utilization ratio	46.37 %		
Settings			
Discharge	Q time series	File C:\Program Files	
	(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_04.WSDAT		
Minimum flow regulation	Constant	5.25 m <sup>3</sup> /s	
Head	Constant	58.28 m	
Efficiency	Constant	86.00 %	
Turbine Q min	6.54 m <sup>3</sup> /s		
Turbine Q max	19.64 m <sup>3</sup> /s	File C:\Program Files	
	(x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade_04.WSDAT		
High water switch point	40.00 m <sup>3</sup> /s		

Anexo C.5 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (Q95).

Annual energy production 1544094.39 Euro  
 Saudade\_Q\_95\_Anuar 34161.38 MWh Financial return (4.52 Cent/kWh):

	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	3889.05 kW	9656.69 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	9.72 m <sup>3</sup> /s	22.81 m <sup>3</sup> /s	2.41 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	93337.10 kWh	231760.66 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	7.91 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.81 m <sup>3</sup> /s	6.50 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s

Volume of discharge  
 Annual discharge 481158835.20 m<sup>3</sup>  
 Usable discharge 307235635.20 m<sup>3</sup> Discharge weir 57114201.60 m<sup>3</sup>  
 Turbines 250121433.60 m<sup>3</sup>  
 Energy utilization ratio 44.71 %

Settings  
 Discharge Q time series File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_05.WSDAT  
 Minimum flow regulation Constant 5.50 m<sup>3</sup>/s  
 Head Constant 58.28 m  
 Efficiency Constant 86.00 %  
 Turbine Q min 6.54 m<sup>3</sup>/s  
 Turbine Q max 19.64 m<sup>3</sup>/s File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_05.WSDAT  
 High water switch point 40.00 m<sup>3</sup>/s

Anexo C.6 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (Q90).

Annual energy production 1354381.81 Euro  
 Saudade\_Q\_90\_Anuual 29964.20 MWh  
 Financial return (4.52 Cent/kWh):

	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	3411.22 kW	9656.69 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	8.70 m <sup>3</sup> /s	21.79 m <sup>3</sup> /s	1.39 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	81869.40 kWh	231760.66 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	6.94 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.76 m <sup>3</sup> /s	6.49 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s

Volume of discharge  
 Annual discharge 481158835.20 m<sup>3</sup>  
 Usable discharge 274980787.20 m<sup>3</sup>  
 Discharge weir 55590105.60 m<sup>3</sup>  
 Turbines 219390681.60 m<sup>3</sup>  
 Energy utilization ratio 39.21 %

Settings  
 Discharge Q time series File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_06.WSDAT  
 Minimum flow regulation Constant 6.52 m<sup>3</sup>/s  
 Head Constant 58.28 m  
 Efficiency Constant 86.00 %  
 Turbine Q min 6.54 m<sup>3</sup>/s  
 Turbine Q max 19.64 m<sup>3</sup>/s File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_06.WSDAT  
 High water switch point 40.00 m<sup>3</sup>/s

Anexo C.7 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (INAG).

Annual energy production 1052067.40 Euro  
 Saudade\_INAG\_Anuar 23275.83 MWh Financial return (4.52 Cent/kWh):

	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	2649.80 kW	9656.69 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	6.65 m <sup>3</sup> /s	19.70 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	63595.16 kWh	231760.66 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	5.39 m <sup>3</sup> /s	19.64 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.26 m <sup>3</sup> /s	6.51 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s

Volume of discharge  
 Annual discharge 481158835.20 m<sup>3</sup>  
 Usable discharge 210147350.40 m<sup>3</sup> Discharge weir 39727324.80 m<sup>3</sup>  
 Turbines 170420025.60 m<sup>3</sup>  
 Energy utilization ratio 30.46 %

Settings  
 Discharge Q time series File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_07.WSDAT  
 Minimum flow regulation Constant 8.61 m<sup>3</sup>/s  
 Head Constant 58.28 m  
 Efficiency Constant 86.00 %  
 Turbine Q min 6.54 m<sup>3</sup>/s  
 Turbine Q max 19.64 m<sup>3</sup>/s File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_07.WSDAT  
 High water switch point 40.00 m<sup>3</sup>/s

Anexo C.8 - Memória de cálculo gerada pelo CASiMiR (GEFC).

Annual energy production 1015778.89 Euro  
 Saudade\_GEFC\_Anuar 22472.98 MWh  
 Financial return (4.52 Cent/kWh):

	Mean parameters	Maximum	Minimum
Power	2558.40 kW	9503.78 kW	0.00 kW
Efficiency	86.00 %	86.00 %	86.00 %
Main discharge	15.22 m <sup>3</sup> /s	28.31 m <sup>3</sup> /s	7.91 m <sup>3</sup> /s
Usable discharge	6.33 m <sup>3</sup> /s	19.33 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Head	58.28 m	58.28 m	58.28 m
Daily energy	61401.60 kWh	228090.73 kWh	0.00 kWh
Turbine flow	5.20 m <sup>3</sup> /s	19.33 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s
Discharge weir	1.13 m <sup>3</sup> /s	6.51 m <sup>3</sup> /s	0.00 m <sup>3</sup> /s

Volume of discharge  
 Annual discharge 481158835.20 m<sup>3</sup>  
 Usable discharge 200257142.40 m<sup>3</sup>  
 Discharge weir 35715340.80 m<sup>3</sup>  
 Turbines 164541801.60 m<sup>3</sup>  
 Energy utilization ratio 29.41 %

Settings  
 Discharge Q time series File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_08.WSDAT  
 Minimum flow regulation Constant 8.98 m<sup>3</sup>/s  
 Head Constant 58.28 m  
 Efficiency Constant 86.00 %  
 Turbine Q min 6.54 m<sup>3</sup>/s  
 Turbine Q max 19.64 m<sup>3</sup>/s File C:\Program Files  
 (x86)\CASiMiR-Base\Examples\Hydropower\Saudade\_08.WSDAT  
 High water switch point 40.00 m<sup>3</sup>/s