



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI**  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**

**THOMAZ JÚNIOR SOARES SILVA**

**INTERFACE GRÁFICA ONLINE PARA OBTENÇÃO DAS  
VAZÕES DE REFERÊNCIA NA GESTÃO DE RECURSOS  
HÍDRICOS**

**OURO BRANCO - MG**  
**FEVEREIRO -2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARA OPEBA**

**THOMAZ JÚNIOR SOARES SILVA**

**Interface gráfica online para obtenção das vazões de referência na  
gestão de recursos hídricos**

Monografia apresentada à Coordenação  
do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade  
Federal de São João del-  
Rei, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bach  
arel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof. Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira  
**Coorientador:** Prof. Heber Tormentino de Sousa

**OURO BRANCO  
FEVEREIRO - 2017**

**THOMAZ JÚNIOR SOARES SILVA**

**INTERFACE GRÁFICA ONLINE PARA OBTENÇÃO DAS VAZÕES DE  
REFERÊNCIA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Relatório final apresentado à Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Civil

Ouro Branco, 17 de Fevereiro de 2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

---

Prof. Heber Tormentino de Souza

---

Prof<sup>a</sup>. Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

**Resumo:** A Lei das águas definiu os recursos hídricos como um recurso ambiental na categoria dos direitos difusos, os qualificou como um bem pertencente a uma coletividade indeterminada e que seu uso precisa de uma licença do poder público denominada “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”, sem, no entanto, definir um critério nacional único para a vazão de referência. Para que a gestão participativa inclua a sociedade é necessário que o acesso às informações técnicas adequadas seja democratizado. Fato que só se concretizará mediante a disponibilização de recursos computacionais que torne acessíveis informações corretas obtidas por processamentos dos dados públicos sobre a disponibilidade hídrica. Portanto, o objetivo deste trabalho é disponibilizar uma interface gráfica online que permita a obtenção das vazões de referência adotadas no Brasil para a gestão de recursos hídricos. Para a validação dos resultados foi realizado um estudo de caso em uma seção a jusante de Ponte Nova–MG, que permitiu concluir que foi desenvolvida uma interface gráfica online denominada Hidro-Eng (<http://hidro-eng.com>), para estimativa das vazões de referência adotada em Minas Gerais ( $Q_{7,10}$ ) e a adotada pela Agência Nacional das Águas ( $Q_{95\%}$ ), que pode subsidiar a gestão de recursos hídricos, sendo que facilita os processos e etapas necessárias para obtenção dos dados, disponibiliza resultados de diversas metodologias, bem como as estatísticas que permitem a escolha das estimativas mais adequadas.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade ambiental, outorga, vazão de referência, software online.

**Abstract:**The Law of Water defined the hydric resources as an environmental resource included in the Diffused Rights category, which means it is a good belonging to an indeterminate collectivity and, in order to use it, people need to have a license called “Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos”. However, there is not a unique national criteria to establish a reference of streamflow. To exercise their rights, citizens and managers need to have suitable information, which is possible only through accessible computational tools that process and provide correct technical information. Therefore, the objective of this paper is to develop an online graphical interface that will allow people to obtain references of streamflow used in Brazil for the management of hydric resources. The results obtained were validated by a case study carried out in a downstream section in Ponte Nova, Minas Gerais, Brazil, allowing the development of a graphical interface called Hidro-Eng (available at <http://hidro-eng.com>), used to estimate the state references of streamflow ( $Q_{7,10}$ ) and also used by Agência Nacional de Águas ( $Q_{95\%}$ ), which can subsidize the management of hydric resources, facilitating the processes and needed steps to obtain those data, provide results of different methodologies and statistics that allow the choice of the most suitable estimate as well.

**Key Words:** Environmental sustainability, grants, minimum streamflow, online software

## Sumário

1. Introdução .....	8
2. Objetivos.....	9
3. Referencial Teórico .....	9
3.1 Histórico da Gestão dos Recursos Hídricos.....	9
3.2 Outorga .....	10
3.3 Legislação Estadual (Minas Gerais) .....	11
3.4 Definições de Vazões de Referência .....	12
3.5 Dados Hidrológicos .....	13
3.6 Séries Temporais .....	14
3.7 Estimativa da Vazão de Referência .....	14
3.7.1 Distribuição de Weibull (KITE, 1988).....	17
3.7.2 Distribuição Log-Normal Tipo II (KITE, 1988).....	18
3.7.3 Distribuição Log-Normal tipo III (SUBRAMANYA, 2013) .....	18
3.7.4 Distribuição Pearson Tipo III (KITE, 1988).....	19
3.7.5 Distribuição Log-Pearson Tipo III (KITE, 1988).....	19
3.8 Análise de Frequência.....	20
3.9 Estacionariedade .....	21
3.10 Estimativa da Vazão de Permanência.....	21
4. Materiais e Métodos .....	22
4.1 Intervalo de Confiança.....	23
4.2 Processamento da Série temporal .....	23
4.3 Sistema de Busca .....	23
4.4 Relatório Online.....	23
4.5 Parâmetros da Série .....	24
4.6 Relatório para Impressão .....	25
4.7 Plotagem de Dados .....	25
4.8 Dados de Vazões.....	25
5. Resultados e Discussões .....	26
5.1 Sistema de Busca .....	26
5.2 Relatório Online.....	27
5.2.1 Funcionalidades e Referências .....	27
5.2.2 Estimativa da Série de Vazão Mínima.....	30
5.2.3 Estimativas das Vazões de Referência .....	31

5.2.4 Vazão de Permanência.....	32
5.2.5 Análise de Frequência.....	33
5.2.6 Série Histórica de Dados de Vazões .....	34
5.3 Relatório para Impressão .....	35
5.4 Plotagem de Dados .....	36
5.5 Plotagem das Medidas de Vazões Diárias .....	36
5.6 Plotagem da Série de Vazões Mínimas .....	37
5.7 Créditos.....	38
5.8 Histograma de frequências.....	38
5.9 Papel de probabilidades de Weibull .....	39
5.11 Discussão Geral .....	39
6. Conclusão .....	40
7. Referências .....	41
Apêndice 1 .....	45

## 1. Introdução

A água é recurso ambiental na categoria dos direitos difusos, ou seja, a dominialidade inerente não tem sinônimo de apropriação do bem, mas de gerenciamento (MUKAY, 2002). Assim os recursos hídricos devem ser qualificados como um bem pertencente a uma coletividade indeterminada. Para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos, a Lei das Águas definiu a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997).

Para que a sociedade exerça o monitoramento das ações dos gestores públicos de recursos hídricos (gestão participativa) é necessário o acesso democratizado a informações obtidas por meio de processamento computacional de dados hidrológicos, uma vez que é indispensável na estimativa da disponibilidade hídrica das bacias, na garantia da sustentabilidade ambiental, na democratização do acesso à água, no consumo humano, na sustentação de biomas e na viabilidade econômica de empreendimentos.

O processamento de dados hidrológicos depende de ferramentas computacionais sofisticadas de acesso restrito a pessoas com conhecimentos técnicos especializados. Mesmos os avanços nessa área ocorrem principalmente em aplicações desktop que precisam ser baixadas, instaladas em computadores e exigem uma série de etapas para realizar a estimativa da vazão de referência, de forma que a sociedade fica dependente do comprometimento e da seriedade dessas pessoas.

No entanto, a disponibilidade de recursos computacionais, o acesso à Internet e de dados hidrológicos permitem que, após processamento adequado, sejam entregues diretamente ao cidadão, ao gestor público, ao engenheiro ou empreendedor por meio de interfaces gráficas online (sites), sem a necessidade de procedimento complicado. Assim simplifica e democratiza o acesso às informações a serem utilizadas nos processos de outorga, licenciamento ambiental, em audiências públicas ou outros aspectos da gestão dos recursos hídricos.



## 2. Objetivos

O Objetivo Geral deste trabalho foi desenvolver uma interface gráfica online que permita a obtenção das vazões de referências ( $Q_7$ ,  $Q_{10}$ ;  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ ) para a gestão de recursos hídricos por meio de tecnologia de *webservices* para o processamento dos dados disponibilizados pela ANA.

A proposta de desenvolvimento da interface gráfica online foi dividida nos seguintes objetivos específicos: 1) automatização da obtenção dos dados hidrológicos disponibilizados, 2) análise de estacionariedade da série temporal, 3) estimativa da série de vazões mínimas, 4) obtenção dos parâmetros estatísticos, 5) estimativa das vazões de referência por funções de probabilidade, 6) estimativa das vazões de referência por curva de permanência, 7) estimativa da vazão de referência por análise de frequência; e 8) validação dos resultados por meio de estudo de caso.

## 3. Referencial Teórico

### 3.1 Histórico da Gestão dos Recursos Hídricos

Em 1819, ainda na era colonial, começa a legislação referente à gestão dos recursos hídricos no Brasil, com as Ordenações do Reino editadas por Portugal no alvará emitido por D. João VI no Rio de Janeiro. Incluía os rios no patrimônio exclusivo da Coroa e concedia o direito de captações a particulares para uso agrícola e industrial (HEIKES, 2003).

A Constituição Imperial outorgada por D. Pedro I em 1824, não fez menção às águas superficiais, deixou a cargo das Câmaras Municipais a construção de aquedutos, chafarizes e poços e colocou sob a responsabilidade das Assembleias Legislativas provinciais as obras relativas à navegação interior (BRAGA, 2002).

O Código Penal de 1890 criou um dispositivo acerca da proteção das águas, que determinava prisão celular de um a três anos quem “corromper ou conspurcar a água potável de uso comum ou particular, tornando-a impossível de beber ou nociva à saúde” (ALMEIDA, 2002).

A Constituição Republicana de 1891 teve-se especificamente na utilização dos rios para a navegação.

O Código Civil definiu, em 1916, a água como um bem dotado de valor econômico, concedeu ao usuário dos recursos hídricos o direito de utilização das águas da forma como lhe

conviesse, desde que respeitasse os direitos de vizinhança.

O Código das Águas (1934) adota o modelo de gerenciamento de águas orientado por tipos de uso, o controle é dado ao Poder Público e é incentivado o aproveitamento industrial das águas. A água foi considerada um recurso em abundância, dotado de valor econômico para a sociedade, sendo um elemento básico para o desenvolvimento, matéria-prima para a geração de eletricidade e essencial para a industrialização (MILARÉ, 2004.).

A Política Nacional do Meio Ambiente foi instituída em 1981, inaugurando oficialmente o pensamento sustentável na proteção ambiental. Ela consolidou o uso do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), implantou a Teoria da Responsabilidade Civil Objetiva para responsabilizar o causador do dano ao meio ambiente e a terceiros. Os órgãos públicos ganharam o poder de processar por responsabilidade civil e criminal os responsáveis por danos causados ao meio ambiente (BRASIL, 1981).

O ano de 1985 é mencionado como o ano da criação da Lei da Ação Civil Pública que formalizou os instrumentos processuais para punir (e até impedir) danos ao meio ambiente, assegurou outros interesses sociais coletivos e difusos e ampliou a legitimidade de ação órgãos públicos de administração e de associações civis (BRASIL, 1985).

A Lei das Águas (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) adequou a legislação nacional aos conceitos de desenvolvimento sustentável, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o seu gerenciamento. Fundamentada nos princípios de que água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e é de uso prioritário para o consumo humano e a dessedentação de animais. Na Lei das águas ficou definido que a bacia hidrográfica é a unidade territorial básica para a gestão descentralizada e participativa, com a prerrogativa de obter recursos financeiros por meio da cobrança pelo uso da água. Reconheceu a importância do conhecimento hidrológico para a determinação dos valores adequados de vazões de referência e criou a outorga (BRASIL, 1997).

A Lei dos Crimes Contra o Meio Ambiente sancionada em 1998 instituiu as sanções penais e administrativas relativas às punições para coibir atividades lesivas ao meio ambiente, tendo artigos específicos para a proteção dos recursos hídricos (BRASIL, 1998).

### **3.2 Outorga**

A Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, doravante chamada de outorga, é uma licença concedida pelo poder público que estabelece o volume máximo que pode ser

retirado de um corpo de água. Ela foi instituída pela Lei nº 9.433/1997 como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, o efetivo exercício dos direitos de acesso e a preservação dos usos múltiplos (BRASIL, 1997). Nos corpos de água de domínio da União, a outorga é prerrogativa da Agência Nacional de Águas (ANA).

Assim, a outorga é instrumento do exercício do poder de polícia sobre bens ou interesses públicos, fundamentado no princípio da supremacia do interesse público sobre o do particular. Para a concessão de uma outorga o critério técnico deve se basear em uma vazão de referência.

Outras características da outorga incluem obedecer aos critérios estipulados nos Planos de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, garantir que as captações e os lançamentos não piores a qualidade da água, nem comprometam outros usos identificados no enquadramento dos corpos de água. Quanto à última característica, significa que as liberações de outorga não podem, por exemplo, num rio cujo enquadramento destina-se irrigação, comprometer a viabilidade da navegação (ANA, 2005).

Entre as finalidades esperadas do uso de outorga é a adequação e compatibilização dos critérios para efetivamente distribuir da forma mais justa possível o acesso aos recursos hídricos e um adequado compartilhamento dos seus usos.

### **3.3 Legislação Estadual (Minas Gerais)**

A gestão das águas em Minas Gerais é regida pela Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 13.199/1999) que assegura o controle pelos usuários atuais e futuros o acesso à água e sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios. Assim, em Minas Gerais, a utilização de recursos hídricos sem a devida outorga legal está sujeito às penalidades previstas em lei (MINAS GERAIS, 1999).

Política Estadual de Recursos Hídricos determinou, ainda, a criação do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que é o órgão estadual responsável por emitir outorgas em corpos de água de domínio estadual, cujo funcionamento é regido pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISAM) e pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (MINAS GERAIS, 1999).

A outorga deve ser solicitada ao IGAM antes de iniciar uma intervenção que altere o regime, quantidade e qualidade do recurso hídrico. A solicitação de outorga após o início das

intervenções não exclui as punições, mas regulariza o usuário.

### 3.4 Definições de Vazões de Referência

Para a concessão de outorgas, precisa-se quantificar de antemão a vazão de referência, da qual se calcula a vazão outorgável. O termo “vazão” significa o “volume de água ou efluente que passa, na unidade de tempo, por uma determinada seção de corpo hídrico”(DNAEE, 1976). A expressão “vazão de referência”, conforme definido na Resolução CONAMA nº 357/2005, consiste na “vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas” (CONAMA, 2005).

Assim, pelo novo regime jurídico nacional referente aos recursos hídricos a definição da vazão de referência é definida pelo detentor do domínio do recurso hídrico – União, Estado ou Distrito Federal. No entanto, a decisão administrativa deve, obrigatoriamente, levar em conta as prioridades de uso da água fixadas no Plano de Bacia Hidrográfica e observar as regras estabelecidas. Ou seja, a expressão “vazão de referência” foi cunhada para não especificar um critério único em razão da diversidade de disponibilidade e enquadramento em todo o território brasileiro. No entanto, ao ser especificada deve sempre considerar a vazão mais crítica (vazões mínimas) capaz de manter a capacidade de diluição do rio.

A vazão de referência pode ser, entre outras, a vazão mínima ou a vazão de permanência (ANA, 2013).

A vazão mínima é definida como a “vazão que assegura a qualidade e quantidade de água, no tempo e no espaço, necessárias para manter os componentes, as funções e os processos dos ecossistemas aquáticos” (MMA, 2010).

A vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência ( $Q_{7,10}$ ), foi definida como a vazão de referência no estado de Minas Gerais no Artigo I da Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012 (IGAM, 2012). Na mesma resolução foi definido que o limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados será de 50% (cinquenta por cento) da  $Q_{7,10}$ . Essa abordagem tem origem nos estudos de saneamento e também é usada como critério em São Paulo e Rio de Janeiro, em que a estatística de vazão mínima é obtida por meio do ajuste de uma distribuição estatística como *Weibull*, *Pearson III* ou outra (ANA, 2013).

A ANA adotou como vazão de referência a  $Q_{95\%}$  na Resolução Nº 1041, de 19/09/2013. A justificativa apresentada pela Agência é que se trata de um conceito mais

intuitivo para o órgão gestor e para o usuário, uma vez que é mais fácil compreender. A  $Q_{95\%}$  é a vazão que é superada em 95% do tempo e com o risco avaliado em 5% de não ocorrer no tempo esperado. Esta curva é utilizada para avaliar a distribuição do comportamento da vazão ao longo do tempo e não para valores extremos. À  $Q_{90\%}$  aplica-se o mesmo raciocínio, sendo, portanto a vazão que é superada em 90% do tempo e com o risco avaliado em 5% de não ocorrer no tempo esperado (ANA, 2013).

### **3.5 Dados Hidrológicos**

As vazões de referências são obtidas a partir do processamento dos dados hidrológicos, que são formados por séries de dados temporais. Eles são gerenciados (em alguns casos, são também coletados) pela ANA. Após serem consistidos, são disponibilizados pelo Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) na forma de séries temporais de dados de vazões (séries históricas).

O aspecto essencial dos dados hidrológicos é sua representatividade temporal e espacial. É relevante citar que a rede hidrométrica nacional foi planejada no século passado dentro de uma visão de planejamento energético de grandes usinas hidrelétricas. Por isso, as estações fluviométricas com as séries mais longas estão localizadas nos rios maiores. Enquanto que para pequenas bacias a cobertura de postos fluviométricos é pouco densa. Isto impõe um limite à qualidade das estimativas das vazões de referência, forçando o uso de a extrapolação metodológica de informações e, conseqüentemente, a introdução de erros que tendem a superestimar a vazão, que por sua vez, pode permitir outorgas com potencial de secat os rios caso esses erros não sejam detectados e corrigidos a tempo.

Os dados hidrológicos estão disponibilizados, por meio do Hidroweb, para qualquer usuário na Internet. No entanto, apresenta certa complexidade de acesso devido à estrutura dos dados ser de difícil processamento. Esses dados geralmente estão disponíveis em arquivos comprimidos e conteúdo em arquivos textos ou de tabelas de banco de dados.

Mas há também a disponibilização de base de dados em formato XML, que oportuniza a automatização na aquisição dos dados hidrológicos por meio de softwares desenvolvidos especificamente para interpretar essas estruturas de dados, que combinados a tecnologias webservices viabilizam uma arquitetura da informação capaz de “empoderar” os cidadãos na gestão participativa dos recursos hídricos.

### 3.6 Séries Temporais

Como citado anteriormente, os dados hidrológicos podem ser constituídos de longas séries temporais de dados de vazão e descritas por  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  em  $N$  variáveis aleatórias independentes com distribuição comum  $F_X(x)$ . Particularizando para mínimo anual,  $N$  pode ser interpretado como o número de observações de  $X$ , em instantes de tempo equidistantes entre si, ao longo de um período temporal fixo (SOUSA, 2009).

Seja  $z = \min \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ , tomada a transformação linear  $z_n = \frac{(z - b_n)}{a_n}$ , onde  $a_n$  e  $b_n$  são constantes de escala e posição, respectivamente.

O propósito da análise de séries temporais é estudar a estrutura temporal dos dados (dinâmica). Neste trabalho será considerada a análise de série temporal univariada, com uma única sequência de dados por análise. Assim, a expectativa de uma observação não realizada de uma série temporal se refere à média (estatística de primeira ordem, ou primeiro momento).

Em séries temporais as observações estão relacionadas entre si no tempo e sua covariância pode ser definida pelos valores defasados (*lagged*), denominada de autocovariância, que mede o grau de variação de segunda ordem (segundo momento) entre dois elementos em dois tempos diferentes.

A plotagem da série temporais de dados de vazões permite a visualização gráfica do regime de escoamento da vazão superficial, facilita a identificação do intervalo temporal cíclico da estiagem, dos picos de vazões, das variações abruptas no regime de vazões e início do ano hidrológico. Outras informações podem ser verificadas, como a presença de falhas na obtenção dos dados, a possibilidades de falhas nas medições e tendências sistemáticas.

### 3.7 Estimativa da Vazão de Referência

Inicialmente são estimadas as vazões mínimas anuais com a duração de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ). Assim, a  $Q_7$  é a menor média anual da vazão diária de sete dias consecutivos. Por tratar-se de uma média de medidas de vazões, sua unidade é de fluxo hídrico dada em  $m^3/s$ .

A presença de falhas na série de dados afeta a  $Q_7$  com intensidades diferentes dependendo do período do ano em que as falhas ocorreram. Considerando bacias hidrográficas do sudeste brasileiro, por exemplo, falhas de dados em dezembro, janeiro,

fevereiro e março não afetam quantitativamente as  $Q_7$ , enquanto falhas ocorridas em agosto, setembro e outubro tem alto potencial de alterar significativamente (SOUSA, 2009).

Um parâmetro estatístico importante é o Tempoderecorrência, (ou período de retorno, ou período de recorrência, ou horizonte de projeto) é o intervalo de tempo estimado de ocorrência de um determinado evento. É um termo bastante utilizado em hidrologia definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou ultrapassado. Assim, o conceito do tempoderecorrência está associado com a frequência, e, por decorrência com a probabilidade de superação de um determinado valor.

Uma distribuição de probabilidades associa uma probabilidade a cada resultado numérico de um experimento, dando a probabilidade de cada valor de uma variável aleatória ocorrer. Como esses valores são probabilidades e as variáveis são aleatórias e devem tomar obrigatoriamente um valor, há duas regras que se aplicam:

Regra 1: A soma de todos os valores de uma distribuição de probabilidades deve ser igual a 1.

$$\sum P(x) = 1, \text{ onde } x \text{ pode assumir qualquer valor possível.}$$

Regra 2: A probabilidade de ocorrência de um evento deve ser  $0 \leq P(x) \leq 1, \forall x$ .

O valor de uma medida de vazão é uma variável aleatória contínua, única para cada medição e independente. Assim, só pode ser conhecido após a realização de uma medição e assume qualquer valor num intervalo de números reais.

Para estimar as vazões mínimas serão utilizadas funções de distribuição de densidade de probabilidade, cujos parâmetros são obtidos da série de dados históricos de vazões. Para a seleção do método de distribuição adequado à estimativa, é recomendado verificar a amplitude do intervalo de confiança.

Pela teoria assintótica de valores extremos demonstra que os limites extremos convergem, embora de modo não exaustivo, para três formas funcionais, a depender do comportamento da cauda da distribuição da variável original, na direção do extremo em questão. Gumbel (1958) classificou essas três formas assintóticas em:

Tipo I: forma dupla exponencial: quando  $X$  é ilimitado e sua densidade decai de modo exponencial na direção do extremo;

Tipo II: forma exponencial simples: quando  $X$  é ilimitado e sua densidade decai de

modopolinomial na direção do extremo; e

Tipo III: forma exponencial com limite inferior para mínimos: quando  $X$  é limitado na direção do extremo.

O comportamento da cauda da distribuição da variável original, na direção do extremo em foco, determina, portanto, para qual das três formas assintóticas a distribuição dos extremos irá convergir. No caso de mínimos, a convergência será para a distribuição do:

- I. Tipo I, se  $F_X(x)$  for Normal;
- II. Tipo II, se  $F_X(x)$  for distribuição *t* de Student; e
- III. Tipo III, se  $F_X(x)$  for Log-Normal ou Gama.

As distribuições que dependem da teoria assintótica de valores extremos são aplicadas as variáveis hidrológicas, mas algumas premissas sobre as quais se baseiam não se verificam completamente na realidade dos fenômenos. As premissas fundamentais da teoria clássica de valores extremos consideram que as variáveis originais são independentes e igualmente distribuídas. No entanto, aos eventos mínimos anuais não se aplicam os princípios de que suas vazões médias diárias sejam independentes, únicas e com idêntica distribuição de probabilidades. A independência entre vazões mínimas é uma hipótese pouco plausível, menos ainda admitir que a vazão mínima em Janeiro tem a mesma distribuição, média e variância da vazão de um dia em Agosto. Essas incoerências de fato impedem a aplicação de leis dedutivas para a seleção de modelos probabilísticos de mínimos hidrológicos. No entanto, de modo análogo à lógica de utilização de outras distribuições, o fato que suas premissas de base não encontram respaldo completo na realidade física, não implica que as distribuições de valores extremos não sejam formas paramétricas adequadas à modelação de variáveis hidrológicas. Ao contrário, são modelos válidos e muito empregados na prática hidrológica.

As funções de distribuição de densidade de probabilidade e dos parâmetros de validação dos modelos e métodos foram obtidas de Kite (1988). O conceito geral da estimativa da magnitude de um evento com determinado tempo de recorrência (horizonte de projeto) é dada pela Equação 1.

$$\chi(t) = \mu + \kappa * \sigma \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\chi(t)$  é a vazão estimada para o horizonte de projeto  $t$ , dado em anos;



$\mu$  é a média das vazões anuais da série histórica;

$\sigma$  é o desvio padrão da série histórica e

$\kappa$  é o fator de frequência.

O valor  $\kappa$  é obtido conforme as funções de distribuição de densidade de probabilidade indicadas abaixo.

### 3.7.1 Distribuição de Weibull(KITE, 1988)

A distribuição de *Weibull* é recomendada para série de eventos mínimos e seu fator de frequência  $K$  é dada pela Equação 2 de distribuição de probabilidade contínua. Seu uso se justifica por sua eficácia e pelo fato de que existem recursos gráficos que facilitam sua interpretação e permite previsões de acurácia razoável mesmo quando a quantidade de dados disponível é baixa. A constatação de que, em um cenário extremo, as vazões que escoam por uma seção fluvial são forçosamente limitadas inferiormente pelo valor zero, faz com que a distribuição de *Weibull* seja uma candidata natural à modelação de eventos hidrológicos mínimos (KITE, 1988).

$$K = A_{\alpha} + B_{\alpha} \left( \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{t} \right) \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right) \quad \text{Equação (2)}$$

em que  $t$  = tempo de recorrência medido em anos.

A estimativa de  $\alpha$  para a distribuição de *Weibull* é dada pela Equação 3, cuja assimetria só tem validade para os valores situados entre -1,02 e 2,00.

$$\alpha = \frac{1}{0,27777 + 0,31326\gamma + 0,05756\gamma^2 - 0,00130\gamma^3 - 0,00815\gamma^4} \quad \text{Equação (3)}$$

em que  $\gamma$  é a assimetria.

A assimetria para a distribuição de *Weibull* pode ser calculada pela Equação 4.

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\mu_2^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Equação (4)}$$

em que  $\mu_3$  é a variância e  $\mu_2$  é covariância.

O valor de  $A_{\alpha}$  para a distribuição de *Weibull* pode ser obtido pela Equação 5.

$$A_{\alpha} = \left( 1 - \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right) B_{\alpha} \quad \text{Equação (5)}$$

O valor de  $B_\alpha$  para a distribuição de *Weibull* pode ser obtido pela Equação 6.

$$B_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)}} \quad \text{Equação (6)}$$

em que  $\Gamma$  é a função Gama.

O valor de  $\Gamma$  para a distribuição de *Weibull* pode ser obtido pela Equação 7.

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty x^{\lambda-1} e^{-x} dx \quad \text{Equação (7)}$$

em que  $e$  é a base neperiana (logaritmo natural) e o parâmetro  $\lambda$  assume valores entre 0 e  $+\infty$  na mesma unidade de medida de  $x$ .

### 3.7.2 Distribuição Log-Normal Tipo II (KITE, 1988)

A importância da distribuição log-normal tipo II aparece naturalmente como o produto de variáveis independentes sempre positivas. O fator de frequência pode ser obtido pela Equação 8, desde que aplicada à série de logaritmos dos eventos com distribuição normal.

$$k = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}t} \cdot t - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{z} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que,  $z$  é dado por:

$$z = \frac{\sigma}{\mu}$$

### 3.7.3 Distribuição Log-Normal tipo III (SUBRAMANYA, 2013)

O fator de frequência pode ser obtido pela Equação 9, desde que aplicado a série de logaritmos dos eventos da série de dados.

$$k = \frac{\left( e^{\sqrt{\ln(z^2+1)}t} \cdot t - \frac{\ln(z^2+1)}{2} \right) - 1}{V} \quad \text{Equação (9)}$$

Sendo que  $V$  pode ser obtido pela Equação 10.

$$V = \frac{1 - w^{\frac{2}{3}}}{w^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Equação (10)}$$

O valor de  $w$  pode ser obtido pela Equação 11.

$$w = \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2} \quad \text{Equação (11)}$$

### 3.7.4 Distribuição Pearson Tipo III(KITE, 1988)

O fator de frequência pode ser obtido pela Equação 12. Subramanya, 2008 salienta que quando Coeficiente de distorção (skew) é igual a zero a distribuição Log-Pearson Tipo III se reduz a uma distribuição log-normal. No Brasil é mais usado com mais frequência a distribuição de Gumbel, O Conselho de Recursos Hídricos dos Estados Unidos da América (*U.S. Water Resources Council, 1981*) recomendou o uso da distribuição Pearson Tipo III para suas agências federais.

$$k = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad \text{Equação (12)}$$

O desvio padronizado  $D$  pode ser calculado pela Equação 13.

$$D = t - \frac{2,30753 + 0,27061 t}{1 + 0,99229 t + 0,04481 t^2} \quad \text{Equação (13)}$$

### 3.7.5 Distribuição Log-Pearson Tipo III(KITE, 1988)

Distribuição Log-Gama Tipo III, cuja série é gerada a partir dos logaritmos dos eventos da série de dados, o fator de frequência é calculado pela Equação 14.

$$k = D + (D^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (D - 6D) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (D^2 - 1) \left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + D \left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad \text{Equação (14)}$$

Sendo  $D$  o desvio padronizado que pode ser calculado pela Equação 15 e a assimetria pela Equação 16.

$$D = t - \frac{2,30753 + 0,27061 t}{1 + 0,99229 t + 0,04481 t^2} \quad \text{Equação (15)}$$

$$\gamma = \frac{N}{(N-1) - (N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{(x_i - \mu)^3}{\sigma^3} \right) \quad \text{Equação (16)}$$

Quando  $\gamma = 0$  a distribuição Log-Pearson Tipo III se reduz a uma distribuição log-normal (Subramanya, 2008).

### 3.8 Análise de Frequência

A análise de frequência de variáveis hidrológicas é um conjunto de técnicas de inferência estatística para obtenção de estimativas confiáveis. No entanto, depende de amostras (série de dados) longas, o que impõe um limite ao grau de sofisticação estatística a ser empregada. A análise de frequência é uma alternativa para compensar a insuficiente caracterização temporal do comportamento de eventos, permitindo uma comparação de entre os outros métodos adotados para detectar erros grosseiros.

Para o cálculo da vazão mínima, os engenheiros sempre recorriam ao uso de equações empíricas da vazão. Estas equações, ainda hoje utilizadas, são normalmente escritas em termos das características físicas e climáticas locais. Uma das formas mais simples dessas equações empíricas exprime a vazão em função da área de drenagem da bacia hidrográfica, na forma mostrada na Equação 20.

$$Q = c.A^n \quad \text{Equação (17)}$$

onde  $c$  e  $n$  são coeficientes empíricos.

A análise de frequência é a avaliação de uma série de dados homogêneos que quantifica o número de vezes que o evento é menor ou igual a um determinado valor de referência. O histograma de frequência simples é a representação gráfica da frequência com que um variável ocorre recomendado valor. A frequência pode ser dada por “ $m/N$ ”, chamado Método Califórnia, ou “ $m/(N+1)$ ”, chamado Método de Kimbal, em que “ $m$ ” é o número de ocorrências, e,  $N$  é o número total de inferências da série de dados em análise.

A análise de frequência pode ser feita por métodos gráficos comumente aplicados para o julgamento de qualidade de ajuste de dados à distribuição de *Weibull* utilizando os denominados papéis de probabilidade com dois propósitos:

1. Análise de dados no sentido de estimar parâmetros e validar um modelo, e
2. Apresentação dos dados.

Métodos gráficos são de fácil entendimento e são ótimos para comunicar resultados.

### 3.9 Estacionariedade

A estacionariedade será utilizada para verificar, a partir da média e da variância de dois subperíodos distintos das séries hidrológica através dos testes *Student* e *Fisher*, se a série ajusta à distribuição normal para aplicação dos métodos de distribuição (TUCCI, 2002). Avalia, dessa forma, se houve mudanças no regime hidrológico registrado na série que possam comprometer as análises.

A estacionariedade pode ser avaliada pelo teste de identidade de variâncias (teste *Fisher*). As séries amostrais devem pertencer a populações normais e formadas por eventos independentes. A estatística F é calculada pela Equação 18.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Equação (18)}$$

em que  $S_1$  é a variância maior e  $S_2$  é a variância menor.

### 3.10 Estimativa da Vazão de Permanência

Um procedimento disponível para a obtenção da curva de permanência consiste na classificação dos dados de uma série histórica de dados de vazões ( $Q$ ) de uma estação fluviométrica obtenção em classes de frequência. Os intervalos de classe podem ter por base a escala logarítmica para reduzir o efeito da grande variação de magnitude das vazões envolvidas, assim o intervalo de classe é dado pela Equação (19) (SOUSA, 2010).

$$Q_{i+1} = e^{\ln(Q_i) + \Delta X} \quad \text{Equação (19)}$$

em que,  $\Delta X$  é limite dos intervalos e é dado pela Equação (20);

$Q_i$  é a  $i$ -ésima vazão;

$e$  é a base neperiana; e

$\ln$  é o logaritmo natural.

$$\Delta X = \frac{\ln(Q_{\max}) - \ln(Q_{\min})}{50} \quad \text{Equação (20)}$$

A determinação, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas em cada intervalo para a determinação da

frequência associada ao limite inferior de cada intervalo dado pela Equação 21.

$$f_i = \frac{N_{qi}}{NT} * 100 \quad \text{Equação (21)}$$

em que:

$N_{qi}$  = número de vazões de cada intervalo; e

NT = número total de vazões.

A curva de permanência é obtida plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

O outro procedimento para a obtenção da curva de permanência analisa a frequência associada a cada dado de vazão, em que é feita a organização da série de dados de vazões em ordem decrescente; e, em seguida, a determinação da frequência associada a cada valor de vazão pela Equação (21). O desenho da curva de permanência é elaborado plotando-se na ordenada os valores de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

#### 4. Materiais e Métodos

Foi empregada a linguagem de computador baseada em *Scripts* PHP para o desenvolvimento da interface gráfica online. A escolha levou em conta que é uma linguagem de utilização livre (*freeware*), adequada para o desenvolvimento e amplamente utilizada em soluções desse tipo.

O relatório final entregue ao usuário com as informações hidrológicas processadas estará em conformidade às regras estabelecidas para o HTML5, que é uma linguagem computacional de marcação de texto de livre utilização (*freeware*) e reconhecida, processada e *renderizada* pelos navegadores (*browser*) da Internet.

Um dispositivo com acesso a Internet, capaz de executar um navegador tradicional, é o recurso computacional físico (*hardware*) exigido do usuário. Ou seja, pode ser um *smartphone*, ou *tablet*, ou *laptop*, ou *desktop*. O processamento pesado e o acesso à base de dados da ANA ficarão a encargo da máquina servidora onde a aplicação estará hospedada. No entanto, a velocidade de transferência dos dados entre o site e o dispositivo dependerá da capacidade da conexão à Internet do usuário.

A aquisição dos dados e os resultados do processamento serão entregues ao usuário por meio de tecnologias de *Webservices*, pois oferecem soluções baseadas na integração de

sistemas para a comunicação entre aplicativos diferentes, possibilitando interação remota que ofereça serviços valiosos, redução da complexidade e do número de plataformas que precisam ser acessadas numa mesma interação.

Foram feitas estimativas por análise de frequência considerando inclusive os anos que apresentam eventos sem dados de medição (falhas). As técnicas de modelagem são melhores aplicadas as séries não falhadas, no entanto, as técnicas de preenchimento desenvolvidas, reduzem as medidas de variabilidade e introduzem informações falsas e não é do escopo desse trabalho desenvolver metodologia de preenchimento de falhas em séries temporais. Descartar trechos de séries que contenham falhas, reduzindo a amostra, acaba por desprezar informações importantes do comportamento da série de dados. As técnicas aqui a serem utilizadas aqui visam, sobretudo, minimizar a introdução de tendências e preservar a medida de variabilidade.

#### **4.1 Intervalo de Confiança**

Será utilizado um nível de confiança de 95%, cuja estimativa de limites do intervalo é dada por  $M - 1,96 \delta < \beta < M + 1,96 \delta$  em que  $\delta$  é o erro padrão pertinente a cada função de probabilidade e  $\beta$  é o intervalo de confiança.

#### **4.2 Processamento da Série temporal**

Serão feitas estimativas utilizando as funções de distribuição de probabilidade sem considerar os anos que possuem eventos sem dados de medição (falhas). Também serão realizadas estimativas considerando inclusive os anos que apresentam eventos sem dados de medição. Para efeitos de comparação será disponibilizada uma tabela que permitir a avaliação do impacto (negativo ou positivo) das falhas nas estimativas.

A relação entre uma vazão e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva é definida como curva de permanência.

#### **4.3 Sistema de Busca**

O sistema computacional disponibiliza a opção de importação de séries históricas de dados de vazões na tela inicial de forma prática, rápida, eficiente e intuitiva. Os arquivos importados estão disponibilizados na Internet pela ANA pelo Hidroweb e utilizou Webservices como tecnologia de transporte pela rede mundial de computadores.

#### **4.4 Relatório Online**

Está disponibilizada uma versão de relatório online que permite a visualização dos

dados em forma de relatórios e em forma de plotagem bidimensional dos dados (gráficos). Os itens que constituem o relatório online estarão disponibilizados na seguinte ordem:

Nesta seção constam as referências bibliográficas utilizadas como referencial para o desenvolvimento da aplicação. Também está disponível a forma adequada para as citações bibliográficas em trabalhos que utilizarem a interface gráfica.

Na seção “Parâmetros de Estação Fluviométrica” deverão estar listados os seguintes parâmetros relativos à estação:

1. Código da Estação;
2. Nome da estação;
3. Coordenadas (Latitude, Longitude); e
4. Área de drenagem.

#### **4.5 Parâmetros da Série**

As séries de dados de vazões são séries temporais, que das quais se exige um longo período, de preferência nunca inferior a 30 anos. Afetam os resultados também o número de dados não coletados (falhas), uma vez que a variação temporal nesse tipo de série espera-se que seja regular. Outro aspecto fundamental esperado nas séries temporais de dados de vazões é a estacionariedade, uma vez que intervenções ao longo do leito do rio podem alterar o regime de vazões. Desconsiderar essas alterações leva à obtenção de parâmetros desprovidos de bases matemáticas corretas, com implicações práticas que podem levar a estimativas erradas das vazões mínimas que são cruciais na gestão dos recursos hídricos.

Serão listados os seguintes parâmetros da série temporal de dados:

1. Número de eventos,
2. Número de falhas,
3. Média,
4. Variância,
5. Desvio padrão,
6. Assimetria,
7. Estacionariedade,
8. Data de início da série, e
9. Data de fim da série.

A qualidade dos dados nas séries temporais interfere na qualidade dos resultados



obtidos. As melhores técnicas estatísticas podem detectar o quão ruim são os resultados, mas não podem providenciar melhorias nem na série e nem nos resultados obtidos.

Esta etapa tende a ser trabalhosa quando não estão disponíveis sistemas computacionais especificamente planejados para cobrir eficientemente a aquisição da série de dados. Parâmetros da série são difíceis de obter para grandes volumes de dados. Considerando que uma série de dados de vazões normalmente possui mais de cinco milhares de registros o uso de planilhas eletrônicas não é uma opção recomendável e eficiente para extração dessas estatísticas básicas, não só em função do grau de dificuldade em gerenciar grandes volumes de dados como a possibilidade crescente de se cometer erros.

#### **4.6 Relatório para Impressão**

Estão disponíveis os seguintes relatórios para impressão:

1. Relatório da Vazão Mínima,
2. Relatório da Série de vazões mínimas e
3. Relatório da Série de dados históricos de vazões.

#### **4.7 Plotagem de Dados**

1. Estão disponíveis a plotagem bidimensional de:
2. Série de  $Q_{7,10}$ ,
3. Série de dados de vazões diárias,
4. Série de  $Q_7$ ,
5. Análise de frequência; e
6. Histograma de frequência de dados.

#### **4.8 Dados de Vazões**

Ainda sobre os dados de vazões é importante acrescentar que os dados provenientes de estações fluviométricas muitas vezes apresentam falhas de informações, devido a problemas com os aparelhos de registro ou com o operador do posto, tornando as séries impróprias para uso imediato.

Além disso, as séries temporais são disponibilizadas com inconsistência de normalização, uma vez os dados diários ao longo de cada mês são disponibilizados por linhas, adicionando uma relação de dependência que não existe e que impede o correto processamento da série. Por essa razão, as séries de dados precisam estar verticalizadas.É

uma forma de garantir que os eventos tanto dentro de um mês, quanto em outro mês, são independentes e, assim, suprimir essa inconsistência da base de dados.

## 5. Resultados e Discussões

A interface gráfica online desenvolvida foi denominada Hidro-eng e está disponível no endereço eletrônico <http://hidro-eng.com>, cuja página inicial pode ser vista na Figura 1. Ela permite analisar computacionalmente as séries de dados históricos de vazão das estações fluviométricas disponibilizadas pelo Hidroweb. O processo inteiro é automatizado e pode ser realizado em navegadores padrões dos dispositivos do usuário.

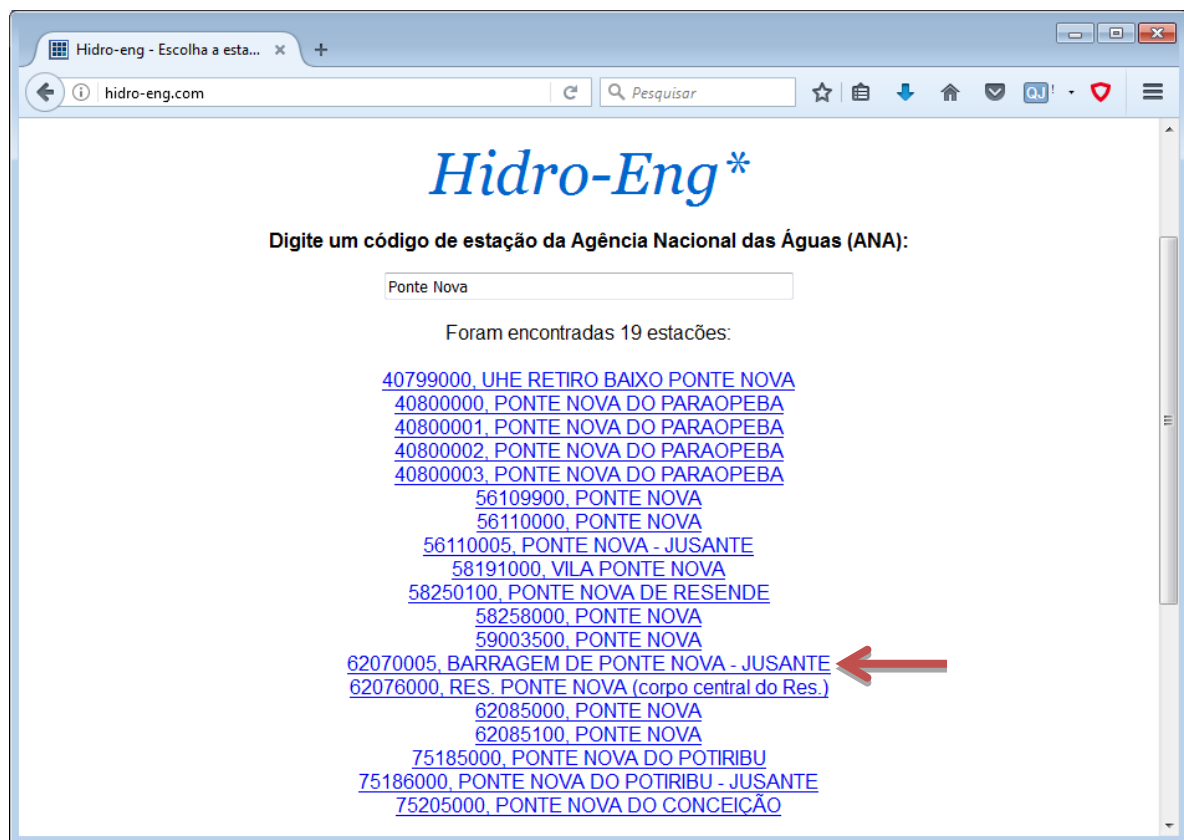


Figura 1: Sistema de busca do Hidro-Eng.

### 5.1 Sistema de Busca

A importação de séries temporais é iniciada após o usuário digitar no campo de busca na tela inicial do Hidro-eng o nome ou o código da estação fluviométrica. Para facilitar a importação dos dados (Figura 1) pode-se fazer uma triagem das estações digitando parte do código ou do nome de uma estação. O sistema atualiza a lista de estações disponíveis que se

ajustam ao critério digitado. Para importar a série temporal de uma estação, clica-se sobre o link relacionado à estação fluviométrica (exibido abaixo ao campo de buscas na Figura 1, em que o exemplo utilizado no caso de uso está indicado por uma seta vermelha). Após essa etapa, o processamento dos dados e geração do relatório geral não depende da ação do usuário.

Todos os parâmetros e estimativas são prontamente exibidos para o usuário. Conforme pode ser visto na plataforma online, o sistema de busca oferece um serviço que reduz a necessidade de conhecimentos complexos na extração e processamento dos dados. Essa arquitetura da informação melhora a usabilidade do sistema em relação ao Hidroweb, pois reduz o tempo e a necessidade de outros softwares.

No estudo de caso, foi apresentado o exemplo de busca para a estação fluviométrica a jusante da cidade de Ponte Nova, com a palavra-chave “Ponte Nova”. O sistema de busca sugere ao usuário as opções depois de realizar uma comparação entre a entrada do usuário (nome da estação ou código) com um inventário de estações disponibilizado pela ANA em que constam 12.506 registros de entrada com todas as estações fluviométricas nacionais e de países vizinhos. Dessa forma, o sistema realiza uma triagem e reduz as opções (em 19 estações, Figura 1), facilitando processo de identificar uma estação de interesse.

Uma dificuldade comum nos estudos de vazão mínima é encontrar o número de identificação da estação. O Hidro-Eng oferece um sistema de sugestões bastando ao usuário digitar uma parte ou todo do termo chave que identifique nome ou o código da estação e uma lista de estações do espaço geográfico selecionado será apresentada.

## **5.2 Relatório Online**

O relatório online foi elaborado em HTML5, pode ser convertido e baixado no formato PDF e apresenta os resultados obtidos mediante o emprego das metodologias.

### **5.2.1 Funcionalidades e Referências**

Na Figura 2 pode ser visto um exemplo de Relatório Online, especificamente as ligações internas (menu) para o relatório e funcionalidade para impressão e plotagem, referências Bibliográficas e a forma adequada de citação de uso do Hidro-Eng em trabalhos técnico-Científicos. Ainda podem ser vistos os parâmetros da estação fluviométricas obtidas diretamente do Hidroweb, pelo emprego de tecnologias de webservices. Estão explícitos parâmetros relativos ao nome, ao código, as coordenadas e a área de drenagem do posto

fluviométricos 56110005.



Figura 2: Tela onde se pode ver parcialmente o relatório exibido ao usuário no *Hidro-Eng*.

Na Figura 3 podem ser vistos parâmetros relativos à série temporal da estação fluviométrica 56110005. Os parâmetros obtidos diretamente da série são: Número de eventos medidos; Número de falhas; Data (início da série); e Data (fim da série). Foram estimados a partir dos dados da série os parâmetros: Média; Variância; Desvio padrão; Assimetria; Estacionariedade; e Estimativa da Vazão Mínima.

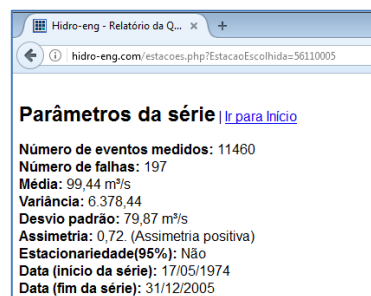


Figura 3: Tela do relatório do Hidro-Eng na seção Parâmetros da série.

Um dos parâmetros da série é a análise de estacionariedade (Figura 3) que verifica a

identidade da média e da variância de dois subperíodos distintos de uma série hidrológica pelos testes *Student e Fisher*, sendo que a série deve se ajustar à distribuição normal para aplicação dos testes (TUCCI 2002).

A análise de estacionariedade avalia mudanças no comportamento do regime hidrológico registrado na série, que podem ser provocadas por fatores como construção de reservatórios a montante da estação fluviométrica, retirada de água para utilização em atividades agrícolas através da irrigação e até mesmo mudanças no regime climático do local ao longo do tempo.

A estacionariedade na série temporal indica que os dados oscilam sobre uma média constante, independente do tempo, com a variância das flutuações permanecendo essencialmente a mesma. Uma série temporal é estacionária se o processo aleatório oscilar em torno de um nível médio constante.

Para estação 56110005, o parâmetro “Estacionariedade(95%)” foi atribuído o valor “Não” que indica que a série temporal não "flutua" em torno de uma mesma média ao longo do tempo (Figura 3).

Como a série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo, um processo dito estacionário tem a propriedade de que a média, variância e estrutura de autocorrelação não mudam no decorrer do tempo. Mesmo quando esta suposição não é atendida (e desde que sejam não explosivos (série divergente)) podemos aplicar modelos de séries temporais.

Uma série temporal estacionária se desenvolve no tempo aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável. Na prática, a boa parte das séries temporais apresenta algum tipo de não estacionariedade, (tendências). Uma série pode ser estacionária, em períodos curtos ou longos, o que implica uma mudança de nível, ou inclinação, ou ambos. A maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais pressupõe que estas sejam estacionárias, portanto, será necessário transformar os dados originais se estes não formam uma série estacionária.

Esses dados são importantes para se aceitar a validade dos resultados. Por exemplo, para a vazão mínima espera-se um número mínimo de 20 eventos, mas recomendável é que sejam 30.

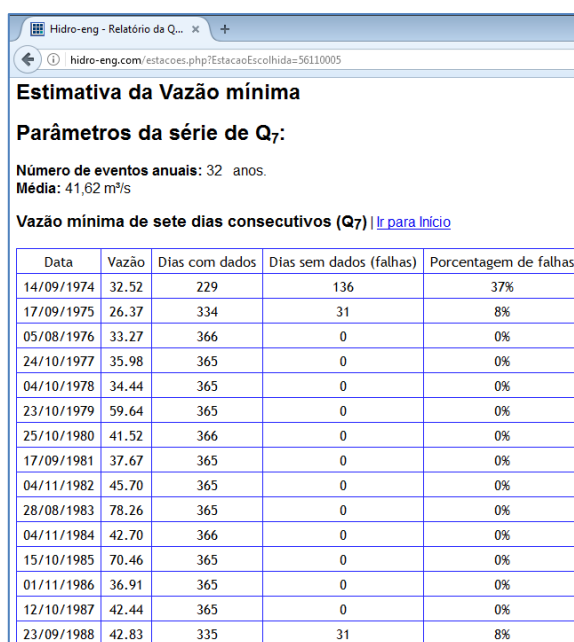
O estudo de caso permite observar que estimativas de vazões mínimas dependem do

parâmetro adotado. Para a situação em estudo as vazões de permanência superou todos os eventos obtidos para a  $Q_{7,10}$ . Sendo esta última a metodologia preferida, mas não necessariamente a mais adotada no Brasil. As vazões obtidas são consideradas baixas para a manutenção de habitats aquáticos (Stalnaker et al. 1995) e podem estar refletindo apenas a situação escassez severa (Okawa, 2009).

### 5.2.2 Estimativa da Série de Vazão Mínima

A série de vazão mínima ( $Q_7$ ) pode ser vista parcialmente na Figura 4. A série de vazões mínimas completa pode ser vista no Apêndice 1. Foram estimados 32 eventos anuais, com uma vazão mínima média de 41,62 m<sup>3</sup>/s. A série inicia em 1974 e o último evento registrado em 2005. Apenas os anos de 1974, 1975 e 1988 apresentaram 37%, 8% e 8% de falhas respectivamente.

O menor valor de vazão mínima estimado foi de 25,00 m<sup>3</sup>/s no ano 1999, que é um ano que não apresenta falhas. O maior valor de vazão mínima estimado foi de 78,26 m<sup>3</sup>/s em 1983, que é um ano que não apresenta falhas. Considerando a variação entre esses valores, chega-se a uma variação de 53,26 m<sup>3</sup>/s, que é maior que vazão mínima média. Ou seja, a série apresenta alto grau de variação entre os eventos medidos. Sendo que os eventos extremos mínimos ocorreram sempre nos meses 8, 9, 10 e 11 de cada ano.



**Estimativa da Vazão mínima**

**Parâmetros da série de  $Q_7$ :**

Número de eventos anuais: 32 anos.  
Média: 41,62 m<sup>3</sup>/s

Vazão mínima de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ) | [Ir para Início](#)

Data	Vazão	Dias com dados	Dias sem dados (falhas)	Porcentagem de falhas
14/09/1974	32.52	229	136	37%
17/09/1975	26.37	334	31	8%
05/08/1976	33.27	366	0	0%
24/10/1977	35.98	365	0	0%
04/10/1978	34.44	365	0	0%
23/10/1979	59.64	365	0	0%
25/10/1980	41.52	366	0	0%
17/09/1981	37.67	365	0	0%
04/11/1982	45.70	365	0	0%
28/08/1983	78.26	365	0	0%
04/11/1984	42.70	366	0	0%
15/10/1985	70.46	365	0	0%
01/11/1986	36.91	365	0	0%
12/10/1987	42.44	365	0	0%
23/09/1988	42.83	335	31	8%

Figura 4: Estimativa da série de  $Q_7$ , vazão mínima de sete dias.

### 5.2.3 Estimativas das Vazões de Referência

Na Figura 5 podem ser vistas as estimativas da  $Q_{7,10}$  por funções de distribuição de probabilidade tanto considerando as falhas da série, quanto excluindo os anos com falhas.

Esta seção permite ao usuário analisar os resultados obtidos no Hidro-eng e verificar desde a completude da série temporal, as falhas, a porcentagem de falhas, a extensão da série de dados. Foram adotadas as metodologias hidrológicas para o cálculo de vazões mínimas que melhor se aplica a determinação da vazão mínima e que melhor se adapta ao estado de Minas Gerais. A seleção das metodologias levou em conta a disponibilidade de séries históricas de vazões disponibilizadas pela ANA, a facilidade tecnológica de obter as séries de dados temporais necessárias a estimativa. Todos os métodos citados na metodologia foram implementados.

Método	$Q_{(7,10)}$ (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de confiança (95%)		
		inferior	superior	amplitude
Weibull	27.5709	23.8193	31.3226	7.5033
Log-normal II	26.3213	21.4094	31.2331	9.8237
Log-normal III	26.8463	22.0328	31.6598	9.6269
Log-pearson III	27.1765	23.6485	30.7045	7.0560
Pearson III	28.4751	22.6343	34.3159	11.6816

Método	$Q_{(7,10)}$ (m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de confiança (95%)		
		inferior	superior	Amplitude
Weibull	27.5472	23.3809	31.7135	8.3326
Log-normal II	26.4855	21.0368	31.9343	10.8975
Log-normal III	26.8130	21.5868	32.0393	10.4525
Log-pearson III	27.2206	23.2508	31.1904	7.9395
Pearson III	28.6021	22.2167	34.9874	12.7706

Figura 5: estimativas da vazão mínima por funções de distribuição de probabilidade tanto considerando as falhas da série, quanto excluindo os anos com falhas.

O uso da  $Q_{7,10}$  estimadas em uma base anual representa uma restrição única aplicável a todo o ano sem levar em conta que o período de maior demanda pelo uso da água tanto quantitativamente ou quanto para a diluição de efluentes, nem sempre coincide com o período de menor vazão. O uso de 30% da  $Q_{7,10}$  adotado por Minas Gerais caracteriza um critério conservador, que reduz expressivamente da vazão permissível para outorga quando

comparado ao critério adotado pela ANA. Entretanto, mantêm poder de depuração do corpo de água frente à poluição, permite a inserção de novos usuários e garante melhor diluição de efluentes.

Fica disponível no relatório online a comparação do cálculo da  $Q_{7,10}$  considerando as falhas e desconsiderando as falhas anuais superiores a 5%. Na Figura 6 pode ser visto a comparação desses resultados percentualmente.

(Diferença de  $Q_{7,10}$  com falhas e  $Q_{7,10}$  sem falhas)

Método	Diferença absoluta ( $m^3/s$ )	Diferença relativa
Weibull	-0.3136	-1 %
Log-normal II	0.4831	2 %
Log-normal III	0.3335	1 %
Log-pearson III	0.3875	1 %
Pearson III	0.3976	1 %

Figura 6: módulo do Hidro-eng que disponibiliza a comparação em estimativas que consideram os anos com falhas e estimativas que não consideram os anos com falhas.

Podem ser visualizadas na Figura 6 as informações referentes ao estudo de caso. As diferenças entre estimativas que consideram os anos com falhas e estimativas que não consideram os anos com falhas apresentam diferenças iguais a 1%, exceto log-normal II com até 2% de diferença. Possivelmente, as falhas significativas da série ocorrem nos meses de maior vazão.

#### 5.2.4 Vazão de Permanência

A funcionalidade de obtenção da vazão de permanência pode ser vista na Figura 7, onde estão explicitadas as estimativas das vazões de permanência para os parâmetros 99%, 95% e 90 %.

Os valores de vazões de permanência são estimativas obtidas diretamente dos dados e apresentam valores superiores as estimativas da vazão mínima realizadas por funções de distribuição de probabilidade tanto considerando as falhas da série, quanto excluindo os anos com falha da série, mesmo considerando as vazões de permanência de 99% dos dados da série.

A Figura 7 correspondente às vazões de permanência da estação a jusante de Ponte nova, e tomada como exemplo para a análise.



Vazões de Permanência. | [Ir para Início](#)

Permanência	Vazão
99%	30,60 m <sup>3</sup> /s
95%	36,86 m <sup>3</sup> /s
90%	41,80 m <sup>3</sup> /s

Figura 7: vazão de permanência.

A  $Q_{95}$  é igual a 36,86 m<sup>3</sup>/s, que representa um valor 33% superior à  $Q_{7,10}$  (28,47 m<sup>3</sup>/s pelo método de *Weibull*), fazendo com que, pelo critério de permissão de outorga de 70% da  $Q_{95}$  (25,8 m<sup>3</sup>/s) o valor permitido para outorga seja 4,1 vezes maior que o permitido pelo critério de 30% da  $Q_{7,10}$  (8,45 m<sup>3</sup>/s). O critério mineiro é bastante restritivo, pois limita o valor para uso consuntivo de água mediante outorga ao longo de todo o ano por uma restrição calculada para um período específico (menor vazão), e, mesmo neste período, outorga uma parcela diminuta da vazão.

O critério nacional que correspondente a 70% da  $Q_{95}$  anual apresenta limitação quanto à disponibilidade do uso de água nos períodos em que a disponibilidade é generosa e para o qual a restrição é a mesma para os períodos de menor vazão. No entanto, o critério não é cauteloso para os períodos de baixa vazão, o que pode comprometer a vazão ecológica.

### 5.2.5 Análise de Frequência

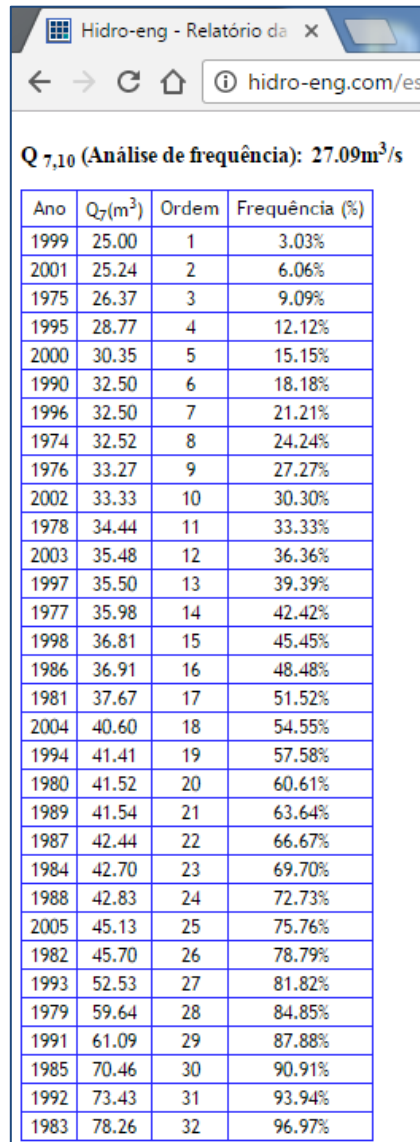
Na Figura 8 pode ser vista a estimativa da vazão mínima por análise de frequência.

O expoente  $n$  da Equação 20 é frequentemente tomado como -0,5. Esse valor indica que os picos de vazão variam inversamente com a raiz quadrada da área de drenagem.

Assim, no coeficiente  $c$  creçam os pesos dos diversos fatores que influenciam o processo. Outras fórmulas empíricas incluem, ainda, fatores que levam em conta, por exemplo, a forma da bacia hidrográfica e a precipitação anual média, numa tentativa de reduzir a influência das variações no valor do coeficiente  $c$ .

Pode ser vista na Figura 8 os valores de vazões de vazão mínima por análise de frequência que incluem desde a frequência mais baixa para essa série que é 3% até 96,97% que é a frequência máxima.

O Hidro-eng estima a vazão mínima por análise de frequência, uma vez que isso permite avaliar de forma rápida se os resultados obtidos pelas funções de distribuição de probabilidade estão produzindo resultados aceitáveis quando comparados.



Ano	Q <sub>7</sub> (m <sup>3</sup> )	Ordem	Frequência (%)
1999	25.00	1	3.03%
2001	25.24	2	6.06%
1975	26.37	3	9.09%
1995	28.77	4	12.12%
2000	30.35	5	15.15%
1990	32.50	6	18.18%
1996	32.50	7	21.21%
1974	32.52	8	24.24%
1976	33.27	9	27.27%
2002	33.33	10	30.30%
1978	34.44	11	33.33%
2003	35.48	12	36.36%
1997	35.50	13	39.39%
1977	35.98	14	42.42%
1998	36.81	15	45.45%
1986	36.91	16	48.48%
1981	37.67	17	51.52%
2004	40.60	18	54.55%
1994	41.41	19	57.58%
1980	41.52	20	60.61%
1989	41.54	21	63.64%
1987	42.44	22	66.67%
1984	42.70	23	69.70%
1988	42.83	24	72.73%
2005	45.13	25	75.76%
1982	45.70	26	78.79%
1993	52.53	27	81.82%
1979	59.64	28	84.85%
1991	61.09	29	87.88%
1985	70.46	30	90.91%
1992	73.43	31	93.94%
1983	78.26	32	96.97%

Figura 8: estimativas da vazão mínima por análise de frequência (frequência relativa).

### 5.2.6 Série Histórica de Dados de Vazões

A série histórica de dados de vazões pode ser vista na Figura 9 aplica-se a estimativa das vazões mínimas por extrapolação dos dados históricos para as condições mais críticas. Como exemplo, considera uma seção fluviométrica de um rio para a qual se dispõe de 30 anos de dados de vazão. Assim, a vazão mínima observada tem a probabilidade aproximada de

ocorrer, (ou ter magnitude inferior), uma vez a cada 30 anos.

O Hidro-Eng disponibiliza a série histórica de dados de vazões (Figura 9) que permite a exportação dos dados da série histórica de vazões, funcionalidade que capacita o processamento de dados em outros softwares.



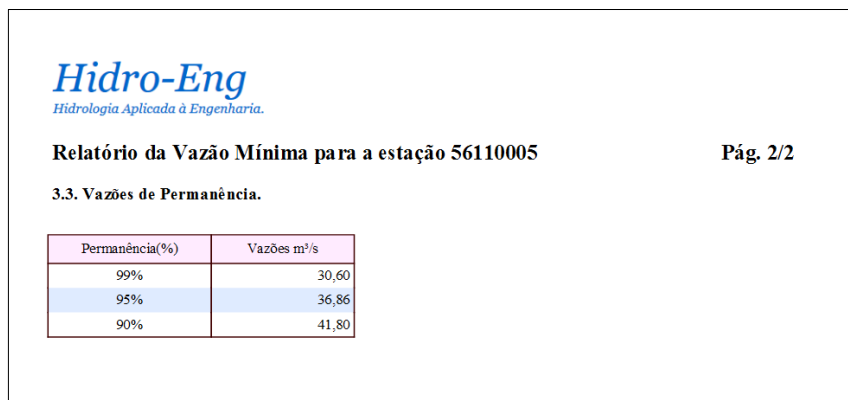
The screenshot shows a web browser window with the title 'Hidro-eng - Relatório da Q...' and the URL 'hidro-eng.com/estacoes.php?EstacaoEscolhida=56110005#SerieDados'. The main heading is 'Série histórica de dados vazão'. Below it is a table with two columns: 'Data' and 'Vazão (m³)'. The table contains data for the first eight months of 1974, with all flow values listed as '-'. The table is as follows:

Data	Vazão (m³)
1/1/1974	-
2/1/1974	-
3/1/1974	-
4/1/1974	-
5/1/1974	-
6/1/1974	-
7/1/1974	-
8/1/1974	-

Figura 9: Visualização parcial da série histórica de dados de vazões.

### 5.3 Relatório para Impressão

Depois de importar os dados e gerar o relatório online, se pode exibir (e imprimir) o relatório para impressão (Figura 10) a partir de um navegador, ou qualquer aplicativo usado para exibir um relatório exportado. É possível salvar um relatório, imprimi-lo ou visualizá-lo.



The screenshot shows a PDF report page from 'Hidro-Eng' (Hidrologia Aplicada à Engenharia). The page is titled 'Relatório da Vazão Mínima para a estação 56110005' and is page 2 of 2. The section is '3.3. Vazões de Permanência.' and contains a table with two columns: 'Permanência(%)' and 'Vazões m³/s'. The table data is as follows:

Permanência(%)	Vazões m³/s
99%	30,60
95%	36,86
90%	41,80

Figura 10: Visualização da segunda página do relatório em formato PDF.

Há outras funcionalidades implícitas no relatório. Por exemplo, quando se imprime um relatório, pode especificar o tamanho do papel a ser usado. O tamanho do papel determina o número de páginas em um relatório e quais dados do relatório se ajustam em cada página. O tamanho do papel pode afetar o relatório *renderizado* com processadores de quebra de página não flexíveis: PDF, Imagem e Impressão.

Na barra de ferramentas do visualizador de relatórios no navegador é possível exportar um relatório para um *renderizador* de quebra de página não flexível ou clicar no botão Imprimir para imprimir uma cópia do relatório. Talvez seja preciso definir o tamanho do papel ou outras propriedades de configuração de página. Use a caixa de diálogo Propriedades do Relatório para alterar as propriedades de configuração de página, inclusive o tamanho do papel. É possível especificar margens de página de impressão em dois locais diferentes: em modo de design e em modo de execução.

#### 5.4 Plotagem de Dados

A funcionalidade de obtenção da vazão mínima  $Q_{7,10}$  pode ser vista na Figura 11, onde estão explicitadas as estimativas da vazão mínima por funções de distribuição de probabilidade sem considerar os anos com falha. As hastes em torno do ponto especificam visual e proporcionalmente a variação do intervalo de confiança.

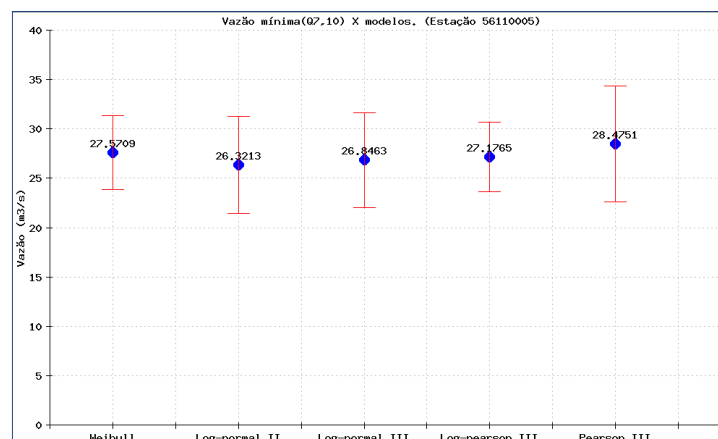


Figura 11: Plotagem das vazões mínimas, onde pode ser vista a variação do intervalo de confiança.

Enquanto na Figura 4, a estimativa é exibida na forma tabulada, nesta funcionalidade os dados podem ser vistos por meio de uma imagem que permite uma comparação visual das estimativas e da variação proporcional do intervalo de confiança.

#### 5.5 Plotagem das Medidas de Vazões Diárias

O Hidro-Eng disponibiliza um módulo para visualização das medições de vazões na seção de interesse (Figura 12). Alguns aspectos visuais da plotagem de vazões médias diárias facilitam a visualização do comportamento do regime de vazões da bacia hidrográfica. Podem ser localizadas sazonalidades naturais e tendências. Esta plotagem exibe um “comportamento” semelhante à ferramenta técnica denominada hidrograma. A necessidade de julgamento rápido

de ajustes de modelos hidrológicos necessita de técnicas que permita avaliação eficiente. Esse módulo pode ser visto como uma ferramenta com potencial interessante para analisar a existência de tendências (Mann-Kendall).

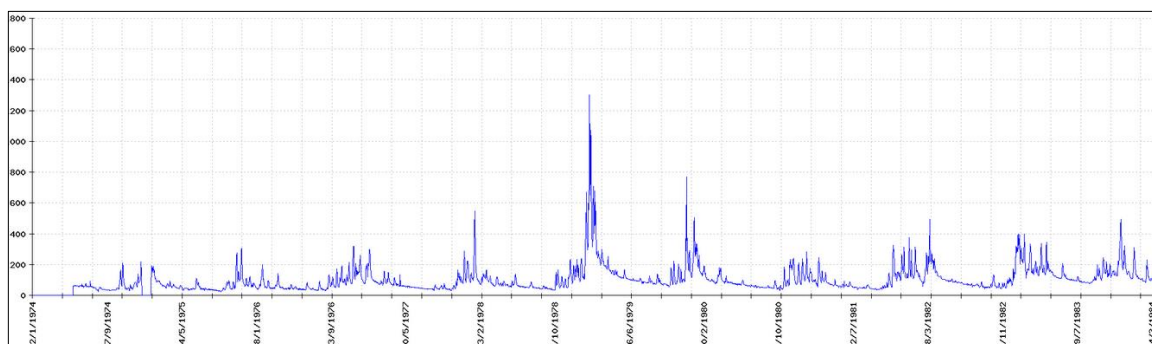


Figura 12: Plotagem bidimensional (parcial) das vazões médias diárias da série de dados históricos de vazões.

### 5.6 Plotagem da Série de Vazões Mínimas

A visualização da vazão mínima pode ser vista na Figura 13, onde estão explicitadas as vazões mínimas de sete dias. Enquanto na Figura 3, essas mesmas vazões são exibidas na forma tabulada, nesta funcionalidade os dados podem ser vistos por meio de uma imagem que permite uma comparação visual do comportamento aleatório das  $Q_7$ .

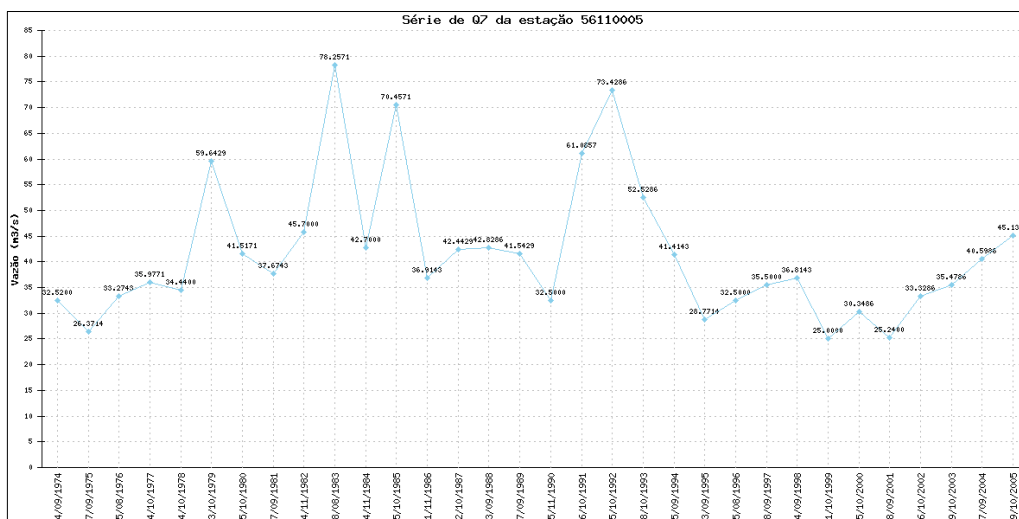


Figura 13: Visualização das  $Q_7$  para o período disponível.

A visualização gráfica da vazão mínima representada pela linha (azul) na Figura 13 permite visualizar que a partir de 1994 a vazão mínima fica abaixo da vazão mínima média (41,62 m³/s) por um período de 10 anos, repetindo um padrão possível ocorrido no início da

série, cuja extensão não pode ser avaliada por falta de dados (1974 a 1978). O padrão percebido é que a vazão mínima é superada pela vazão mínima média apenas em anos isolados. Como a série termina em 2005, fica difícil avaliar se essa característica é um padrão.

## 5.7 Créditos

Na Figura 14 podem ser vistas informações relativas aos participantes, objetivos e valores fundamentais do grupo Hidro-Eng. Esta página é importante para dar aos usuários credibilidade e confirmar os compromissos do grupo em dar a sociedade um sistema confiável e tecnicamente correto.

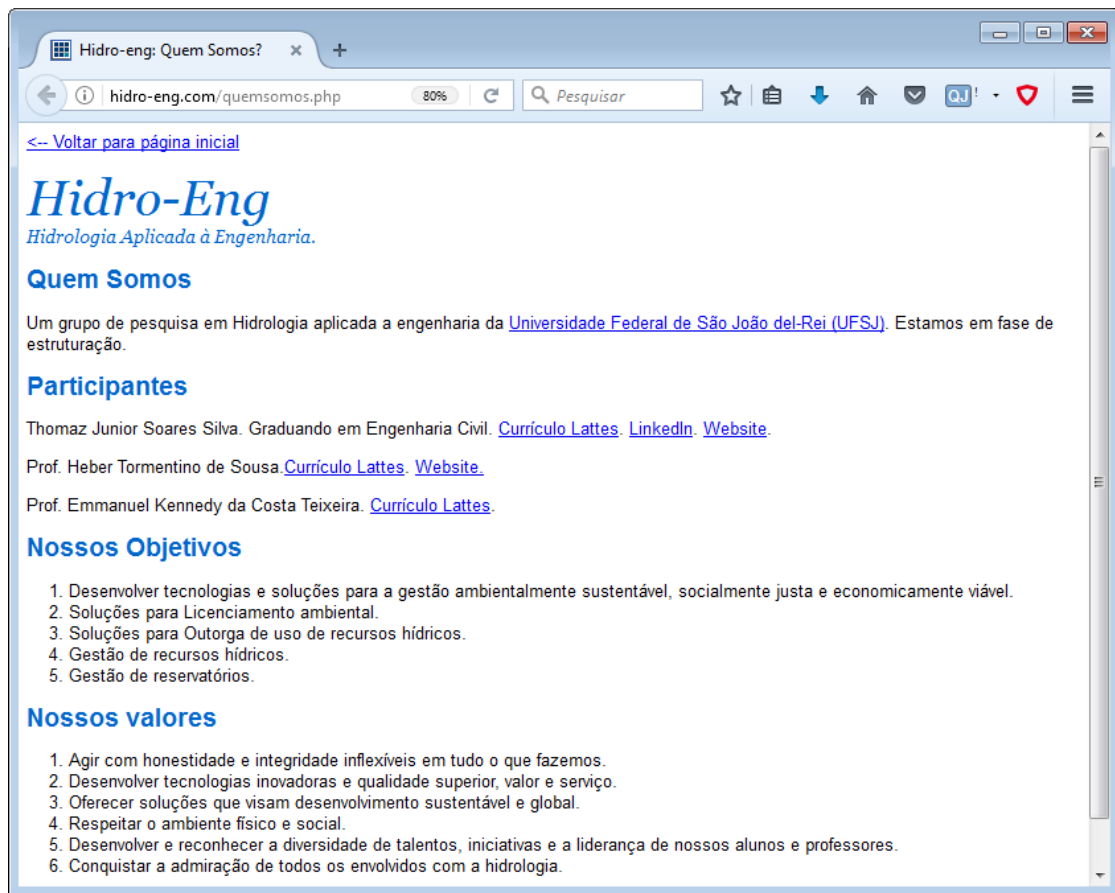


Figura 14: Visualização dos participantes, valores e objetivos do grupo Hidro-eng.

## 5.8 Histograma de frequências

O histograma da Figura 15 representa graficamente a distribuição de frequências do conjunto de dados quantitativos contínuos da série temporal de vazões. Os dados foram agrupados em classes, a representação gráfica da distribuição foi feita por meio do histograma. No histograma, foram ligados os pontos médios das classes na parte superior de cada retângulo e “fechamos” essa curva poligonal para descrever o polígono de frequência. A

linha (vermelha) da Figura 14 representa o polígono de frequência.

O comportamento do percebido na da série de dados é que a maior parte dos dados se concentra nas três primeiras classes, com grande prevalência da primeira classe, cujo cento é 61,5 m<sup>3</sup>/s. Para as 20 classes atribuídas em função do número de dados na séries as quatro não apresentam número significativo de elementos. O polígono de frequência apresenta um comportamento exponencial negativo.

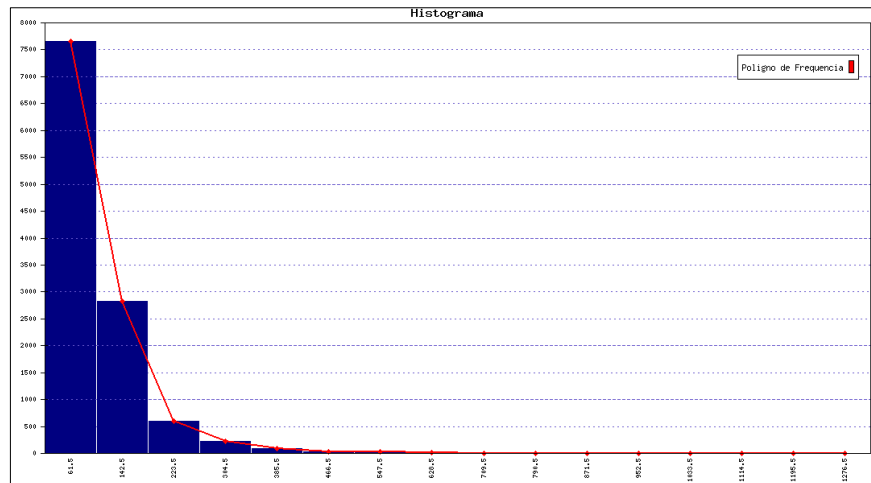


Figura 15: Visualização do histograma dos dados de hidrológicos.

### 5.9 Papel de probabilidades de Weibull

Na Figura 16 está representado graficamente o ajuste de dados no papel de probabilidades de *Weibull*. Uma vez que dados e as frequências estão ajustados linearmente, pode-se afirmar que a distribuição de frequência de *Weibull* se ajusta a série temporal.

### 5.11 Discussão Geral

O desenvolvimento de planos para gestão de recursos hídricos envolve principalmente a implantação de outorga de uso, que necessita de critérios para alcançar um eficiente balanço hídrico integrado quanto à distribuição justa da vazão outorgável entre os usuários, que depende, por sua vez, da estimativa da disponibilidade hídrica, da variabilidade e sazonalidade dos regimes hidrológicos, de modelos para a estimativa de vazões e ter em vista a sustentabilidade da distribuição da vazão disponível em relação à demanda considerando inclusive cenários futuros.

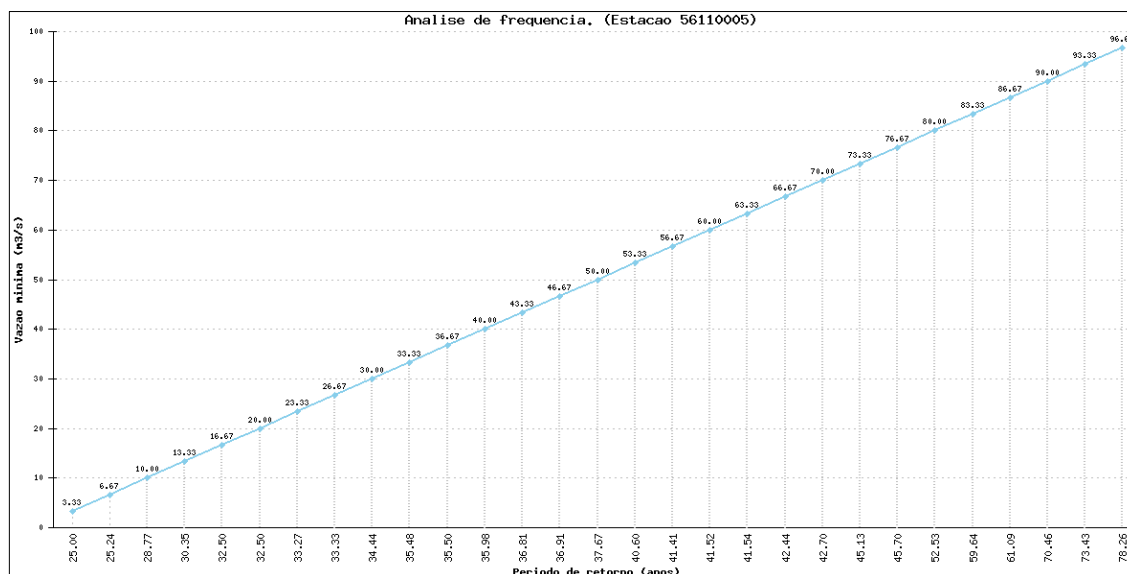


Figura 16: Visualização do papel de probabilidades de Weibull.

A contribuição deste trabalho se restringe a estimativa da disponibilidade hídrica dentro dos modelos clássicos. Não pretende influenciar a fase operacional no que se refere aos procedimentos do processo de outorga por parte dos órgãos governamentais. No entanto, mesmo nessa fase é necessário o conhecimento da grandezafundamental: disponibilidade hídrica (oferta). A demanda só pode ser estimada por meio do cadastramento de usuários. Enquanto a disponibilidade hídricavaria no tempo e no espaço sendo totalmente dependente da qualidade e da disponibilidade de dados atualizados e precisos.

## 6. Conclusão

Foi desenvolvida uma interface gráfica online denominada Hidro-Eng (disponibilizado em <http://hidro-eng.com>), que permite a estimativa das vazões de referência ( $Q_{7,10}$ ;  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ ) para a gestão de recursos hídricos por meio de tecnologia de *webservices* com o processamento dos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Sendo que esta interface, facilita os processos e etapas necessárias por automatizar a obtenção dos dados, disponibiliza cinco metodologias para estimar a  $Q_{7,10}$ , apresentando inclusive os respectivos intervalos de confiança.

A interface gráfica online Hidro-Eng foi aplicada com sucesso no estudo de caso referente à bacia do Rio Piranga, em seção à jusante de Ponte Nova, MG, referente a estação



fluviométrica de código 56110005.

Também permite concluir que os processos de outorga acabam por oferecer critérios diferentes dependendo da esfera governamental, sendo muito maior no caso federal que no estadual em Minas Gerais. Sendo o critério estadual mais conservador e mais próximo do ideal de garantir a perenidade dos cursos de água e sustentáveis em longo prazo.

### **Recomendações**

Importante ressaltar que foram aplicados critérios formais que são reconhecidos e convencionalmente aceitos como adequados para a realidade nacional. Mas recomenda-se que na utilização desses resultados sejam incluídos critérios políticos, sociais e de garantias de sustentabilidade ambiental.

É importante nessa discussão salientar que os métodos hidrológicos empregados tanto pela ANA e IGAM apresentados aqui estabelecem as vazões de referência especificadas em suas resoluções sem garantias que os valores obtidos de vazão mínima sejam adequados para manter as condições naturais pré-existentes à jusante (Poff *et al.*, 1997; Richter *et al.* 2003; Souza *et al.*, 2004). Uma vez que o volume de vazão necessário à sustentabilidade ambiental de um rio é variável no tempo, os critérios deveriam contemplar não apenas as situações de vazões mínimas durante períodos de estiagem, mas também os outros períodos que caracterizam o regime hidrológico (Collischonn *et al.*, 2006). O que evitaria que em épocas de cheias abundantes os empreendimentos agrícolas não sofram as consequências dos chamados veranicos, situações em que há excesso de água nos rios, enquanto as plantações carecem de suprimento adequado de água.

## **7.Referências**

1. MUKAI, T. (2002) **Direito Ambiental Sistematizado**. Ed.4ª. São Paulo: Forense Universitária.
2. BRASIL (1997). **LEI Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

3. BRASIL. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de Águas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 01/01/2017.
4. BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 31. ago.1981. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 01/01/2017.
5. BRASIL. **Lei no 7.347, de 24 de julho de 1985**. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (VETADO) e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24. jul.1985. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 01/01/2017.
6. BRASIL. Lei 9.605, de 12.fev.1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12. fev.1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 02/01/2017.
7. ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país. Diretrizes e prioridades**. 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2016.
8. MILARÉ, Edis.**Direito do ambiente: a gestão ambiental em foco**.3. ed.São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2004.
9. MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 30/01/1999. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br>. Acesso em 01/01/2017.
10. IGAM. **Resolução Conjunta SEMAD - IGAM nº 1548de 29 de março 2012**. Dispõe sobre

- avazãodereferênciaparaocálculodadisponibilidadehídricasuperficialnasbaciashidrográfi  
casdoEstado. (Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 31/03/2012). Disponível em  
<http://www.igam.mg.gov.br>. Acesso em 01/01/2017.
11. Kite, G. W. **Frequency and risk analyses in hydrology**. 5. ed.: Water Resources Publications Highlands Ranch - Colorado, 257p, 1988.
  12. SUBRAMANYA, K. **Engineering Hydrology**. 4ª ed. New Delhi, McGraw Hill, 2013.
  13. DNAEE .Glossário de Termos Hidrológicos. Brasília: Eletrobrás, 1976, p. 39..
  14. CONAMA.**Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.
  15. BENETTI, A. D.; LANNA, A. E. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.2, p. 149-160, 2003.
  16. COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; TASSI, R.;
  17. SOUSA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2009.
  18. ANA. Agência Nacional de Águas. **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>,( acesso em janeiro de 2017).
  19. CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Estimativa de disponibilidade hídrica através da curva de permanência**. 2010.
  20. Revista Brasileira de Recursos Hídricos , v. 13, nº 1, p. 111-124, 2008.
  21. OKAWA, C.M.P. **Em busca do hidrograma ecológico para a planície de inundação do alto rio Paraná:considerações iniciais** . Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2009.

22. POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C. **The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration.** *Bioscience*, v. 47, nº 11, p. 769 – 784, 1997.
23. POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; PALMER, M.A.; HART, D.D.; RICHTER, B.D.; ARTHINGTON, A.N.; ROGERS, K.H.; MEYER, J.L.; STANFORD, J.A. **River flows and water wars: emerging science for environmental decision making.** *Frontiers in Ecology and the Environment* , v. 1, p. 298 – 306, 2003.
24. POSTEL, S.; RICHTER, B.D. **Rivers for life: managing water for people and nature.** Island Press ed.. Washington, D.C., Estados Unidos, 253p., 2003.
25. RICHTER, B.D.; MATHEWS, R.; HARRISON, D.L.; WIGINGTON, R. **Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity.** *Ecological Applications*, v. 13, nº 1, p. 206 - 224, 2003.
26. SOUZA, C. F.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. ; GIACOMINI, M. H. **Vazão ecológica constante vs. Vazão Ecológica Variável.** In: Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luis - MA, 2004.
27. STALNAKER, C.; LAMB, B.L.; HENRUKSEN, J.; BOVEE, K.; BARTHOLOW, J. **The instream flow incremental methodology. A primer for IFIM .** U.S. Department of Interior. National Biological Service, Washington, D.C, 1995.

## Apêndice 1

### Parâmetros da série de Q<sub>7</sub>:

Número de eventos anuais: 32 anos.

Média: 41,62 m<sup>3</sup>/s

Série de Vazão mínima (Q<sub>7</sub>) estimada pelo Hidro-Eng

<b>Data</b>	<b>Vazão</b>	<b>Dias com dados</b>	<b>Falhas</b>	<b>Falhas (%)</b>
14/09/1974	32,52	229	136	37
17/09/1975	26,37	334	31	8
05/08/1976	33,27	366	0	0
24/10/1977	35,98	365	0	0
04/10/1978	34,44	365	0	0
23/10/1979	59,64	365	0	0
25/10/1980	41,52	366	0	0
17/09/1981	37,67	365	0	0
04/11/1982	45,70	365	0	0
28/08/1983	78,26	365	0	0
04/11/1984	42,70	366	0	0
15/10/1985	70,46	365	0	0
01/11/1986	36,91	365	0	0
12/10/1987	42,44	365	0	0
23/09/1988	42,83	335	31	8
07/09/1989	41,54	365	0	0
15/11/1990	32,50	365	0	0
26/10/1991	61,09	365	0	0
15/10/1992	73,43	366	0	0
18/10/1993	52,53	365	0	0
25/09/1994	41,41	365	0	0
13/09/1995	28,77	365	0	0
25/08/1996	32,50	366	0	0
08/09/1997	35,50	365	0	0
24/09/1998	36,81	365	0	0
01/10/1999	25,00	365	0	0
15/10/2000	30,35	366	0	0
08/09/2001	25,24	365	0	0
16/10/2002	33,33	365	0	0
19/10/2003	35,48	365	0	0
27/09/2004	40,60	366	0	0
19/10/2005	45,13	365	0	0

\*Fonte: hidro-eng.com