

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**SISTEMA DE CONTROLE DINÂMICO PARA
A GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA**

Felipe de Azevedo Marques
Doctor Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

**M357s
2010**

Marques, Felipe de Azevedo, 1981-

**Sistema de controle dinâmico para a gestão dos usos
múltiplos da água / Felipe de Azevedo Marques. – Viçosa,
MG, 2010.**

xi, 234f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 168-178.

**1. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Doce, Rio, bacia
(MG e ES). 2. Tecnologia da informação. 3. Sistemas de
suporte de decisão. 4. Sistemas de informação geográfica.
5. Sistemas de informação gerencial. 6. Bacias hidrográficas.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.**

CDD 22. ed. 551.480981

FELIPE DE AZEVEDO MARQUES

**SISTEMA DE CONTROLE DINÂMICO PARA
A GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010**

FELIPE DE AZEVEDO MARQUES

**SISTEMA DE CONTROLE DINÂMICO PARA
A GESTÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de julho de 2010.

Prof. Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Prof. Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro
(Co-orientador)

Prof. Antonio Teixeira de Matos

Dr. Mariano Pereira Silva

Prof. Demetrius David da Silva
(Orientador)

A Deus,
pela vida, com saúde e paz, necessárias para a realização deste trabalho.

Ao Brasil,
por motivar-me a mudar atitudes e jamais desistir.

A minha família,
pela força e incentivo incessantes.

Em especial a meus pais queridos, Paulo Marques e Alcione,
exemplos de vida a serem seguidos.

Dedico.

“Para entender o coração e a mente de uma pessoa,
não olhe para o que ela já conseguiu,
mas para o que ela aspira”

Gibran Khalil Gibran

AGRADECIMENTOS

Após todos esses anos em companhia de pessoas incríveis, é imensa e eterna a gratidão pela cidade de Viçosa e pela Universidade Federal de Viçosa. Em todos os momentos, desde 1999, fui acompanhado por verdadeiros amigos e mestres na longa caminhada que agora exhibe um mundo de oportunidades.

Apesar de compreender Deus de forma menos convencional, agradeço por confiar-me o livre arbítrio e oferecer todas possibilidades. Talvez não os lembre com a frequência que merecem, mas tenho muito orgulho de meus pais, que moldaram meu caráter e me ensinaram valores como honra, ética, lealdade e gratidão. Agradeço pelo amor incondicional, pela compreensão, pela amizade e estímulo. Pai, mãe, amo muito vocês.

Presentes desde a infância, na última década os espíritos me acompanharam de perto, evoluímos juntos e agradeço por fomentarem grandes idéias e auxiliarem em minhas decisões. Estarei para sempre com vocês.

Agradeço a meu mestre, Prof. Demetrius pela orientação valiosa, pelos ensinamentos, pelo profissionalismo, pela amizade, pela confiança e dedicação demonstrada desde a graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental. Agradeço também ao meu conselheiro, Prof. Márcio Mota, pelos ensinamentos, pela motivação e principalmente, pela confiança no modo como conduzi este trabalho.

Serei sempre grato à professora Ilda Tinoco, por despertar em mim o interesse pela pesquisa, por acompanhar meus primeiros passos na ciência e por ensinar-me o valor da disciplina, da organização e da ética na carreira científica.

Aprecio e agradeço ao professor, amigo e conselheiro Carlos Antônio A. S. Ribeiro por compartilhar seu notável conhecimento em Sistemas de Informação Geográfica e motivar-me a avançar sempre, sem que as limitações da pesquisa no Brasil constituíssem obstáculos em minhas investigações científicas.

Agradeço a estudante de Ciência da Computação, Carolina Valadares, pela dedicação, competência e lealdade que demonstrou ao se comprometer com o projeto mesmo afastada da UFV, durante seu intercâmbio internacional. Aposto nesta parceria em projetos futuros, pois se trata de uma profissional com excelentes valores técnicos e pessoais.

Não poderia deixar de mencionar o meu irmão engenheiro de computação, Paulo Eduardo Marques, pela brilhante participação no desenvolvimento do protótipo do Aquora, pelos ensinamentos e sugestões essenciais ao sucesso do trabalho. Agradeço também a minha irmã médica, Thatiane Azevedo Marques, pela revisão de artigos científicos, apoio e pela inteligência e dinamismo em que me espelho.

Não existem palavras capazes de demonstrar meu apreço ao carinho da companheira de todos os momentos Aline Agnes Macabeu. Nos bons e maus momentos foi a pessoa que esteve próxima a mim, disposta a escutar e apoiar com conselhos valiosos que não me deixaram desistir quando encontrei obstáculos. Seu pai, mãe e irmãos também foram responsáveis pela conclusão desta etapa.

Agradeço ao Nero pela lição de vida que me esforço a exercer. Talvez nestes dez anos de universidade, tenha sido a pessoa com maior compreensão da vida que encontrei. Nunca apontou meus defeitos, mas me fez enxergá-los todos. Agradeço também à Gavetcha, pela companhia e observação nas madrugadas.

Sou grato aos professores Rubens, Ricardo, Francisco, Fernando, Matos, Martinez e Evandro, às professoras Lêda e Cecília e aos funcionários Marcos, Edna, Galinari, Renato, Eduardo e Francisco, todos do Departamento de Engenharia Agrícola, pela dedicação e amizade desde a graduação em Engenharia Agrícola.

Agradeço aos amigos mais próximos, Daniel Macol, Raul Mosquera, Felipe Henrique, João Batista, Julio Cassin, Luiz Cássio, Marcelo Latuf, Marcelo Dan, Ronaldo Fia, Danilo Paulúcio, Antonio Calazans, Hugo Guedes, Camila Reis, Luana Lisboa, David Palomino, Abrahão Elesbon e a muitos outros que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

BIOGRAFIA

Felipe de Azevedo Marques, filho de Paulo Roberto Marques e Alcione Azevedo Marques, nasceu em Vitória - ES, em 18 de março de 1981.

Em julho de 2004, concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Em agosto de 2006, concluiu o mestrado em Engenharia Agrícola pelo Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG.

Em outubro de 2006, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFV, em nível de Doutorado, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2010.

Desde dezembro de 2009, atua como consultor do Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, na implantação do Centro de Inteligência Geográfica – CIG da Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SRHMA do Estado do Tocantins.

CONTEÚDO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Gestão de recursos hídricos	5
3.1.1. Contexto legal	7
3.2. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos.....	9
3.2.1. Vazões mínimas de referência e critérios de outorga	11
3.3. Sistema de informações sobre recursos hídricos.....	14
3.3.1. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH.....	16
3.4. Sistema de Informações Geográficas para gestão de recursos hídricos	18
3.5. Tecnologia da informação para gestão de recursos hídricos	20
3.5.1. Sistemas informatizados de apoio à gestão de recursos hídricos	22
3.6. Regionalização de vazões	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. Área de abrangência da base de dados	27
4.2. Construção da base de informações geográficas	29
4.2.1. Tratamentos topológicos e recondicionamento do MDE	30
4.2.2. Construção da rede hidrográfica	33
4.2.3. Delineamento das áreas de drenagem	35
4.2.4. Ottocodificação de bacias e cursos d'água.....	36
4.2.5. Extração de características físicas e pluviométricas.....	38
4.3. Construção da base de informações hidrológicas.....	42
4.3.1. Seleção e análise preliminar das séries de vazão	42
4.3.2. Identificação dos períodos sazonais	44

4.3.3. Determinação das vazões características	46
4.3.4. Regionalização e espacialização das vazões	48
4.3.5. Ajuste das vazões estimadas.....	50
4.4. Modelagem do banco de dados	53
4.4.1. Mapeamento dos processos afetos à outorga	53
4.4.2. Sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas	55
4.4.3. Recondicionamento do modelo Arc Hydro.....	56
4.5. Desenvolvimento e avaliação do sistema de controle em tempo real	59
4.5.1. Consulta de informações hidrológicas	60
4.5.2. Cadastro de usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos	61
4.5.3. Solicitação de outorga.....	62
4.5.4. Controle dos processos de outorga	64
4.5.6. Avaliação das funcionalidades do sistema	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1. Base de informações geográficas.....	74
5.1.1. Tratamentos topológicos e recondicionamento do MDE	74
5.1.2. Construção da rede hidrográfica	77
5.1.3. Delineamento das áreas de drenagem	81
5.1.4. Ottocodificação de bacias e cursos d'água.....	82
5.1.5. Características físicas e pluviométricas	84
5.2. Base de informações hidrológicas	85
5.2.1. Períodos sazonais.....	86
5.2.2. Regionalização de vazões	91
5.2.3. Espacialização das vazões	100
5.2.4. Ajuste das vazões estimadas.....	103
5.3. Modelo do banco de dados.....	105
5.3.1. Processos afetos à outorga	105
5.3.2. Sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas	108
5.3.3. Recondicionamento do modelo Arc Hydro.....	122
5.4. Sistema de controle em tempo real	130
5.4.1. Consulta de informações hidrológicas	135
5.4.2. Cadastro de usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos	137
5.4.3. Solicitação de outorga.....	138
5.4.4. Controle dos processos de outorga	144
5.4.5. Avaliação das funcionalidades do sistema	149
6. CONCLUSÕES	169
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	171
APÊNDICES	182
APÊNDICE A	183
APÊNDICE B	185
APÊNDICE C	189
APÊNDICE D	191
APÊNDICE E	200

RESUMO

MARQUES, Felipe de Azevedo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. **Sistema de controle dinâmico para a gestão dos usos múltiplos da água.** Orientador: Demetrius David da Silva. Co-orientadores: Márcio Mota Ramos e Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro.

Entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos e o sistema de informações se destacam como os mais importantes. Enquanto a outorga visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo das águas, o sistema de informações tem por objetivos: armazenar e divulgar informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos; e atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda. A proposta de um sistema on-line para controle em tempo real dos usos múltiplos da água se traduz na operacionalização conjunta destes dois instrumentos. Confrontado a demanda por gerenciamento de grandes volumes de informação com a necessidade de análises espaciais complexas, uma nova era para a gestão de recursos hídricos torna-se possível com os avanços da hidrologia e a integração dos Sistemas de Informação Geográfica - SIG com a Tecnologia da Informação e Comunicação – TIC. Neste contexto, o desenvolvimento do SIGWeb AQUORA aliou os avanços da hidrologia, do geoprocessamento e da gestão da informação com o objetivo de criar um sistema fundamentado na democratização da informação, na unificação dos cadastros de usuários e na automação dos processos de outorga, respeitando os critérios definidos por cada órgão gestor. Inicialmente aplicado à bacia do rio Doce,

com 83.400 km² e três dominialidades de gestão, o trabalho foi dividido em quatro etapas: a) construção da base de dados geográficos; b) regionalização de vazões características considerando a variabilidade do regime hidrológico; c) modelagem do banco de dados para gestão dos usos múltiplos da água; e d) desenvolvimento e avaliação da aplicação SIG na Web. A base geográfica foi construída a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Consistente (MDEHC) e operações matriciais e espaciais envolvendo regras topológicas e redes geométricas. Após consistidas as séries históricas de 61 estações fluviométricas da bacia do rio Doce, foram ajustadas equações de regressão para as regiões hidrologicamente homogêneas e, em seguida, as vazões características sazonais foram espacializadas e ajustadas utilizando as estações como pontos de controle. O modelo de geodatabase Arc Hydro foi reformulado para adequar-se às rotinas operacionais das entidades reguladoras. O sistema cliente-servidor utiliza o SGBDR OracleXE[®] e o gerenciador espacial ESRI[®] ArcGIS Server 9.3.1. As rotinas automatizadas para análise espacial dos processos de outorga e atualização da disponibilidade hídrica foram desenvolvidas com o Web ADF para Java no Eclipse IDE. Como resultado, a base de informações geográficas caracteriza as relações espaciais entre as microbacias e a rede de drenagem, possibilitando a navegação a jusante e a montante. A base de informações hidrológicas incorporou a sazonalidade da disponibilidade hídrica às vazões de referência, flexibilizando a disponibilidade outorgável nos períodos seco, normal e chuvoso. O modelo do banco de dados garante a versatilidade do sistema de informações, pois além de permitir análises espaciais e estudos hidrológicos com o auxílio de SIG, realiza a gestão administrativa dos processos de outorga e ainda serve de base para a aplicação na internet, disponível no endereço: <http://agua.dea.ufv.br/Aquora>. Com as funcionalidades de consulta, cadastro de usuários, solicitação de outorga e controle dos processos, o SIGWeb AQUORA não só tem a capacidade de gerenciar os processos administrativos relativos à outorga e divulgar informações hidrológicas na Internet, mas também analisa o impacto de captações superficiais e de lançamentos de efluentes, atualizando, em tempo real a disponibilidade hídrica em toda a hidrografia. Assim, o sistema constitui uma valiosa ferramenta de gestão para harmonizar a gestão entre as agências reguladoras, padronizar as rotinas operacionais, agilizar os pareceres técnicos e ampliar a participação da sociedade na gestão dos recursos hídricos.

ABSTRACT

MARQUES, Felipe de Azevedo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2010.
Dynamic control system for multiple water use management. Adviser:
Demetrius David da Silva. Co-advisers: Márcio Mota Ramos and Carlos Antônio
Álvares Soares Ribeiro.

Among the instruments of the National Policy of Water Resources, established in Brazil in 1997, the water rights of use and information system stand out as the most important. While the permits for water rights and withdrawal work to ensure the quantitative and qualitative control and the effective rights of access, the information system aims to: collect, validate and distribute information about water resources conditions, and continuously update data about water availability and demand. Faced with the increased demand for managing large volumes of information and the need for complex spatial analysis, a new hydrology combined with Information Technology (IT) provides the integration of Geographic Information Systems (GIS) and Relational Database Management System (RDBMS) functionality, through online platforms for the management of concurrent uses of water. In this context, the development of the multi-user system was based on designing a model and loading the essential hydrological and administrative information for water resources management in a simple, online geodatabase. This geodatabase is available through a Web Service with specific routines to analyze permits processes and permanently update the water availability in river systems. Initially applied to the river Doce basin, with 83,400 skm and located in southeastern Brazil, the work was divided into four stages: a)

construction of the geographic datasets; b) regionalization of seasonal streamflow and accurate GIS spatial interpolation; c)) geodatabase design and loading hydrological and administrative data and information; d) development and evaluation of the GisWeb Service. After validating streamflow records of 61 gauged stations, the average, low and high flows were regionalized with regression equations applied to hydrologic homogeneous regions. The ArcHydro Data Model was reshaped for a geodatabase designed on water management laws and operational routines from environmental agencies that permit multiple uses of water. The multi-user system called SIGWeb AQUORA uses the RDBMS Oracle® XE and the ESRI® ArcGIS 9.3 Server and manager. The automated routines for spatial analysis of procedures for granting and updating water availability have been developed with the Web ADF for Java in Eclipse IDE. As a result, the base of geographic information characterizes the spatial relationships between watershed and drainage network, allowing the upstream and downstream navigation. The hydrological database incorporated the seasonality of low stream flows to the criteria for licensing through flexible bestowable availability during the different periods: dry, normal and wet. The format of the database ensures the versatility of the system information, as well as allows spatial analysis and hydrologic studies with GIS, performs the administrative procedures for granting water rights and still serves as the basis for the application on the Internet, available at address: <http://agua.dea.ufv.br/Aquora>. With the functionalities for user registration, requests for water rights and processes control, the SIGWeb AQUORA, not only has the capability of managing the administrative procedures for the permits and provide hydrological information on the Internet, but also provides the analysis of water withdrawal or discharge impacts, updating water availability throughout the river system. Thus, the AQUORA is a potential water management tool, able to standardize operating routines and expand the society participation on the integrated water management in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que possibilita a vida em todas as suas formas. Em consequência do aumento das pressões antrópicas associadas ao crescimento populacional, intensificação da agricultura e à industrialização, a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos da Terra estão cada vez mais ameaçados. O uso cada vez mais intenso das águas aliado às pressões crescentes nas bacias hidrográficas apontam riscos de superexploração e poluição, exigindo maior eficiência na proteção e administração deste recurso (PNUD, 2006).

Passados mais de dez anos desde a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o Brasil ainda enfrenta grandes dificuldades para aplicação dos instrumentos de gestão definidos em lei. Segundo Marques et al. (2009), mais do que as diferenças nos critérios de outorga de direito de uso das águas, a falta de integração das bases de dados e as análises isoladas submetidas pelas diferentes agências reguladoras, ignorando a presença de outros usuários na mesma bacia, contraria o princípio de adoção da bacia hidrográfica como a unidade de gestão e planejamento e coloca em evidência a necessidade de um sistema computacional para integrar os critérios das políticas federal e estaduais.

Entre os instrumentos da PNRH, instituída pela Lei n.º 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a outorga de direito de uso e o sistema de informações se destacam como os mais importantes na gestão eficiente dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável das bacias hidrográficas. A proposta de um sistema on-line para controle

em tempo real se traduz na operacionalização conjunta destes dois instrumentos, assegurando seus objetivos.

Enquanto a outorga visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água bem como o direito ao acesso, o sistema de informações tem por objetivos: reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos; atualizar permanentemente as informações sobre as disponibilidades e demandas hídricas; e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

De acordo com Vogt (2004), em toda a Europa a gestão dos recursos hídricos agrega numerosos critérios administrativos e técnicos, pois frequentemente os rios e divisores de água ultrapassam as fronteiras dos países, exigindo a harmonização dos dados entre as entidades reguladoras. No Brasil, o desafio é semelhante, pois os Estados, apesar de compartilharem a gestão dos usos em bacias hidrográficas, adotam critérios técnicos e administrativos distintos e mantêm bases de informação estáticas que não se comunicam entre si.

Neste contexto, as agências reguladoras precisam desenvolver sistemas inteligentes para o gerenciamento de grandes quantidades de dados, capazes de conectar, recuperar e analisar informações de diferentes bancos de dados mantidos pelas autoridades estaduais. Um aspecto central nessas aplicações, entretanto, é a variação espacial das informações e a dinâmica das variáveis e indicadores relevantes à gestão das águas. Por esta razão que uma nova era para a gestão dos recursos hídricos torna-se possível com os avanços da Hidrologia e a recente integração dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

Segundo Masser (2005), a necessidade por Infraestrutura de Dados Espaciais (SDI) está cada vez mais presente no mundo, na medida em que cada vez mais organizações, de vários países, utilizam elementos geográficos e relacionamentos espaciais para representar algum tipo de conhecimento. Em paralelo, o notável crescimento no uso da TIC fornece ferramentas para aumentar o intercâmbio de informações, assistir os profissionais com aplicações na Web para administração de grandes volumes de informação e aumentar o acesso dos cidadãos às informações sobre a situação dos recursos hídricos. Assim, pressupõe-se que o próximo passo na gestão das águas deverá se dar em ambiente de rede com uma interface GIS.

Neste caso, um Sistema de Informações Geográficas com acesso Web (SIGWeb) pode ser concebido como uma ferramenta que integra o armazenamento e a divulgação de inúmeras informações sobre recursos hídricos, produzidas e elaboradas por diversas entidades de pesquisa e gestão e ainda, ao associar a este banco de dados uma arquitetura administrativa baseada em regras capazes de analisar e gerenciar os pleitos de outorga, é possível harmonizar a administração dos usos nos diferentes domínios de gestão e manter o cenário de desenvolvimento das bacias hidrográficas permanentemente atualizado.

O desenvolvimento do SIGWeb denominado AQUORA aliou os avanços da hidrologia, do geoprocessamento e da gestão da informação com o objetivo de criar um sistema computacional fundamentado nos conceitos da democratização da informação, de unificação dos cadastros de usuários de água e na automação dos processos de outorga, respeitando os critérios definidos por cada órgão gestor de recursos hídricos, que muitas vezes compartilham a gestão em bacias hidrográficas.

Vale ressaltar que um sistema de gestão se difere dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), pois, mais que disponibilizar informações para a tomada de decisão e analisar os impactos das intervenções, precisa ser dinâmico e integrar as rotinas técnicas e administrativas. Deve, também, manter atualizado o cenário de utilização dos recursos e servir como instrumento de controle dos processos de outorga. No contexto da Hidroinformática, sistemas de gestão recebem a denominação de sistemas de Controle em Tempo Real (RTC), pois além de permitir consultas e avaliar impactos, são capazes de gerenciar, com eficiência, a dinâmica das informações.

Dessa forma, apresenta-se o desenvolvimento do SIGWeb AQUORA - Sistema de Controle Dinâmico para Gestão dos Usos Múltiplos da Água, sendo discutidos os métodos e resultados desde a construção da base de dados hidrológicos até a validação das funções em ambiente SIG na Web. Os métodos desenvolvidos visam aperfeiçoar a eficiência de um sistema de informações, no que se refere à qualidade das informações contidas no banco de dados e à eficiência: na avaliação dos impactos das intervenções e na gestão das outorgas de uso da água.

A metodologia desenvolvida é aplicável a qualquer bacia e sugere a criação de novos sistemas capazes de expandir e modernizar a participação dos usuários e o controle sobre os usos múltiplos da água. Como demonstração é apresentada uma aplicação do sistema na bacia do rio Doce, onde atuam diferentes gestores.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Desenvolver um sistema multi-usuário (cliente-servidor) para gestão dos usos múltiplos da água integrando o instrumento de Outorga aos Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos.

Objetivos específicos:

- a) Construir uma base de informações geográficas para dar suporte às análises hidrológicas e espaciais no desenvolvimento e na aplicação do sistema de controle em tempo real;
- b) Obter modelos regionais para a estimativa das vazões mínimas, máximas e médias considerando a variabilidade do regime de vazões e avaliando o impacto da sazonalidade na gestão dos usos múltiplos da água;
- c) Desenvolver e documentar um modelo de banco de dados específico para armazenar e gerenciar os temas geográficos e as informações necessárias à gestão dos usos múltiplos da água;
- d) Desenvolver uma aplicação de Sistema de Informação Geográfica com acesso Web para visualização de temas espaciais, consulta de informações hidrológicas e para a gestão dos usos múltiplos da água;
- e) Avaliar o potencial de aplicação do sistema para análise dos pleitos de outorga e atualização da disponibilidade hídrica na bacia do rio Doce, a partir de simulações e da ativação das outorgas já concedidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Gestão de recursos hídricos

A água apresenta uma situação bastante peculiar dentre os recursos ambientais: é essencial à vida. Não existe ser vivo no planeta capaz de sobreviver sem ela. É um pré-requisito para saúde e bem estar humano assim como para a preservação do meio ambiente. Entretanto, os condicionantes naturais como a dinâmica espacial e temporal da disponibilidade hídrica aliados aos ofensores antrópicos como o crescimento demográfico, a demanda por alimentos, a dinâmica econômica e a necessidade por infraestrutura científica, tecnológica e institucional, refletem no contexto mundial onde duas em cada dez pessoas não têm acesso à água potável (FAO, 2007). Segundo o relatório das Nações Unidas “Water for people, water for life”, em 2025 dois terços da população mundial poderá estar vivendo sob condições de estresse hídrico (GWP, 2003).

Se por um lado o Brasil é, reconhecidamente, detentor de uma das maiores reservas hídricas do planeta, a magnitude desse patrimônio é revertida na medida da responsabilidade dos brasileiros quanto a sua conservação e uso sustentável. Aproveitando a oportunidade de desenvolvimento econômico confirmada pela meta das Nações Unidas sobre a segurança alimentar (UN, 2000), no Brasil, mais do que a distribuição irregular das águas, as demandas para agricultura, pecuária e a super-exploração dos solos e dos recursos florestais, frequentemente têm resultado em conflitos entre usuários e ameaçam a disponibilidade hídrica para as futuras gerações.

Além dos impactos negativos sobre a quantidade e o regime de variação dos recursos hídricos, a deterioração da qualidade das águas pela poluição também tem influenciado a utilização em seções a jusante, oferecendo riscos à saúde humana e ao funcionamento dos ecossistemas aquáticos, reduzindo a disponibilidade efetiva e aumentando a competição pelo recurso com a qualidade adequada aos usos.

O conceito de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, em contraste com a tradicional gestão fragmentada das águas, aborda fundamentalmente a administração conjunta das demandas e ofertas hídricas. Dessa forma, no contexto do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP, 2004) essa integração aborda duas categorias:

- O sistema natural, com os serviços ambientais de importância crítica para a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos; e
- O sistema antrópico, que determina os usos dos recursos, interfere no ciclo hidrológico e compromete a qualidade das águas, e ainda é responsável por definir as prioridades do desenvolvimento.

A lição é que não se pode tratar isoladamente os dois componentes, caso se espere encontrar soluções duradouras para os problemas atuais. As ações envolvidas na gestão dos recursos hídricos precisam ocorrer em ambas e entre as categorias, levando em consideração a variabilidade dos elementos no tempo e no espaço. Por esta razão, são crescentes os questionamentos sobre a legitimidade e a eficiência do desenvolvimento das bacias hidrográficas e da gestão dos recursos hídricos, na forma fragmentada e desordenada que vem sendo praticada pelas instituições públicas. Assim, o problema central é causado tanto pela ineficiência da governança, tanto pela crescente competição pelos recursos finitos.

Nas políticas de recursos hídricos, meio ambiente e irrigação, são comuns instrumentos de regulação do componente sócio-econômico-político, mas carecem de medidas práticas para administração do componente natural. Outro fator alarmante, é que as agências reguladoras, na maioria dos casos, carecem de informações precisas e de ferramentas eficientes para aplicar os instrumentos definidos em Lei. A proposta do sistema de controle em tempo real para gestão dos usos múltiplos da água oferece uma solução robusta, baseada em métodos cientificamente comprovados, capaz de suprir esta deficiência e possibilitar a aplicação dos esforços, tempo e, principalmente, dos investimentos em atividades mais complexas e específicas da gestão das águas.

3.1.1. Contexto legal

O Brasil, que já tinha um histórico de medidas administrativas e legais desde 1934, com a promulgação do Código das Águas, incrementou estas iniciativas em janeiro de 1997 com a Lei Federal nº 9.433, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH. Esta lei tem como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, seu reconhecimento como um bem finito, vulnerável e de valor econômico e a necessidade da gestão descentralizada e participativa deste recurso (BRASIL, 1997).

A lei das águas, que foi inspirada no modelo francês de gestão (TARQUI e SILVA, 2004), relata em seu Artigo 1º, inciso IV, que “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”. O Artigo 7º, sobre o planejamento de recursos, no inciso III, ressalta o seguinte objetivo mínimo do planejamento: “balanço entre disponibilidades e demandas dos recursos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”. No Artigo 26, sobre princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, o inciso I estabelece a “descentralização da obtenção e produção de dados e informações”, o inciso II, a “coordenação unificada do sistema”, e o, inciso III, o “acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade”.

Os fundamentos dessa política e os instrumentos por ela estabelecidos constituem não apenas um desafio político, econômico, social, ambiental e cultural, mas também um desafio de conhecimentos. A Agência Nacional de Águas, por meio da Superintendência de Tecnologia e Capacitação, afirma que a implementação da política defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos em relação aos recursos hídricos, e completa que a demanda na área do desenvolvimento científico e tecnológico no setor é tão grande, que estas atividades podem ser consideradas um instrumento adicional de gestão (ANA, 2009a).

Em verdade, passados quase quinze anos, o Brasil ainda encontra obstáculos em busca de uma gestão eficiente por meio da aplicação dos instrumentos estabelecidos pela Lei, a fim de atender os princípios da PNRH. É preciso utilizar as inovações científicas nos processos de tomada de decisão e na formulação de políticas públicas para transferir conhecimentos e facilitar a interação entre ciência e sociedade.

Tucci (2006) ressalta a importância da criação de instituições como a Agência Nacional das Águas (ANA) e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), e alerta que este arcabouço institucional é a condição necessária, mas não suficiente, para alcançar o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos, pois o marco institucional é um processo e não o fim em si próprio. De fato, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (MMA, 2006), no contexto das metas do programa, destaca a urgência da consolidação dos requisitos operacionais para consistência dos arranjos institucionais, além das fontes de receitas, indispensáveis à sua viabilidade executiva.

Sem dúvida, houve grandes avanços em direção à gestão integrada, como a criação de Comitês de Bacias; o Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO), criado no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia, que incentiva maior formação de pesquisadores e pesquisas no setor; e o significativo aumento da percepção, por parte da sociedade, da necessidade de gestão da água (TUCCI, 2006).

Mas, apesar dos avanços, alguns desafios ainda permanecem e os crescentes conflitos ainda ocorrem por imprevisão, ou seja, devido ao planejamento inadequado, que em geral traduz a inexistência de informações confiáveis e de ferramentas para avaliação e monitoramento da situação dos recursos hídricos. Desafios estes, associados a dois instrumentos das políticas nacional e estaduais: a outorga de direito de uso e o sistema de informações sobre recursos hídricos.

Além da carência por conhecimento e infraestrutura em hardware, software e pessoal, destaca-se entre os desafios da gestão dos usos múltiplos a questão da dominialidade. Como uma bacia possui corpos d'água de diferentes dominialidades (rios federais e rios estaduais) há uma assimetria na implantação da outorga e cobrança pelo uso dos recursos compartilhados (THOMAS, 2006). Como, então, evoluir a gestão dos usos múltiplos da água se as gestões são fragmentadas?

Há a necessidade de sistemas unificados para gestão de recursos hídricos, baseados nos preceitos da PNRH. Sistemas de informação capazes de harmonizar a gestão entre as agências reguladoras e integrar o conhecimento das entidades do SINGREH e destas com os órgãos e as entidades dos Sistemas Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos. Isto é possível aliando técnicas já conhecidas do geoprocessamento e da hidrologia, a fim de implementar tecnologias de informação voltadas para as análises dos impactos das intervenções e para a disponibilização de dados e informações de interesse dos agentes públicos, privados e sociais.

3.2. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos

Segundo Pompeu (1999), a manifestação de interesse da administração pública na gestão do uso das águas para múltiplos fins, expressa no Código das Águas, foi confirmada pela Lei 9.433/1997 que estabelece a outorga de direito de uso como o instrumento que tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos das águas superficiais e subterrâneas, e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. O Plano Nacional de Recursos Hídricos (MMA, 2006) acrescenta que a emissão de outorgas também pode ser trabalhada na perspectiva de garantir vazões para a manutenção dos ecossistemas.

A outorga é, assim, o ato administrativo pelo qual a autoridade outorgante concede ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado e de acordo com os termos e as condições expressas no ato. Vale ressaltar que a outorga não representa alienação (venda) das águas, posto que são inalienáveis, porém tem o condão de separar das águas genericamente consideradas como bem de uso comum do povo a parcela outorgada, conferindo prioridade ao outorgado, passível de suspensão nos casos previstos no artigo 15 da Lei nº 9.433/1997.

Segundo Kelman (apud MACHADO, 2001), a outorga visa a dar garantia ao usuário outorgado quanto à disponibilidade de água como insumo básico do processo produtivo. Salienta, também, que a outorga tem valor econômico para quem a recebe, na medida em que oferece garantia de acesso a um bem limitado.

A Lei 9.433/1997 determina que estão sujeitos à outorga os seguintes usos:

- I. Derivação e captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- II. Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III. Lançamento, em corpo de água, de esgotos e resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV. Aproveitamento de potenciais hidrelétricos;
- V. Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Em seu artigo 12, § 1º, a Lei também enumera os usos que não dependem de outorga, ou seja, os destinados ao abastecimento de pequenos núcleos rurais, as derivações, as captações e as acumulações de água, como também os lançamentos de efluentes considerados insignificantes. Vale ressaltar que mesmo os usos dispensados de outorga são passíveis de cadastramento.

No contexto da gestão descentralizada, a responsabilidade pela efetivação do instrumento de outorga é compartilhada pela autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal, em função do domínio administrativo ao qual estão submetidas às águas. Quanto às águas de domínio da União, a competência para emissão das outorgas é da Agência Nacional de Águas (ANA), podendo ser delegada aos Estados e ao Distrito Federal. Nos rio de domínio dos Estados, a competência para emitir outorgas é da respectiva entidade gestora de recursos hídricos (SILVA e MONTEIRO, 2001).

Embora tenha havido grandes avanços no setor, a gestão deste recurso público continua fragmentada entre as dominialidades e os processos de outorga centralizados nas entidades gestoras estaduais, quando a bacia hidrográfica deveria ser a unidade de planejamento e gestão, e as informações disponíveis à sociedade.

Para que os órgãos gestores possam analisar os pleitos de outorga, de forma segura e eficaz, considerando as diretrizes pré-estabelecidas, é necessário ter conhecimento da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica, sistematizar o processamento das informações referentes aos usos múltiplos, e avaliar os impactos gerados a partir das intervenções com base nas demandas existentes em toda a bacia hidrográfica (a montante e a jusante do aproveitamento).

Além de preencher os requisitos anteriores, a relevância de um sistema on-line para gestão dos usos múltiplos é apoiada em diversos trechos da legislação. O Art. 10 estabelece que “A autoridade outorgante deverá assegurar ao público o acesso aos critérios que orientaram as tomadas de decisão referentes a outorga”. O Art 12, § 1º, estabelece que “As vazões outorgadas poderão ficar indisponíveis para outros usos considerando o balanço hídrico e a capacidade de autodepuração para o caso de diluição de efluentes” sugerindo a operacionalização da imobilização hídrica. E o Art. 23, § 1º, estabelece que “Fica facultada às autoridades outorgantes a adoção de sistema eletrônico para requerimento das outorgas, desde que seja assegurada sua disponibilidade a qualquer tempo, para fins de verificação e fiscalização”.

3.2.1. Vazões mínimas de referência e critérios de outorga

Geralmente, a vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. A partir dessa condição crítica é que são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os mais prioritários, mantenham em operação os usos outorgados.

No Brasil, apesar dos critérios utilizados para avaliação dos pedidos de outorga serem bastante diversificados, muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e recorrência de dez anos ($Q_{7,10}$) ou a vazão associada às permanências de 90% (Q_{90}) ou 95% (Q_{95}) como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizado apenas um percentual destas vazões mínimas de referência (ANA, 2007a).

Na Figura 3.1 são apresentados os critérios para outorga referentes à captação de águas superficiais estabelecidos pelos diferentes órgãos gestores de recursos hídricos (ANA, 2005a). Informações adicionais encontram-se no Apêndice A.

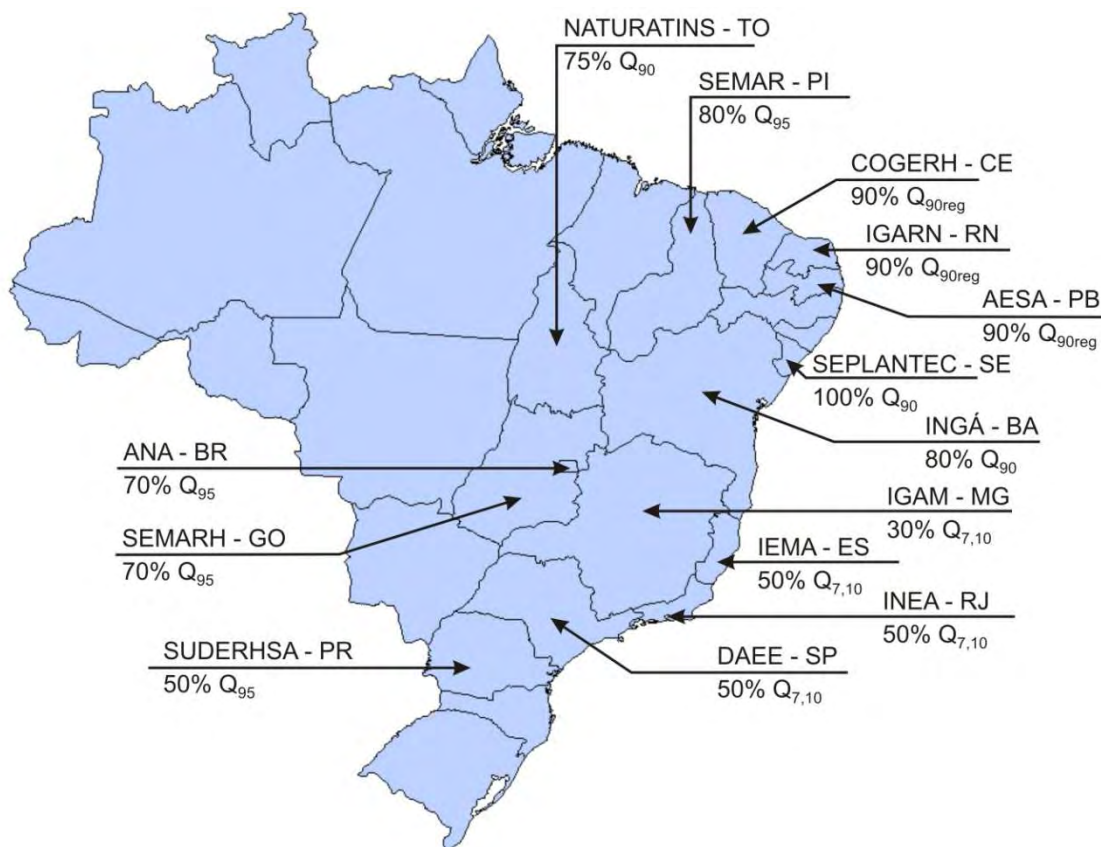


Figura 3.1. Critérios para outorga em águas superficiais estabelecidos por diferentes órgãos gestores do Brasil (adaptado de ANA 2005a).

Observa-se que a dominialidade dos cursos d'água pode fragmentar a gestão, uma vez que as instituições adotam diferentes vazões de referência, percentuais outorgáveis e formulários para requerimento de outorga independentes, quando a bacia hidrográfica é que deveria ser a unidade de planejamento e gestão.

Em geral, os critérios do procedimento utilizado no Brasil incluem, além das vazões outorgáveis estabelecidas por um percentual aplicado às vazões mínimas de referência, limites para a vazão máxima outorgável para cada usuário individual e para as vazões consideradas insignificantes. Porém, como as vazões de referência anuais são, de fato, muito reduzidas, sendo outorgado apenas uma fração delas, o que ocorre na prática, são vazões bem maiores ao longo do ano (SILVA e RAMOS, 2001).

É nesse contexto que Marques et al. (2009) afirmam que, atualmente, outro ofensor à aplicação da PNRH é a adoção de vazões mínimas de referência que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica, pois este valor anual pode se tornar restritivo em bacias onde há maior demanda de água, principalmente nos períodos chuvosos quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada. Ressalta-se que um dos objetivos da outorga é garantir o direito dos cidadãos ao acesso e sendo a água um bem de domínio público, sua gestão deve ser eficiente e proporcionar o desenvolvimento sustentável dos empreendimentos produtivos.

Buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, os estudos realizados por Catalunha (2004) revelaram que a utilização do período trimestral para a determinação das vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga quando comparada com as vazões obtidas para o período anual. De modo semelhante, Silva et al. (2009) e Marques et al. (2009) obtiveram vazões mínimas de referência com base nos períodos anual e trimestral, concluindo que o uso do período trimestral, normalmente, proporciona considerável aumento na vazão de referência, flexibilizando o processo de outorga, principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas.

Com a consideração da sazonalidade na oferta de água, torna-se cada vez mais essencial a existência de informações hidrológicas estruturadas e, sobretudo, de órgãos gestores capacitados com sistemas de gestão informatizados para processar tal conhecimento, subsidiando análises e decisões mais adequadas.

A necessidade por sistemas computacionais para analisar os impactos das intervenções e manter atualizada a disponibilidade hídrica outorgável fica evidente também na gestão das outorgas para lançamento de efluentes. Embora constitua um dos principais instrumentos para redução e controle da poluição de recursos hídricos, a outorga para diluição de efluentes em corpos de água, apesar de legalmente instituída, apresenta inúmeras dificuldades para sua aplicação.

A Lei das águas estabelece apenas que toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado. Segundo Azevedo et al (2003), a emissão da outorga para este fim está atrelada, entre outros fatores, à definição de critérios para avaliação dos pleitos de outorga e ao desenvolvimento de ferramentas adequadas para análise integrada dos aspectos de quantidade e qualidade da água, conforme preconizado no artigo 3º da Lei Federal 9.433/97.

Salim et al. (2009) observam que no estabelecimento de critérios de análise de outorga qualitativa ocorre uma discrepância das formas de quantificação apresentadas pela Lei Federal 9.433/97 e pela Resolução nº 16/01 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Enquanto na primeira a outorga está disposta em termos de lançamento de efluentes, a segunda traz o conceito de “vazão de diluição”, definida como a quantidade de água necessária para a diluição de determinada carga poluente (RIBEIRO e LANNA, 2003).

Considerando que cabe à outorga autorizar a utilização da água do corpo receptor para diluição de efluentes e ao licenciamento ambiental autorizar a atividade de lançamento propriamente dita, observa-se a tendência de utilização do conceito de vazão de diluição no estabelecimento de critérios de avaliação dos pleitos de outorga qualitativa (SALIM et al., 2009). Ressalta-se que a vazão de diluição para determinado poluente não conservativo poderá ser reduzida ao longo do curso de água em função de sua capacidade de autodepuração (Ex.: DBO).

A sugestão de Kelman (1997) é que como existem muitos parâmetros, podem-se fazer balanços para os principais poluentes e considerar apenas a maior demanda qualitativa. ANA (2009b) recomenda que esta vazão de diluição seja comparada com a vazão de referência na seção do lançamento, mas existe indefinição sobre a consideração da porção outorgável ou remanescente e sobre a variabilidade do potencial de autodepuração dos cursos d'água (SALIM et al, 2009) .

3.3. Sistema de informações sobre recursos hídricos

Segundo a legislação federal, são princípios básicos para o funcionamento do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos: a descentralização da obtenção e produção de dados e informações; a coordenação unificada do sistema; e o acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade (BRASIL, 1997). Atendendo ao que preconiza a lei federal, as leis estaduais análogas, que instituem as Políticas Estaduais de Recursos Hídricos, também prevêm o Sistema de Informações como um instrumento estratégico para a gestão e o planejamento dos recursos hídricos em domínios estaduais.

O Sistema de Informações, preconizado em Lei, tem como objetivo principal reunir, sistematizar e disponibilizar dados e informações que caracterizam as condições hídricas das bacias em termos de quantidade e qualidade da água para os diversos usos (ANA, 2007b). Deve, ainda, atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos e por esta razão, o Sistema de Informações de Recursos Hídricos vai além de um Sistema de Informações Hidrológicas, abrangendo também o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) e rotinas automáticas para o cálculo do balanço hídrico.

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos, atual SRHU, do Ministério do Meio Ambiente, para gestão segura e eficaz do instrumento outorga é necessário: conhecer a disponibilidade hídrica do manancial; levantar as demandas atuais e futuras da bacia, a fim de que sejam realizados os balanços hídricos necessários e avaliar, quanto à aceitabilidade, as interferências quantitativas e qualitativas pretendidas e/ou existentes; considerar as diretrizes para outorga (critérios de outorga, enquadramento, restrições de uso, etc); e adotar sistemática técnica e administrativa para gestão das informações e avaliação dos pleitos de outorga (MMA, 2006).

Confrontando as demandas para operacionalização da outorga com os objetivos do sistema de informação sobre recursos hídricos percebe-se que uma aplicação com acesso remoto via Web, baseado em SIG e TI, pode associar aos elementos geográficos: as variáveis hidrológicas e administrativas; e oferecer funções capazes de considerar os diferentes critérios na concessão de outorgas, além de descentralizar a gestão incorporando transparência e promovendo maior participação pública na gestão dos recursos hídricos.

É natural o questionamento sobre a quem compete a responsabilidade pela administração de tais sistemas on-line, mas o Plano Nacional de Recursos Hídricos estabelece claramente que cabe às entidades outorgantes – ANA e entidades estaduais – organizar, implantar e gerenciar o Sistema de Informações, nos âmbitos nacional e estadual, respectivamente. Já no âmbito da bacia hidrográfica, caberá às Agências de Água gerir os sistemas. Portanto, não há dúvida que as bases de dados devem ser unificadas e que os sistemas precisam comunicar-se entre si.

Enquanto algumas entidades insistem em ferramentas de gestão estáticas, com bancos de dados elaborados em aplicativos não condizentes com o volume de informações e análises espaciais necessárias como Excel ou Access, a Agência Nacional de Águas incentiva o desenvolvimento de sistemas de gestão baseados em conhecimentos científicos e uma estrutura cliente/servidor para manipulação de informações espaciais e cadastrais via intranet e internet (ANA, 2007c).

Responsável por implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (CNRH, 2000), a ANA confirma que os sistemas com forte apelo a Tecnologia da Informação servirão de referência para aplicação dos instrumentos de outorga, enquadramento, cobrança e fiscalização dos usos (ANA, 2009c). Conforme apresentado na Figura 3.2, atualmente, vários Estados já possuem Sistemas de Informação, sendo este o primeiro passo para o desenvolvimento de sistemas de apoio que auxiliem também na gestão dos usos múltiplos da água.

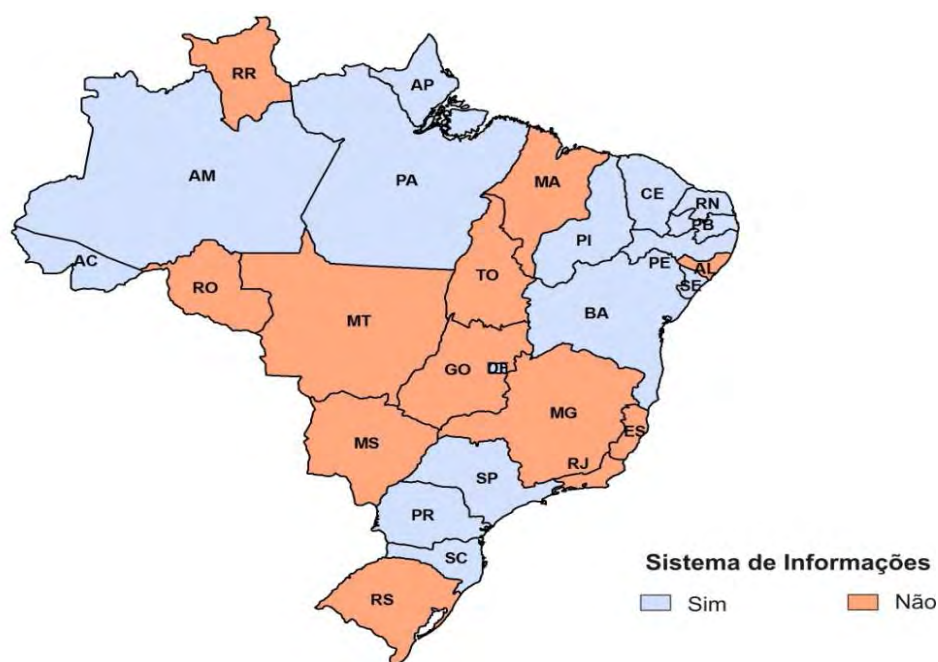


Figura 3.2. Sistemas de informações nos Estados (ANA, 2009c).

3.3.1. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH

A Agência Nacional de Águas (ANA), obedecendo aos fundamentos, objetivos e diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos, implantou e gerencia, em nível Nacional, o sistema de informações denominado SNIRH. Segundo Sousa et al. (2009), o SNIRH é uma ferramenta computacional integrada e robusta, que traduz para a realidade a gestão compartilhada prevista em Lei.

Segundo os autores, que descreveram o conceito e a arquitetura operacional do SNIRH (SOUSA et al., 2009), o sistema foi concebido para prestar informações sobre recursos hídricos e sobre a gestão desses recursos no Brasil. Portanto, apesar de apoiar a gestão dos usos múltiplos em nível nacional, atualmente o SNIRH não desempenha a função de controle, já que a gestão é descentralizada e compartilhada com os Estados. A expectativa é que este controle seja realizado pelas entidades gestoras estaduais e que as bases de informação se comuniquem, não sendo a descentralização da gestão um empecilho à unificação do sistema.

A Gerência de Tecnologia da Informação (GETEC) da Superintendência de Gestão da Informação (SGI) da ANA declara que o SNIRH é composto por cinco elementos: recursos humanos; infraestrutura computacional; plataforma de integração; base de dados georreferenciada; e aplicações computacionais. É importante destacar estes elementos e observar que a aplicação é apenas um componente em um sistema de informações.

A estrutura implementada na ANA para operacionalização do SNIRH deve nortear o desenvolvimento nos Estados, pois ao contrário de um programa computacional (software), um sistema de informações requer uma arquitetura operacional onde mais importante que os investimentos em máquinas e softwares, é a qualidade na produção das informações e, principalmente, a capacitação e a organização dos profissionais para dar sustentabilidade às funções do sistema.

Marques (2009), durante o diagnóstico das demandas por infraestrutura do Estado do Tocantins para implantação do sistema de informações em recursos hídricos, verificou requisitos comuns em outros Estados e destacou que é um risco elevado implementar uma infraestrutura tecnológica e não estabelecer uma estratégia organizacional para garantir a produção descentralizada de informações e uma estrutura operacional para promover a continuidade e a expansão do sistema.

Neste princípio, a ANA descentraliza o processo ao compartilhar com os órgãos estaduais a implantação e posterior gestão dos sistemas de informações (ANA, 2007b). Quanto à participação da sociedade na construção conjunta do SNIRH, destacam-se as pesquisas pela comunidade científica, beneficiado pelo fundo setorial CT-HIDRO. A Figura 3.3 ilustra a estratégia da União para apoio ao SNIRH.

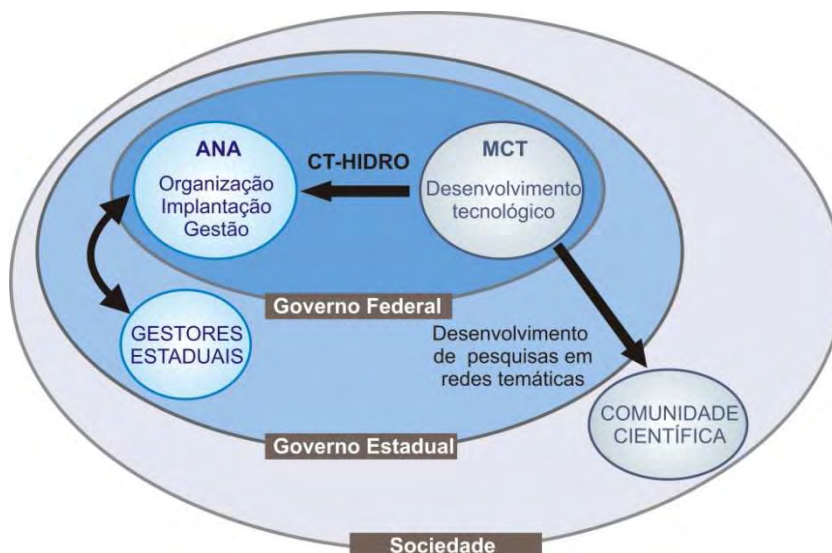


Figura 3.3. Estratégia da União para dar continuidade ao SNIRH (ANA, 2007b).

A importância de uma estrutura operacional é evidenciada pela organização dos subsistemas integradores do SNIRH (Figura 3.4). Segundo a Agência, esta organização é responsável pela dinâmica necessária ao sistema para promover a gestão compartilhada com os demais órgãos intervenientes (SOUSA et al., 2009).

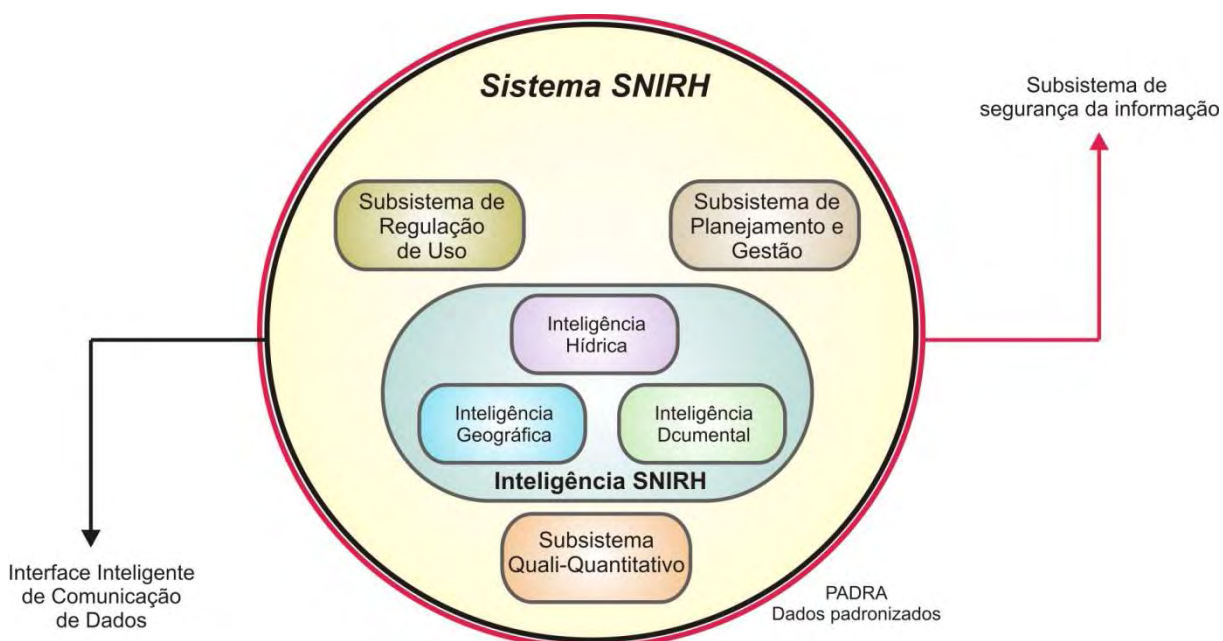


Figura 3.4. Subsistemas finalísticos e integradores do SNIRH (SOUSA et al., 2009).

3.4. Sistema de Informações Geográficas para gestão de recursos hídricos

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas automatizados capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para análises e processamentos (CÂMARA et al, 1996). Estes sistemas começaram a ser desenvolvidos no início das décadas de 80 e 90 como simples sistemas stand-alone, que não tinham a capacidade de gerenciar dados de forma eficiente (FERREIRA et al, 2003).

Mais tarde, bancos de dados espaciais ou geográficos foram incorporados aos SIGs com o intuito de armazenar e gerenciar informações georreferenciadas, fornecendo suporte a consultas e manipulações nos dados espaciais (TANAKA, 2007). Recentemente, com a integração dos SIGs com a Tecnologia da Informação (TI), a Web despontou como uma das mídias mais importantes e preferidas para disseminação do conhecimento geográfico, possibilitando a gerência remota de grandes volumes de informação através de aplicações com conteúdos dinâmicos, extraídos de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Geográficos (SGBDG) e disponibilizados através de Portais Espaciais (SELWOOD & TANG, 2005).

Os SIGs trouxeram um novo conceito para a utilização e disponibilização de dados. Os portais espaciais representam a ponta na evolução das tecnologias GIS. O termo “portais espaciais” descreve uma gama de serviços e aplicações para acessar informações com alguma referência geográfica. Segundo Dangermond (2005), presidente da Environmental Systems Research Institute (ESRI), os serviços geográficos na internet permitem que usuários, organizações e instituições colaborem e compartilhem informações e aplicações entre elas e com o público.

No âmbito da gestão de recursos hídricos, é fundamental o conhecimento das dinâmicas espaciais (UNESCO-IHP, 1996). A concepção integrada da gestão de recursos hídricos certamente inclui a identificação dos conflitos entre montante e jusante (GWP, 2003). Os usos consuntivos a montante reduzem a disponibilidade hídrica a jusante; as cargas poluidoras lançadas a montante degradam a qualidade das águas a jusante; mudanças no uso dos solos das cabeceiras podem afetar a recarga subterrânea e a sazonalidade das vazões superficiais; e medidas para controle de enchentes a montante podem minimizar os impactos das cheias a jusante.

Interferências cruzadas como estas precisam ser consideradas no processo de gestão dos usos múltiplos por meio das relações espaciais que existem entre os empreendimentos e os elementos naturais das bacias hidrográficas. O reconhecimento da vulnerabilidade de jusante em relação às atividades a montante é imperativo na avaliação dos processos de outorga para gestão dos usos múltiplos.

Como resultado, a gestão dos recursos hídricos avançou graças à utilização de SIG e das tecnologias correlatas, como a Tecnologia da Informação (TI) (MAIDMENT e DJOKIC, 2000). Um número crescente de aplicações apoiadas em SIG e TI surge devido à variabilidade dos recursos no tempo e no espaço, e pelo grande número de variáveis que precisam ser consideradas (LYON, 2003).

Destacando a bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento, algumas tendências ou padrões em SIG podem ser observados: a representação das bacias por meio de Modelos Digitais de Elevação Hidrograficamente Consistentes (MDEHC); a utilização do aplicativo e modelo de banco de dados Arc Hydro e a otto-codificação de bacias hidrográficas.

Devido à disponibilização da base global de elevação registrada pela missão de mapeamento do relevo terrestre (SRTM), um número crescente de profissionais ligados à gestão de recursos hídricos utiliza os MDEs hidrograficamente condicionados para extrair características físicas das bacias hidrográficas e aplicá-las em estudos hidrológicos como, por exemplo, na regionalização de vazões mínimas (WARNER et al., 2003, MARQUES et al., 2007).

Os componentes da aplicação Arc Hydro (Data Model e Tools) merecem destaque, pois através de rotinas pré-estabelecidas, providenciam a estrutura básica para bancos de dados geográficos e uma variedade de utilitários que facilitam as análises frequentemente utilizadas na área de recursos hídricos (MAIDMENT, 2002). O Arc Hydro fornece as funcionalidades iniciais para o desenvolvimento de sistemas de informação sobre recursos hídricos, mas estes ainda devem agregar estruturas e funções adicionais de bancos de dados, específicas para cada aplicação.

Já a ottocodificação de bacias hidrográficas de Pfafstetter (1989) oferece alguns benefícios aos sistemas de informação sobre recursos hídricos, como a economia de dígitos, a representação hierárquica das bacias devido à topologia embutida nos dígitos, a possibilidade de detalhamento em escalas maiores e a fácil implementação por programação (MENEZES e GALVÃO, 2005).

3.5. Tecnologia da informação para gestão de recursos hídricos

A Tecnologia da Informação (TI) pode ser definida como o conjunto de todas as atividades e soluções providas por recursos de computação (WIKIPÉDIA, 2010). Na verdade, a “informática” se transforma em “tecnologia da informação” quando integra recursos computacionais para armazenamento, produção e uso das informações ou do conhecimento (REZENDE, 2002).

Inicialmente associada ao processamento centralizado de dados, em meados de 1970 a introdução dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) possibilitou a criação de bibliotecas de informação. A partir de então, os microcomputadores e as ferramentas de TI evoluíram em busca da descentralização gerencial e integração dos sistemas (FOINA, 2006). Na década de 1990, por meio dos avanços em telecomunicações foram eliminadas as barreiras por local e tempo e os computadores se tornaram terminais de acesso ao conhecimento globalizado pela TI (KENN, 1996). A partir de 2000, a TI ultrapassou a barreira do mundo dos negócios e avançou em mercados diversos que necessitam de gerência de grandes volumes de informação. Atualmente, percebe-se a mútua aproximação dos avanços em TI e SIG com a integração da abordagem geográfica aos SGBD.

Se por um lado os Sistemas de Informação Geográfica evoluíram para bancos de dados geográficos com domínios, subtipos, versões e relacionamentos, os SGBD, hoje relacionais (SGBDR), contribuem para uma nova geração de aplicativos geográficos, pois são capazes de gerenciar, de forma eficiente, dados espaciais com suas geometrias e topologias a exemplos das extensões Spatial do ORACLE (MURRAY, 2003) e PostGIS do PostGreSQL (PostGIS, 2008).

Devido ao caráter integrador e informativo, recentemente os sistemas de informações despertaram grande interesse nas entidades gestoras e setores usuários dos recursos hídricos, tendo sido objeto de freqüentes licitações públicas (ANA, 2007c; SEMA-MT, 2007; SERLA-RJ, 2007; SRHMA-TO, 2009). Frente à demanda por gerenciamento de grandes volumes de informações e à necessidade de análises espaciais complexas, o setor de TI integra os SIGs às funcionalidades dos SGBDR, estendendo os portais espaciais para serviços de gerenciamento de informações geográficas na Web.

A solução tecnológica da ANA para gestão dos recursos hídricos e as propostas em desenvolvimento em alguns Estados da Federação abordam a modelagem de bancos de dados geográficos e a disponibilização do conhecimento por meio de portais espaciais. A arquitetura implantada na ANA (Figura 3.5) deve nortear o desenvolvimento de sistemas estaduais compatíveis e integrar todas as instituições que atuam nesta área, como: Comitês de Bacias e Agências de Águas, Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e Comissões Técnicas, entre outros.



Figura 3.5. Infraestrutura computacional do servidor de dados e mapas (ANA, 2007b).

Nesta arquitetura modelo, a base de dados geográfica é implementada por meio do SGBDR Oracle com extensão Oracle Spatial e gerenciador espacial ESRI ArcSDE 9.X. O SIG Web utiliza a tecnologia Visual Studio, padrões do consórcio W3C e o servidor de mapas ESRI ArcIMS como software para publicação dos dados geográficos (ANA, 2007c). Nesta estruturação os dados são armazenados em categorias específicas, que permitem a disponibilização do conteúdo aos gestores através da Intranet e aos demais usuários por meio da Internet.

Apesar das especificações da ANA, existem alternativas para a integração de SIG com os SGBDR, variando as funcionalidades da ferramenta desenvolvida. Por outro lado, a interoperabilidade dos sistemas é garantida principalmente pela adoção de padrões abertos, que são soluções analisadas e aprovadas pela comunidade de programação orientada a objetos para problemas usuais no desenvolvimento de aplicações (UCHOA e FERREIRA, 2008). Na área de SIGWeb e TI, este conceito continua sendo válido, através das especificações de padrões abertos como o Open Geospatial Consortium (OGC, 2008) e o World Wide Web Consortium (W3C, 2008).

3.5.1. Sistemas informatizados de apoio à gestão de recursos hídricos

Para a gestão e planejamento dos recursos hídricos, são necessárias análises espaciais e temporais de um grande volume de informações: hidrológicas, geográficas e administrativas. Por isso, a elaboração dos sistemas computacionais, com o objetivo de dar apoio à gestão de recursos hídricos se mostra fundamental, pois possibilitam avanços significativos no entendimento do comportamento hidrológico das bacias, na gerência de grandes volumes de informação e no processamento das interferências antrópicas (MMA, 2000).

Vale ressaltar que um sistema para gestão dos usos múltiplos da água se distingue dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD), pois além de disponibilizar informações necessárias à tomada de decisão, e analisar o impactos das interferências humanas, os sistemas precisam ser dinâmicos e integrar os procedimentos técnicos, legais e administrativos, ou seja, precisam manter atualizado o cenário de utilização dos recursos hídricos e servir como instrumento para gestão da informação, através de consultas, análises e controle dos processos.

É neste contexto que os sistemas informatizados de apoio à gestão de recursos hídricos podem ser classificados em duas categorias: os apoiados em modelos hidrológicos para simulação do comportamento nas bacias hidrográficas; e os sistemas de informação, que acomodam o conhecimento já processado em uma arquitetura de Bancos de Dados (BD) em SIG. Ao incorporar informações cadastrais dos usuários de recursos hídricos e modelar os critérios técnicos e as rotinas administrativas do instrumento de outorga, aproximam-se as categorias, pois os sistemas passam a simular o impacto das interferências, ao mesmo tempo em que gerenciam o uso simultâneo das águas por múltiplos usuários e mantêm atualizada a disponibilidade hídrica outorgável.

O desenvolvimento de sistemas para agilizar o processo de estudo e gestão na área de recursos hídricos tem aumentado consideravelmente (MAUAD e ALBERTIN, 2003; TUCCI et al., 2000). No entanto, apenas recentemente a integração da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com os SIGs estimulou a construção de sistemas integrados, conectando as informações hidrológicas às bases de dados espaciais (CHAVES, 2002). A Figura 3.6 apresenta a seqüência cronológica do desenvolvimento de sistemas informatizados para gestão de recursos hídricos.

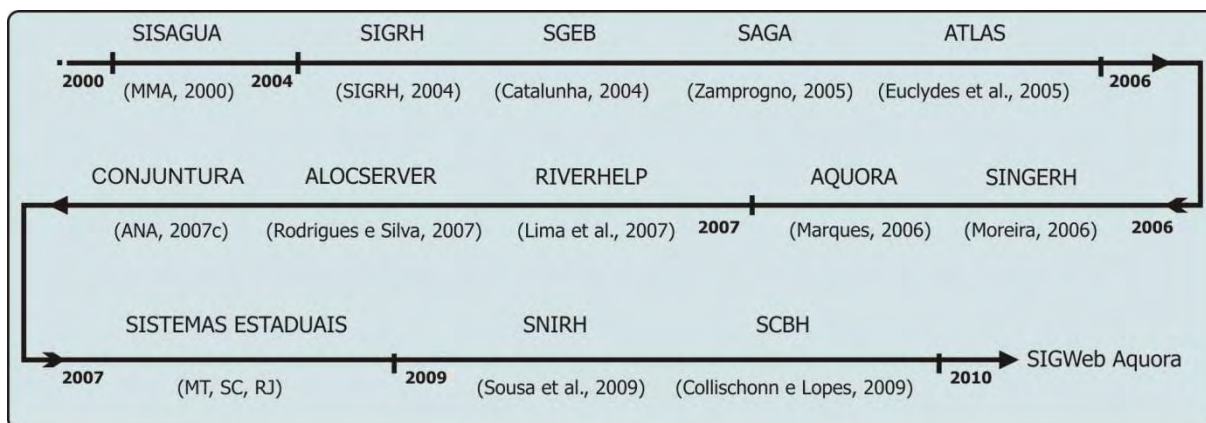


Figura 3.6. Cronologia do avanço em sistemas informatizados para gestão hídrica.

Em 2000, o Ministério do Meio Ambiente, através da Secretaria de Recursos Hídricos, desenvolveu o SISAGUA – Sistemas de Apoio ao Gerenciamento de Usuários da Água, envolvendo um sistema de controle de outorgas (SISCO), um sistema de informações georreferenciadas (SIGEO) e um sistema de armazenamento de informações quali-quantitativas das outorgas (SQAQ).

Desde então, variadas tecnologias vem sendo utilizadas no desenvolvimento de aplicações computacionais de apoio à gestão dos recursos hídricos, mas atualmente, três tendências têm orientado a evolução da Hidroinformática para o gerenciamento dos usos múltiplos da água: a representação espacial da hidrologia através dos SIGs; a utilização dos SGBDR para gerência compartilhada de grandes volumes de informação; e a internet como plataforma de divulgação e comunicação.

Após o SISAGUA, o sistema multi-usuário AQUORA foi o primeiro a relacionar um complexo modelo de banco de dados hidrológicos e cadastrais às funcionalidades dos SGBDR, possibilitando consultas e atualizações nas bases hidrológica e cadastral através de uma rede de computadores ou da Internet. Posteriormente, a proposta do sistema de apoio ao Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos seguida por propostas estaduais para operacionalização do instrumento de outorga e mais recentemente, o SNIRH, colocaram em evidência a estratégia da União sobre sistemas de gestão em rede, integrando SIG e SGBDR.

Embora não atenda plenamente esta tendência, o Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH) para apoio à emissão de outorgas na bacia do rio Paraná, pela ANA, merece destaque por abordar uma série de indicadores para análise dos impactos de captações e lançamentos de efluentes sobre a disponibilidade hídrica.

3.6. Regionalização de vazões

Estimativas precisas sobre as vazões mínimas são necessárias para inúmeros propósitos na gestão dos recursos hídricos, incluindo o conhecimento sobre as demandas dos ecossistemas, a avaliação dos impactos de captações de água e dos lançamentos de efluentes nos cursos d'água e a operação de usinas hidrelétricas (SMAKTHIN, 2001; GUSTARD et al., 2004). Entretanto, as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis dificultam ou, muitas vezes, impedem a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos.

Apesar dos esforços da ANA em ampliar a rede hidrometeorológica do país, Tucci (2002) ressalta que uma rede hidrométrica jamais cobrirá todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, de forma que sempre existirão lacunas temporais e espaciais que necessitam ser preenchidas com base em metodologias que busquem a melhor estimativa dos dados de interesse em seções que não possuem medições.

Para suprir a carência de informações fluviométricas em todos os locais de interesse necessários ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões para transferir espacialmente as informações disponíveis para as demais seções da hidrografia. Para esta finalidade, diversas metodologias encontram-se disponíveis, como as descritas por Eletrobrás (1985a), Eletrobrás (1985b) e Chaves et al. (2002). Além dessas metodologias, outras têm sido propostas, como a de Novaes (2005), que desenvolveu um procedimento de ajuste das vazões mínimas e média ao longo da hidrografia da bacia do rio Paracatu, baseado no princípio de conservação de massas.

Destacando a inexistência de metodologias que garantam a continuidade das vazões na hidrografia, Novaes (2005) desenvolveu um modelo de ajuste das vazões fundamentado na idéia de que a vazão obtida por equação de ajuste que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio é mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada. No entanto, é admissível que a continuidade natural das vazões nos cursos d'água não seja observada quando tratamos de vazões características que representam anos de registros observados e, da mesma forma, não se justifica acatar um modelo de regressão se não se admite a veracidade das amostras.

Segundo Silva Júnior et al. (2002), os modelos de regionalização de vazões buscam uma melhor estimativa das vazões em seções que não possuem medições fluviométricas, não sendo recomendada a utilização destes modelos em seções que possuem medições, pois os mesmos não substituem as informações reais. Apesar da recomendação dos autores, esta prática vem sendo adotada em diversos estudos de regionalização de vazões, que estimam vazões de referência mesmo nos rios onde existem estações de monitoramento (BAENA, 2002, CATALUNHA, 2004; AZEVEDO, 2004; EUCLYDES et al., 2005; LEMOS, 2006; MARQUES, 2006).

Seguindo as recomendações de Azevedo (2004), Ribeiro et al., (2005) e Lemos (2006), a metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás (1985a) mostra-se mais adequada em bacias com grande variabilidade espacial, uma vez que individualiza regiões homogêneas, conduzindo a melhores estimativas das vazões características em seções da hidrografia sem monitoramento.

De acordo com Hosking e Wallis (1997), as regiões hidrologicamente homogêneas são definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentarem o melhor ajuste na regressão, normalmente avaliado por intermédio do teste de F, coeficiente de determinação ajustado, desvio padrão dos erros de ajustamento, e dos erros percentuais entre os valores das vazões observados e estimados pelos modelos de regressão, obtidos para cada uma das regiões homogêneas.

Na bacia hidrográfica do rio Doce, área de abrangência utilizada para carregar a base de dados geográficos e hidrológicos do sistema desenvolvido neste trabalho, pesquisadores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, 2001) durante regionalização de vazões máximas, mínimas e médias subdividiram a bacia em seis regiões homogêneas, enquanto Euclides et al. (2005) apresentaram apenas três regiões no Atlas Digital das Águas de Minas. Já o Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da UFV (GPRH), identificou sete regiões homogêneas durante a regionalização de vazões mínimas de referência (RIBEIRO et al. 2005).

Posteriormente, Marques et al. (2009) obtiveram seis regiões durante a construção da base de dados hidrológicos do sistema AQUORA e destacaram a importância de avaliar a sensibilidade à espacialização dos modelos de regressão selecionados, visto que as variáveis ambientais e os coeficientes considerados devem refletir a dinâmica de acumulação de vazões ao longo da hidrografia.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A fim de atender plenamente os objetivos do projeto, a estratégia adotada no desenvolvimento do sistema para gestão dos usos múltiplos da água contemplou duas frentes de trabalho: a construção da base de dados geográfica e hidrológica; e o desenvolvimento e avaliação do sistema de controle em tempo real. Estas frentes de trabalho foram também subdivididas em quatro etapas para cadenciar atividades de uma mesma área de conhecimento: a) construção da base de dados geográfica; b) construção da base de dados hidrológica; c) modelagem do banco de dados para gestão dos usos múltiplos da água; e d) desenvolvimento e avaliação da aplicação GIS na Web. A Figura 4.1 ilustra esta estratégia de ação, que envolve quatro etapas e produtos complementares.

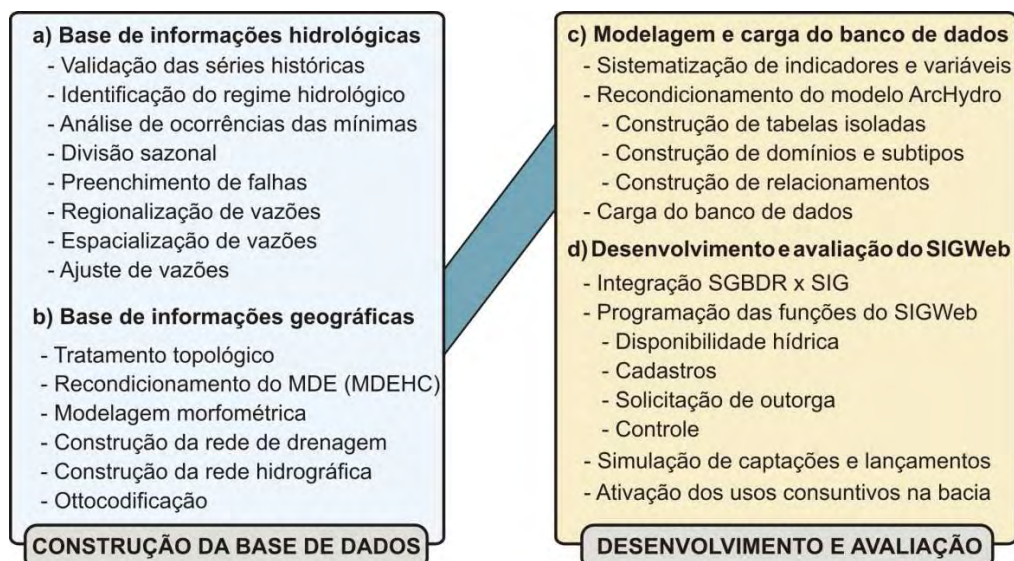


Figura 4.1. Estratégia de ação para o desenvolvimento do SIGWeb AQUORA.

No trabalho foi utilizado um conjunto de ferramentas computacionais e técnicas já conhecidas para desenvolver uma solução inovadora, de modo que a metodologia proposta incorpora os avanços científicos comprovados pelos resultados. Apesar dos métodos serem aplicáveis em qualquer bacia hidrográfica, de forma estratégica para o desenvolvimento e avaliação do sistema de controle, foi selecionada uma bacia hidrográfica específica em que a regulação do uso dos recursos hídricos é compartilhada entre órgãos gestores. Devido à conjuntura de gestão compartilhada, também comum em outras bacias, utilizou-se a bacia do rio Doce como área de abrangência no desenvolvimento e avaliação do sistema.

4.1. Área de abrangência da base de dados

A bacia hidrográfica do rio Doce situa-se na região Sudeste (Figura 4.2), entre os paralelos 17°45' e 21°15' Sul e os meridianos 39°55' e 43°45' Oeste. Apresenta área de drenagem de aproximadamente 83.400 km², dos quais 86% situam-se no Estado de Minas Gerais e o restante no Espírito Santo. Abrange, total ou parcialmente, 230 municípios, sendo 201 em Minas Gerais e 29 no Espírito Santo e possui uma população total de, aproximadamente, 3,1 milhões de habitantes (CBH-DOCE, 2005). Na bacia do rio Doce atuam três órgãos gestores de recursos hídricos, independentes e que trabalham sem um sistema de informações integrado. Outro agravante é a adoção de critérios de vazões de referência e percentuais outorgáveis distintos.

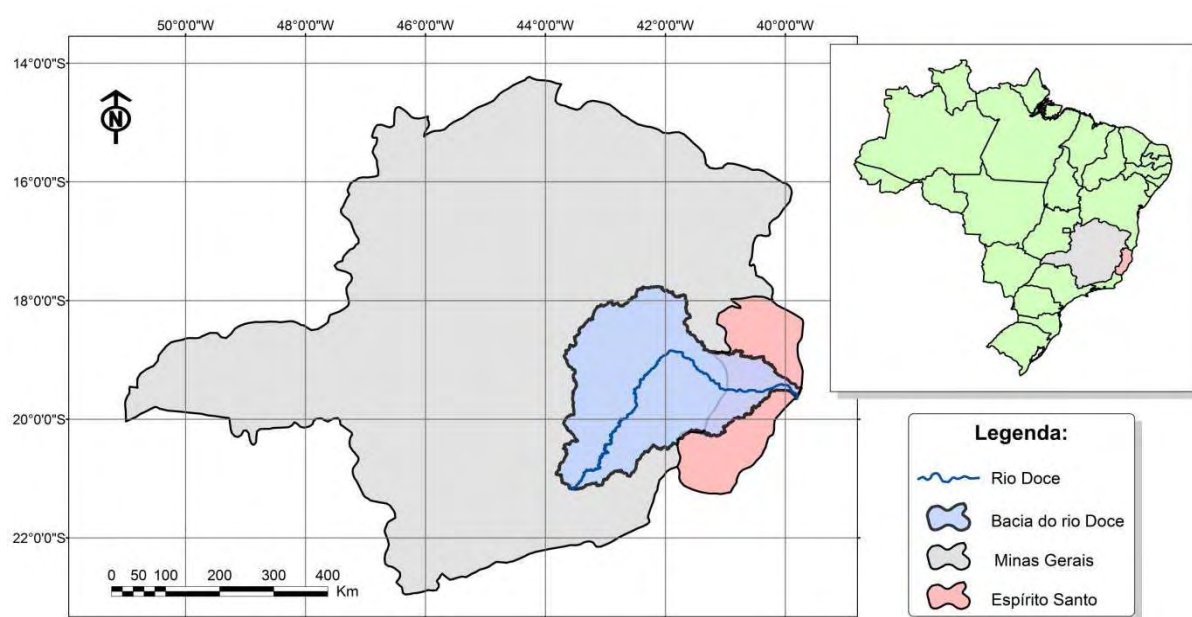


Figura 4.2. Localização da bacia hidrográfica do rio Doce em relação às áreas de atuação de cada órgão gestor dos recursos hídricos.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 observam-se as áreas de atuação dos três órgãos gestores de recursos hídricos atuantes na bacia: a Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pelas outorgas na calha principal do rio Doce; o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), encarregado das outorgas nos rios de Minas Gerais; e o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), responsável pelas outorgas no Estado do Espírito Santo.

Conforme apresentado na Figura 4.3, observa-se que existem duas situações específicas sobre a dominialidade da gestão em cursos d'água que ultrapassam as fronteiras estaduais: no rio Piranga, nascente do rio principal o IGAM tem concedido as outorgas e nos afluentes com cabeceira no Espírito Santo, mas que drenam para Minas Gerais, há a informação de que o IGAM está responsável pela regulação.

Na bacia do rio Doce a ANA outorga até 70% da Q_{95} no rio federal, podendo variar em função das peculiaridades de cada região (ANA, 2007a), enquanto o Estado de Minas Gerais, que possui o segundo maior número de outorgas no País (ANA, 2009c), outorga, através do IGAM, até 30% da $Q_{7,10}$ (Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99). Já o Espírito Santo normalizou os critérios de outorga em 2005 e outorga, através do IEMA, até 50% da $Q_{7,10}$ (Normativa IEMA N° 19/2005).

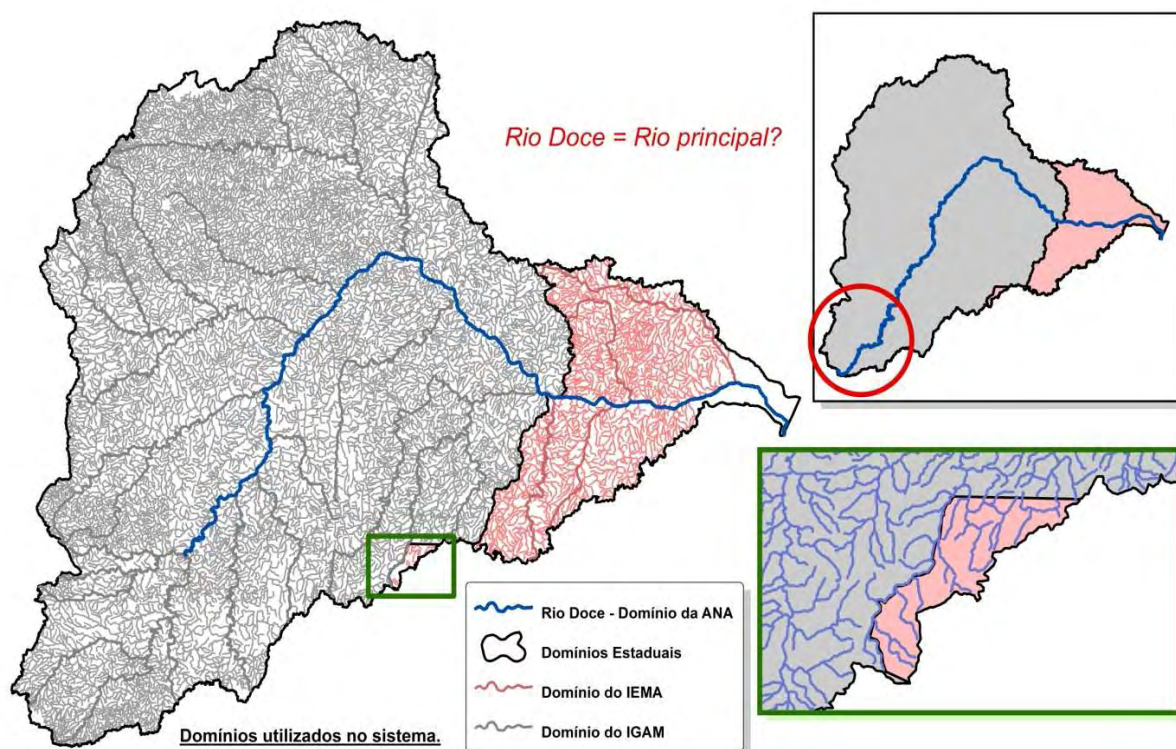


Figura 4.3. Dominialidade dos cursos d'água na bacia do rio Doce, destacando as situações onde há divergência sobre a dominialidade da gestão.

4.2. Construção da base de informações geográficas

A construção da base de dados geográfica é essencial no desenvolvimento de ferramentas de apoio à gestão de bacias hidrográficas, pois é necessário combinar as informações hidrológicas, cadastrais e as regras administrativas da gestão com os elementos geoespaciais que descrevem o comportamento da rede de drenagem. Nesse sentido, a construção da base geográfica contínua, específica para a bacia do rio Doce, foi a etapa inicial que forneceu os fundamentos para a regionalização de vazões e para a modelagem do banco de dados e das rotinas do sistema de controle.

Para elaboração dessa base geográfica, hidrorreferenciada, vários processos foram realizados sobre o MDE da SRTM até a construção do banco de dados favorável às regras do SGBDR. Com esta finalidade, foram utilizados os recursos da solução ArcGIS® da ESRI na manipulação e no processamento das informações geoespaciais. Por agrupar uma série de rotinas padronizadas para caracterização hidrográfica e, ainda, integrar uma estrutura de banco de dados, foram utilizadas as ferramentas do Arc Hydro®, um aplicativo acessório ao ArcGIS® desenvolvido em consórcio com o Centro de Pesquisa em Recursos Hídricos (CRWR) da Universidade do Texas, para modelagem consistente de bacias hidrográficas (MAIDMENT, 2002).

Como dados primários para o processamento das camadas de informação foram utilizados o MDE da SRTM, com resolução espacial de 90 metros, e a hidrografia padrão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em escala 1:250.000, digitalizada pelo Laboratório de SIG (SIGEO) vinculado ao Departamento de Engenharia Civil da UFV. A hidrografia na escala 1:50.000 foi disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) do Departamento de Solos, também da UFV, mas foi descartada após a análise preliminar.

Inicialmente, foram realizados tratamentos topológicos na hidrografia mapeada para posterior combinação com o relevo da bacia, denominado recondicionamento do MDE. O MDE resultante é livre de depressões espúrias e possui a demarcação dos cursos d'água em consonância com a rede hidrográfica mapeada, motivo pelo qual fora denominado Hidrograficamente Consistente (MDEHC). A partir do MDEHC, foram novamente utilizadas as ferramentas do Arc Hydro® para o delineamento das áreas de drenagem de cada trecho da hidrografia (microbacias e interbacias). Esta hidrografia foi processada a fim de formar uma rede geométrica composta por arcos e nós para finalmente proceder à ottocodificação dos cursos d'água e microbacias.

4.2.1. Tratamentos topológicos e acondicionamento do MDE

De acordo com Garbrecht e Martz (2003), modelar uma superfície, de modo consistente, significa representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real. Como o traçado da drenagem, a delimitação de bacias e a extração das variáveis físicas dependem da continuidade do fluxo acumulado, um MDE não consistente teria pouca utilidade no desenvolvimento do sistema de gestão dos recursos hídricos.

Devido às limitações sistêmicas dos dados orbitais da SRTM, identificadas por Valeriano (2004), como grande número de vãos e corpos d'água mal definidos, foram realizados tratamentos buscando a eliminação das depressões espúrias e o acondicionamento do MDE com a hidrografia mapeada. Por sua vez, a hidrografia utilizada na geração do MDEHC precisou passar por tratamentos automáticos utilizando regras topológicas para validação de sua estrutura em relação à conectividade dos arcos, à estrutura unifilar, à orientação dos trechos no sentido do escoamento e à presença de segmentos espúrios. A metodologia utilizada é apresentada pela Figura 4.4 e sua operação é descrita passo a passo.

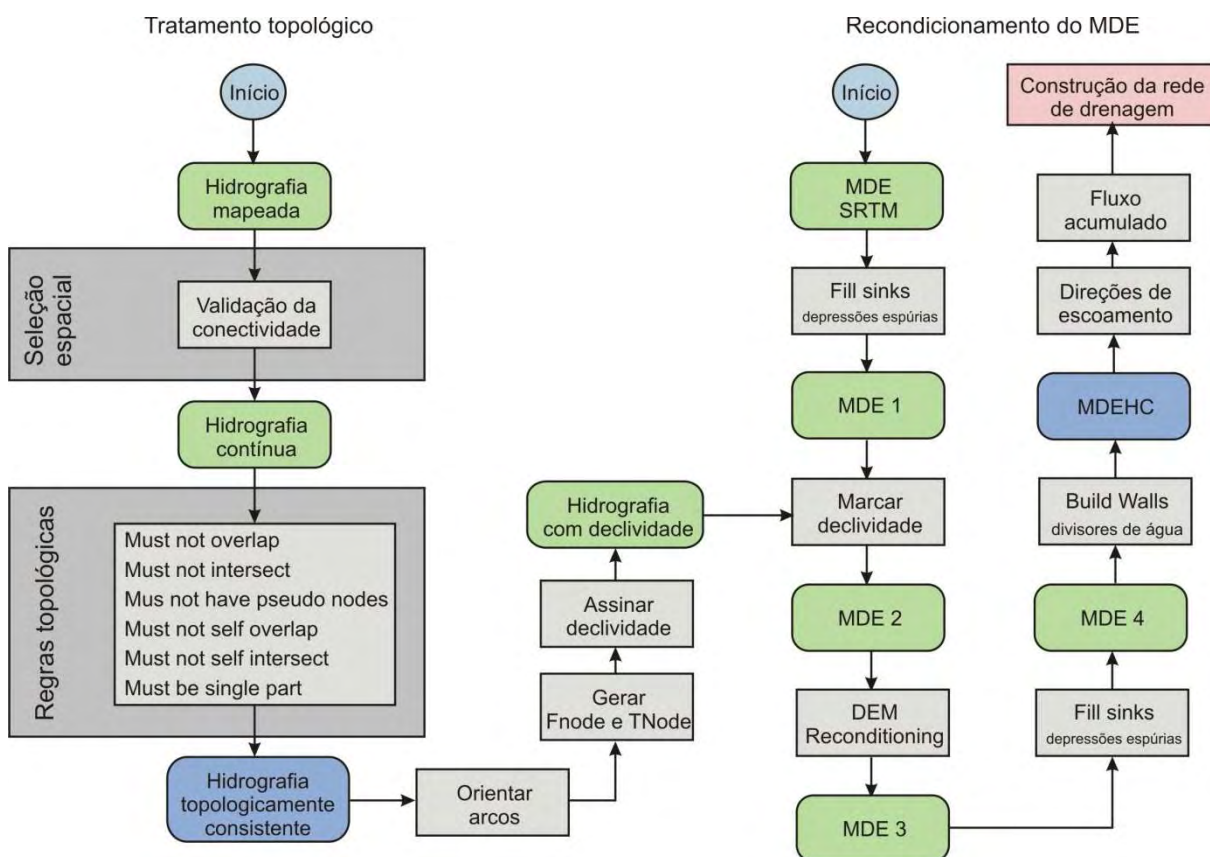
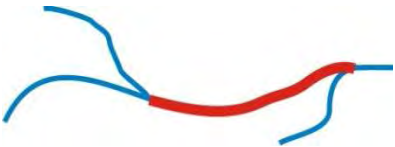
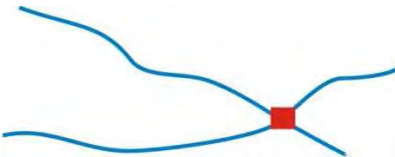
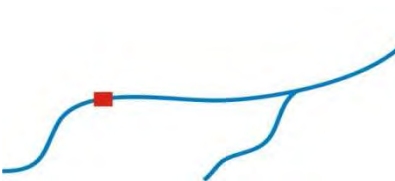
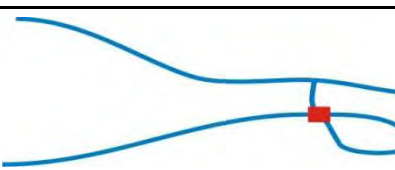


Figura 4.4. Fluxograma de operações espaciais para geração do MDEHC.

A validação da continuidade da hidrografia mapeada foi realizada por meio de análises espaciais envolvendo a seleção recursiva de trechos conectados, ou seja, a partir do arco da hidrografia associado à foz da bacia hidrográfica foram selecionados os trechos imediatamente conectados a montante, dando início ao processo de recursão até a identificação de trechos desconexos. Quando a recursão culminou na seleção de toda a hidrografia, definiu-se como consistente a rede hidrográfica contínua.

De acordo com Theobald (2006) o termo “topologia” define o relacionamento espacial entre feições geométricas adjacentes ou vizinhas. Como a geometria da hidrografia mapeada deve possuir características singulares, certos relacionamentos espaciais precisaram ser impostos. Para assegurar uma rede hidrográfica composta por trechos simples interconectados por confluências, foram estabelecidas as regras topológicas do Quadro 4.1 no processo de validação da hidrografia contínua.

Quadro 4.1. Regras topológicas aplicadas no tratamento da hidrografia mapeada

Regra	Descrição	Exemplo
Must not overlap	Não pode haver sobreposição das linhas da hidrografia.	
Must not intersect	Não pode haver cruzamento entre as linhas da hidrografia.	
Must not have pseudo nodes	Todo nó de jusante (endpoint) precisa se conectar a outros dois arcos.	
Must not self overlap	Uma linha não pode possuir segmentos coincidentes.	
Must not self intersect	Uma linha não pode cruzar ela mesma.	
Must be single part	Requer que as linhas possuam apenas um segmento.	

Garantida a consistência topológica da hidrografia mapeada, outras três etapas foram necessárias para preparar a malha hidrográfica visando o acondicionamento do MDE. A orientação dos arcos no sentido do escoamento foi estabelecida utilizando o traçado de rotas interligando os nós desconectados, representando as nascentes, ao nó associado ao exutório da bacia hidrográfica. A identificação dos nós de montante (FNode) e jusante (TNode) em cada arco da hidrografia foi requisito para o cálculo das elevações relativas (FromElev e ToElev), responsáveis por impor uma declividade ao MDE a fim de representar a continuidade do escoamento preferencial das águas superficiais até a foz da bacia.

O acondicionamento do MDE da SRTM para geração do MDEHC teve início com o tradicional preenchimento de depressões espúrias (Fill sinks) sobre o terreno da bacia. Em seguida, utilizando a ferramenta “Burn stream slope” a declividade dos cursos d’água foi imposta utilizando a hidrografia com elevações decrescentes até o exutório. Com a declividade na calha dos cursos d’água favorável à continuidade do escoamento preferencial, foi utilizado o método AGREE (HELLWEGGER, 1997) para reforçar o acondicionamento do relevo da bacia a partir da hidrografia padrão. Os parâmetros utilizados no método AGREE são apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2. Parâmetros usados no método AGREE para acondicionamento do MDE

Stream buffer (n° de células laterais)	Smooth drop (Z-unit) suavização das margens	Sharp drop (Z-unit) aprofundamento da calha
2 células	5 m	5 m

O buffer foi utilizado para estender o aprofundamento dos talwegues a suas células vizinhas. Dessa forma o aprofundamento do AGREE suaviza o entorno dos cursos d’água interpolando a elevação do talvegue com as elevações ao redor. É importante ressaltar que a demarcação dos divisores de água e cursos d’água é facilitada em bacias encaixadas como a do rio Doce e, possivelmente, em regiões mais planas, seriam necessários ajustes da metodologia para consistência hidrográfica do MDE. Um exemplo de ajuste foi aplicado na região estuarina da bacia do rio Doce, onde as baixas declividades dificultam a demarcação dos divisores de água. Neste caso, foi aplicada a técnica “Build walls” que reforçou os divisores de água mapeados nesta região plana, considerada crítica.

4.2.2. Construção da rede hidrográfica

Como é de interesse dos órgãos gestores utilizar a base geográfica oficial do IBGE, foi feito um esforço para harmonizar a drenagem numérica tradicionalmente obtida a partir das direções de escoamento com a hidrografia mapeada, utilizada no acondicionamento do MDE. Portanto, foi utilizado um método alternativo ao processo clássico, em que se estabelece um número mínimo de células contribuintes a partir do qual uma célula é identificada como pertencente a um curso d'água.

A rede hidrográfica construída é na verdade uma rede geométrica composta por arcos e nós, representativa da malha hidrográfica (HONEYCUTT, 2002). Esta rede representou a espinha dorsal da base geográfica, pois as conexões topológicas entre segmentos de rio e confluências é que possibilitam a navegação entre os trechos de montante e jusante e permitem que todos os demais elementos geográficos presentes na bacia hidrográfica possam se relacionar através da hidrografia (ex.: áreas de drenagem, estações de monitoramento e os usos consuntivos).

A metodologia, representada pelo fluxograma da Figura 4.5, agrupou um conjunto de operações espaciais aplicadas sobre o grid de direções de escoamento e a hidrografia mapeada para produzir uma rede geométrica fidedigna à base oficial do IBGE, mantendo o relacionamento com as áreas de drenagem adjacentes.

Mesmo representando o fluxo preferencial de escoamento devido ao acondicionamento do MDE, o grid de fluxo acumulado não foi utilizado nessa metodologia, já que o objetivo era manter não somente o traçado da hidrografia mapeada, mas também o nível de ramificação da base oficial do IBGE.

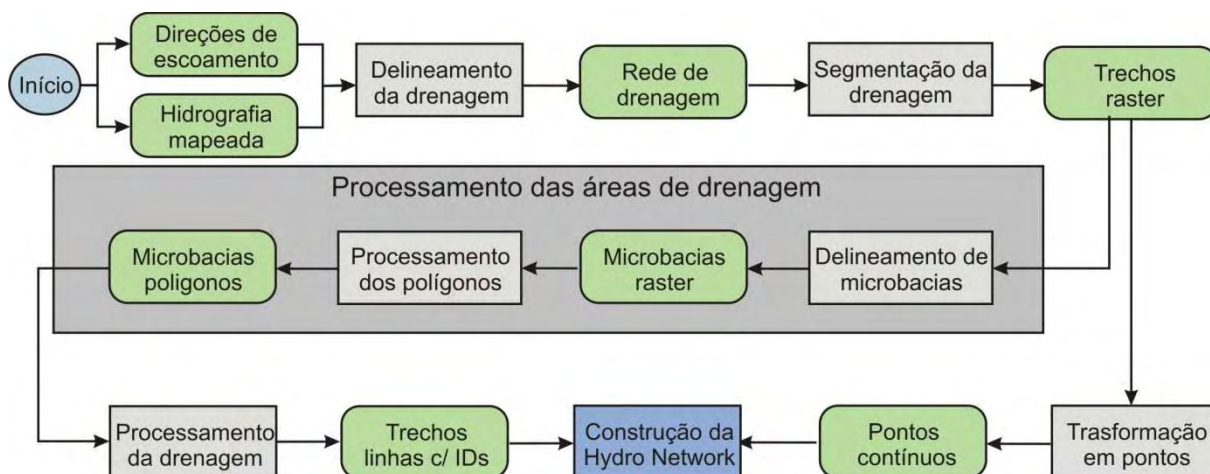


Figura 4.5. Fluxograma de rotinas espaciais para construção da rede hidrográfica.

No delineamento e na segmentação da drenagem em trechos foram utilizadas as funções “Drainage line from stream” e “Stream segmentation from drainage line” do aplicativo Arc Hydro. Assim, o delineamento da drenagem numérica (drainage line) combinou a hidrografia mapeada (stream) com as direções de escoamento do MDEHC para uma máxima semelhança entre as drenagens. A segmentação da drenagem em trechos com identificadores únicos possibilitou o processamento conjunto das áreas de drenagem associadas a cada segmento de curso d’água.

Ressalta-se que a rede geométrica da hidrografia suporta apenas arcos e nós (linha x ponto) e, por esta razão, a combinação entre os delineamentos da drenagem e das microbacias associadas a cada segmento de curso d’água foi fundamental para garantir o relacionamento área x linha na estrutura de rede geométrica utilizada para representar a malha hidrográfica. Esses relacionamentos foram construídos por meio de associações entre atributos, denominados identificadores globais.

Outro aspecto importante na construção da rede hidrográfica foi a alteração da estrutura de rede do Arc Hydro, com a substituição dos pontos representativos das confluências por pontos sequenciais sobre a hidrografia (Figura 4.6). Essa modificação foi exigida devido à necessidade de efetuar o balanço hídrico consuntivo (disponibilidade x demanda) após a outorga de uma captação de água ou lançamento de efluentes nos cursos d’água.

Caso se mantivesse a estrutura padrão, a disponibilidade hídrica seria associada a cada segmento de rio por meio do nó que dá origem ao segmento. Neste caso, o balanço hídrico seria realizado por trecho implicando igual disponibilidade hídrica a todos os usuários do trecho, independente das situações de montante e jusante. Na estrutura utilizada, os pontos sequenciais armazenam as vazões e cobrem toda a hidrografia, otimizando as funções de análise e controle das intervenções.

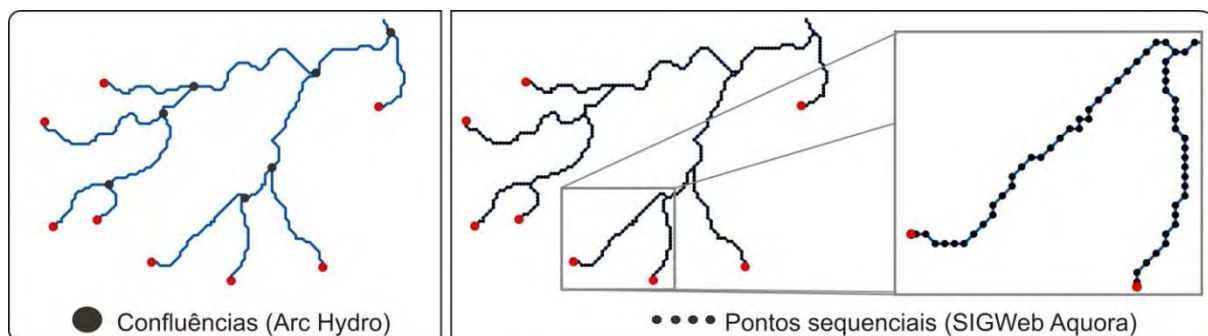


Figura 4.6. Elementos das redes geométricas do Arc Hydro e do SIGWeb AQUORA.

4.2.3. Delineamento das áreas de drenagem

As áreas de drenagem também foram delineadas automaticamente utilizando o MDEHC para a bacia do rio Doce. Este MDEHC é uma matriz formada por células quadradas, onde o valor de cada célula representa a elevação da superfície do terreno. Determinando como o escoamento flui de célula a célula, o conjunto de células que contribui para uma seção de deságue pôde ser identificado e assim as áreas de drenagem foram delimitadas.

Com o objetivo de construção de uma base de dados contínua, um requisito fundamental na representação dos elementos geográficos foi a manutenção dos relacionamentos espaciais entre as áreas de drenagem e os segmentos da hidrografia. Neste sentido, cada segmento de rio possui uma e apenas uma área de drenagem associada. Com a hidrografia constituindo uma rede geométrica, ao incorporar as áreas de drenagem aos elementos da rede, criou-se uma estrutura espacial onde toda a superfície da bacia hidrográfica está conectada.

As ferramentas do Arc Hydro auxiliaram na imposição da conectividade “área–linha” e possibilitaram a criação automática de um grande número de áreas de drenagem elementares, cada uma associada a um segmento da hidrografia e à respectiva foz, anterior às confluências. Seguindo a padronização do banco de dados Arc Hydro, foram definidos três níveis de escala para os elementos de área de drenagem delineados a partir do MDEHC, conforme apresentado na Figura 4.7.

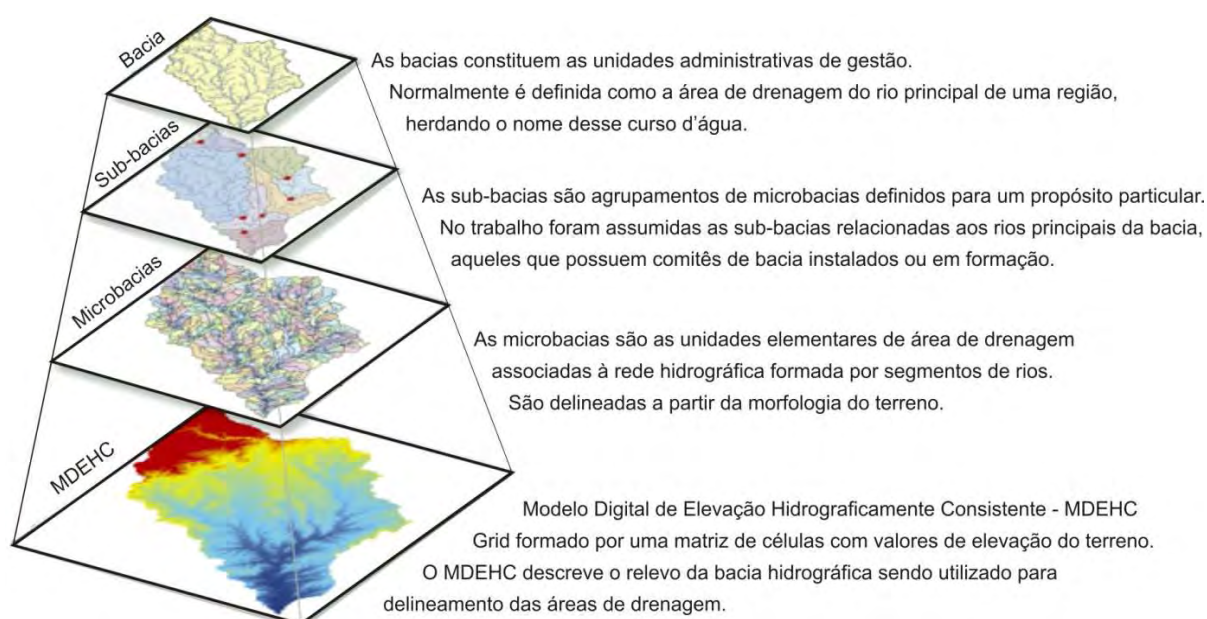


Figura 4.7. Escalas de representação do sistema de drenagem.

4.2.4. Ottocodificação de bacias e cursos d'água

Um problema comum envolvendo a modelagem hidrorreferenciada dos bancos de dados geográficos para gestão dos recursos hídricos é a codificação das áreas de drenagem. Um dos destaques neste campo é a codificação desenvolvida pelo brasileiro Otto Pfafstetter (PFAFSTETTER, 1989). Esta codificação possui características muito favoráveis ao desenvolvimento de sistemas de informação sobre recursos hídricos, tais como a economia de dígitos, a representação hierárquica das bacias devido à topologia embutida nos dígitos, a possibilidade de detalhamento em escalas maiores, a fácil implementação por programação e a integração com SIG (MENEZES e GALVÃO, 2005).

Por estas razões, a demanda por uma estrutura hidrográfica topologicamente consistente foi satisfeita pela ottocodificação. Esta codificação incorpora a hierarquização das bacias hidrográficas, ou seja, a definição da posição relativa e o ordenamento entre as bacias e interbacias (ANA, 2007d). Assim, a estruturação por aninhamento de bacias hidrográficas e por conectividade dos cursos d'água foi garantida através da simples padronização dos identificadores.

O processo de ottocodificação automática foi conduzido com auxílio de rotinas desenvolvidas pela ANA no contexto da construção da base ottocodificada do SNIRH (ANA, 2008). Vale ressaltar que as operações realizadas com as ferramentas do Arc Hydro, como a validação topológica da hidrografia e a segmentação em trechos com identificadores associados às áreas de drenagem elementares, possibilitaram que os métodos da ANA fossem empregados apenas para a incorporação dos códigos “Otto” às microbacias e cursos d'água. O aplicativo “Topologia Hídrica v 1.6”, da ANA, operacionaliza os princípios de Pfafstetter e funcionou da seguinte forma:

- a) o rio principal da bacia foi identificado pela maior área de drenagem;
- b) identificado o rio principal, codificou-se as bacias afluentes por área de contribuição;
- c) as quatro bacias maiores receberam códigos pares atribuídos de jusante a montante: a bacia mais a jusante recebeu o código 2, a bacia imediatamente a montante recebeu o código 4, a próxima o código 6 e a mais a montante, 8; e
- d) as interbacias receberam códigos ímpares: a foz recebeu 1, a interbacia entre as bacias 2 e 4 recebeu 3, sucessivamente, até a bacia de cabeceira, que recebeu 9.

A construção da base hidrográfica ottocodificada, em nível nacional, realizada pela ANA utilizando a hidrografia do IBGE em escala 1:1.000.000, atingiu o nível 6, ou seja, foram atribuídos códigos com até 6 dígitos para cobrir todas as bacias elementares nesta escala de ramificação. No presente trabalho, a ottocodificação na escala 1:250.000 estendeu a base hidrográfica do SNIRH na bacia em estudo.

Tradicionalmente, a codificação de Otto Pfafstetter tem como foco as microbacias e interbacias hidrográficas, mas de acordo com as recomendações da ANA (ANA, 2007d) a codificação foi aplicada também aos trechos de curso d'água mantendo a correspondência com as respectivas áreas de drenagem. Para este fim, o código do curso d'água foi construído a partir código da bacia associada, excluindo apenas os últimos algarismos ímpares, que identificam as interbacias. O fluxograma das operações utilizadas para a ottocodificação é apresentado pela Figura 4.8.

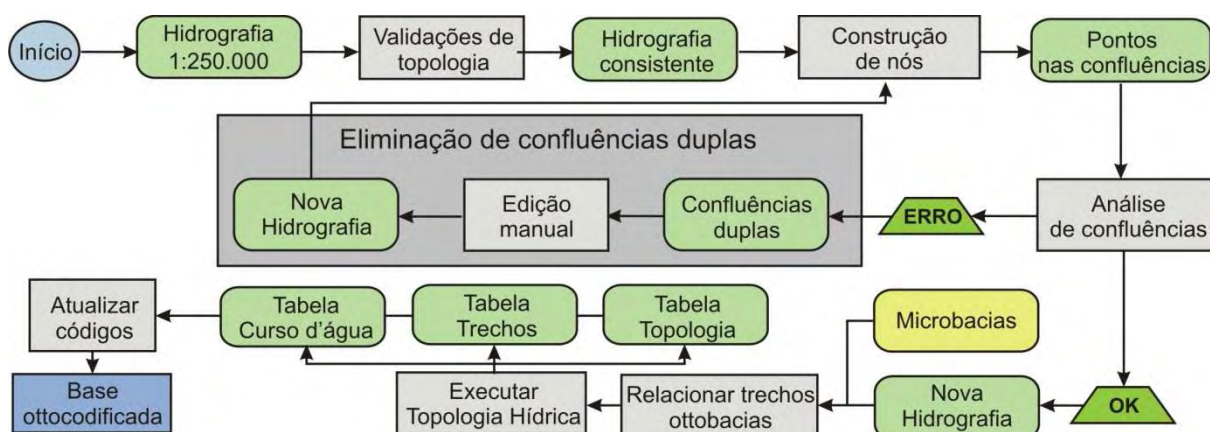


Figura 4.8. Fluxograma para ottocodificação das bacias hidrográficas e cursos d'água.

Conforme apresentado pela Figura 4.8, foi necessário um único tratamento na base geográfica: a eliminação das confluências duplas. Onde três afluentes se conectavam no mesmo ponto, foram criados mini-trechos e consequentemente, novas interbacias. A Figura 4.9 apresenta o processo de edição das confluências.

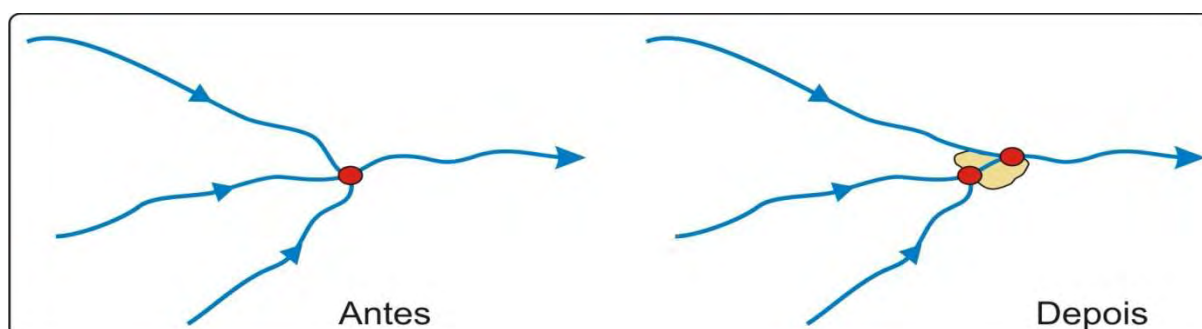


Figura 4.9. Edição manual das confluências duplas para a ottocodificação.

4.2.5. Extração de características físicas e pluviométricas

Normalmente, os estudos de regionalização de vazões consideram apenas as características físicas e pluviométricas correspondentes às áreas de drenagem das seções da hidrografia que possuem estações fluviométricas instaladas (RIBEIRO et al., 2005; EUCLYDES et al., 2005; LEMOS, 2006). Nestes casos, o produto final são as equações regionais para a estimativa das vazões onde não existe monitoramento.

Mas frente ao objetivo de construir uma base contínua de informações hidrológicas, necessária para análise das interferências dos usos consuntivos e atualização permanente da disponibilidade hídrica, as características físicas e pluviométricas precisaram ser extraídas ao longo de toda a rede de drenagem, permitindo então que as equações da regionalização fossem aplicadas para espacializar as vazões, continuamente, em toda a rede hidrográfica.

Com base na rede hidrográfica composta por pontos sequenciais, foram utilizadas as rotinas propostas por Marques et al. (2009) para obter automaticamente as características físicas e pluviométricas referentes a cada célula de 90 m ao longo de toda a drenagem da bacia do rio Doce.

Utilizando os recursos do ESRI ArcGIS9.3[®] extraiu-se, célula a célula, as variáveis morfométricas: área de drenagem (A), comprimento do rio principal (L), comprimento total da drenagem (Lt), densidade de drenagem (Dd) e declividade média da bacia (S), além de acumular na área de drenagem de cada célula as precipitações totais anuais e associadas aos semestres seco, chuvoso e ao mês mais chuvoso, utilizando o MDEHC e as séries históricas de 72 estações pluviométricas.

Cabe ressaltar que os procedimentos aplicam-se muito bem a qualquer tamanho de bacia hidrográfica, desde que se trabalhe com um MDEHC. Neste sentido, além da qualidade funcional, amenizando a demanda de trabalho manual e a subjetividade dos resultados, o trabalho teve compromisso com a operacionalidade, atingindo um nível de simplificação metodológica fundamental para a sua replicação em outras bacias ou em escala nacional.

Utilizando os grids da drenagem numérica, das direções de escoamento e do fluxo acumulado, as rotinas compostas pelos algoritmos apresentados no Quadro 4.3 foram processadas na calculadora raster da extensão Spatial Analyst do ArcGIS para a extração automática das variáveis morfométricas ao longo da hidrografia.

Quadro 4.3. Rotinas automáticas para extração das características físicas

Variável	Comandos na calculadora matricial
(A)	[aux] = drainageline * fac [a_km2] = (aux * 8100) / 1000000
(L)	[L] = flowlength([fdr], #, upstream) [L_m] = L + 90
(Lt)	[segmentos] = streamlink([drainageline], [fdr]) [dist] = flowlength([fdr], #, upstream) [foz_seg] = zonalmax(segmentos, dist) [seg_foz] = con(foz_seg == dist, 0) [aux1] = isnull(seg_foz) [seg_dir] = aux1 * [fdr] [dist_seg] = flowlength(seg_dir, #, upstream) [aux2] = dist_seg + 90 [aux3] = zonalmax(segmentos, aux2) [compr_seg] = con(aux3 == aux2, aux2) [aux4] = flowaccumulation([fdr], compr_seg) [Lt_m] = con(isnull(compr_seg) == 1, aux4 + aux2, aux4 + aux2)
(Dd)	Dd_kmkm = (Lt_m / 1000) / a_km2
(S)	Spatial Analyst – Surface Analysis – Slope Decl_acum = flowaccumulation(fdr, slope) Decl = decl_acum / fac

❖ GRIDs iniciais: Drainageline = drenagem numérica; Fac = escoamento acumulado; Fdr = direções de escoamento.

Em relação às variáveis pluviométricas, utilizou-se o aplicativo Hidro 1.2.1, desenvolvido pela ANA, para calcular os totais precipitados considerando os períodos anual, semestral e o mês mais chuvoso. Nesta etapa, foram utilizadas séries históricas consistidas de 72 estações pluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da ANA (Quadro 4.4 e Figura 4.10). Informações detalhadas das estações selecionadas para o estudo encontram-se no Apêndice B.

Na análise preliminar das séries de precipitação constatou-se um número reduzido de falhas, de modo que não foi necessário o preenchimento para o cálculo das precipitações médias mensais. Com a distribuição média das precipitações mensais ao longo do ano, apresentada na Figura 4.11, foram estabelecidos os semestres seco e chuvoso e calculadas as precipitações total anual e dos semestres.

Quadro 4.4. Estações pluviométricas selecionadas para a regionalização

Código	Estação	Código	Estação
01742017	Malacacheta	01941010	S. Sebastião da Encruzilhada
01742019	Água Boa	01941011	Santo Antonio do Manhuaçu
01840000	Águia Branca	01941012	Alto Rio Novo
01841001	Vila Matias - Montante	01941018	Itanhomi
01841003	Campanário	01941019	Mutum
01841011	Tumiritinga	01942002	Bom Jesus do Galho
01841019	Divino das Laranjeiras	01942006	Vermelho Velho
01841020	Governador Valadares	01942008	Dom Cavati
01842004	São Pedro do Suaçuí	01942029	Mario de Carvalho (PCD)
01842005	Coroaci	01942030	Cenibra
01842007	Guanhães	01942032	Naque Velho
01842008	Santa Maria do Suaçuí	01943001	Rio Piracicaba
01842020	São João Evangelista	01943002	Conceição do Mato Dentro
01842021	Porto Santa Rita	01943003	Ferros
01843011	Serro	01943007	Santa Barbara
01843012	Rio Vermelho	01943008	Santa Maria de Itabira
01939002	Povoação	01943025	Morro do Pilar
01940000	Itarana	01943027	Usina Peti
01940001	São João de Petrópolis	02041008	Dores do Manhumirim
01940005	Cavalinho	02041023	Afonso Cláudio Montante
01940006	Colatina	02042008	Raul Soares Montante
01940009	Pancas	02042010	Abrecampo
01940012	Itaimbé	02042011	Rio Casca
01940013	Novo Brasil	02042015	Seriquite
01940016	Barra de São Gabriel	02042016	São Miguel do Anta
01940020	Caldeirão	02042017	Matipó
01940022	Jacupemba	02042018	Ponte Nova Jusante
01940023	Rio Bananal	02042031	Fazenda Cachoeira D'Antas
01940025	Serraria	02043009	Acaiaca Jusante
01941000	Ipanema	02043010	Piranga
01941003	Baixo Guandu	02043011	Fazenda Paraíso
01941004	Resplendor Jusante	02043014	Porto Firme
01941005	Barra do Cuieté Jusante	02043025	Usina da Brecha
01941006	Assaraí Montante	02043026	Braz Pires
01941008	Laranja da Terra	02043027	Fazenda Ocidente
01941009	Ibituba	02143003	Desterro do Melo

No estudo das precipitações foi utilizado o período-base de 39 anos compreendido entre 1970 e 2008. Vale ressaltar que este período foi estabelecido, primeiramente, para o estudo das vazões e sob o propósito de relacionar as precipitações com as vazões características, os períodos base foram coincidentes.

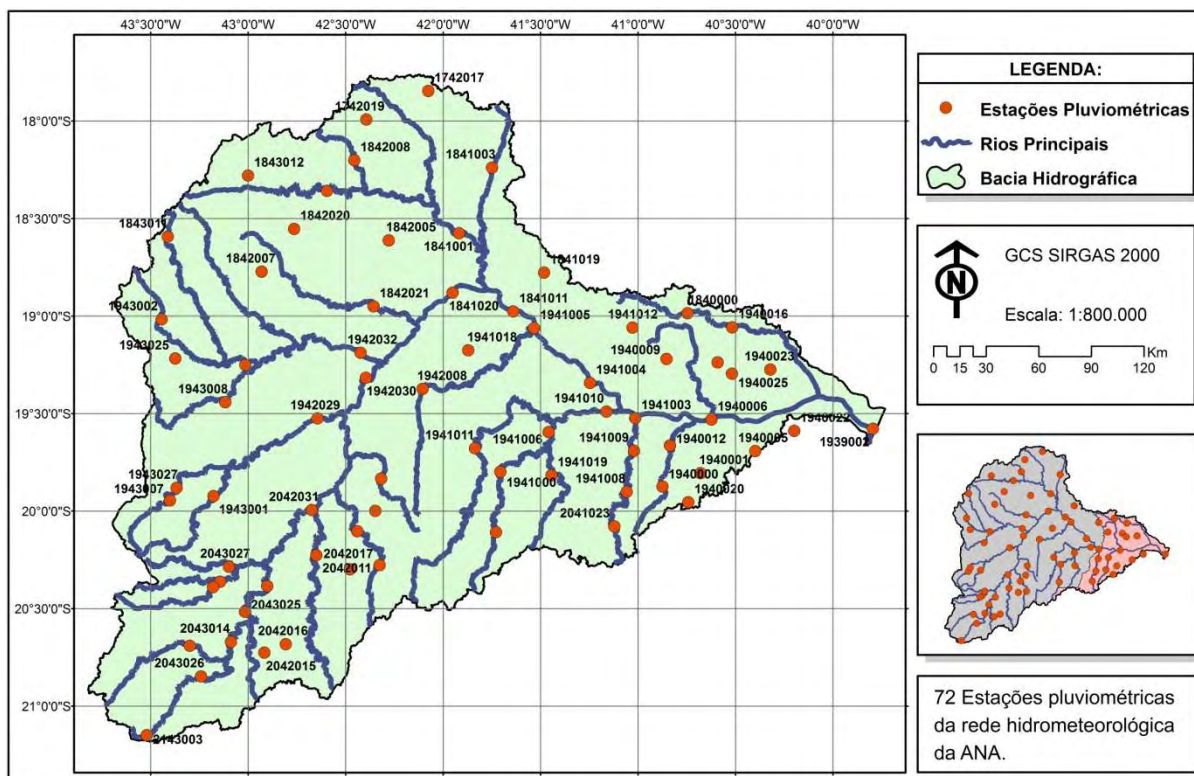


Figura 4.10. Localização das estações pluviométricas selecionadas no estudo.

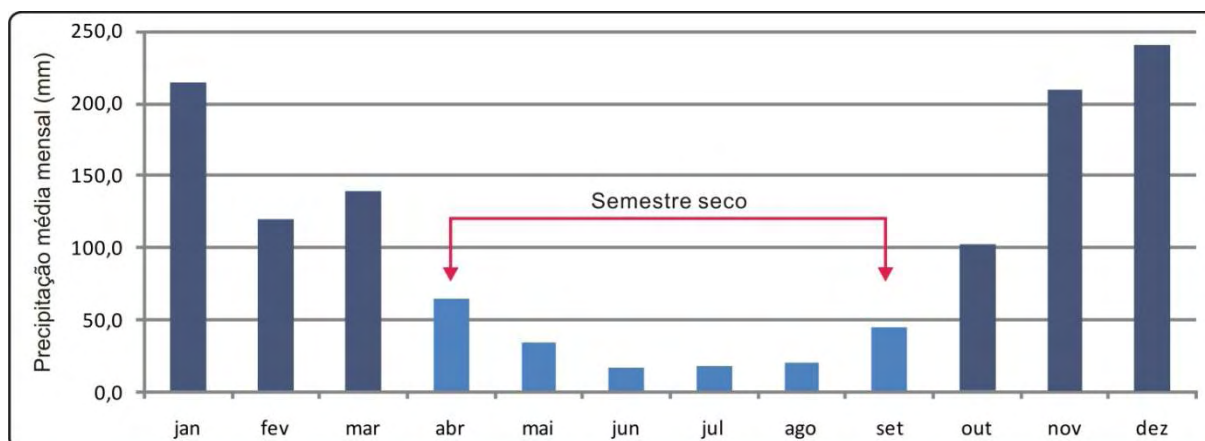


Figura 4.11. Distribuição média das lâminas mensais precipitadas e identificação dos semestres seco e chuvoso.

Na construção das séries anuais de precipitação do mês mais chuvoso foram utilizados algoritmos de consulta e seleção, em ambiente Access®, para em seguida calcular as lâminas médias para cada estação pluviométrica. Na espacialização das chuvas utilizou-se o interpolador geoestatístico Kriging Ordinário, com o semivariograma ajustado pelo modelo exponencial e raio de busca variável de 72 pontos (JÚNIOR et al, 2006). Finalmente, foram acumuladas as lâminas e calculadas as médias precipitadas na área de drenagem de cada célula da hidrografia.

4.3. Construção da base de informações hidrológicas

Com o propósito de incorporar à rede hidrográfica um banco de dados de vazões contínuas, houve grande preocupação acerca da qualidade das informações fornecidas ao sistema de controle em tempo real. Nesse contexto, as etapas que antecederam a regionalização de vazões exigiram análises minuciosas das séries históricas a fim de garantir a consistência das variáveis submetidas à regionalização.

Utilizando a metodologia tradicional de Eletrobrás (1985a) e buscando associar a variabilidade do regime hidrológico à gestão dos recursos hídricos foram regionalizadas as vazões mínimas e médias sazonais além das vazões máximas anuais associadas a diferentes períodos de recorrência. Após as vazões serem espacializadas na hidrografia, ajustes foram feitos sobre a base contínua para calibrar as estimativas nas áreas de drenagem representadas no monitoramento.

4.3.1. Seleção e análise preliminar das séries de vazão

No estudo de regionalização de vazões na bacia do rio Doce analisaram-se séries históricas consistidas de 61 estações fluviométricas pertencentes à rede da ANA (Figura 4.12 e Quadro 4.5). As informações detalhadas estão no Apêndice B.

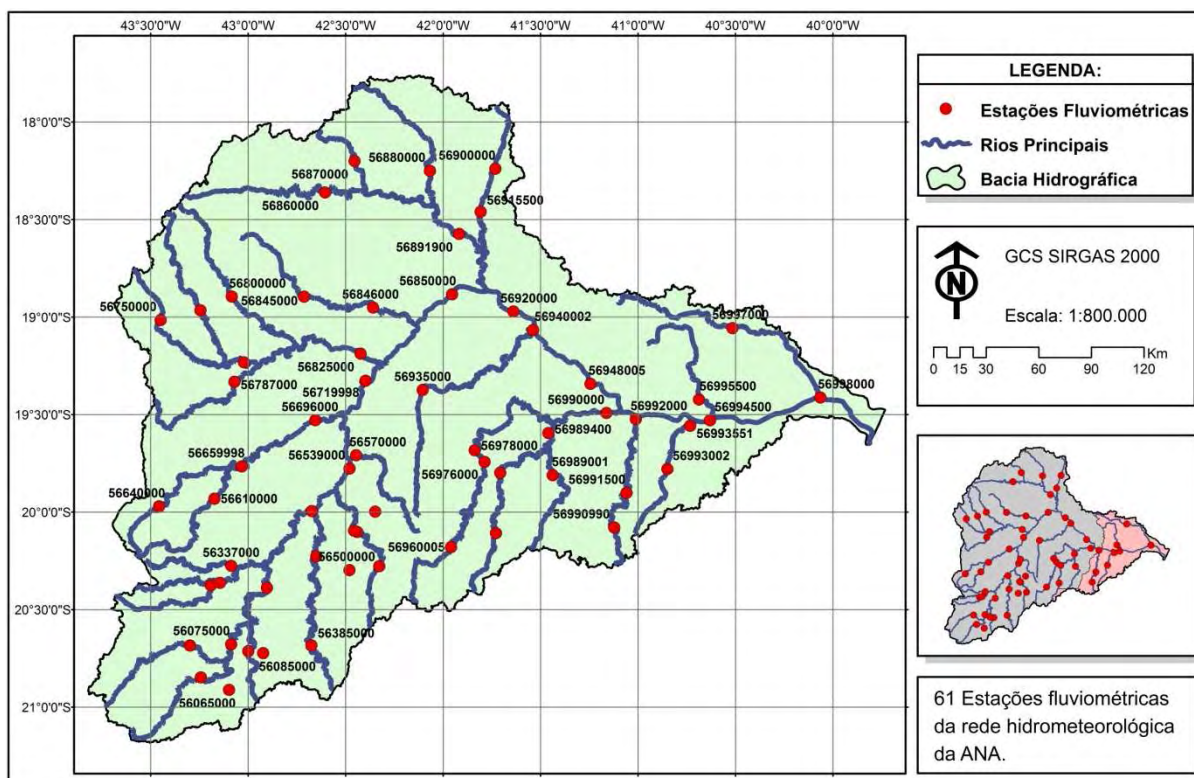


Figura 4.12. Localização das estações fluviométricas selecionadas no estudo.

Quadro 4.5. Estações fluviométricas seleccionadas para a regionalização

Código	Estação	Código	Estação
56028000	Piranga	56845000	Fazenda Corrente
56055000	Braz Pires	56846000	Porto Santa Rita
56065000	Senador Firmino	56850000	Governador Valadares (PCD)
56075000	Porto Firme	56860000	São Pedro do Suaçuí
56085000	Seriquite	56870000	Santa Maria do Suaçuí
56090000	Fazenda Varginha	56880000	Fazenda Urupuca
56110005	Ponte Nova - Jusante (PCD)	56891900	Vila Matias-Montante (PCD)
56240000	Fazenda Paraíso	56900000	Campanário
56335001	Acaiaca Jusante	56915500	Jampruca
56337000	Fazenda Ocidente	56920000	Tumiritinga
56385000	São Miguel do Anta	56935000	Dom Cavati
56415000	Rio Casca	56940002	Barra do Cuietê-Jusante
56425000	Fazenda Cachoeira D`Antas	56948005	Resplendor-Jusante
56460000	Matipó	56960005	Fazenda Vargem Alegre
56484998	Raul Soares - Montante	56976000	Fazenda Bragança
56500000	Abre Campo	56978000	Santo Antonio do Manhuaçu
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	56983000	Dores de Manhumirim
56520000	Vermelho Velho	56988500	Ipanema
56539000	Cachoeira dos Óculos-Montante	56989001	Mutum
56570000	Pingo D`água	56989400	Assarai-Montante
56610000	Rio Piracicaba	56990000	São Seb. da Encruzilhada
56640000	Carrapato (Brumal)	56990990	Afonso Cláudio-Montante
56659998	Nova Era IV	56991500	Laranja da Terra
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	56992000	Baixo Guandu
56719998	Cenibra	56993002	Itaguaçu-Jusante
56750000	Conceição do Mato Dentro	56993551	Jusante Córrego da Piaba
56765000	Dom Joaquim	56994500	Colatina
56775000	Ferros	56995500	Ponte do Pancas
56787000	Fazenda Barraca	56997000	Barra de São Gabriel
56800000	Senhora do Porto	56998000	Linhares
56825000	Naque Velho		

Após a obtenção dos dados na plataforma Hidroweb da ANA, o aplicativo Hidro 1.0.9 foi utilizado para agrupar as séries históricas em um banco de dados unificado. Inicialmente, foi feita uma análise preliminar da consistência das séries com base nos diagramas de barras elaborados para as vazões médias, mínimas e máximas, considerando o período anual. Buscando aproveitar ao máximo os registros do monitoramento, o critério para definição de anos inválidos baseou-se não somente na quantidade, mas também na extensão e no mês de ocorrência das falhas.

Esta análise preliminar identificou a necessidade de preenchimento de falhas e estabeleceu o período-base (período comum de dados) de 39 anos, compreendido entre 1970 e 2008. Em seguida foram analisados os regimes hidrológicos por meio da distribuição anual das vazões específicas máximas, médias e mínimas. A utilização da vazão específica na análise da variabilidade do regime hidrológico justifica-se pela necessidade de linearização das vazões com magnitudes discrepantes.

4.3.2. Identificação dos períodos sazonais

Visando a flexibilidade anual dos critérios de outorga em consonância com a variabilidade natural do regime hidrológico, a definição dos intervalos mensais para serem utilizados na regionalização baseou-se na validação de um conjunto de critérios que busca agrupar os meses em períodos que possuem o regime de mínimas homogêneo. Em referência à Teoria de Dow (1884), para avaliação das movimentações do mercado financeiro, os critérios basearam-se em seis princípios:

- As médias descontam tudo;
- O regime hidrológico tem três tendências;
- As tendências ocorrem em três fases;
- As médias devem confirmar a tendência;
- As tendências são confirmadas pela vazão mínima;
- Os riscos comprovam as tendências.

1º Princípio: As médias descontam tudo

Embora existam variações diárias na magnitude das vazões ao longo do ano e, ainda, variações interanuais, todos os registros do monitoramento são incorporados nas médias. Portanto, a distribuição anual das vazões médias mensais não basta para definir os intervalos com regime crítico homogêneo, pois as vazões críticas, mínimas de referência para a outorga, são amortecidas pela média.

Este equívoco foi observado no estudo de Marques (2006) na bacia do rio Doce, onde a divisão em trimestres com base na distribuição das médias mensais não implicou aumento da disponibilidade hídrica outorgável, pois apesar das médias elevadas, alguns meses apresentam significativa ocorrência de eventos mínimos.

2° Princípio: O regime hidrológico tem três tendências

Sob a perspectiva do enfoque ecossistêmico na gestão dos recursos hídricos, é consensual a necessidade de representar a variação da disponibilidade hídrica nos critérios estabelecidos para análise dos processos de outorga (AGRA, 2009). A alternativa mais prática é a adoção de vazões de referência sensíveis à variação da disponibilidade hídrica. Neste caso, foram estabelecidas três tendências na situação da disponibilidade hídrica ao longo do ano: mínima, média e máxima.

Na tendência de mínima ou período seco, as vazões observadas estão próximas da vazão mínima anual, devido à estiagem. Nos meses regidos por esta tendência há maior potencial de conflito, pois além da baixa disponibilidade hídrica, são os meses com maior demanda. No contexto do hidrograma ecológico (COLLISCHONN, 2005) justificam-se critérios mais rigorosos na concessão de outorgas neste período.

Na tendência média ou período normal, não só as vazões observadas superam as vazões do período de escassez e aproximam-se da média anual, mas a ocorrência de eventos mínimos anuais é insignificante. Nestes meses é possível flexibilizar o processo de outorga adotando-se vazões mínimas de referência mais elevadas.

A tendência de máxima é consequência do período chuvoso, que implica vazões observadas muito superiores à vazão mínima de referência tradicionalmente estabelecida com base no período mais seco do ano. Embora nesses meses a demanda para captação seja reduzida, a elevada flexibilidade do critério de outorga pode potencializar a utilização dos recursos hídricos para diluição de efluentes.

3° Princípio: As tendências ocorrem em três fases

Segundo a teoria proposta para classificação do regime hidrológico crítico, as tendências podem apresentar fases distintas. São elas:

- Movimento: na primeira fase de cada período as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência: mínima ou máxima.
- Estabilização: nesta fase não ocorrem grandes variações nas vazões mínimas observadas. Na tendência média não ocorre esta fase, visto que a recessão das chuvas implica a redução contínua das vazões de base.
- Reversão: durante esta fase, o movimento se inverte e as vazões retornam contra a tendência. A tendência média não apresenta reversão.

4° Princípio: As médias devem confirmar a tendência

Por médias entendem-se as médias das vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7) em cada período ou tendência. O princípio estabelece que a média das vazões mínimas observadas em cada período deve confirmar as tendências de máxima, média ou mínima. Em síntese, a tendência de máxima ou período chuvoso deve apresentar a vazão mínima mais elevada e a tendência de mínima ou período seco, a menor disponibilidade hídrica. A tendência de média ou período normal deve se confirmar pela vazão mínima próxima da média anual.

5° Princípio: Os riscos comprovam as tendências

Enquanto o princípio anterior avalia a magnitude e a duração das vazões mínimas (Q_7), este princípio objetiva avaliar a frequência. Estabelece que a frequência de ocorrência da Q_7 no período regido por cada tendência confirma o agrupamento de meses com riscos homogêneos de ocorrência de situações críticas em disponibilidade hídrica.

6° Princípio: As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas

O último princípio concilia a identificação dos períodos sazonais com a finalidade de flexibilizar os critérios utilizados no processo de outorga, estabelecendo que as vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) precisam confirmar a sazonalidade das tendências. Atendendo este princípio, existe a garantia da flexibilidade ao adotar vazões mínimas de referência específicas para cada período estabelecido.

4.3.3. Determinação das vazões características

Considerando que o sistema de informações deve também subsidiar os planos de recursos hídricos, além das vazões mínimas de referência para o processo de outorga, as vazões médias e máximas complementaram o banco de informações hidrológicas incorporado ao sistema, como destacado a seguir:

- Vazão mínima com sete dias de duração e recorrência de 10 anos ($Q_{7,10}$);
- Vazões associadas às permanências de 50 (Q_{50}), 90 (Q_{90}) e 95% (Q_{95});
- Vazões médias de longa duração (Q_{mld});
- Vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos.

A fim de avaliar a flexibilidade oferecida aos critérios de outorga e, ainda, subsidiar as políticas de gestão dos recursos hídricos, além do tradicional período anual, os períodos sazonais foram utilizados na determinação das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) e vazões médias (Q_{mld} e Q_{50}). Por não haver finalidade prática para as vazões máximas sazonais, utilizou-se apenas o período anual.

Inicialmente, foram elaborados para cada estação fluviométrica as séries anuais de vazões com sete dias de duração (Q_7) e vazões médias utilizando ambos os períodos (anual e sazonais). Com o ano hidrológico iniciando em outubro, foram construídas as séries anuais de vazões máximas diárias. Para subsidiar a confirmação das tendências nos períodos sazonais estabelecidos foi identificado o número de ocorrências de eventos mínimos anuais (Q_7) em cada mês do ano civil.

Com as séries anuais construídas, foram elaborados diagramas de barra para cada série observando a quantidade e o mês de ocorrência das falhas. De posse dos diagramas de barras e do mapa de localização das estações, foram identificados os valores inconsistentes de vazão a partir da análise de continuidade das observações em seções de montante e jusante.

Após a análise das séries anuais de vazão, aos dados inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas para posterior preenchimento, utilizando o método da regressão linear. A existência de pelo menos oito anos de dados e um coeficiente de determinação mínimo de 0,7 foram os critérios estabelecidos para que se pudesse realizar o preenchimento de falhas.

Para o preenchimento das falhas considerou-se inicialmente como estação de apoio aquela que se encontrava no mesmo curso d'água da estação com falhas. Nos casos de ausência de estação de apoio no mesmo rio ou de não atendimento aos critérios mencionados anteriormente, foram testadas as estações mais próximas daquela que apresenta falhas. Assim, utilizou-se o modelo de regressão linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

em que,

Y = estação fluviométrica em análise, com dados a serem preenchidos;

X = estação fluviométrica de apoio para preenchimento; e

β_0 e β_1 = parâmetros ajustados na regressão.

Como a vazão mínima $Q_{7,10}$ e as vazões máximas estão associadas a um determinado nível de risco, ou seja, associadas a um período de retorno específico (T), as séries anuais para cada período de referência utilizado foram submetidas à análise estatística para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustava aos dados. Os modelos probabilísticos avaliados para as vazões mínimas foram os seguintes: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. Já para os eventos máximos foram utilizadas as seguintes distribuições: Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e Log-Pearson III.

A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou a cada uma das séries anuais de Q_7 e às séries de vazões máximas foi realizada com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, em diferentes níveis de probabilidade, e no coeficiente de variação. Foi escolhida a distribuição de probabilidade que apresentou significância em nível de 20% de probabilidade no teste de Kolmogorov-Smirnov, associada ao menor coeficiente de variação.

Após a seleção da distribuição probabilística foram obtidos os valores das vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos e as vazões mínimas anuais e sazonais com sete dias de duração associadas ao período de retorno de 10 anos. Já os valores de Q_{90} e Q_{95} , para cada período analisado, foram obtidos das curvas de permanência de cada estação fluviométrica, com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada. As vazões médias de longo período foram determinadas pela média das vazões diárias em cada período de referência adotado.

4.3.4. Regionalização e espacialização das vazões

Optou-se por utilizar o método tradicional de regionalização de vazões, proposto pela Eletrobrás (1985a), que utiliza equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas. Esta metodologia vem apresentando as melhores estimativas em estudos comparativos com outros métodos e mostra-se mais adequada em bacias com grande variabilidade ambiental, como a bacia do rio Doce (AZEVEDO, 2004; LEMOS, 2006). A escolha do método também se baseou no trabalho de Ribeiro et al (2005), que avaliaram três metodologias na bacia do rio Doce e concluíram que as melhores estimativas estavam associadas ao método tradicional.

Novaes (2005) e Oliveira (2008) apontaram a ocorrência de discontinuidades das vazões estimadas nas seções fronteiriças entre regiões homogêneas e ao longo das confluências, como uma desvantagem do método tradicional. Na tentativa de amenizar as discontinuidades nas fronteiras, avançou-se a delimitação das regiões até a interseção com outro rio principal, transferindo o degrau hidrológico para uma confluência com maior disponibilidade hídrica e, portanto, menor potencial de conflito.

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas foi inicialmente observada a distribuição geográfica das estações e então analisados os coeficientes da regressão, a tendência e a classificação dos resíduos padronizados e o erro percentual entre os valores das vazões calculadas e estimadas pelo modelo de regionalização obtido. Quando foram verificados bons resultados, a região foi definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas.

Foram consideradas como variáveis físicas no estudo de regionalização: a área de contribuição (A), o comprimento do rio principal (L), o comprimento total da drenagem (L_T), a densidade de drenagem (Dd) e a declividade média da bacia (S). Como características pluviométricas, além da precipitação total anual (Pa), utilizou-se a precipitação do semestre seco (Pss), do semestre chuvoso (Psc) e, na regionalização das vazões máximas, a precipitação do mês mais chuvoso ($Pmax$).

De posse das vazões características e das variáveis físicas e pluviométricas correspondentes às estações fluviométricas pertencentes a uma mesma região homogênea, foi aplicada a regressão múltipla entre as vazões e as variáveis ambientais para obtenção das equações de regressão regionais, com base nos modelos: linear, potencial, exponencial, logaritmo e recíproco.

Para verificação do ajuste dos modelos de regressão aos dados foram adotados o coeficiente de determinação ajustado, o erro-padrão da estimativa e o teste da função F . Os melhores modelos foram selecionados observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado, menores desvios relativos entre as vazões calculadas e estimadas, menor número de variáveis independentes e a sensibilidade do modelo à espacialização.

Na identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste dos modelos de regressão múltipla foi utilizado o *software* RH 4.0[®], desenvolvido por Euclides et al. (2005).

Vale ressaltar que as estações que apresentaram desvios relativos superiores a 50% foram isoladas da respectiva região homogênea devido à singularidade do regime hidrológico observado. Este critério baseou-se no princípio de que a melhor informação hidrológica é aquela obtida por meio do monitoramento contínuo e que a falta de ajustamento de uma série consistente ao modelo de regressão regional existe por tratar-se de uma bacia hidrográfica com comportamento hidrológico singular. No cenário de bacias hidrográficas cada vez mais desenvolvidas, são justificadas diferenças nos eventos extremos, mínimos e máximos. Por outro lado, são comuns inconsistências nas séries de vazões produzidas pelas curvas-chave das estações.

A etapa de espacialização hidrográfica das vazões visou, além da validação das equações regionais, à construção da base de informações hidrológicas contínuas. De posse das imagens (*grids*) contendo as características físicas e pluviométricas para cada célula da drenagem, as equações regionais com melhores ajustes estatísticos foram processadas em ambiente de SIG, distribuindo espacialmente as estimativas ao longo da hidrografia, respeitando os limites definidos por cada região homogênea. Nesta etapa, qualquer inconsistência nos modelos de regressão recomendados pôde ser claramente identificada em virtude da visualização espacial da continuidade das vazões nos cursos d'água.

4.3.5. Ajuste das vazões estimadas

Com o objetivo de fornecer a melhor informação hidrológica para a tomada de decisão no julgamento das outorgas, as vazões estimadas pelos modelos de regressão regionais foram ajustadas estabelecendo as vazões observadas como pontos de controle. Este critério baseia-se no princípio de que os modelos de regressão são ajustados com base em um comportamento médio da região homogênea, com a finalidade de transferir informações para seções da hidrografia onde não há monitoramento. Portanto nas seções com monitoramento, não se justifica utilizar as equações regionais e admitir um erro que não precisa existir.

Dessa forma, nos cursos d'água sem representação nas séries históricas de vazão os modelos regionais foram aplicados normalmente, já nos rios contidos nas áreas de drenagem de estações fluviométricas, as vazões estimadas foram calibradas ou substituídas dependendo do ajuste da regressão. Assim, estabeleceram-se dois casos para as duas situações que exigiram o ajuste das vazões estimadas.

Caso A: cursos d'água nas áreas de drenagem a montante de seções monitoradas por estações que participam da região homogênea, ou seja, apresentam desvio relativo menor que 50% (Desvio < 50%).

$$Q = C_a \times Q_{est} \quad (2)$$

onde:

Q = vazão corrigida para determinada seção do curso d'água;

C_a = coeficiente de ajuste;

Q_{est} = vazão estimada pelo modelo de regressão regional.

O coeficiente de calibração foi obtido pela relação entre a vazão observada e a vazão estimada pelo modelo regional na seção onde se encontra instalada a estação fluviométrica. Este coeficiente foi então aplicado sobre a hidrografia contida na área de drenagem da seção onde há monitoramento.

Caso B: cursos d'água nas áreas de drenagem monitoradas por estações que não se ajustaram ao modelo de regressão regional, ou seja, apresentam desvio relativo superior a 50% (Desvio > 50%).

$$Q = q \times A \quad (3)$$

onde:

Q = vazão para determinada seção do curso d'água;

q = vazão específica na seção de monitoramento;

A = área de drenagem para determinada seção do curso d'água.

Na prática, as áreas de influência das estações localizadas nos rios de cabeceira foram estendidas até a seção de deságue em um rio principal devido à homogeneidade entre as áreas de drenagem. A Figura 4.13 ilustra este procedimento.

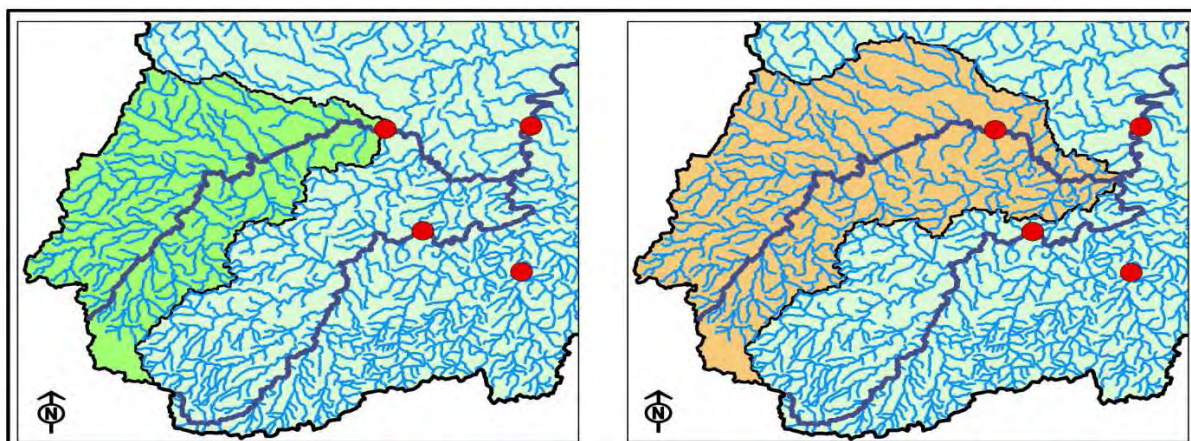


Figura 4.13. Extensão das áreas de influência das estações para ajuste das vazões.

Nos rios intermediários da bacia hidrográfica, o ajuste foi realizado apenas na calha principal do curso d'água, visto que as estações instaladas nestes rios monitoram vazões que estão associadas a áreas de drenagem bem superiores às áreas de contribuição de seus afluentes diretos. Desta forma, as vazões nos afluentes diretos dos rios intermediários monitorados por estações fluviométricas não foram ajustadas, permanecendo os valores estimados pelas equações regionais. A Figura 4.14 apresenta as áreas de influência do ajuste das vazões na região de cabeceira do rio Doce, abrangendo rios de cabeceira e intermediários.

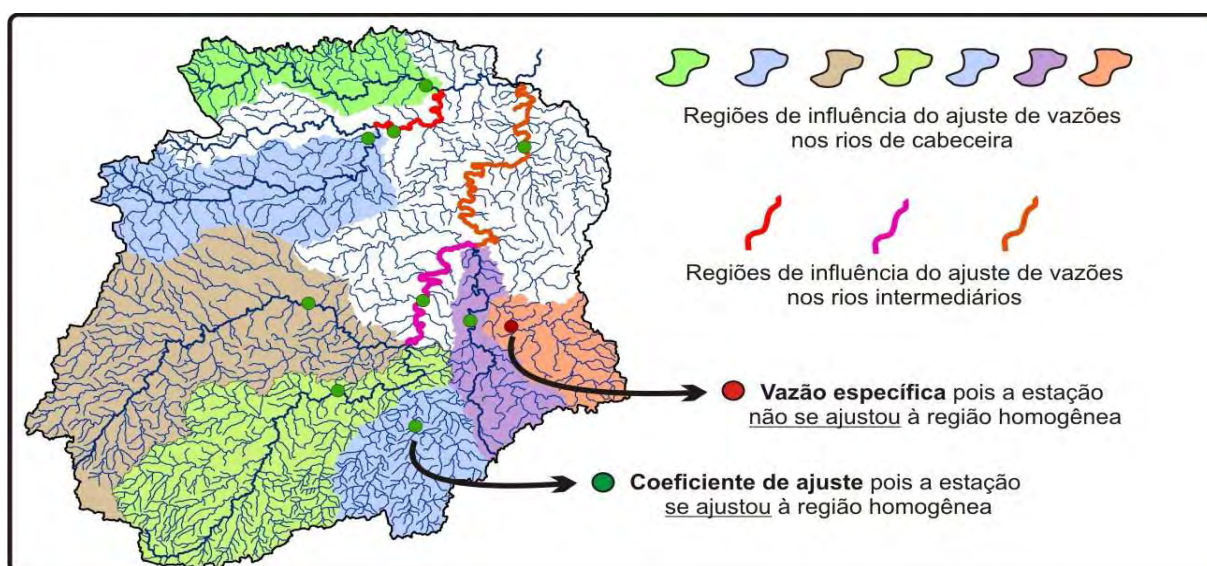


Figura 4.14. Áreas de influência para o ajuste das vazões estimadas nos rios de cabeceira e intermediários e identificação do método de ajuste utilizado.

Na figura 4.14 apresenta-se em vermelho, o destaque do método de ajuste utilizado para a estação fluviométrica Seriquite (56085000) que não se ajustou às equações regionais para estimativa das vazões mínimas e médias. Conforme a metodologia apresentada, na área de influência destas estações, utilizou-se a vazão específica para substituir os valores estimados pelas equações regionais por vazões condizentes com o regime específico da área de drenagem.

Além da diferenciação entre rios de cabeceira e rios intermediários, existe uma terceira situação para a delimitação da área de influência para o ajuste das vazões: quando um curso d'água é monitorado por mais de uma estação fluviométrica. Nestes casos, no sentido de montante para jusante, as áreas de influência foram estendidas até as seções que antecedem o deságue de afluentes com áreas de drenagem

significativas. Consequentemente, a área de influência da estação localizada mais a jusante foi estendida até a próxima confluência com outro rio principal.

4.4. Modelagem do banco de dados

A construção do modelo de banco de dados (BD) para armazenar e gerenciar o grande volume de informações necessárias à gestão dos usos múltiplos da água exigiu um conhecimento profundo sobre a aplicação do instrumento de outorga. No processo de modelagem, que envolveu as etapas de mapeamento dos processos afetos a outorga, sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas e o recondicionamento do modelo Arc Hydro, houve preocupação constante em harmonizar a complexidade das informações com a simplificação necessária à padronização e eficiência do banco de dados.

Analizando a evolução dos sistemas de informação em recursos hídricos, Morehouse (2002) afirma que o sucesso dos sistemas de gestão está na versatilidade do banco de dados. Nesse sentido, a idéia central que norteou a modelagem foi construir um banco de dados que servisse simultaneamente como uma base de informações para o geoprocessamento, que possibilitasse a gerência administrativa dos usos múltiplos e ainda oferecesse suporte ao SIGWeb AQUORA.

4.4.1. Mapeamento dos processos afetos à outorga

Nesta etapa foram analisadas as práticas operacionais e os trâmites administrativos na aplicação do instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos. Foram estabelecidos contatos e realizadas discussões com profissionais de diversos órgãos gestores estaduais a fim de conhecer a aplicação do instrumento e estudar, a fundo, as informações disponíveis que regulam o uso das águas e orientam os usuários e gestores de recursos hídricos.

Este conhecimento diz respeito aos passos para aplicação do instrumento de outorga desde o preenchimento dos formulários pelos requerentes, até o monitoramento das outorgas ativas pelos órgãos gestores, com ênfase nos critérios para análise dos processos de outorga. Com este propósito, foram levantados e analisados uma série de documentos como formulários de outorga, roteiros técnicos, resoluções administrativas e técnicas, softwares de apoio a decisão, dados coletados em campo em formulários de vistorias e fiscalização e quaisquer outros

documentos que pudessem transmitir o conhecimento sobre a forma de aplicação do instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos.

Muitas vezes a legislação apresenta critérios para análise dos processos de outorga que não são aplicados pelos gestores devido à falta de informações disponíveis e pela ausência de ferramentas para o gerenciamento do grande volume de informações. Por esta razão, o SIGWeb AQUORA foi desenvolvido observando os critérios definidos em Lei, para operacionalizar os critérios normatizados e informar o gestor quando um deles não estiver sendo satisfeito.

No mapeamento dos processos, buscou-se identificar as inconsistências ou dificuldades na forma como a outorga é aplicada pelos gestores, em contraste com os princípios e regras estabelecidas pelas portarias, decretos e instruções normativas dos conselhos de recursos hídricos e das entidades reguladoras. Com base na área de abrangência das bases geográfica e hidrológica, foi dada ênfase aos critérios estabelecidos pelas instituições que compartilham a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Doce, isto é: ANA, IGAM e IEMA.

Em essência, o mapeamento dos processos buscou o entendimento das análises técnicas relacionadas à concessão de outorga para captação de águas superficiais e para o lançamento de efluentes em cursos d'água. Segundo Salim et al (2009), atualmente as análises de captação e lançamento são realizadas separadamente enquanto a PNRH preconiza a gestão integrada da quantidade e qualidade. O Quadro 4.6 apresenta o material de referência legal para aplicação da outorga dos recursos hídricos nos domínios de gestão na bacia do rio Doce.

Quadro 4.6. Legislação vigente para aplicação da outorga na bacia do rio Doce.

Domínio	Legislação	Objeto
Federal	Resolução CNRH nº 16/01	Outorga – Define vazão de diluição.
	Resolução CONAMA nº 357/05	Critérios para classes de enquadramento.
	Resolução ANA 707/04	Procedimentos técnicos de análise.
	Resolução ANA 219/05	Análise para fins de lançamento.
MG	Portarias IGAM nº 10/98- 07/99.	Vazão de referência e limites outorgáveis
	Deliberação Normativa CERH 24/08	Critérios para diluição de efluentes.

ES	Instrução Normativa IEMA nº 19/05	Vazão de referência e limites outorgáveis.
	Instrução Normativa IEMA nº 07/06	Critérios para diluição de efluentes.

4.4.2. Sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas

Além das informações geográficas para representação dos elementos da bacia hidrográfica e das informações hidrológicas provenientes dos estudos de regionalização de vazões, um grande número de informações precisou ser armazenado no banco de dados, de forma a oferecer aos gestores total conhecimento para análise de cada processo. Além de informações complementares das bases de dados geográficos e hidrológicos, os campos dos formulários de cadastro e os critérios de outorga precisaram ser sistematizados.

Constatada a importância de informações geográficas auxiliares no processo de gestão dos usos múltiplos da água, foram adicionadas à base de dados geográficos as camadas de informação: Estados, municípios, regiões homogêneas, rios principais, estações de monitoramento e estradas federais. A cada uma dessas camadas foi associada uma série de atributos relevantes à orientação de gestores, usuários e sociedade em geral. Vale ressaltar que a estrutura do BD é expansível, podendo incorporar novas informações no momento em que estiverem disponíveis.

Em relação à base de dados hidrológicos, a etapa de mapeamento dos processos revelou ser insuficiente o conhecimento das vazões mínimas, médias e máximas. Foi preciso utilizar os critérios definidos pelos diferentes gestores com atuação na bacia do rio Doce para espacializar as vazões de referência e as vazões outorgáveis sobre a rede de pontos sequenciais. A fim de operacionalizar a outorga para lançamento de efluentes, com base no diagnóstico do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do rio Doce (PIRH-Doce, 2009) foram espacializadas a classe dos cursos d'água e os parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg L^{-1}), temperatura - T ($^{\circ}\text{C}$), nitrogênio - N (mg L^{-1}) e fósforo total - P (mg L^{-1}).

Devido à divergência na forma como as informações são solicitadas nos formulários de outorga dos diferentes órgãos gestores da bacia do rio Doce, foi necessário padronizar o formato de armazenamento das variáveis administrativas. Além da localização geográfica da seção de interferência, os formulários identificam

uma série de dados afetos aos processos de outorga, como: categoria, modalidade, e finalidade da outorga; dados cadastrais do requerente e do responsável técnico, além do detalhamento dos usos múltiplos segundo cada tipo de empreendimento outorgado. Também foram modeladas tabelas para controle interno dos processos.

4.4.3. Recondicionamento do modelo Arc Hydro

No desenvolvimento do sistema baseado em SIG e TI não foi necessário reinventar um modelo de banco de dados capaz de representar as relações espaciais entre microbacias e cursos d'água e, principalmente, entre os elementos de montante e jusante. O modelo de banco de dados Arc Hydro possui a estrutura básica para suporte à gestão dos recursos hídricos (MAIDMENT, 2002) e, conseqüentemente, o modelo foi apenas ajustado e estendido para melhor atender aos objetivos do sistema de controle dinâmico para gestão dos usos múltiplos da água no Brasil.

Os ajustes foram necessários para transformar a estrutura padrão do BD em um modelo específico para a aplicação. Uma vez que o modelo Arc Hydro tornou-se padrão internacional (ARCTUR, 2004), não foi alterada a nomenclatura dos elementos do banco de dados. O modelo é organizado em quatro categorias principais mais as séries históricas, conforme apresentado nas Figuras 4.15 e 4.16.

Como as análises envolvidas no processo de outorga se baseiam em vazões de referência, que foram previamente sistematizadas, não foram incorporadas séries históricas às estações de monitoramento. Outra simplificação no modelo foi o descarte da categoria que caracteriza a geometria dos canais, já que a base geográfica construída não favorece o delineamento preciso dos perfis longitudinal e transversal dos cursos d'água. Ressalta-se, novamente, que o modelo do BD é expansível.

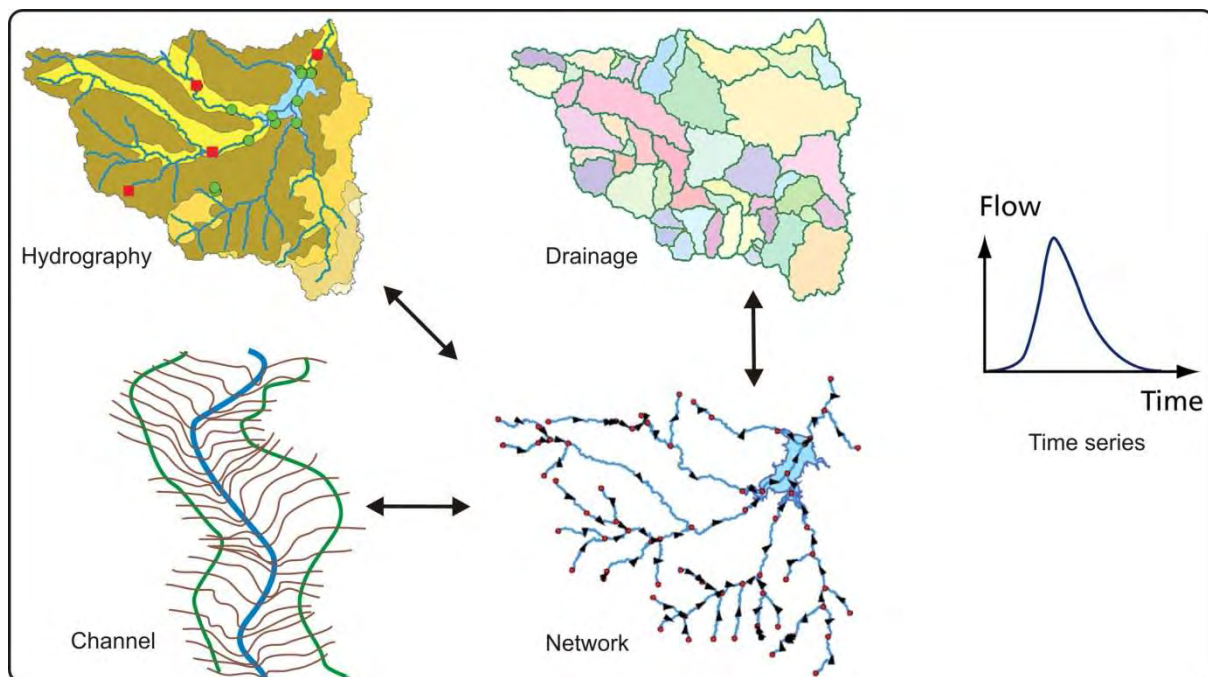


Figura 4.15. Componentes do modelo de banco de dados Arc Hydro.

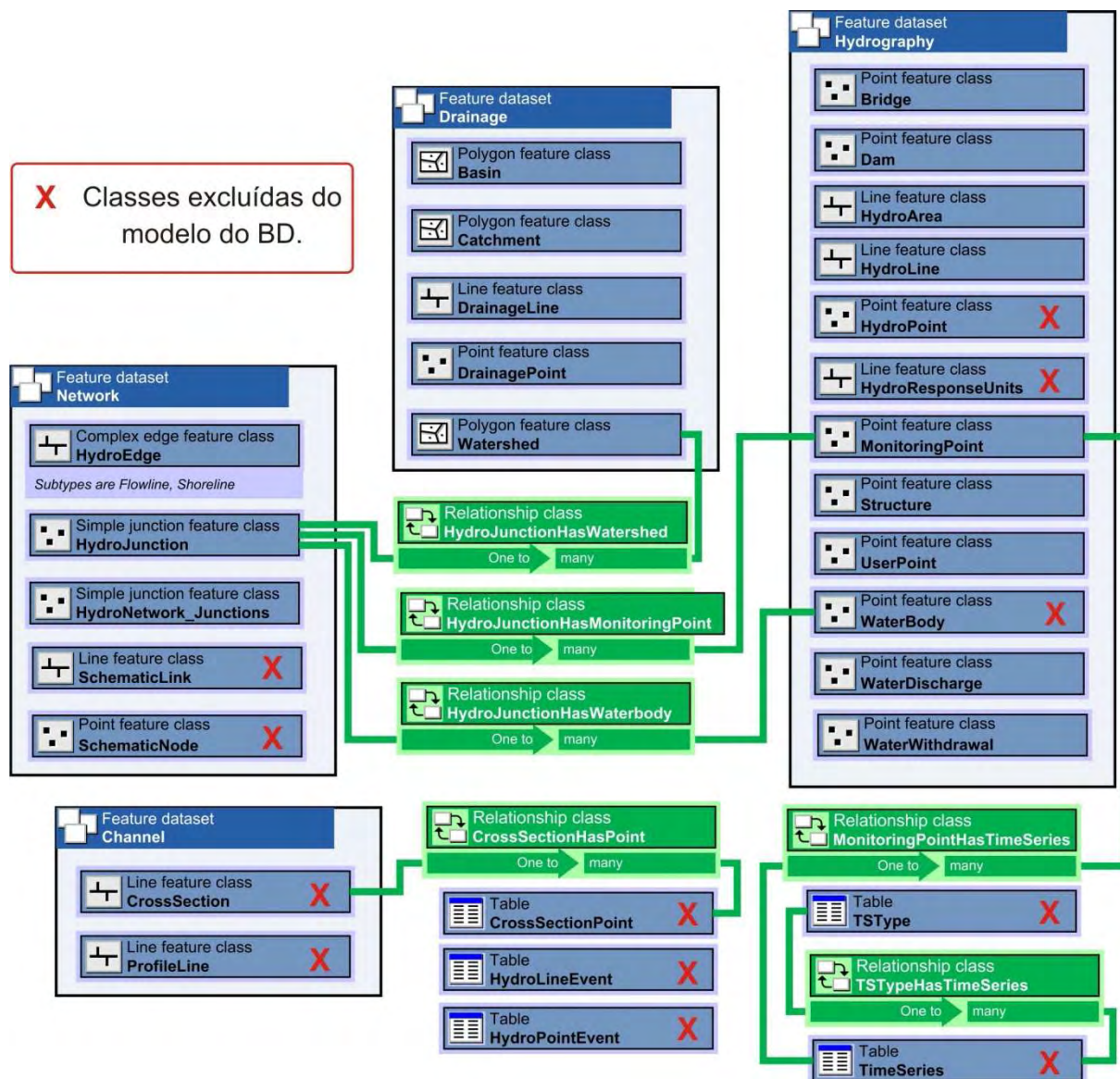


Figura 4.16. Modelo do banco de dados Arc Hydro e as classes descartadas.

Seguindo a estrutura proposta pela ANA no desenvolvimento do SNIRH (ANA, 2007b), o modelo geográfico do Arc Hydro foi estendido para incorporar as informações hidrológicas e administrativas, valendo-se de um grande número de tabelas, domínios e classes de relacionamento para unir os três pilares do BD:

Base geográfica: Ottobacias, rede geométrica, municípios, captações, lançamentos, estações de monitoramento, regiões homogêneas, domínios de gestão, etc.

Base hidrológica: Vazões mínimas e médias anuais e sazonais, máximas anuais, vazões de referência, outorgáveis e disponíveis, parâmetros de qualidade, etc.

Base administrativa: Cadastro de usuários, responsáveis técnicos, empreendimentos, cronologia de captações e lançamentos, permissões de acesso, vistorias, etc.

4.5. Desenvolvimento e avaliação do sistema de controle em tempo real

Ao contrário dos programas computacionais conhecidos como softwares, um sistema de informações precisa estar apoiado em bases de dados dinâmicas que possibilitem atualizações permanentes do conhecimento armazenado. Visando assegurar a versatilidade do banco de dados e as funcionalidades do SIG no ambiente operacional dos órgãos gestores e, ao mesmo tempo, implementar aplicações geográficas na Internet, o sistema de controle em tempo real utiliza o SGBDR OracleXE[®] e o servidor e gerenciador espacial ESRI ArcGIS 9.3 Server[®] em uma arquitetura cliente-servidor, conforme apresentado na Figura 4.17.

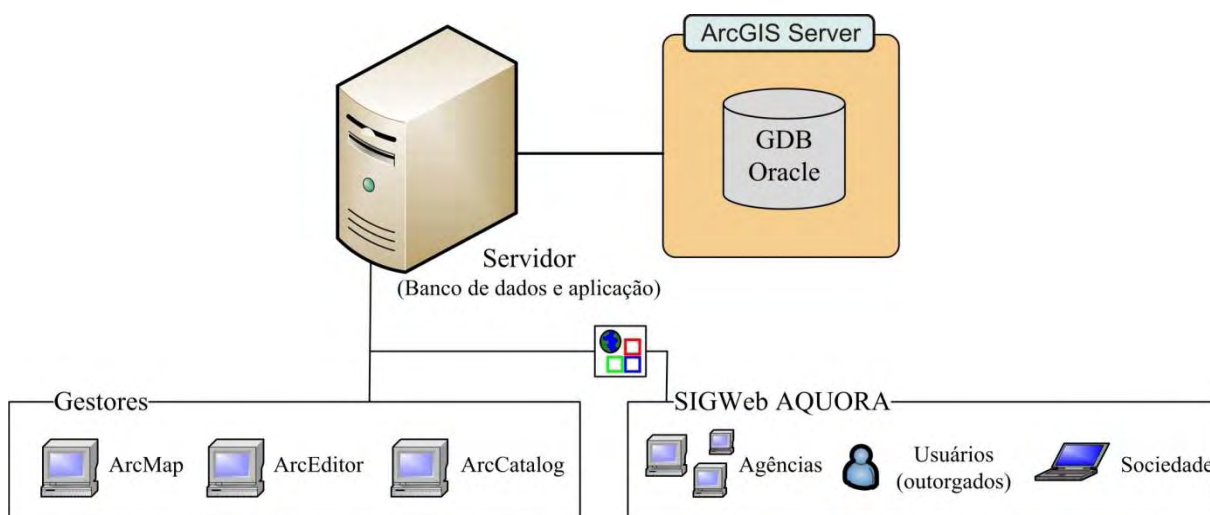


Figura 4.17. Arquitetura cliente-servidor do sistema de controle em tempo real.

Além das funções tradicionais de um portal espacial, como as ferramentas de navegação espacial, identificação de feições geográficas e a busca por atributos, foi necessário programar rotinas específicas para a aplicação na Web. Dessa forma, foram implementadas funções para demonstrar o potencial da integração SIG-TI na gestão dos recursos hídricos e consolidar as funcionalidades do sistema de controle dinâmico para a gestão dos usos múltiplos das águas.

Utilizando os recursos do Web Application Developer Framework (WebADF) para a plataforma Java no Eclipse Integrated Development Environment (IDE), foram programadas as funções: Consulta a disponibilidade hídrica; Cadastro de usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos; Solicitação de outorga para captação superficial e lançamento de efluentes; e Controle dos processos de outorga.

4.5.1. Consulta de informações hidrológicas

A função para consulta de informações hidrológicas foi programada para extrair do banco de dados as variáveis que identificam a seção de interesse e as vazões características associadas a qualquer seção da hidrografia selecionada pelo usuário. Como todas as informações do banco possuem relacionamento com os pontos sequenciais da rede geométrica representativa da hidrografia, a partir de qualquer ponto sobre os cursos d'água, o sistema busca nas tabelas e classes de feições relacionadas, as informações sobre a respectiva seção de interesse.

A estrutura hidrorreferenciada do BD, por meio dos relacionamentos entre os elementos da hidrografia (pontos sequenciais) e as demais informações geográficas, hidrológicas e administrativas mostrou-se fundamental na eficiência das consultas realizadas pela aplicação via internet. Foi importante estabelecer o mínimo de operações espaciais, pois se tratando de um sistema multi-usuário, a simplicidade das requisições ao servidor são responsáveis pela duração do processamento para retorno das respostas.

Dessa forma, na programação da consulta às informações hidrológicas utilizou-se apenas uma pesquisa espacial: a identificação do ponto da rede hidrográfica correspondente à seção de interesse do usuário. Identificado este ponto, a busca pelas informações associadas é realizada diretamente no SGBDR. Este procedimento se repetiu nas demais funções e representou a chave para a eficiência da aplicação.

Como forma de auxílio ao instrumento de outorga de direito de uso e visando a transferência de conhecimento para o público em geral, a consulta foi programada para retornar informações sobre: a localização da seção de interesse, as vazões mínimas incluindo os critérios para outorga, as vazões médias e as vazões máximas.

- Identificação da seção de interesse: domínio de gestão (UF e órgão gestor), coordenadas geográficas, município, sub-bacia, curso d'água, área de drenagem, declividade média, precipitação total anual.
- Vazões mínimas: $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} (m^3s^{-1}) adotando-se os períodos anual e sazonais (seco, normal e chuvoso), vazão de referência e percentual outorgável.
- Vazões médias: Q_{mld} e Q_{50} (m^3s^{-1}) adotando-se os períodos anual e sazonais.
- Vazões máximas: Vazões máximas (m^3s^{-1}) para $T = 2, 10, 20, 50$ e 100 anos.

4.5.2. Cadastro de usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos

A função de Cadastro foi implementada como alternativa ao preenchimento dos formulários de outorga. São informações básicas que independente do tipo de solicitação, modalidade, categoria ou finalidade, são solicitadas nos diferentes formulários. É importante que os órgãos gestores mantenham, para pronto acesso, um inventário sobre os usuários de recursos hídricos, os responsáveis técnicos por cada processo de outorga submetido a julgamento e sobre os empreendimentos que demandam algum uso dos recursos hídricos.

Utilizando a aplicação como uma ferramenta de comunicação entre os usuários e os órgãos gestores, a função foi programada para estabelecer a conexão com o banco de dados e carregar as tabelas administrativas com as informações de identificação fornecidas pelos clientes do sistema via internet. Esta alternativa, além de mais elegante, é notadamente mais eficiente do que o preenchimento de formulários de outorga que não possuem uma relação direta com um modelo de banco de dados padronizado para receber e gerenciar estas informações.

Com base na estrutura do BD, modelada para armazenar e relacionar os usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos com os respectivos processos de outorga, a função de cadastro solicita informações de identificação para cada uma dessas classes. Apesar do banco de dados ter sido modelado para caracterizar os múltiplos usos dos recursos hídricos associados às variadas finalidades de uso, a função registra apenas as informações básicas de identificação, essenciais à avaliação da integração SIG- SGBDR na internet.

Além das informações de identificação, para apoiar o controle das permissões de acesso, são solicitados e armazenados o login e a senha de acesso de usuários e responsáveis técnicos para em seguida ser solicitada a outorga de direito de uso.

- Usuário: Estado, nome, município, bairro, telefone, CEP, endereço, e-mail, CPF, login e senha de identificação para solicitar e acompanhar a outorga.
- Responsável técnico: Estado, nome, CREA, CPF, município, bairro, telefone, CEP, endereço, e-mail, login e senha de identificação no sistema.
- Empreendimento: Estado, Razão social, CNPJ, município, bairro, telefone, CEP, Endereço, login e senha do usuário.

4.5.3. Solicitação de outorga

A função para solicitar uma outorga foi programada para ser executada após terem sido cadastrados os usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos. Apesar das variadas modalidades de outorga, identificadas por meio do mapeamento dos processos e consideradas na modelagem do BD, nesta versão do sistema a função para a solicitação de outorgas visou somente as modalidades captação de águas superficiais e lançamento de efluentes, por haver critérios bem estabelecidos na legislação e exigirem a atualização da disponibilidade hídrica.

Como a solicitação de uma nova outorga envolve simultaneamente a inserção de um novo elemento geográfico no banco de dados e o detalhamento da utilização dos recursos hídricos, a função foi dividida em duas etapas: a edição do tema geográfico e a solicitação de outorga, propriamente dita.

A adição de um novo ponto às classes de feição correspondentes a uma captação ou um lançamento de efluentes foi programada utilizando como base a tradicional função de edição do ESRI ArcGIS®: o Editor Task, com alinhamento (snapping) aos pontos sequenciais. Com este alinhamento, o novo uso é relacionado à rede geométrica da hidrografia, possibilitando as análises de montante e jusante. Dependendo da modalidade, informações diferentes são solicitadas ao usuário:

- Captação: tipo de captação (significante ou insignificante), finalidade do uso da água (irrigação, dessedentação animal, abastecimento público, indústria, etc.).
- Lançamento: tipo de efluente (doméstico ou industrial), tratamento, tipo de medição e parâmetros qualitativos para os efluentes brutos e tratados. No caso de efluentes domésticos, dados sobre a população atendida são requeridos.

Como a solicitação foi dividida em duas etapas, é necessário que ao concluir o processo de edição de um novo ponto sobre a hidrografia, o usuário do sistema memorize o identificador do ponto para dar sequência à solicitação. Criado o ponto que localiza a intervenção, a função “Solicitação de outorga” complementa as informações do processo de outorga e encaminha a solicitação para o julgamento.

Além de relacionar os usuários, responsáveis técnicos e os empreendimentos aos respectivos elementos espaciais, as informações complementares abordam a cronologia mensal das captações ou lançamentos e apresenta alguns indicadores.

No caso de captações de águas superficiais, a função requer que o usuário ou responsável técnico identifique, para cada mês do ano, a vazão média demandada (m^3s^{-1}), o número de dias em que ocorre captação (dias) e a duração média da captação por dia (horas). Fornecidas estas informações, o sistema calcula mensalmente dois indicadores do comprometimento dos recursos hídricos, conforme sugestões de Collischonn e Lopes (2009).

Comprometimento do usuário (%)

Relação entre as vazões demandada e outorgável na seção de intervenção. Este indicador é fundamental para avaliar se a vazão demandada pelo usuário ultrapassa o limite outorgável individual.

$$\% = \frac{\text{Vazão Demandada}}{\text{Vazão Outorgável}} \times 100 \quad (4)$$

Comprometimento da seção (%)

Relação entre as vazões captadas à montante mais a demandada pelo usuário e a vazão outorgável na seção de intervenção.

$$\% = \frac{\text{Vazão Captada à Montante} + \text{Vazão Demandada pelo usuário}}{\text{Vazão Outorgável}} \times 100 \quad (5)$$

No caso de lançamento de efluentes, a função requer que o usuário ou responsável técnico identifique, para cada mês do ano, a vazão média de lançamento (m^3s^{-1}), o número de dias em que ocorre lançamento (dias) e a duração média dos lançamentos diários (horas). Ressalta-se que os critérios atuais de outorga para captações e lançamentos não consideram o regime dos usos, ou seja, a frequência (número de dias) e a duração (horas/dia) das intervenções.

Ao contrário da solicitação para captação superficial, na outorga para diluição de efluentes não são calculados indicadores, mas sim apresentada a classe de enquadramento do curso d'água onde ocorre o lançamento, bem como os principais parâmetros qualitativos do manancial e do efluente (temperatura, $\text{DBO}_{5,20}$, nitrogênio total e fósforo total).

4.5.4. Controle dos processos de outorga

Com base nos critérios de outorga estabelecidos em Lei, a função de controle foi desenvolvida para apoiar a avaliação dos processos por parte dos gestores e garantir a atualização permanente da disponibilidade hídrica após a ativação de uma nova outorga. Apesar de lidar separadamente com os processos de captação e de lançamento de efluentes, os impactos de cada modalidade são considerados no cálculo dos indicadores e na atualização da vazão remanescente.

Enquanto a outorga para captação se baseia em vazões de referência, percentuais outorgáveis e limites de comprometimento por usuário individual, a outorga para lançamento baseia-se no conceito de vazão de diluição, conforme estabelecido pela Resolução CNRH nº 16/01.

Como o objetivo do sistema de controle em tempo real não é reinventar nenhum processo, mas sim oferecer uma solução baseada em SIG e TI para aprimorar as análises das intervenções e ampliar o controle sobre os usos múltiplos da água, os esforços concentraram-se no processamento de variáveis e indicadores para traduzir as normas vigentes que regulam a aplicação do instrumento de outorga. Na prática, significou operacionalizar os critérios estabelecidos para integrar a outorga de captações de águas superficiais com a de lançamento de efluentes.

Captações de águas superficiais

A análise do processo de outorga para captação se baseia no confronto entre a vazão demandada pelo usuário e a vazão que está disponível para outorga na seção de intervenção e que, se captada, não implicará violação do percentual remanescente a jusante. A partir desta inovação, denominada “imobilização hídrica”, a menor vazão disponível a jusante imobiliza a vazão máxima a ser outorgada a montante, assegurando vazões remanescentes ao processo de outorga em conformidade com a legislação nos domínios de gestão (análise de jusante).

Assim, além dos indicadores apresentados pelas Equações 4 e 5, importantes por demonstrar o grau de comprometimento do corpo hídrico, a função de controle varre a trajetória do escoamento da seção de captação até a foz da bacia e retorna a menor vazão disponível, embasando a decisão de emitir ou não a outorga. A partir da ativação da outorga pelo órgão gestor, o sistema atualiza as vazões disponíveis para outorga (disponibilidade outorgável) ao longo da hidrografia, até o exutório da bacia.

A Figura 4.18 apresenta o conceito de imobilização hídrica e a Figura 4.19, o procedimento de atualização da disponibilidade hídrica em tempo real, a partir da ativação de uma outorga de captação de águas superficiais, pelo órgão gestor.

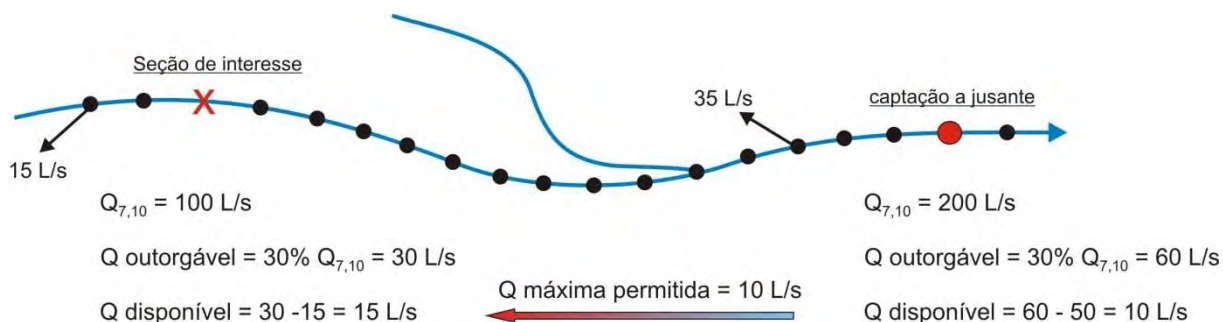


Figura 4.18. Esquema ilustrativo do conceito de imobilização hídrica, aplicando os critérios de Minas Gerais.

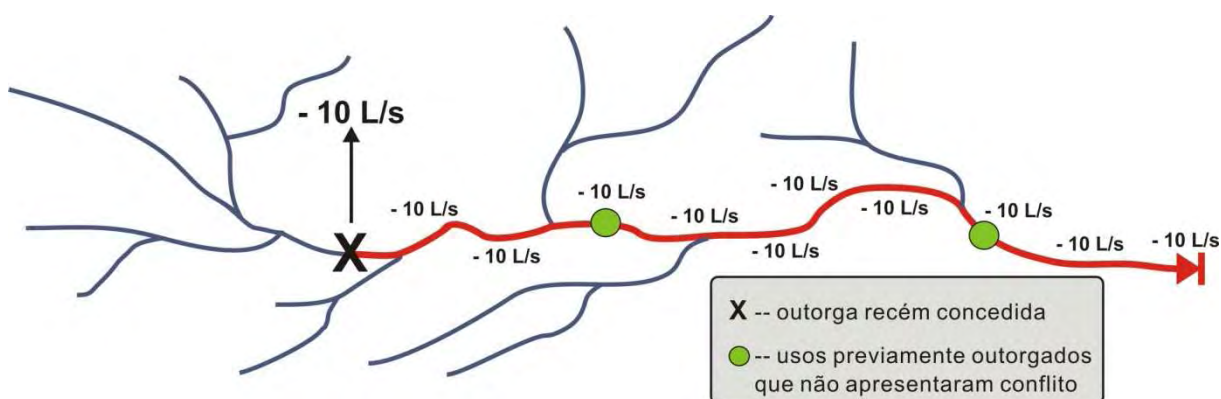


Figura 4.19. Ilustração do procedimento do balanço hídrico consuntivo após a ativação de uma outorga para captação de águas superficiais.

Lançamentos de efluentes

A função de controle permite também a análise dos processos de outorga para lançamentos de efluentes, que nos órgãos gestores é contemplada pelos parâmetros temperatura, DBO, nitrogênio e fósforo totais (ANA, 2005b, IGAM, 2008 e IEMA, 2006). A concepção das análises fundamentou-se no conceito de vazão de diluição, proposto por Kelman (1997) e preconizado na Resolução 16/01 da ANA.

Conforme concebido pelo “SQAQO – Sistema Quali-Quantitativo de Análise de Outorgas” (MMA, 2000), o método da vazão de diluição consiste em determinar a vazão necessária para a diluição de determinado parâmetro do efluente até um nível “aceitável”, estabelecido de acordo com a classe de enquadramento do manancial.

Dessa forma, a vazão de diluição pode ser entendida como a vazão necessária para diluir determinada concentração de dado parâmetro de qualidade, de modo que a concentração resultante seja igual à concentração permitida pelo enquadramento. Uma vez que o banco de dados hidrológico incorporou os valores correspondentes à classe de enquadramento dos cursos d'água, a função "Controle" utiliza os limites definidos na Resolução CONAMA 357/05 e calcula as vazões de diluição para cada parâmetro com base na equação do balanço de massa:

$$Q_{dilui} = Q_{ef} \times \frac{(C_{ef} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{man})} \quad (6)$$

onde, Q_{dilui} é a vazão de diluição, Q_{ef} é a vazão do efluente (ambas em m^3s^{-1}); C_{ef} é a concentração de determinado parâmetro no efluente, C_{perm} é a concentração permitida do parâmetro no rio, definida pelo enquadramento, e C_{man} é a concentração "natural" do parâmetro no manancial, estas últimas em $mg L^{-1}$.

No caso da vazão de diluição do parâmetro temperatura, a formulação é um pouco diferente, uma vez que a resolução CONAMA 357/05 estabelece que um lançamento não pode alterar a temperatura do corpo receptor em mais de 3°C. Desta forma, a vazão de diluição para a temperatura foi calculada pela Equação 7:

$$Q_{dilui} = Q_{ef} \times \frac{(T_{ef} - T_{man} - 3)}{3} \quad (7)$$

onde T_{ef} é a temperatura do efluente e T_{man} é a temperatura natural do manancial.

Vale salientar que são calculadas quatro vazões de diluição (uma para cada parâmetro), sendo a maior delas considerada como a vazão da qual o usuário se "apropria". Considerando que o mesmo volume que dilui a DBO pode diluir o nitrogênio total (ou outro parâmetro), não faz sentido somar as vazões de diluição. Outro conceito incorporado ao SIGWeb AQUORA é o da vazão indisponível, definida como a vazão de mistura que o usuário torna indisponível para outros lançamentos, sendo calculada pela Equação 8 (MMA, 2000 apud Collischonn e Lopes, 2009):

$$Q_{indisp} = Q_{dilui} + Q_{ef} \quad (8)$$

onde, Q_{dilui} é a vazão de diluição e Q_{ef} é a vazão do efluente, em m^3s^{-1} .

A partir da seleção de um processo de outorga, a função de controle busca as informações fornecidas pelo usuário e aquelas associadas à seção da hidrografia, isto é: vazões de referência, vazões disponíveis, classe de enquadramento e as características qualitativas de temperatura, DBO, nitrogênio e fósforo totais. Com base na classe de enquadramento, o sistema processa as vazões de diluição para cada parâmetro, identifica o parâmetro crítico, ou seja, aquele que gera a maior vazão de diluição e calcula a vazão indisponível devido ao lançamento do efluente.

Assim como ocorre com as análises das captações, foram seguidas as recomendações de Collischonn e Lopes (2009) para processar alguns indicadores de apoio à avaliação dos órgãos gestores.

$$\begin{array}{ccc} \text{Indicador 1} & \text{Indicador 2} & \text{Indicador 3} \\ \% = \frac{Q_{\text{ref}}}{Q_{\text{cons}}} & \% = \frac{Q_{\text{ref}}}{(Q_{\text{ref}} - Q_{\text{cons}})} & \% = \frac{(Q_{\text{ref}} + Q_{\text{cons}})}{(Q_{\text{ref}})} \end{array} \quad \begin{array}{c} (9) \\ (10) \\ (11) \end{array}$$

onde Qref é a vazão de referência e Qcons, a vazão consumida a montante, em m³s⁻¹.

A subtração (Qref-Qcons) é denominada vazão remanescente, ou seja, a vazão que resta no rio após a retirada de todos os consumos de água a montante.

Diferentemente do balanço consuntivo realizado para as captações, em que as vazões demandadas são debitadas da disponibilidade hídrica outorgável em todos os trechos a jusante, Salim et al (2009) ressaltam que, no contexto qualitativo, embora as vazões de diluição se propaguem a jusante, os valores podem aumentar, diminuir ou mesmo manter-se constantes, dependendo do tipo de parâmetro em questão (conservativo ou não conservativo).

O desenvolvimento do sistema de controle dinâmico para gestão dos usos múltiplos da água foi fundamentado nas normas e critérios atualmente vigentes para aplicação do instrumento de outorga. Assim, para identificar o parâmetro mais crítico são calculadas as vazões de diluição para cada parâmetro, mas no balanço hídrico mensal considera-se sempre a vazão de diluição para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). A DBO é o principal parâmetro definido nos critérios de outorga, é comumente utilizada para caracterizar efluentes de diversas fontes de poluição e apresenta o decaimento de carga já equacionado por Kelman (1997).

A formulação de Kelman (1997) para o decaimento da carga de DBO é apresentada pela Equação 12, sendo o valor de K1 corrigido de acordo com a temperatura conforme apresentado na Equação 13.

$$Y_t = Y_0 \times e^{-K_1 \cdot t} \quad (12)$$

em que Y_t é a carga orgânica em um ponto qualquer da hidrografia, Y_0 é a carga lançada, ambos em Kg dia^{-1} , K_1 é o coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}) e t é o tempo, em dias, que a carga leva para percorrer a distância do ponto de lançamento até um ponto qualquer da hidrografia.

$$K_1(\text{Temp}) = 0,17 \times 1,047^{(\text{Temp} - 20)} \quad (13)$$

em que K_1 é o coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}) para a temperatura (Temp) do curso d'água, sendo o valor de K_1 para a temperatura de 20°C igual a $0,17 \text{ dia}^{-1}$.

Portanto, se para as captações o desconto sobre a disponibilidade hídrica a jusante é constante, para o lançamento de efluentes a vazão indisponível sofre decaimento pelos processos de autodepuração na calha dos rios. No sistema desenvolvido, com base nas equações 6 e 12, a vazão indisponibilizada para diluição da DBO sofre decaimento segundo a formulação de Kelman (1997), que é apresentada por ANA (2009b) e Salim et al (2009) no formato da Equação 14:

$$Q_{\text{indisp}} = \frac{Q_{\text{perm}} \times C_{\text{perm}} \times e^{-K_1 \cdot t}}{1} \quad (14)$$

em que o índice 1 representa a seção onde ocorre o lançamento do efluente e n uma seção qualquer na trajetória do escoamento a jusante, Q_{indisp} é a vazão indisponibilizada que sofre decaimento (m^3s^{-1}), C_{perm} é a concentração máxima permitida de DBO segundo a classe de enquadramento (mg L^{-1}), K_1 é o coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}) e t é o tempo de percurso na trajetória (dias).

Como foi utilizada uma velocidade média de $0,20 \text{ m/s}$ e a distância média entre pontos sequenciais de 110 m , o tempo de deslocamento entre os pontos da rede geométrica é constante e igual a $0,006 \text{ dias}$. Assim, utilizou-se a Equação 14, em

modo recursivo, para atualizar a disponibilidade hídrica a jusante dos lançamentos considerando-se o decaimento da vazão indisponível a cada ponto da rede geométrica.

4.5.6. Avaliação das funcionalidades do sistema

A elaboração do balanço hídrico entre as disponibilidades e demandas constitui atividade elementar de apoio à gestão dos recursos hídricos, ao ponto da Lei N° 9.433/97 estabelecer a atividade como um dos requisitos mínimos que devem constar em um plano de bacia hidrográfica. Neste contexto, julgou-se oportuno aproveitar a avaliação do sistema de controle em tempo real para realizar o balanço hídrico consuntivo na bacia do rio Doce.

Além de exigir uma série de operações importantes para a avaliação do desempenho do sistema, o balanço hídrico pode ser utilizado como indicativo dos principais conflitos hídricos e oportunidades de desenvolvimento na bacia hidrográfica. Por recomendação das diretorias de outorga do IGAM-MG e IEMA-ES, no balanço hídrico foram utilizados os resultados do diagnóstico dos usos consuntivos do PIRH-Doce (2009), pois segundo os gestores, principalmente do IEMA, atualmente as vazões outorgadas não refletem as demandas totais da bacia hidrográfica. Adicionalmente, na avaliação do sistema, foram processadas as outorgas para captação superficial concedidas pelo IGAM até meados de 2009.

No âmbito do plano de recursos hídricos da bacia do rio Doce (PIRH-Doce, 2009) a etapa de diagnóstico das demandas identificou as vazões demandadas pelos diferentes usos consuntivos em cada uma das sub-bacias principais. O Quadro 4.7 apresenta as vazões demandadas por sub-bacia (Figura 4.20) e que foram utilizadas na avaliação do sistema e no cálculo do balanço hídrico quantitativo.

Quadro 4.7. Vazões demandadas nas sub-bacias e analisadas pelo sistema

Sub-bacia	Vazão demandada (m ³ s ⁻¹)	Sub-bacia	Vazão demandada (m ³ s ⁻¹)
Piranga	1,363	Suaçuí Grande	1,324
Carmo	0,549	Caratinga	1,066
Casca	0,639	Manhuaçu	1,992
Matipó	0,403	Guandú	1,371
Piracicaba	1,903	Santa Joana	0,833
Santo Antônio	0,643	Pancas	0,542

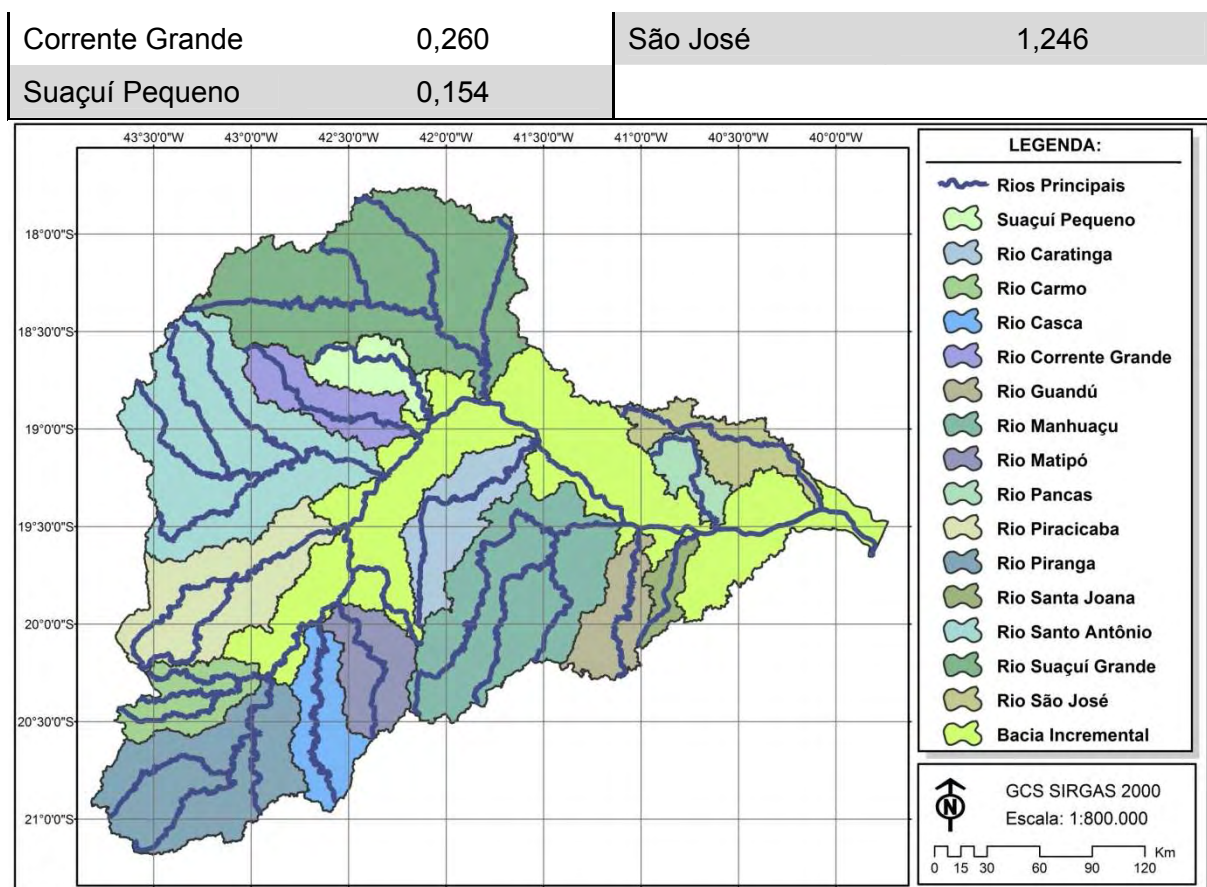


Figura 4.20. Sub-bacias onde foi realizado o balanço hídrico quantitativo a partir das demandas levantadas no PIRH-Doce (2009).

Foram também realizadas simulações na sub-bacia do rio Casca, a fim de avaliar com maior precisão as análises de montante e jusante, a interpretação dos indicadores de comprometimento hídrico para as captações superficiais e os lançamentos de efluentes e o balanço hídrico após a ativação de uma nova outorga. Para tanto, se utilizou dados hipotéticos relativos aos empreendimentos analisados com as estimativas reais de disponibilidade hídrica para a região de estudo.

A Figura 4.21 apresenta o posicionamento das seções de interesse estabelecidas com o objetivo de avaliar, de perto, as funcionalidades da aplicação na internet. Observa-se que foram estabelecidas, em sequência, quatro seções de interesse, sendo duas intervenções (captação e lançamento) e duas seções para monitoramento da eficiência do sistema nas análises de montante e de jusante.

Inicialmente, identificou-se a disponibilidade hídrica inicial em cada seção. Em seguida procedeu-se ao cadastro dos usuários, dos responsáveis técnicos e dos empreendimentos hipotéticos envolvidos com os processos de outorga. Depois as

outorgas foram solicitadas e as análises submetidas em uma sequência específica, capaz de demonstrar a eficiência de todas as funcionalidades do sistema.

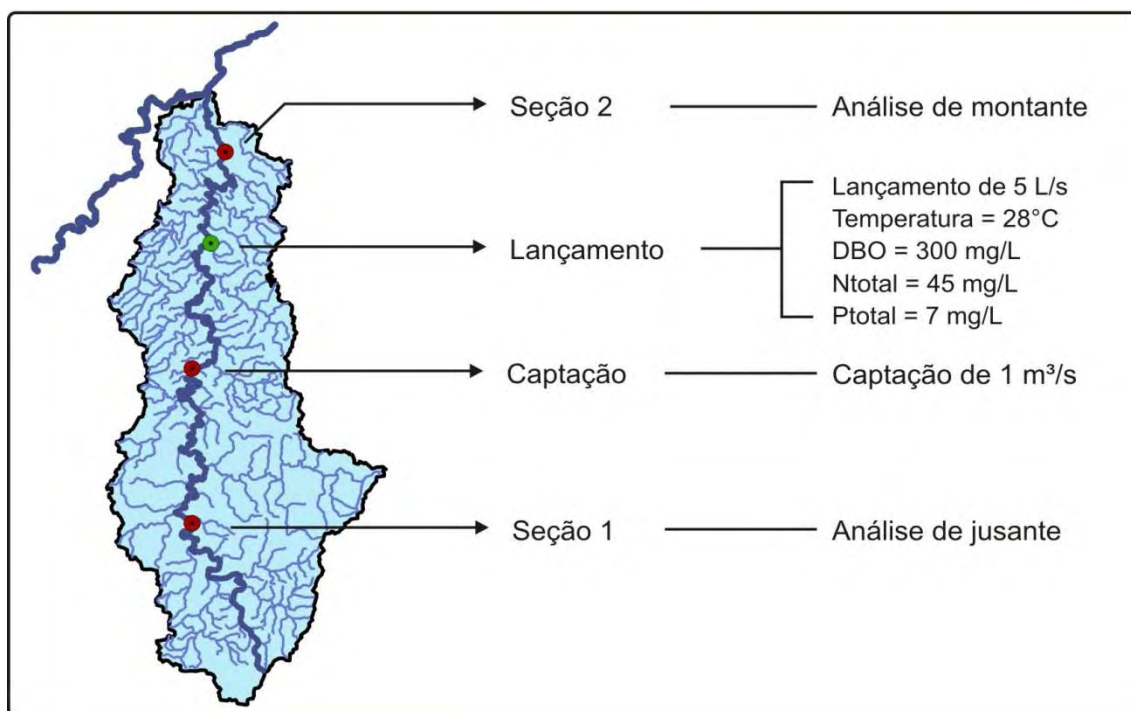


Figura 4.21. Seções de interesse utilizadas para avaliar as funções do sistema.

A sequência adotada na concessão das outorgas compreendeu quatro etapas, com objetivos específicos, conforme a seguir:

- 1ª. Ativou-se a outorga da captação, provocando a atualização, em tempo real, da disponibilidade hídrica em todos os pontos a jusante;
- 2ª. Na análise da seção a jusante foi avaliada a redução da disponibilidade hídrica devido à captação outorgada e verificou-se o cálculo dos indicadores de comprometimento da disponibilidade hídrica na seção;
- 3ª. Na análise da seção a montante foi avaliado se a máxima vazão permitida para outorga correspondia à vazão remanescente da captação outorgada. Os indicadores também foram analisados;
- 4ª. Na análise do lançamento, avaliou-se o cálculo das vazões de diluição para cada parâmetro e mensalmente para a diluição da carga de DBO. Também foram avaliados os indicadores, especificamente a consideração da vazão consumida a montante. Em seguida, ativou-se a outorga do lançamento para avaliar o decaimento da vazão indisponível na trajetória do escoamento.

Na captação foi solicitado $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em todos os meses do ano, já o lançamento hipotético foi avaliado com uma vazão de 5 L s^{-1} e os parâmetros qualitativos usuais em efluentes de esgotos sanitários (von Sperling, 2005) apresentados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8. Informações do lançamento de efluente utilizado na simulação

Vazão lançada (m^3/s)	Parâmetros qualitativos do efluente			
	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	DBO (mg L^{-1})	N_{Total} (mg L^{-1})	P_{Total} (mg L^{-1})
0,005	28	300	45	7

A avaliação do sistema foi finalizada com a ativação das outorgas para captações superficiais concedidas pelo IGAM até agosto de 2009 e pela ANA até dezembro de 2009. As outorgas do IEMA não foram cadastradas, pois estão disponíveis apenas no formato texto, dificultando a transferência para sistemas de informação geográfica. As outorgas para lançamento não foram disponibilizadas.

Devido ao grande número de inconsistências verificadas na planilha de outorgas repassada pelo IGAM, como registros de captação sem dados de vazões, processos sem coordenadas geográficas e vazões individuais acima de $30\text{m}^3\text{s}^{-1}$ (até 540.000), houve necessidade de filtrar os registros de outorgas para não danificar as bases de dados geográficos, hidrológicos e administrativos com registros espúrios. A Figura 4.22 apresenta as outorgas de captações superficiais concedidas pelo IGAM e pela ANA, e os pontos no ES onde as demandas foram estimadas pelo PIRH-Doce.

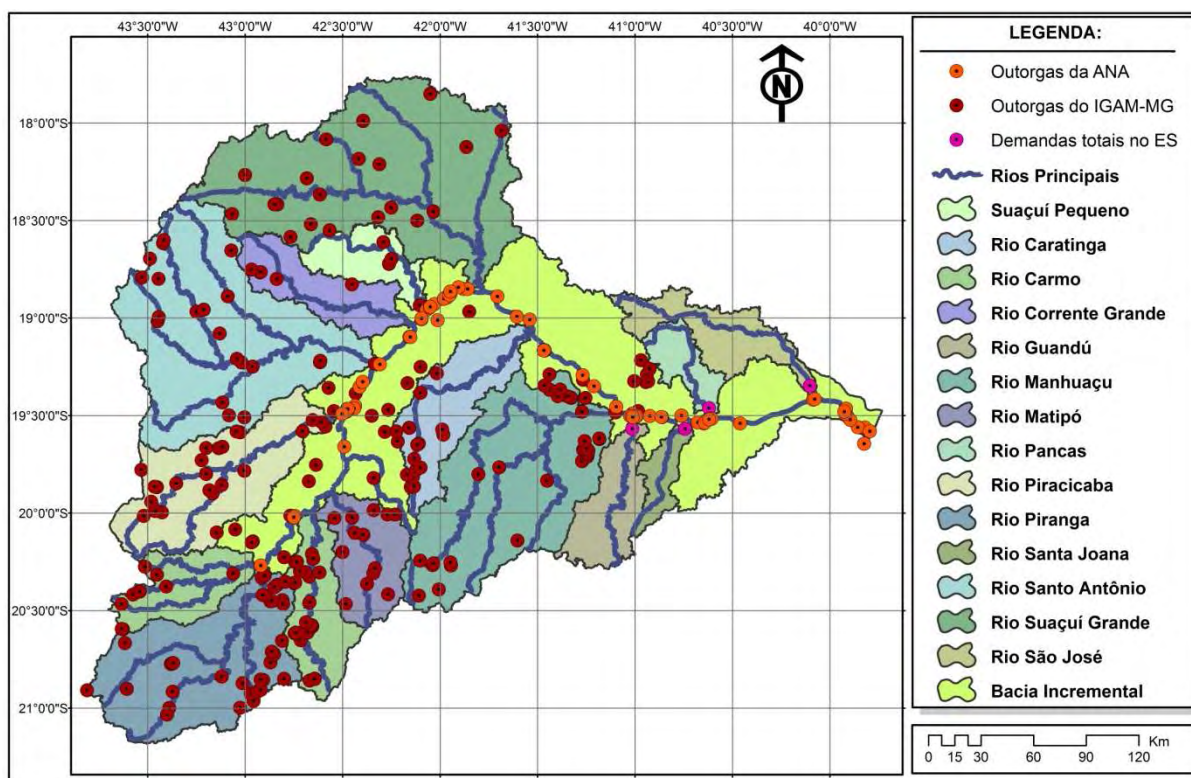


Figura 4.22. Outorgas de captação superficial concedidas pelo IGAM e ANA até 2009.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma cadenciada dos métodos empregados no desenvolvimento do sistema foi responsável pelo sucesso no atendimento a todos os objetivos do projeto. O planejamento das atividades em etapas de áreas distintas do conhecimento facilitou a integração dos esforços, refletida no sequenciamento dos resultados e produtos construídos em cada fase do trabalho, que envolveu pesquisa e desenvolvimento.

Inicialmente, foi atendida a meta de construção da base geográfica que subsidiou a regionalização e a espacialização das vazões características anuais e sazonais. As atividades da etapa de modelagem levantaram novas informações para estender a base de dados e o modelo construído se ajusta plenamente aos critérios que regulam o instrumento de outorga. Por fim, as funções da aplicação na internet corresponderam às expectativas e comprovaram o potencial da integração SIG e TI para a gestão, em tempo real, dos usos múltiplos da água.

Os resultados alcançados no trabalho e as discussões em torno dos produtos gerados demonstram o compromisso com a inovação, observado na rede geométrica formada por pontos sequenciais, no estabelecimento dos períodos sazonais capazes de flexibilizar os critérios de outorga, no modelo de banco de dados geográfico-hidrológico-administrativo e nas funções da aplicação SIGWeb para controle em tempo real. De outro lado, os produtos gerados confirmam a preocupação com o desempenho da ferramenta no atendimento às necessidades reais da sociedade. Dessa forma, as discussões ora argumentam as inovações, ora apresentam a qualidade das informações e serviços do sistema.

5.1. Base de informações geográficas

Os métodos aplicados sobre as fontes primárias de informação produziram os resultados necessários para a construção da base geográfica hidrorreferenciada. O processamento da hidrografia topologicamente consistente com a base de dados da SRTM produziu o MDEHC utilizado na construção da rede geométrica, no delineamento das áreas de drenagem e na extração das características físicas e pluviométricas associadas a cada célula, de 90 m, da rede de drenagem. Apesar de não participar das funções da aplicação, a otocodificação das bacias e cursos d'água agregou valor ao BD devido à topologia incorporada aos identificadores.

5.1.1. Tratamentos topológicos e condicionamento do MDE

Os tratamentos na hidrografia do IBGE (1:250.000), mapeada pelo SIGEO, identificaram um número reduzido de violações às regras topológicas estabelecidas, demonstrando, para a finalidade proposta, desempenho superior à hidrografia mapeada em escala 1:50.000, disponibilizada pelo LABGEO. No contexto de desenvolvimento da base de informações do sistema, julgou-se suficiente a escala 1:250.000.

Conforme apresentado pela Figura 5.1, para compatibilizar o maior nível de detalhamento da escala 1:50.000 com o formato requerido para a base hidrográfica, seria necessário digitalizar as áreas não mapeadas e corrigir inconsistências, como o grande número de trechos desconectados e o traçado das margens duplas.

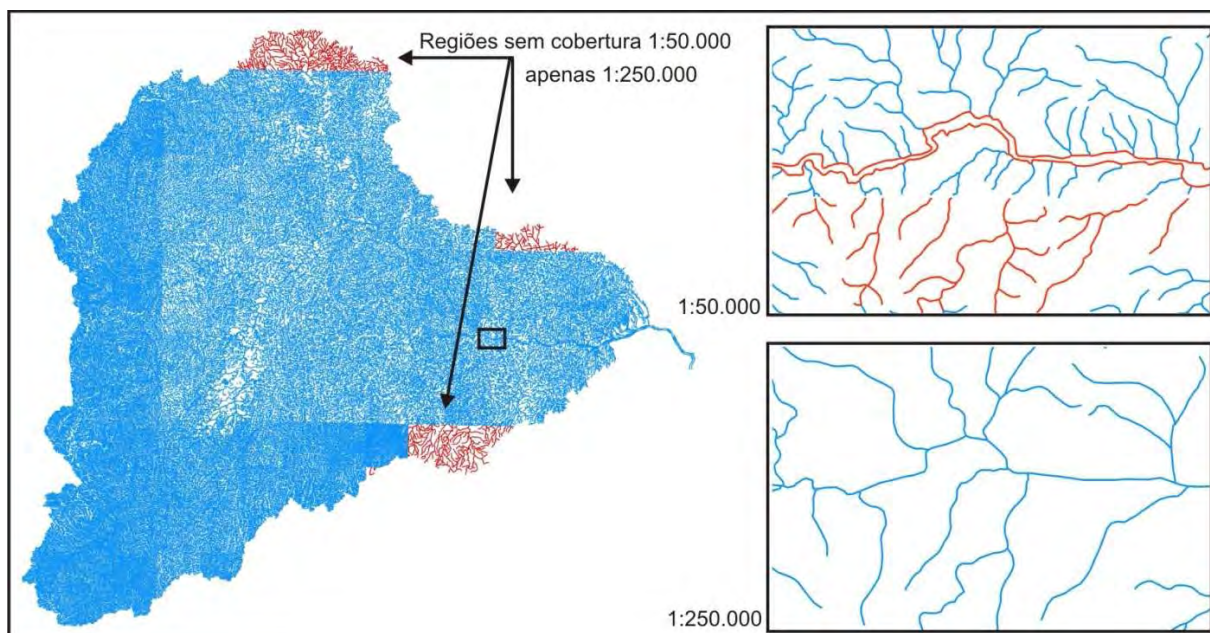


Figura 5.1. Comparação entre as hidrografias nas escalas 1:50.000 e 1:250.000.

Observando-se a figura 5.1, percebe-se que há uma variação sistemática na ramificação da drenagem em uma mesma escala cartográfica. Este é um aspecto comum às diversas escalas disponibilizadas pelo IBGE, mas que não compromete as funcionalidades do banco de dados hidrorreferenciado. Entretanto, devido ao número reduzido e à menor gravidade das inconsistências topológicas, a hidrografia na escala 1:250.000 simplificou o tratamento e agilizou a construção da base geográfica.

Basicamente, os conflitos detectados estavam associados ou à presença de arcos fechados na hidrografia ou à segmentação dos trechos em dois ou mais arcos conectados. Visando o acondicionamento hidrográfico do MDE e a construção da rede geométrica, os polígonos foram separados da estrutura unifilar e os arcos segmentados foram reconstituídos em trechos únicos. As Figuras 5.2 e 5.3 ilustram os resultados dos tratamentos topológicos para adequar a estrutura da hidrografia.

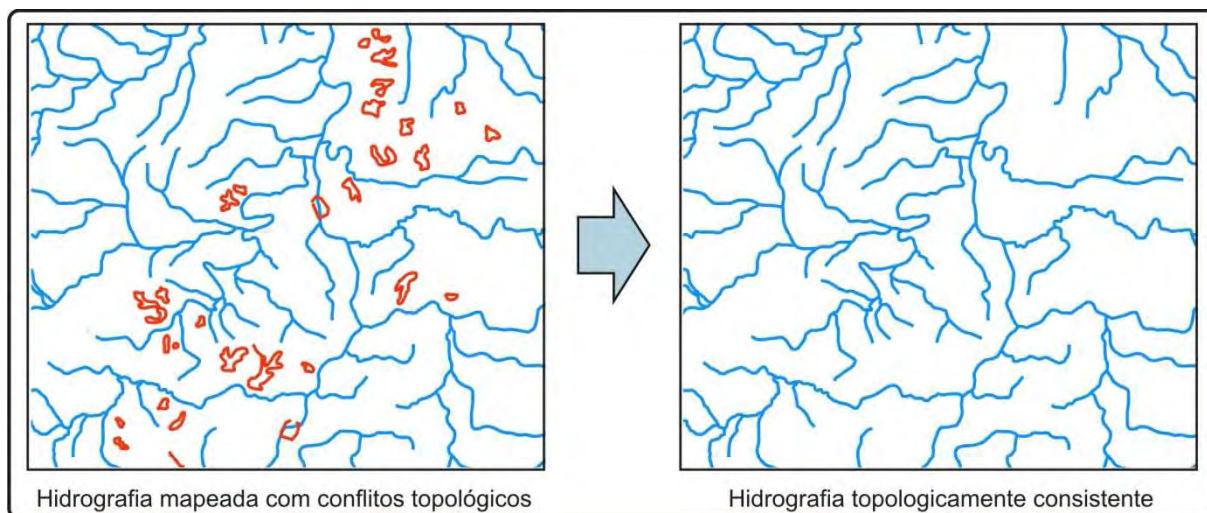


Figura 5.2. Remoção dos polígonos para consistência da estrutura hidrográfica.

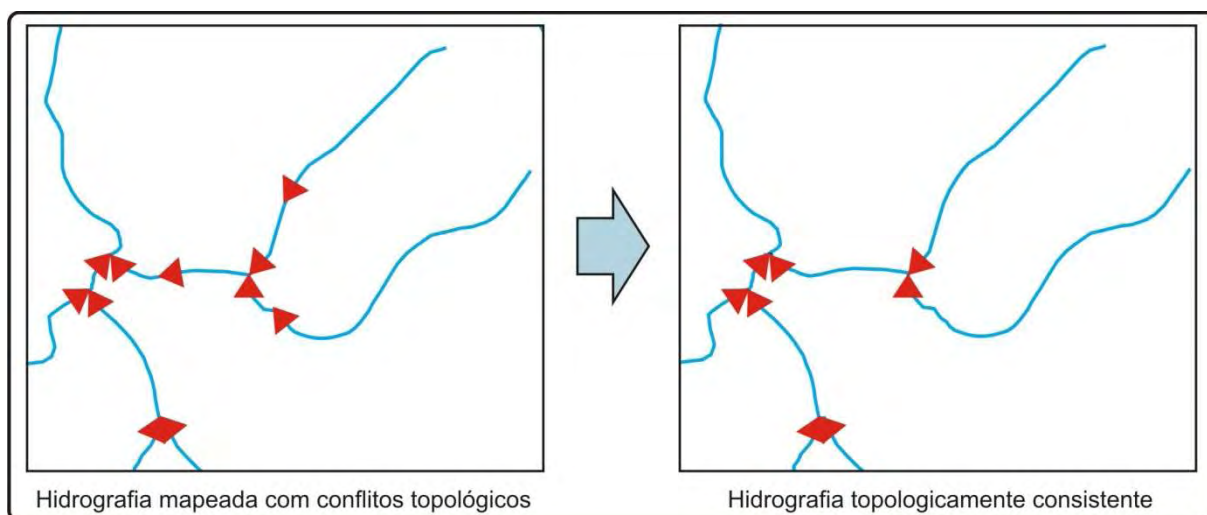


Figura 5.3. Simplificação dos trechos da hidrografia em segmentos simples.

Aplicada a metodologia de recondicionamento, com ênfase no aprofundamento das calhas dos cursos d'água, o MDE resultante foi considerado Hidrograficamente Consistente, pois a partir do novo grid de elevações foi possível delinear, numericamente, a rede de drenagem e as bacias de contribuição associadas a cada segmento de rio, cujos traçados seguiram a hidrografia oficial do IBGE. A Figura 5.4 apresenta a diferença na representação dos cursos d'água no MDE original da SRTM e no MDEHC e, a Figura 5.5, o comparativo dos divisores na região estuarina.

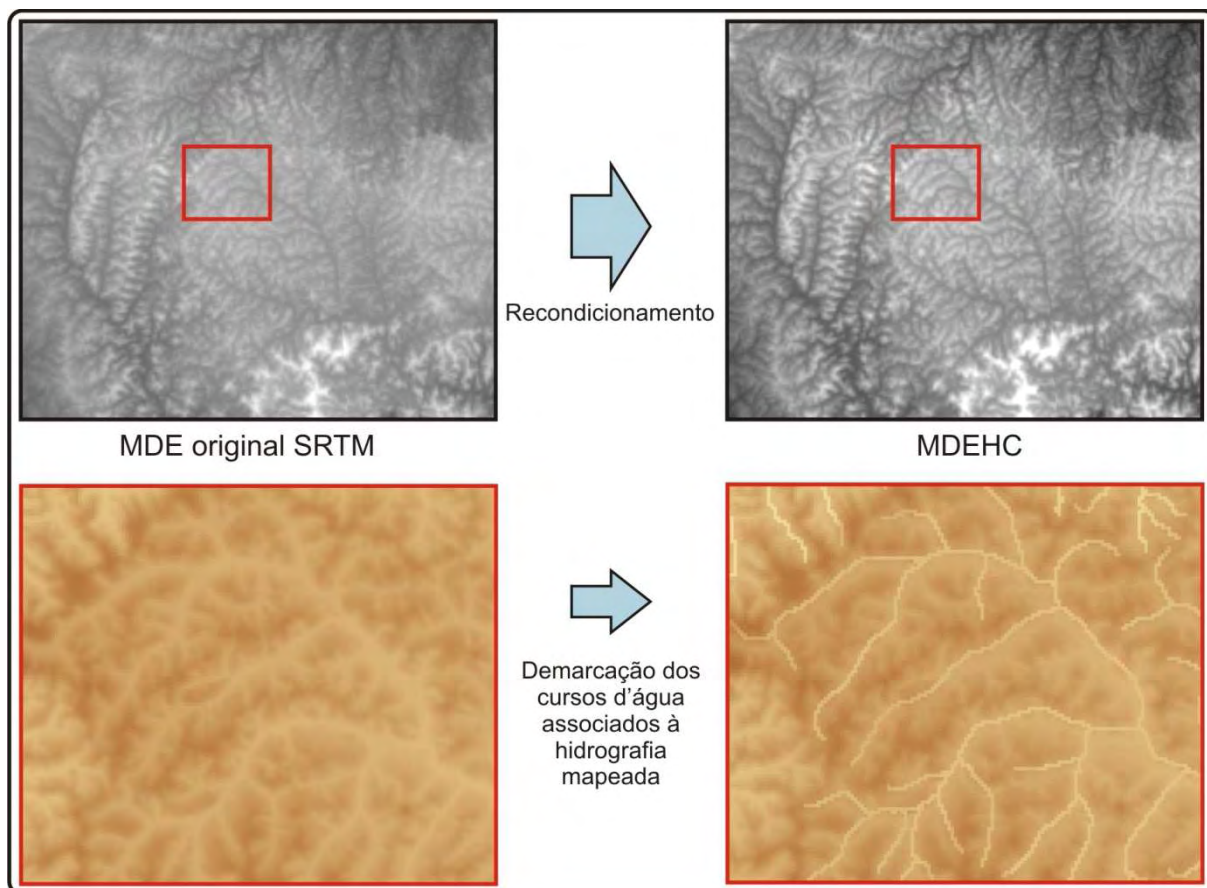


Figura 5.4. Comparação da demarcação hidrográfica entre o MDE-SRTM e o MDEHC.

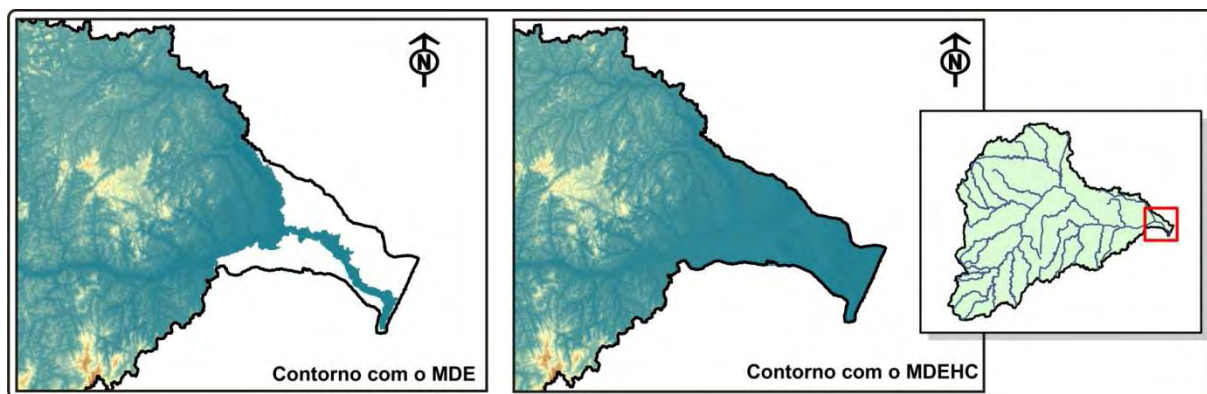


Figura 5.5. Comparação do traçado dos divisores na região mais plana da bacia.

5.1.2. Construção da rede hidrográfica

O delineamento da drenagem a partir da hidrografia mapeada e das direções de escoamento do MDEHC resultou em uma malha hidrográfica com ramificação e trajetória equivalente à base oficial do IBGE. Analisando o traçado da drenagem numérica, observaram-se dois tipos de situação em que houve diferença no traçado das linhas calculadas em relação às linhas mapeadas. A Figura 5.6 apresenta um exemplo para cada tipo de situação em que houve esta discordância na hidrografia.

Na situação com maior número de ocorrências, o traçado da drenagem foi desviado da hidrografia oficial, seguindo o caminho de maior declividade sobre o terreno. Apesar de o MDEHC ter sido reconicionado por meio da imposição da hidrografia mapeada, onde o traçado oficial cruzou áreas de maior elevação, o delineamento com base nas direções de escoamento ajustou o traçado do curso d'água. Nestes casos, foi admitido o novo traçado, uma vez que todas as etapas da construção da base geográfica estão apoiadas na relação terreno-hidrografia.

Por outro lado, nos casos em que o traçado da drenagem foi influenciado pelo posicionamento das nascentes, foram realizadas edições manuais para corrigir o traçado dos cursos d'água. Foi significativo o número de ocorrências em que a drenagem foi delineada no lado oposto das encostas, pois algumas nascentes do IBGE estão localizadas após os divisores de águas. Na correção do traçado, as nascentes foram recuadas nas encostas e em seguida a drenagem foi novamente delineada a partir da drenagem mapeada e das direções de escoamento.

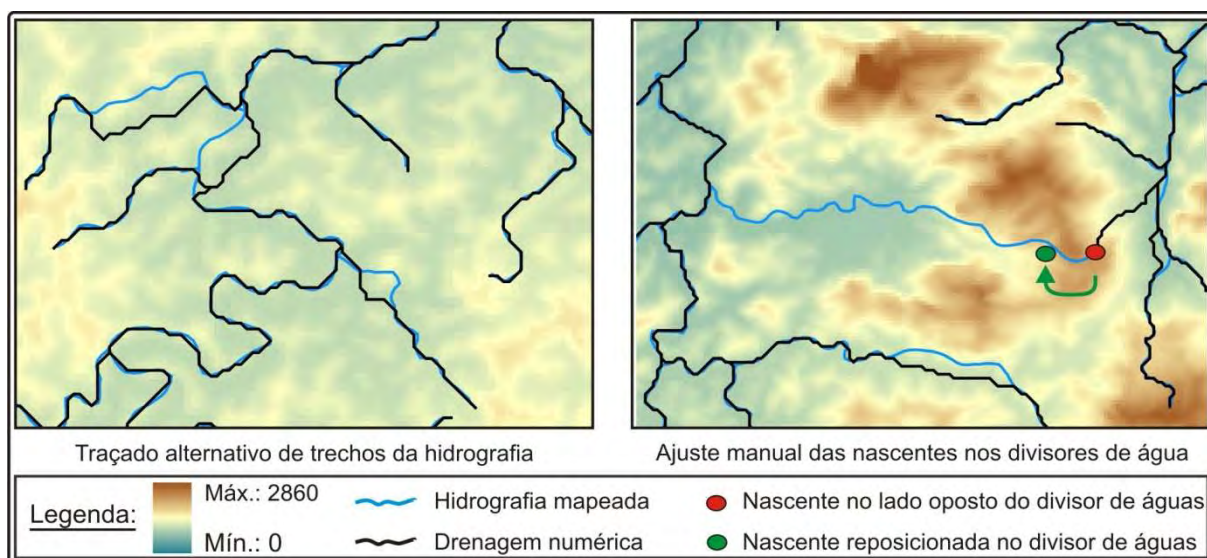


Figura 5.6. Situações em que houve discordância no traçado da drenagem calculada em relação à hidrografia mapeada do IBGE (1:250.000).

A segmentação da drenagem e o delineamento das microbacias associadas a cada trecho de curso d'água integrou toda a superfície da bacia hidrográfica por meio dos identificadores globais das microbacias e segmentos da hidrografia. A Figura 5.7 apresenta uma amostra do resultado dos relacionamentos estabelecidos entre microbacias e segmentos de rio para a integração área-linha. Observa-se que a relação espacial entre os segmentos e as áreas de drenagem foi repassada ao relacionamento entre atributos (HydroIDs).

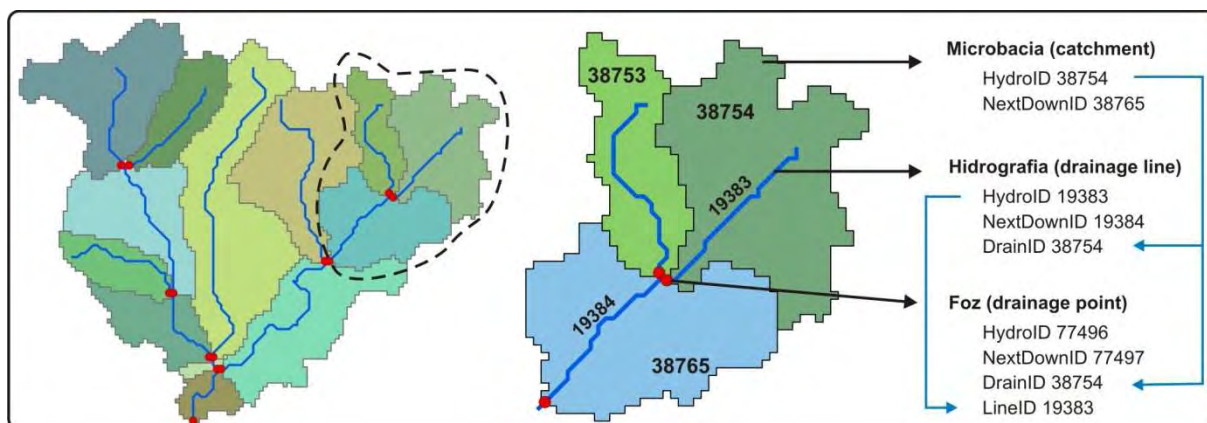


Figura 5.7. Relacionamentos entre as áreas de drenagem, os cursos d'água e a foz de cada microbacia.

Nesta estrutura, as áreas de drenagem, os segmentos da hidrografia e a foz das microbacias receberam identificadores únicos, os HydroIDs do modelo Arc Hydro. Além de um identificador global, observa-se que cada elemento armazena outros dois tipos de identificadores: um para se relacionar ao elemento da mesma classe situado a jusante (NextDownID); e outros para se relacionar com os elementos de outras classes de feição (ex.: DrainID e LineID). Segundo Olivera et al., (2002) os relacionamentos com base nos identificadores são particularmente importantes na navegação topológica envolvendo as bacias e os cursos d'água (montante e jusante) e na transferência de informações de uma classe de feições para outra.

A importância das conexões entre os elementos pode ser observada na estrutura da rede geométrica representativa da hidrografia. Apesar da rede geométrica (HydroNetwork) do sistema de gestão ter sido modificada, permaneceram incorporados os conceitos do modelo Arc Hydro. A Figura 5.8 apresenta a estrutura da rede geométrica, composta apenas por linhas e pontos, mas que mantém a relação com as microbacias por meio dos relacionamentos entre os identificadores de cada classe de feição.

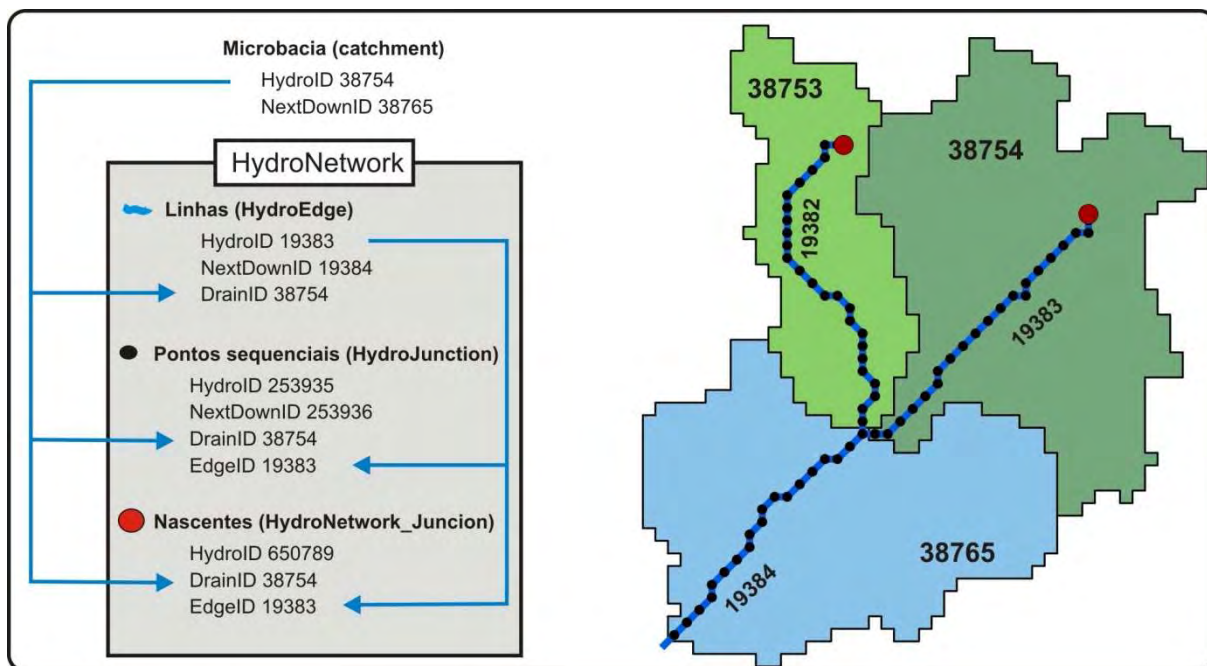


Figura 5.8. Rede geométrica (HydroNetwork) e relacionamentos entre identificadores.

A estrutura da rede geométrica modelada para apoiar as funcionalidades do sistema é composta por três classes de feição: HydroEdge representando as linhas da hidrografia; HydroJunction agrupando os pontos sequenciais sobre a drenagem; e HydroNetwork_Junction representando as nascentes dos mananciais. A rede geométrica construída para a bacia do rio Doce é composta por 19.366 segmentos de hidrografia (HydroEdges), 542.203 pontos (HydroJunctions) e 9.697 nascentes (HydroNetwork_Junctions). Os pontos sequenciais são responsáveis por relacionar as informações hidrológicas e administrativas com a rede geométrica.

Semelhante ao modelo ArchHydro, a Network incorpora relações entre as feições e entre as classes de feição, conforme ilustrado na Figura 5.9. Com cada segmento ou ponto relacionado com a feição de jusante, há a vantagem de se navegar a bacia por meio de consultas diretas nas tabelas do SGBDR.

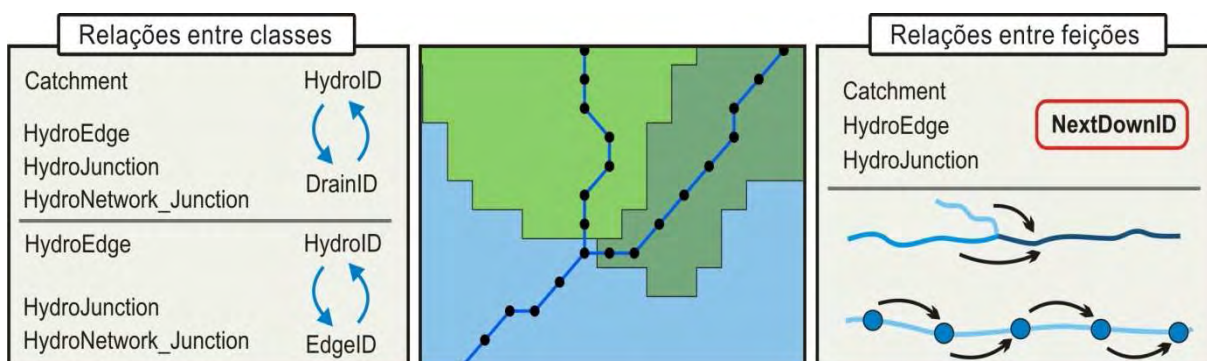


Figura 5.9. Relacionamentos entre as classes de feição e entre as feições da network.

5.1.3. Delineamento das áreas de drenagem

Com base nas direções de escoamento sobre o MDEHC, o delineamento das áreas de drenagem elementares, associadas a cada segmento de curso d'água, produziu 13.366 microbacias, que em seguida foram generalizadas em 17 sub-bacias associadas aos rios principais, mais a área incremental dos afluentes diretos do rio Doce. Por último, com a total generalização das microbacias, foi delimitado o contorno da bacia hidrográfica do rio Doce. A Figura 5.10 apresenta o resultado do processo de generalização das áreas de drenagem na bacia do rio Doce.

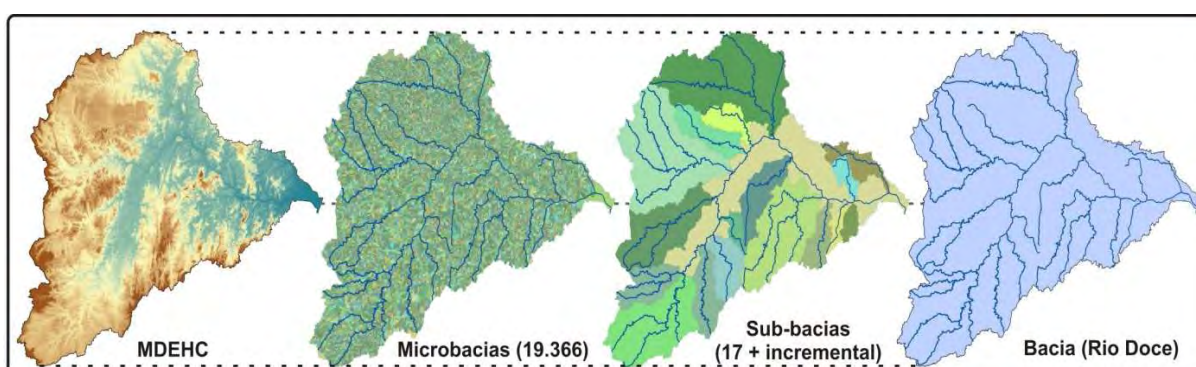


Figura 5.10. Resultados do processo de generalização das áreas de drenagem.

Assim como os relacionamentos espaciais foram incorporados às classes que compõem a rede hidrográfica, os três níveis de áreas de drenagem também possuem o aninhamento espacial representado por associações entre os identificadores globais. Como resultado da generalização, as áreas de drenagem ficaram aninhadas entre os níveis de organização, possibilitando que as áreas elementares herdassem atributos dos níveis superiores. A Figura 5.11 apresenta um exemplo da amarração digital presente nas classes de feição para representar esta herança hidrográfica.

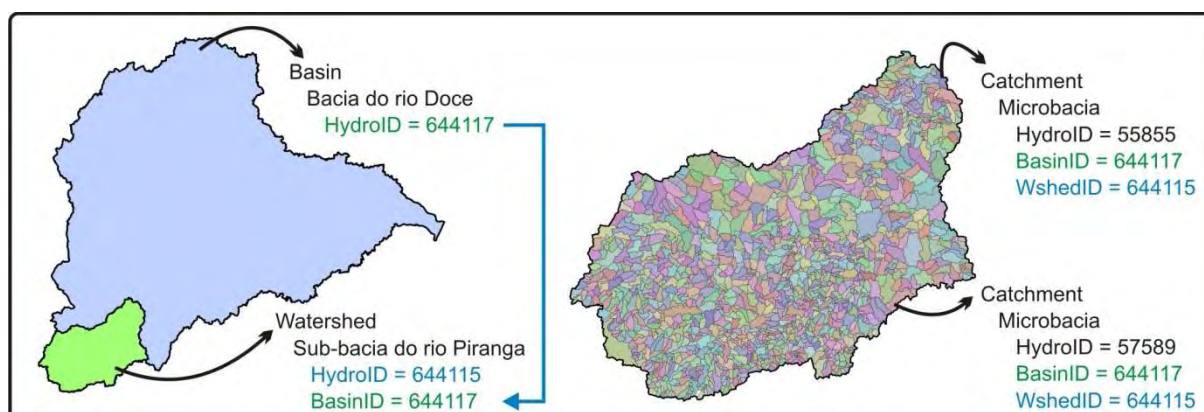


Figura 5.11. Relacionamentos entre as classes de áreas de drenagem.

5.1.4. Ottocodificação de bacias e cursos d'água

Outro resultado importante na estruturação digital dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica foi a codificação das ottobacias. Apesar das relações de montante e jusante já estarem representadas nos relacionamentos entre os identificadores globais (HydroIDs), a codificação incorporou, por meio de um único atributo, a hierarquização das bacias hidrográficas, ou seja, a definição da posição relativa e o ordenamento entre as bacias e inter-bacias. Assim, a estruturação topológica por aninhamento de bacias hidrográficas e por conectividade dos cursos d'água foi garantida através de mais um identificador: o código Otto.

A Figura 5.12 apresenta uma amostra da estrutura topológica representada nas áreas de drenagem e também nos cursos d'água ottocodificados.

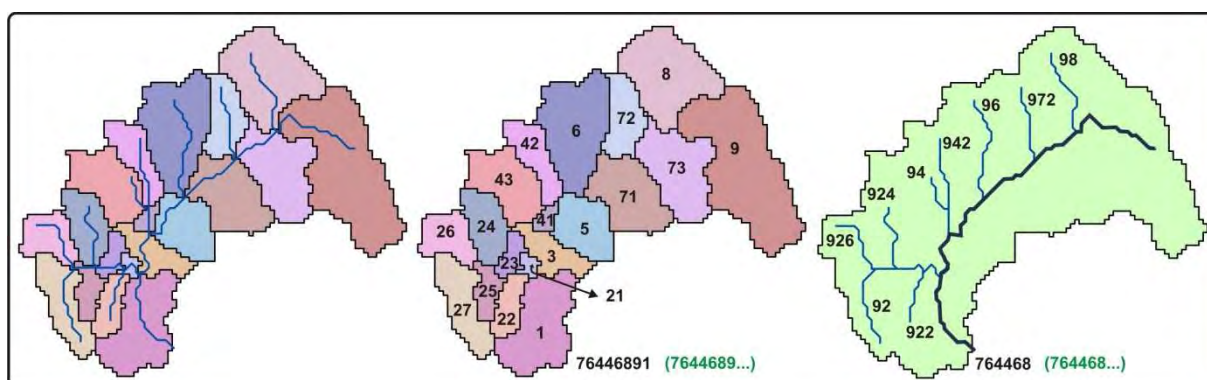


Figura 5.12. Amostra da base hidrográfica ottocodificada (bacias e cursos d'água).

Utilizando a base geográfica compatível com a hidrografia mapeada na escala 1:250.000, o processo de ottocodificação automática produziu códigos até o nível 10, ou seja, foram gerados códigos com até 10 dígitos. A comparação com a base ottocodificada do SNIRH (ANA, 2010), que atingiu o nível 6 a partir da hidrografia ao milionésimo (1:1.000.000), evidenciou grave incompatibilidade entre os códigos Otto.

Uma característica favorável da codificação de Pfafstetter é a possibilidade de detalhamento em escala maiores, pois o aumento na ramificação da drenagem implica apenas o acréscimo de dígitos aos códigos já existentes. No entanto, não foi o que se observou na comparação entre as bases ottocodificadas ao milionésimo (SNIRH) e na escala 1:250.000 (SIGWeb AQUORA). Conforme a situação apresentada pela Figura 5.13, houve contradições entre os códigos construídos a partir da hidrografia do milionésimo e a mapeada em escala 1:250.000.

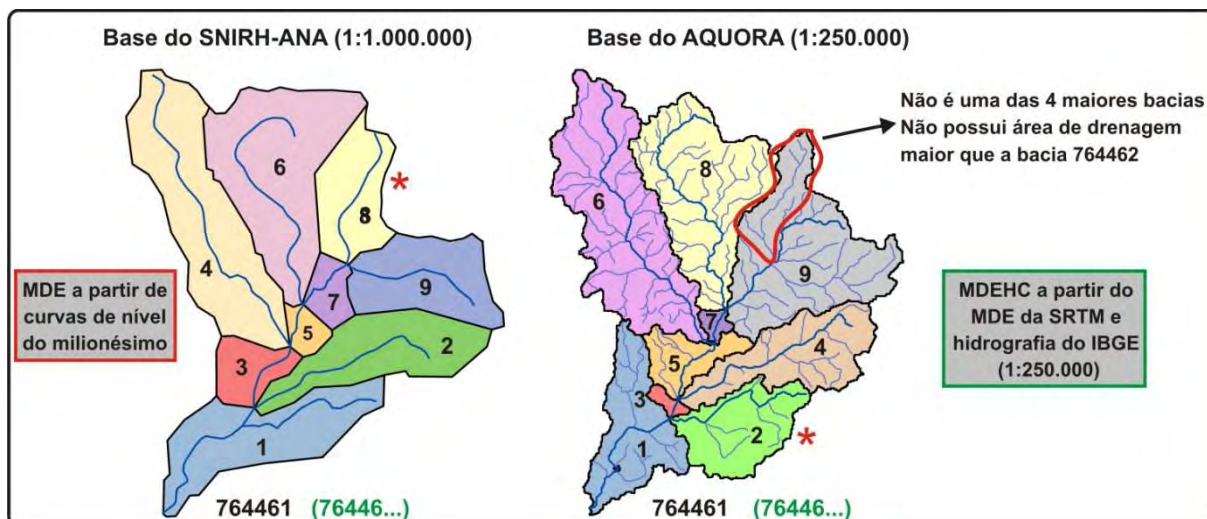


Figura 5.13. Exemplo de contradição entre as codificações do SNIRH e do SIGWeb.

Na situação ilustrada pela figura 5.13 houve divergência na identificação das quatro maiores microbacias que receberam os dígitos pares, especificamente na comparação das áreas das microbacias 764468 (ANA) e 764462 (SIGWeb AQUORA). Percebe-se uma grande diferença no traçado dos divisores de água das microbacias e inter-bacias, certamente devido às fontes distintas dos modelos digitais de elevação que apoiaram o delineamento das áreas de drenagem.

Embora na documentação da construção da base ottocodificada da ANA (ANA, 2008) não se encontre uma especificação sobre a base altimétrica utilizada, pode-se afirmar que não se tratou de um MDE com resolução espacial que permitisse o delineamento das bacias em escalas mais detalhadas. Provavelmente, por ter adotado a hidrografia ao milionésimo como referência, o MDE utilizado no delineamento das microbacias da ANA foi gerado a partir de curvas de nível em escala 1:1.000.000. Com as diferenças grosseiras no traçado dos divisores de água a codificação do SNIRH mostrou-se incompatível com escalas mais detalhadas.

Ficou comprovado que para usufruir da escalabilidade da ottocodificação é importante que o MDE utilizado seja compatível com escalas maiores. Dessa forma, recomenda-se que as bases ottocodificadas sejam construídas de forma sistemática, utilizando o conceito de generalização geográfica, isto é, partindo do mapeamento com maior nível de detalhes e, em seguida, simplificar para as escalas menores. Como o MDE da SRTM pode ser considerado uma das melhores bases topográficas já disponibilizadas para nosso território (VALERIANO, 2004), a codificação do SIGWeb provavelmente será compatível com o detalhamento em escalas maiores.

5.1.5. Características físicas e pluviométricas

As características físicas foram extraídas com sucesso, célula a célula, da rede hidrográfica da bacia do rio Doce. Os resultados armazenados nos pontos da rede geométrica formaram uma base de informações contínuas, favorável à espacialização das equações para estimativa das vazões ao longo da drenagem. Como exemplo, a Figura 5.14 apresenta a rede geométrica da hidrografia (HydroNetwork) com as características físicas armazenadas no ponto (HydroJunction) correspondente à seção da hidrografia onde se encontra instalada a estação fluviométrica 56978000 – Santo Antônio do Manhuaçu.

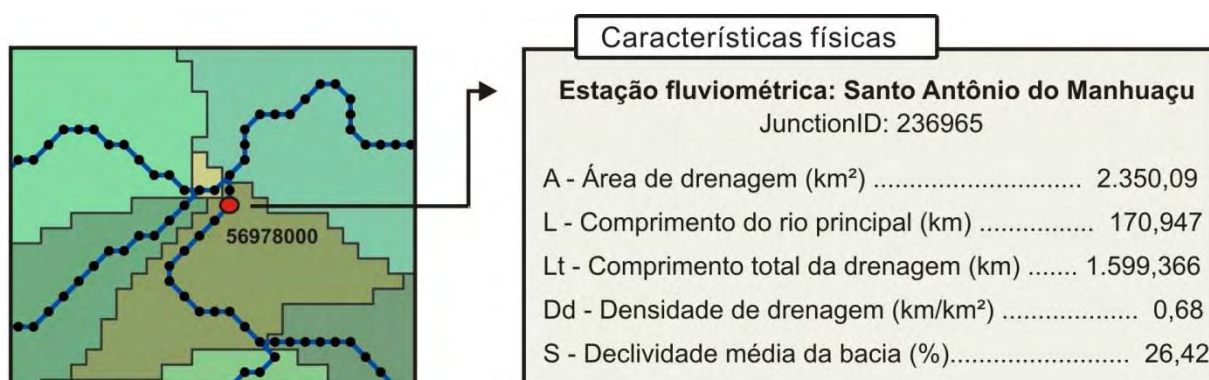


Figura 5.14. Características físicas armazenadas na rede geométrica da hidrografia.

As precipitações espacializadas sobre a bacia hidrográfica e processadas na área de drenagem de cada célula da hidrografia também estão armazenadas nos pontos sequenciais que compõem a rede geométrica. A Figura 5.15 apresenta as variáveis pluviométricas associadas à área de drenagem da estação fluviométrica Santo Antônio do Manhuaçu. A distribuição espacial das precipitações total anual, total dos semestres seco e chuvoso e a precipitação do mês mais chuvoso, que apoiou a regionalização das vazões máximas, é apresentada na Figura 5.16.

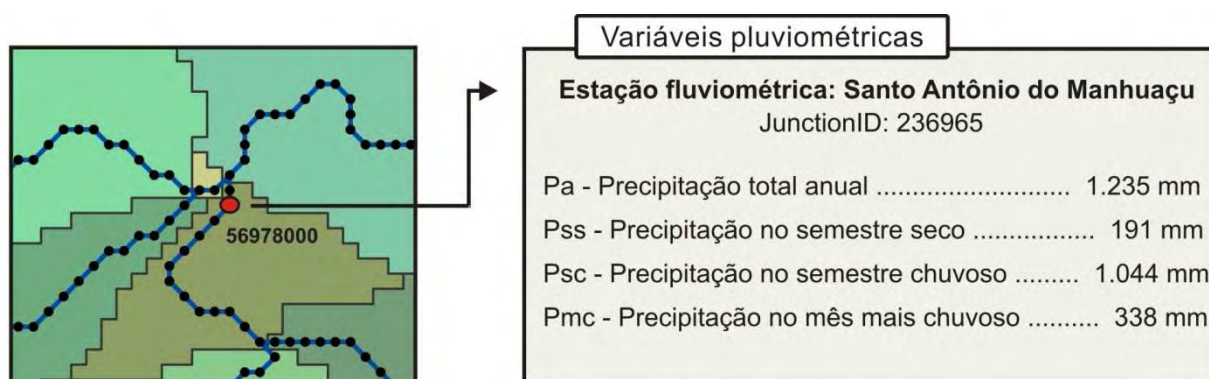


Figura 5.15. Variáveis pluviométricas armazenadas na rede geométrica da hidrografia.

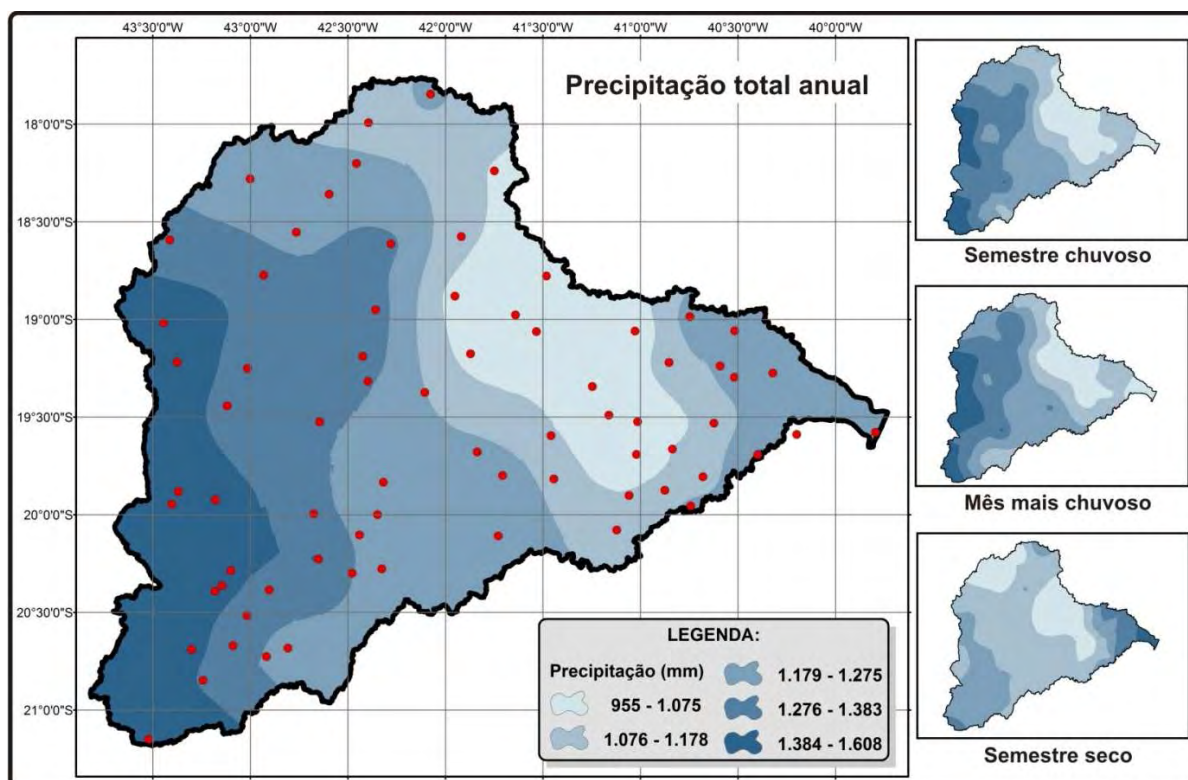


Figura 5.16. Distribuição espacial das precipitações na bacia do rio Doce.

Vale ressaltar que as variáveis armazenadas na rede geométrica não representam as chuvas que ocorrem em cada ponto, mas sim às lâminas médias precipitadas nas respectivas áreas de drenagem. Esta observação é importante uma vez que se pretende utilizar estas variáveis para correlacioná-las com as vazões nos cursos d'água, que dependem do regime hidrológico nas bacias de contribuição.

Ao se compararem as lâminas precipitadas nos pontos com as lâminas médias nas respectivas áreas de drenagem, observou-se que é pequena a diferença entre as variáveis pluviométricas. Mas apesar de as diferenças médias serem reduzidas, os desvios padrão demonstram que, em alguns casos, as diferenças são significativas. O Quadro 5.1 apresenta o resumo destas comparações. As características físicas e pluviométricas ajustadas nos modelos da regionalização encontram-se no Apêndice C.

Quadro 5.1. Médias e desvios padrão das diferenças entre as precipitações pontuais e médias nas áreas de drenagem das estações fluviométricas selecionadas

	Total Anual	Semestre Chuvoso	Semestre Seco	Mês mais chuvoso
Média (%)	3,4	4,0	1,8	2,6
Desvio padrão	6,5	8,1	8,7	7,1

5.2. Base de informações hidrológicas

As informações hidrológicas foram incorporadas à rede geométrica da hidrografia por meio dos estudos de regionalização de vazões, seguidos da espacialização em SIG e dos ajustes das vazões com base nos valores observados nas estações fluviométricas. Os períodos sazonais, identificados com base nos critérios estabelecidos, reuniram meses com comportamento hidrológico homogêneo em termos da disponibilidade hídrica crítica, flexibilizando as vazões outorgáveis.

Inicialmente, a análise do padrão de distribuição das vazões específicas médias, máximas e mínimas mensais revelou que o início do aumento dos valores observados ocorre no mês de outubro. Assim, no estudo das vazões máximas, considerou-se o ano hidrológico como tendo início no mês de outubro e término no mês de setembro do ano seguinte. No estudo das médias e mínimas anuais, o período utilizado foi o ano civil. A Figura 5.17 apresenta o resumo do comportamento dos eventos médios, mínimos e máximos na bacia do rio Doce.

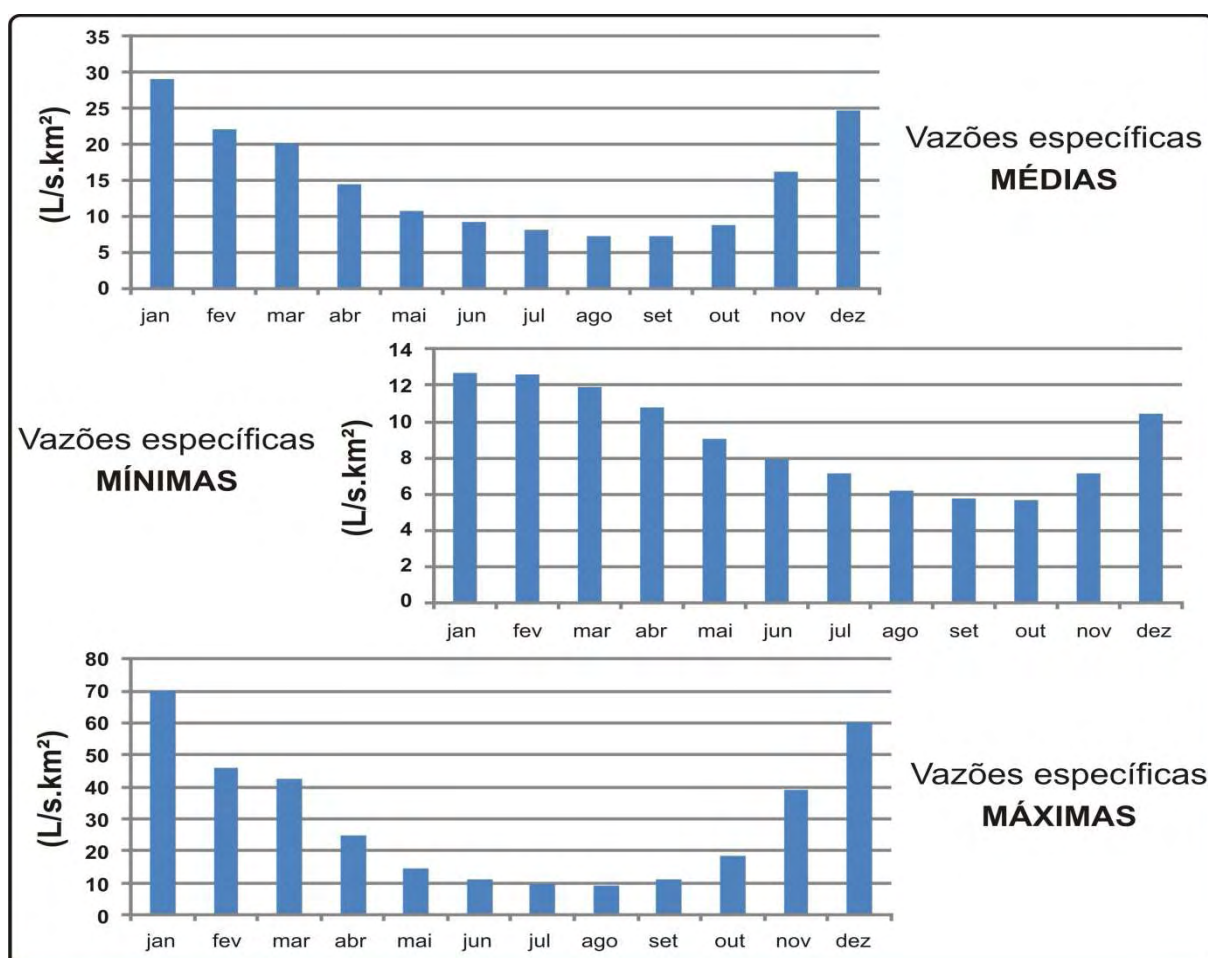


Figura 5.17. Distribuição mensal das vazões específicas médias, mínimas e máximas.

5.2.1. Períodos sazonais

A análise dos seis princípios estabelecidos para identificação dos períodos sazonais revelou ser insuficiente o método convencional utilizado para agrupar meses com base na disponibilidade hídrica média. As discussões envolvidas no método proposto confirmaram que é preciso atender a um conjunto de características para agrupar as tendências de comportamento das vazões mínimas de referência.

1º Princípio: As médias descontam tudo

O mencionado efeito atenuante foi confirmado ao se comparar a distribuição das vazões médias com o comportamento das vazões mínimas ao longo do ano. Observou-se que as vazões médias de maio e junho são inferiores ao mês de novembro, mas quando se analisam as vazões mínimas, este comportamento é invertido. Ressalta-se que, com base nas médias, o semestre seco seria constituído pelo intervalo maio-outubro, no entanto a consideração das vazões mínimas nos critérios de referência, para aplicação do instrumento de outorga dos direitos de uso, aponta que o intervalo semestral crítico contempla os meses de junho a novembro.

Comparando-se a magnitude das vazões específicas mínimas diárias nos meses de maio e novembro, observou-se que, em média, as vazões mínimas em novembro são 29% mais críticas que em maio, apesar da disponibilidade hídrica média em novembro ser 45% superior a maio. A justificativa é evidente ao observar que as vazões máximas em novembro são significativamente superiores às de maio, implicando a elevação da média mensal no mês com transição entre as tendências de vazões mínimas e máximas, isto é, novembro. O Quadro 5.2 apresenta o padrão das vazões específicas médias, mínimas e máximas e destaca as vazões nos meses em que a consideração das vazões médias comprometeria a flexibilidade da outorga.

Quadro 5.2. Resumo das vazões específicas médias, mínimas e máximas

Vazões específicas (L s ⁻¹ km ⁻²)	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Médias	29	22	20	15	11	9	8	7	7	9	16	25
Mínimas	13	13	12	11	9	8	7	6	6	6	7	10
Máximas	70	46	43	25	15	11	10	9	11	19	39	60

2º Princípio: O regime hidrológico tem três tendências

A classificação do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica em consonância com a variabilidade natural das vazões resultou em três períodos com intervalos iguais de quatro meses, entretanto, não é apropriado o termo quadrimestre, visto que esta simetria não foi uma condição imposta aos períodos. Ressalta-se, também, que a variação na magnitude das vazões foi fundamental, mas não suficiente, para identificar os meses pertencentes a cada tendência.

Observou-se, por exemplo, que os meses de julho e novembro são equivalentes em termos da disponibilidade hídrica crítica. Outro ponto observado, que dificultou o agrupamento dos meses em tendências homogêneas, foi o fato de abril apresentar vazões mínimas mais elevadas que dezembro. Dessa forma, as discussões em torno dos demais princípios foram decisivas na identificação dos períodos sazonais capazes de flexibilizar os critérios do instrumento de outorga.

A divisão do regime hidrológico em períodos sazonais, que atenderam a todos os princípios estabelecidos, é apresentada no Quadro 5.3 e na Figura 5.18.

Quadro 5.3. Divisão do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica

Tendência	Período	Meses
Média	Normal	abril-maio-junho-julho
Mínima	Seco	agosto-setembro-outubro-novembro
Máxima	Chuvoso	dezembro-janeiro-fevereiro-março

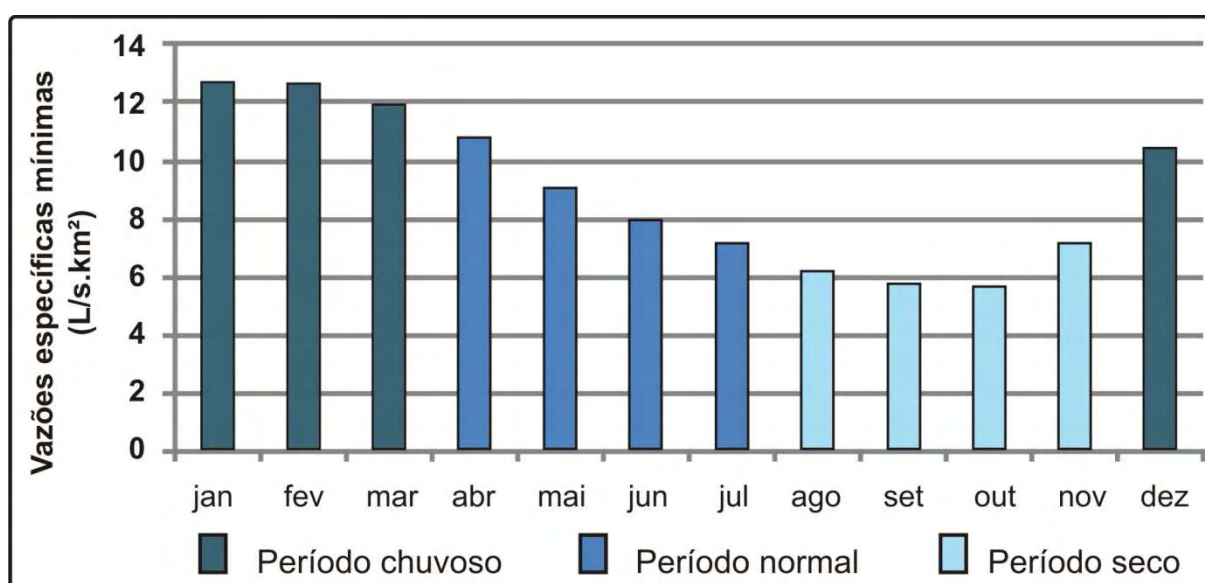


Figura 5.18. Divisão sazonal do regime hidrológico em períodos seco, normal e chuvoso.

3º Princípio: As tendências ocorrem em três fases

Analisando a Figura 5.18, observa-se que as três fases das tendências foram identificadas nos períodos seco e chuvoso. Como esperado, o período normal apresentou apenas a fase de movimento, no sentido decrescente, já que o período representa a transição entre as tendências de máxima e mínima. Na bacia hidrográfica do rio Doce, os períodos seco e chuvoso apresentaram semelhança no comportamento das fases de movimento, estabilização e reversão.

Foi observado que a fase de movimento das tendências possui duração curta, de um mês em ambos os períodos, seco e chuvoso. Após o movimento no sentido das tendências, mínima e máxima, a fase de estabilização apresentou duração de dois meses, também em ambos os períodos, de modo que setembro e outubro são os meses com menor disponibilidade hídrica, e janeiro e fevereiro, os meses com maior disponibilidade. A fase de reversão das tendências foi representada pelo último mês dos períodos seco e chuvoso: novembro e março, respectivamente.

4° Princípio: As médias devem confirmar a tendência

As médias das vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7) observadas em cada período confirmaram as tendências de disponibilidade hídrica média, mínima e máxima, uma vez que ficou comprovada a variação das vazões mínimas entre os períodos. A flexibilidade sazonal da Q_7 foi avaliada comparando-se os valores dos quadrimestres com as vazões mínimas obtidas com base no período anual.

A variação da Q_7 entre os períodos foi um indicativo da flexibilidade das vazões de referência, pretendida com a adoção dos períodos sazonais em alternativa ao período anual. Em média, as vazões mínimas com sete dias de duração no período seco são muito próximas à Q_7 adotando-se o período anual. Existem pequenas variações devido aos raros anos em que os sete dias mais críticos não ocorrem no período seco. Conforme apresentado no Quadro 5.4, em média, as vazões mínimas dos períodos normal e chuvoso são cerca de 38 e 84% superiores ao período seco.

Quadro 5.4. Resumo da variação da Q_7 sazonal em relação ao período anual

Variação (%)	Períodos sazonais		
	Seco	Normal	Chuvoso
Q_7	1,10	38,15	84,49

5° Princípio: Os riscos comprovam as tendências

A avaliação mensal da frequência de ocorrência dos sete dias consecutivos com menores vazões observadas no ano confirmou a classificação dos meses nas tendências de mínima, média ou máxima disponibilidade hídrica crítica. O período seco concentra 93% das ocorrências de Q_7 anual, ou seja: em média há 93% de risco para a ocorrência da semana (7 dias) mais seca do ano nos meses de agosto a novembro. Nos meses do período normal, de abril a julho, este risco é de 5%. No período chuvoso ainda há risco de ocorrência da Q_7 anual, mas de apenas 2%.

A Figura 5.19 ilustra a distribuição mensal das ocorrências de Q_7 anual. No quadro são apresentados o número de ocorrência da Q_7 anual em cada mês e o respectivo risco de ocorrência. Ressalta-se a comparação dos riscos nos meses de julho e novembro. Apesar destes meses apresentarem semelhança na magnitude das vazões mínimas mensais, o risco de ocorrência de vazões críticas em novembro é cinco vezes maior em relação à julho.

Os resultados das análises deste princípio foram decisivos no agrupamento dos meses em períodos com regimes críticos homogêneos. Analisando a Figura 5.19, observa-se a semelhança entre os riscos de eventos críticos nos meses de uma mesma tendência e, da mesma forma, resta evidente a diferença no comportamento das vazões mínimas entre as três tendências.

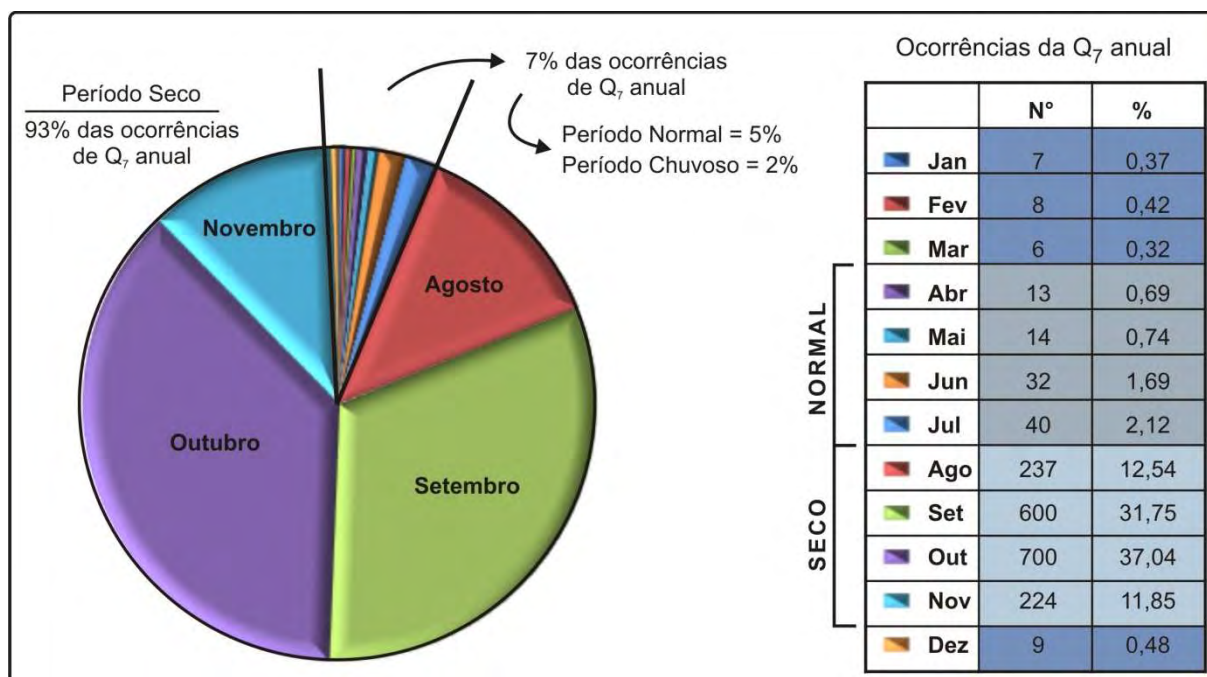


Figura 5.19. Distribuição mensal da ocorrência dos setes dias consecutivos com menores vazões observadas no ano.

6° Princípio: As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas

A garantia de flexibilidade dos critérios de outorga, ao adotar a sazonalidade das tendências identificadas na bacia do rio Doce, foi novamente confirmada, em última instância, pela comparação entre as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) obtidas com base em cada período. Em todas as estações fluviométricas selecionadas, as vazões mínimas de referência herdaram a flexibilidade sazonal da disponibilidade hídrica nos períodos seco, normal e chuvoso.

Esta flexibilidade sazonal das vazões mínimas de referência foi avaliada comparando-se os valores sazonais com as vazões obtidas com base no período anual. A flexibilidade oferecida com a adoção dos períodos sazonais é resumida no Quadro 5.5 e as tabelas completas, com as comparações das vazões por estação fluviométrica, estão apresentadas no Apêndice D.

Correspondendo às expectativas, não houve uma flexibilidade significativa na $Q_{7,10}$ do período seco, pois foram raros os casos em que a Q_7 anual ocorreu fora deste período. Devido a estes casos, houve situações em que a $Q_{7,10}$ referente ao período seco foi maior que a $Q_{7,10}$ do período anual. Ressalta-se que também houve casos em que a $Q_{7,10}$ do período seco foi menor em relação ao período anual, provavelmente em razão do ajuste probabilístico envolvido na determinação da vazão com recorrência de 10 anos.

Em relação às vazões mínimas associadas à curva de permanência, não foi observada flexibilidade significativa na determinação da Q_{90} e Q_{95} referentes ao período normal. Já nos períodos seco e chuvoso as vazões mínimas sazonais apresentaram potencial para flexibilizar os critérios de outorga, mas em sentidos opostos. No período seco, os critérios tornaram-se, em média, 30% mais rigorosos em relação ao período anual. Já no período chuvoso, a maior flexibilidade esteve relacionada à Q_{90} , com um aumento médio de 46%.

Quadro 5.5. Resumo das vazões mínimas de referência nos períodos sazonais

Vazão de referência	Flexibilidade média sazonal (%)		
	Seco	Normal	Chuvoso
$Q_{7,10}$	1,8	34,58	76,93
Q_{90}	-27,62	-0,66	46,39
Q_{95}	-30,62	-1,28	30,52

5.2.2. Regionalização de vazões

Na identificação das regiões homogêneas foram feitas diversas tentativas para reunir todas as estações fluviométricas nas três regiões identificadas por Euclides et al. (2005), entretanto os modelos de regressão apresentaram coeficientes de determinação ajustados (R^2_a) insatisfatórios, com valores inferiores a 0,7.

A bacia foi então dividida nas seis regiões hidrologicamente homogêneas identificadas por Marques (2006), mas com uma diferença: a calha do rio Doce foi considerada uma “região homogênea” devido à singularidade na magnitude das vazões que amortecem os regimes individuais das sub-bacias. Os afluentes diretos do rio Doce pertencem às regiões homogêneas que drenam para a calha principal. As seis regiões homogêneas mais a calha principal do rio Doce estão identificadas na Figura 5.20 e o agrupamento das estações é apresentado no Apêndice B.

Nesta figura verifica-se que as áreas das regiões homogêneas não foram delimitadas pela área de drenagem da estação fluviométrica localizada mais a jusante. Assim, transferiram-se eventuais problemas de descontinuidade de vazões estimadas nas fronteiras das regiões homogêneas, para as confluências, com maiores valores observados e, conseqüentemente, menores riscos de conflito.

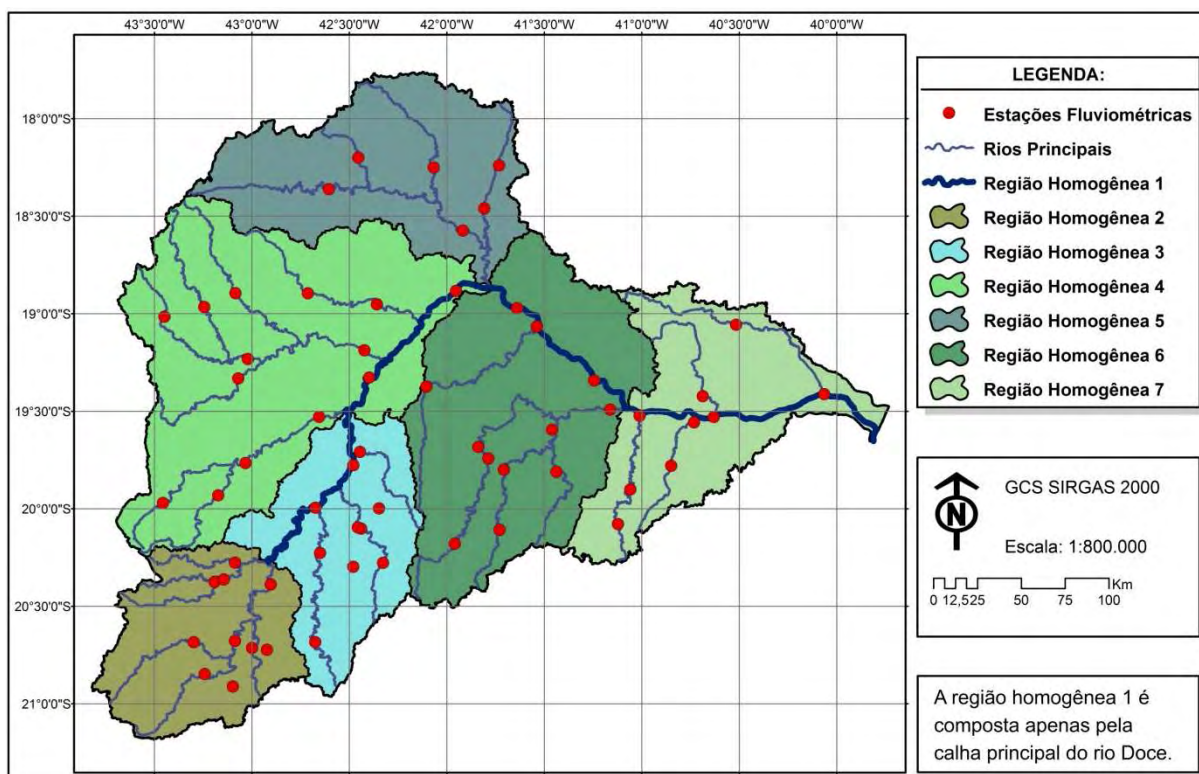


Figura 5.20. Regiões hidrologicamente homogêneas na bacia do rio Doce.

Vale lembrar que além das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}), as vazões médias (Q_{50} e Q_{mld}) e máximas ($T = 2, 10, 20, 50$ e 100 anos) foram determinadas para completar o banco de informações hidrológicas do sistema. Ressalta-se que, além do período anual, as vazões médias também foram determinadas com base nos períodos sazonais (seco, normal e chuvoso). Embora pouco importante na gestão dos usos múltiplos, esta variabilidade das vazões médias costuma ser um requisito em estudos ecológicos que abordam a dinâmica do regime de vazões no manejo integrado das bacias hidrográficas.

Foram testados diversos modelos de regressão, utilizando-se todas as possíveis combinações de variáveis explicativas (características físicas e pluviométricas), sendo que as equações recomendadas para estimar as vazões mínimas, médias e máximas nas sete regiões homogêneas, considerando os períodos anual e sazonais, são apresentadas nos Quadros 5.6 a 5.10. Nos quadros, além das equações regionais, são apresentados os coeficientes de determinação ajustado (R^2_a), as médias e os desvios padrão (S) dos erros das estimativas.

Observa-se que a região homogênea composta pela calha principal do rio Doce (Região I) foi a que apresentou melhor ajuste da regressão, com modelos em função apenas da área de drenagem e com os menores maiores desvios entre as vazões observadas e estimadas pelas equações de regressão. Por outro lado, as regiões homogêneas II e VII ofereceram as maiores dificuldades no ajustamento das equações para estimativa das vazões mínimas e máximas, respectivamente. No entanto, quando foi verificada falha no ajustamento dos modelos de regressão, as estações com desvios superiores a 50% foram removidas da amostra regional.

Adotando-se este procedimento, as equações de regressão demonstraram representar o regime hidrológico médio das regiões homogêneas, refletido nos valores do coeficiente de determinação ajustado e nas médias dos erros e desvios padrão das estimativas. Destaca-se que o maior número de estações com comportamento singular (desvio $> 50\%$) foi observado no estudo das vazões mínimas e, principalmente, das máximas. Notadamente, o uso e a ocupação do solo das áreas de contribuição interferem de forma significativa na resposta hidrológica das bacias hidrográficas, podendo produzir variações de vazão, alheias ao padrão regional. As estações fluviométricas removidas das amostras regionais e que, portanto, não são representadas pelas equações de regressão, estão identificadas no Quadro 5.11.

Quadro 5.6. Equações para estimar as vazões mínimas e médias do período anual

Região	Vazão (m³s⁻¹)	Equação	R²a	Erro Médio (%)	S
I	Q _{7,10}	= 0,075225A ^{0,719958}	0,97	11,46	8,66
	Q ₉₅	= 0,096233A ^{0,715159}	0,96	8,35	6,61
	Q ₉₀	= 0,095827A ^{0,726604}	0,96	8,69	6,14
	Q ₅₀	= 0,115592A ^{0,761054}	0,96	10,00	4,96
	Q _{mld}	= 0,084316A ^{0,821131}	0,99	3,68	2,84
II	Q _{7,10}	= 0,009653A ^{0,921495}	0,92	18,32	12,21
	Q ₉₅	= 0,009637A ^{0,958166}	0,95	16,53	10,99
	Q ₉₀	= 0,010679A ^{0,960753}	0,95	16,39	11,64
	Q ₅₀	= 0,012666A ^{1,011496}	0,97	14,02	11,73
	Q _{mld}	= 0,017555A ^{1,003120}	0,96	16,54	16,03
III	Q _{7,10}	= 0,014933A ^{0,750133}	0,93	13,21	7,70
	Q ₉₅	= 0,01144A ^{0,848348}	0,96	11,97	8,64
	Q ₉₀	= 0,010801A ^{0,880913}	0,97	8,23	8,78
	Q ₅₀	= 0,015539A ^{0,927468}	0,99	5,82	8,27
	Q _{mld}	= 0,021168A ^{0,937721}	0,99	8,01	3,91
IV	Q _{7,10}	= 0,000390A ^{1,005980} Pa ^{6,940956}	0,94	20,05	9,72
	Q ₉₅	= 0,000624A ^{0,998393} Pa ^{6,619520}	0,95	22,30	13,55
	Q ₉₀	= 0,000873A ^{0,981020} Pa ^{6,419599}	0,95	17,02	12,64
	Q ₅₀	= 0,003487A ^{0,917413} Pa ^{5,722740}	0,97	13,07	6,05
	Q _{mld}	= 0,003112A ^{0,901582} Pa ^{7,750299}	0,98	8,69	5,81
V	Q _{7,10}	= 0,000221A ^{0,854416} Pa ^{18,75846}	0,97	14,12	11,44
	Q ₉₅	= 0,000524A ^{0,799620} Pa ^{17,89185}	0,97	26,35	15,28
	Q ₉₀	= 0,001504A ^{0,749109} Pa ^{15,17195}	0,98	11,06	9,16
	Q ₅₀	= 0,005594A ^{0,811166} Pa ^{9,403507}	0,98	8,61	8,69
	Q _{mld}	= 0,008370A ^{0,864631} Pa ^{6,540413}	0,98	8,42	9,47
VI	Q _{7,10}	= 0,000242A ^{1,072933} Pa ^{10,42674}	0,98	7,90	6,92
	Q ₉₅	= 0,000345A ^{1,074464} Pa ^{10,08135}	0,98	25,69	8,15
	Q ₉₀	= 0,000493A ^{1,065885} Pa ^{9,354669}	0,98	7,27	6,06
	Q ₅₀	= 0,001983A ^{1,022625} Pa ^{7,426192}	0,98	9,97	8,62
	Q _{mld}	= 0,003105A ^{1,015220} Pa ^{7,383773}	0,98	10,92	8,89
VII	Q _{7,10}	= 0,000804A ^{1,163610}	0,90	15,62	8,62
	Q ₉₅	= 0,008849A ^{0,878515}	0,88	17,72	4,34
	Q ₉₀	= 0,013028A ^{0,843307}	0,89	18,03	4,72
	Q ₅₀	= 0,028485A ^{0,826249}	0,90	16,57	8,94
	Q _{mld}	= 0,062279A ^{0,767581}	0,94	13,13	13,54

Quadro 5.7. Equações para estimar as vazões mínimas e médias do período seco

Região	Vazão (m³s⁻¹)	Equação	R²a	Erro Médio (%)	S
I	Q _{7,10}	= 0,070804A ^{0,725959}	0,96	8,36	5,07
	Q ₉₅	= 0,088764A ^{0,706192}	0,94	10,21	6,38
	Q ₉₀	= 0,095485A ^{0,711233}	0,95	9,78	6,17
	Q ₅₀	= 0,069691A ^{0,783565}	0,96	9,87	4,97
	Qmld	= 0,066942A ^{0,808652}	0,99	4,62	3,01
II	Q _{7,10}	= 0,000030A ^{0,873319} S ^{2,081342}	0,96	14,92	8,34
	Q ₉₅	= 0,000204A ^{0,907434} S ^{1,353732}	0,96	13,17	10,06
	Q ₉₀	= 0,000086A ^{0,911557} S ^{1,690815}	0,96	12,93	10,82
	Q ₅₀	= 0,015752A ^{0,948640}	0,95	15,84	12,98
	Qmld	= 0,017190A ^{0,958728}	0,96	13,56	11,52
III	Q _{7,10}	= 0,014197A ^{0,760713}	0,93	12,92	10,70
	Q ₉₅	= 0,004645A ^{0,931150}	0,92	23,54	12,61
	Q ₉₀	= 0,005447A ^{0,932285}	0,92	19,65	10,74
	Q ₅₀	= 0,012852A ^{0,906642}	0,98	6,94	7,51
	Qmld	= 0,019333A ^{0,890329}	0,99	4,12	4,09
IV	Q _{7,10}	= 0,005197A ^{0,974924}	0,95	16,16	10,36
	Q ₉₅	= 0,004348A ^{0,994617}	0,95	18,64	9,52
	Q ₉₀	= 0,004864A ^{1,002704}	0,96	15,16	11,73
	Q ₅₀	= 0,028568A ^{0,858501}	0,96	13,06	9,96
	Qmld	= 0,034962A ^{0,856862}	0,95	15,15	12,36
V	Q _{7,10}	= 0,000212A ^{0,838374} Pa ^{19,38833}	0,94	25,93	15,74
	Q ₉₅	= 0,000226A ^{0,761859} Pa ^{22,39769}	0,98	12,85	9,48
	Q ₉₀	= 0,000652A ^{0,764664} Pa ^{17,47689}	0,97	13,50	11,79
	Q ₅₀	= 0,005425A ^{0,764916} Pa ^{10,02006}	0,98	8,41	7,25
	Qmld	= 0,007677A ^{0,806653} Pa ^{7,712674}	0,98	8,87	9,67
VI	Q _{7,10}	= 0,000207A ^{1,088197} Pa ^{10,63810}	0,98	8,46	6,93
	Q ₉₅	= 0,000492A ^{1,022305} Pa ^{8,292526}	0,94	15,14	8,40
	Q ₉₀	= 0,000372A ^{1,052706} Pa ^{9,707836}	0,95	12,80	9,39
	Q ₅₀	= 0,002369A ^{0,997116} Pa ^{5,850207}	0,98	10,24	7,62
	Qmld	= 0,002835A ^{0,987780} Pa ^{6,688667}	0,99	7,40	4,96
VII	Q _{7,10}	= 0,000606A ^{1,206832}	0,88	20,27	7,49
	Q ₉₅	= 0,000032A ^{1,559259}	0,90	17,53	15,09
	Q ₉₀	= 0,000265A ^{1,299150}	0,87	20,94	12,52
	Q ₅₀	= 0,096582A ^{0,611583}	0,93	13,02	11,64
	Qmld	= 0,030080A ^{0,811226}	0,89	17,76	14,56

Quadro 5.8. Equações para estimar as vazões mínimas e médias do período normal

Região	Vazão (m³s⁻¹)	Equação	R²a	Erro Médio (%)	S
I	Q _{7,10}	= 0,129074A ^{0,685577}	0,96	7,24	6,12
	Q ₉₅	= 0,097968A ^{0,716966}	0,95	9,23	6,43
	Q ₉₀	= 0,101571A ^{0,723892}	0,95	9,30	6,82
	Q ₅₀	= 0,096877A ^{0,769577}	0,96	9,22	4,42
	Qmld	= 0,098939A ^{0,778493}	0,99	5,24	2,90
II	Q _{7,10}	= 0,009453A ^{0,954810}	0,94	15,83	12,13
	Q ₉₅	= 0,007879A ^{0,985314}	0,96	13,40	11,28
	Q ₉₀	= 0,008410A ^{0,993054}	0,96	13,47	11,05
	Q ₅₀	= 0,012084A ^{1,006807}	0,96	14,13	11,62
	Qmld	= 0,014104A ^{0,996158}	0,96	14,03	12,66
III	Q _{7,10}	= 0,008638A ^{0,887224}	0,97	9,98	8,64
	Q ₉₅	= 0,006682A ^{0,930483}	0,96	12,20	10,83
	Q ₉₀	= 0,007497A ^{0,944470}	0,98	7,63	7,07
	Q ₅₀	= 0,013287A ^{0,937318}	0,99	5,60	6,76
	Qmld	= 0,017847A ^{0,915313}	0,99	6,25	4,82
IV	Q _{7,10}	= 0,007542A ^{0,945577}	0,95	16,89	15,00
	Q ₉₅	= 0,006712A ^{0,964940}	0,93	21,45	15,83
	Q ₉₀	= 0,007574A ^{0,969163}	0,93	20,55	15,05
	Q ₅₀	= 0,022053A ^{0,905987}	0,96	14,58	13,40
	Qmld	= 0,026949A ^{0,897335}	0,97	13,07	12,75
V	Q _{7,10}	= 0,000671A ^{0,803445} Pa ^{16,13743}	0,94	12,03	8,11
	Q ₉₅	= 0,000481A ^{0,770670} Pa ^{19,12324}	0,99	10,15	8,45
	Q ₉₀	= 0,000872A ^{0,785906} Pa ^{16,28449}	0,98	10,14	9,46
	Q ₅₀	= 0,005863A ^{0,768468} Pa ^{10,41984}	0,97	11,71	12,55
	Qmld	= 0,005964A ^{0,814475} Pa ^{8,920077}	0,96	12,49	14,78
VI	Q _{7,10}	= 0,000266A ^{1,087707} Pa ^{10,73077}	0,97	10,31	6,92
	Q ₉₅	= 0,000201A ^{1,120254} Pa ^{11,10372}	0,96	12,23	12,05
	Q ₉₀	= 0,000267A ^{1,117958} Pa ^{10,59787}	0,97	10,07	10,25
	Q ₅₀	= 0,001330A ^{1,045900} Pa ^{8,050391}	0,99	7,59	4,01
	Qmld	= 0,001279A ^{1,064141} Pa ^{8,273486}	0,98	9,59	5,24
VII	Q _{7,10}	= 0,002048A ^{1,070621}	0,83	14,77	7,58
	Q ₉₅	= 0,004198A ^{0,971853}	0,80	25,52	11,61
	Q ₉₀	= 0,007373A ^{0,918788}	0,81	24,14	12,71
	Q ₅₀	= 0,065226A ^{0,698681}	0,89	13,07	9,76
	Qmld	= 0,019538A ^{0,875855}	0,84	21,63	15,56

Quadro 5.9. Equações para estimar as vazões mínimas e médias do período chuvoso

Região	Vazão (m³s⁻¹)	Equação	R²a	Erro Médio (%)	S
I	Q _{7,10}	= 0,074240A ^{0,763102}	0,97	8,14	4,23
	Q ₉₅	= 0,122753A ^{0,725301}	0,95	10,54	4,72
	Q ₉₀	= 0,115824A ^{0,750387}	0,97	7,84	4,19
	Q ₅₀	= 0,090732A ^{0,837068}	0,99	5,74	3,20
	Qmld	= 0,091379A ^{0,856975}	0,99	3,43	3,20
II	Q _{7,10}	= 0,007482A ^{1,015643}	0,96	13,86	11,38
	Q ₉₅	= 0,007918A ^{1,010634}	0,97	13,65	8,18
	Q ₉₀	= 0,007680A ^{1,044114}	0,97	13,57	8,89
	Q ₅₀	= 0,018730A ^{1,020416}	0,97	11,85	11,08
	Qmld	= 0,044457A ^{0,939836}	0,98	12,21	13,54
III	Q _{7,10}	= 0,006502A ^{0,975394}	0,95	14,00	15,10
	Q ₉₅	= 0,009563A ^{0,912143}	0,95	11,45	10,98
	Q ₉₀	= 0,008597A ^{0,981544}	0,98	10,43	7,45
	Q ₅₀	= 0,016674A ^{1,006389}	0,97	11,19	9,99
	Qmld	= 0,026161A ^{0,980513}	0,97	11,92	4,77
IV	Q _{7,10}	= 0,013774A ^{0,914457}	0,97	10,62	8,81
	Q ₉₅	= 0,006742A ^{0,996387}	0,94	19,65	15,04
	Q ₉₀	= 0,010973A ^{0,970328}	0,95	20,11	16,05
	Q ₅₀	= 0,036470A ^{0,926833}	0,94	19,00	14,64
	Qmld	= 0,091780A ^{0,864017}	0,98	7,66	6,79
V	Q _{7,10}	= 0,000706A ^{0,867443} Pa ^{14,11289}	0,97	15,20	4,91
	Q ₉₅	= 0,000498A ^{0,951012} Pa ^{12,18686}	0,96	17,45	16,54
	Q ₉₀	= 0,000944A ^{0,950521} Pa ^{10,49391}	0,97	13,62	11,98
	Q ₅₀	= 0,007649A ^{0,878642} Pa ^{7,245359}	0,99	7,46	7,66
	Qmld	= 0,013197A ^{0,894224} Pa ^{5,071708}	0,99	5,84	5,49
VI	Q _{7,10}	= 0,000808A ^{0,984295} Pa ^{10,60240}	0,97	8,62	5,41
	Q ₉₅	= 0,000719A ^{1,017021} Pa ^{10,41030}	0,92	16,26	8,39
	Q ₉₀	= 0,000989A ^{1,009694} Pa ^{10,43786}	0,95	14,14	6,62
	Q ₅₀	= 0,002865A ^{1,039332} Pa ^{8,080026}	0,96	12,91	8,53
	Qmld	= 0,005694A ^{1,008002} Pa ^{7,131243}	0,98	10,03	6,18
VII	Q _{7,10}	= 0,012781A ^{0,839270}	0,85	16,41	5,93
	Q ₉₅	= 0,003625A ^{1,018129}	0,82	18,18	16,32
	Q ₉₀	= 0,009226A ^{0,920478}	0,84	16,45	6,92
	Q ₅₀	= 0,086634A ^{0,743095}	0,94	8,34	4,23
	Qmld	= 0,174796A ^{0,691212}	0,96	9,41	10,89

Quadro 5.10. Equações para estimar vazões máximas com períodos de retorno (m^3s^{-1})

Região	T (anos)	Equação	R ² a	Erro Médio (%)	S
I	2	$Q = 0,219273A^{0,868665}$	0,99	5,41	4,23
	10	$Q = A^{0,775501}$	0,97	7,75	5,84
	20	$Q = A^{0,791304}$	0,96	8,11	6,77
	50	$Q = A^{0,809760}$	0,94	10,83	7,34
	100	$Q = A^{0,822447}$	0,91	13,22	8,34
II	2	$Q = 0,000182A^{0,785435}S^{2,701371}$	0,93	16,94	11,03
	10	$Q = 1,35 \times 10^{-10}A^{0,566648}Pmc^{4,156076}$	0,94	13,32	7,84
	20	$Q = 4,30 \times 10^{-12}A^{0,561566}Pmc^{4,781430}$	0,92	14,21	8,18
	50	$Q = 1,12 \times 10^{-13}A^{0,564343}Pmc^{5,434329}$	0,92	14,91	8,85
	100	$Q = 1,16 \times 10^{-14}A^{0,571090}Pmc^{5,834347}$	0,92	15,08	9,56
III	2	$Q = 0,227281A^{0,857911}$	0,92	16,97	11,39
	10	$Q = 8,02 \times 10^{-19}A^{1,126346}Pmc^{6,718212}$	0,96	11,80	12,52
	20	$Q = 1,70 \times 10^{-20}A^{1,191115}Pmc^{7,337117}$	0,96	12,14	13,13
	50	$Q = 5,36 \times 10^{-22}A^{1,265527}Pmc^{7,879316}$	0,96	13,00	13,04
	100	$Q = 8,76 \times 10^{-23}A^{1,315793}Pmc^{8,154712}$	0,96	13,63	13,12
IV	2	$Q = 4,99 \times 10^{-18}A^{0,781603}Pmc^{6,670658}$	0,92	18,26	12,18
	10	$Q = 8,86 \times 10^{-20}A^{0,806685}Pmc^{7,410174}$	0,95	16,12	7,70
	20	$Q = 2,65 \times 10^{-20}A^{0,816473}Pmc^{7,625514}$	0,94	17,78	6,10
	50	$Q = 5,75 \times 10^{-21}A^{0,828233}Pmc^{7,894733}$	0,93	19,55	8,20
	100	$Q = 1,85 \times 10^{-21}A^{0,836376}Pmc^{8,093364}$	0,92	20,78	11,00
V	2	$Q = A^{0,662617}Dd^{1,479706}$	0,96	10,79	9,70
	10	$Q = A^{0,750696}Dd^{2,064330}$	0,97	12,56	6,05
	20	$Q = A^{0,775522}Dd^{2,270628}$	0,94	15,58	9,63
	50	$Q = A^{0,803259}Dd^{2,516170}$	0,90	20,17	11,98
	100	$Q = A^{0,821624}Dd^{2,686695}$	0,87	23,68	12,80
VI	2	$Q = 0,160632A^{0,910568}$	0,97	15,38	12,56
	10	$Q = 0,053796A^{1,140237}$	0,96	16,43	11,65
	20	$Q = 0,038954A^{1,207178}$	0,95	14,29	9,65
	50	$Q = 0,027640A^{1,279078}$	0,95	15,45	10,40
	100	$Q = 0,022320A^{1,324491}$	0,94	16,41	10,69
VII	2	$Q = 0,053823A + 0,139319Pmc$	0,93	7,26	4,13
	10	$Q = 0,082306A + 0,224419Pmc$	0,96	5,02	2,92
	20	$Q = 0,089671A + 0,263187Pmc$	0,94	5,23	4,01
	50	$Q = 0,098079A + 0,312662Pmc$	0,90	7,08	3,84
	100	$Q = 0,103715A + 0,349587Pmc$	0,86	8,44	4,11

Quadro 5.11. Estações removidas das regiões homogêneas por falta de ajuste

Vazão	Período	Região Homogênea						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
$Q_{7,10}$	Anual							
	Seco		56085000				56960005	56992000
	Normal							56993551
	Chuvoso							
Q_{95}	Anual		56085000				56960005	56992000
	Seco							56993551
	Normal							56993551
	Chuvoso							56992000 56993551
Q_{90}	Anual		56085000				56960005	56992000 56993551
	Seco							
	Normal							56993551
	Chuvoso				56787000			56992000 56993551
Q_{50}	Anual		56085000					
	Seco							
	Normal							
	Chuvoso							56993551
Q_{mld}	Anual							
	Seco							
	Normal		56085000					
	Chuvoso							
$Q_{MÁX}$	2 anos		56090000					
	10 anos							
	20 anos		56090000 56055000 56065000	56500000	56846000 56845000		56976000	56993002
	50 anos							
	100 anos							

Percebe-se, que a área de drenagem está presente em todas as equações regionais. Observa-se, também, que a precipitação anual foi bastante explicativa dos eventos mínimos e médios, enquanto que a precipitação do mês mais chuvoso ajustou-se melhor à estimativa das vazões máximas. Vale lembrar que o regime hidrológico das estações consideradas ou removidas da regionalização foi resgatado no ajuste das vazões espacializadas sobre a hidrografia.

5.2.3. Espacialização das vazões

A resolução espacial da base de informações hidrológicas está diretamente relacionada com o armazenamento das características físicas e pluviométricas nos pontos sequenciais da rede geométrica. Com as características variando ponto a ponto, as vazões da base hidrológica herdaram a variabilidade a cada 110 m, em média. A espacialização hidrográfica auxiliou na identificação dos modelos regionais que apresentavam inconsistências na continuidade das vazões estimadas. Estes modelos, apesar de apresentarem melhor ajuste estatístico aos dados amostrais, foram substituídos por equações regionais hidrograficamente consistentes.

Exemplificando, a Figura 5.21 apresenta situações em que a análise visual das vazões espacializadas foi suficiente para identificar inconsistências nos modelos regionais. Apesar do cuidado ao selecionar equações em que a área drenagem constituísse a variável mais representativa, devido aos melhores ajustes, algumas equações foram descartadas somente depois de confirmada a descontinuidade nas estimativas. Foram observadas inconsistências sempre que as equações mostraram-se mais sensíveis a variações de uma característica em relação a área de drenagem.

Devido à hegemonia do modelo potencial nas equações de regressão regionais, observou-se pequenas diferenças entre o somatório das vazões afluentes e as vazões estimadas após as confluências (Figura 5.22). No entanto, a consistência hidrográfica é assegurada ao longo de toda a rede de drenagem, já que apesar das diferenças nas confluências, as vazões estimadas são sempre crescentes no sentido do escoamento.

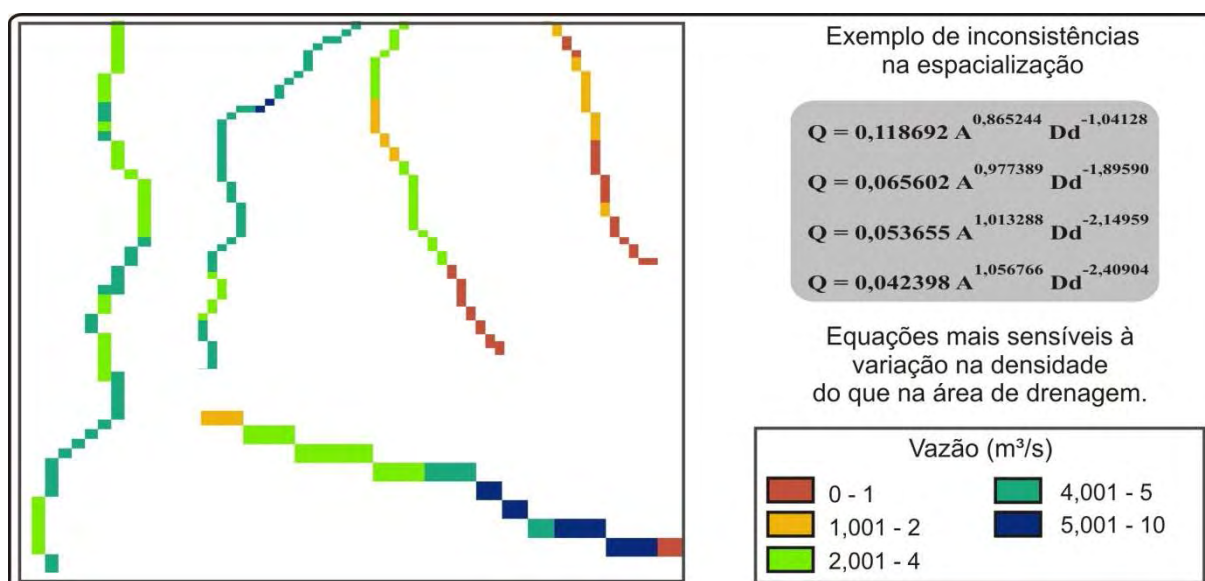


Figura 5.21. Exemplos de situações onde foi observada descontinuidade nas vazões.

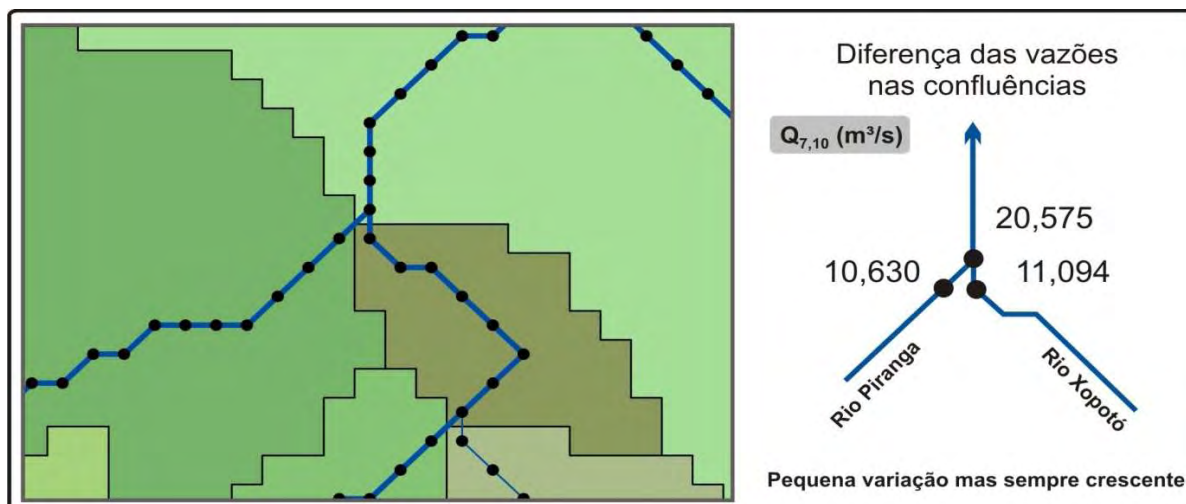


Figura 5.22. Representação da consistência hidrográfica nas estimativas de vazões.

Foram realizadas diversas consultas nas confluências e concluiu-se que as diferenças entre o somatório de montante e a vazão de jusante são relativamente pequenas. Ressalta-se que devido à espacialização hidrográfica célula a célula, as diferenças nas vazões antes e após as confluências são menores em relação a uma espacialização por segmentos da hidrografia. Isto porque as variações na área de drenagem dos pontos sequenciais são menores em relação à variação dos trechos.

A variação das vazões estimadas nas seções de transição entre regiões homogêneas (“degraus hidrológicos”) foi minimizada com o delineamento das regiões homogêneas até o deságue na calha principal do rio Doce, onde as estimativas atendem equações específicas. Por representar a única situação em que se poderia observar redução nas vazões, a Figura 5.23 apresenta a transição entre as regiões homogêneas II e I. Observa-se que apesar da diferença entre as estimativas, é assegurada a consistência na variação crescente das vazões.

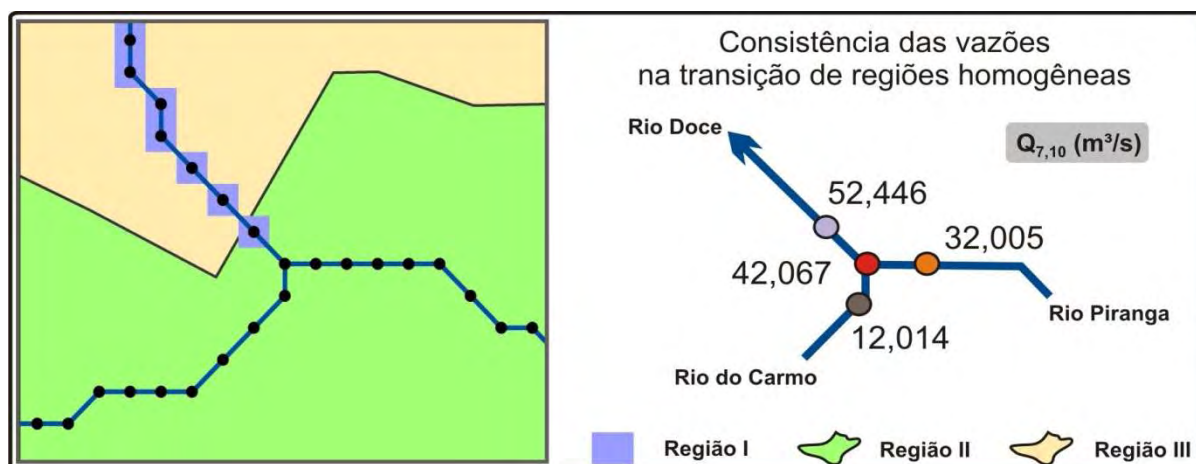


Figura 5.23. Consistência das vazões na transição entre as regiões homogêneas II e I.

Após serem avaliadas, as estimativas regionais das vazões produziram grids específicos para cada vazão característica. Semelhante ao resultado das variáveis físicas e pluviométricas, as vazões estimadas foram armazenadas em tabelas e relacionadas com os pontos sequenciais ao longo da rede geométrica. Para exemplificar, a Figura 5.24 apresenta a distribuição hidrográfica da $Q_{7,10}$ anual e a Figura 5.25 apresenta as vazões características estimadas para a seção da hidrografia referente à estação fluviométrica 56978000.

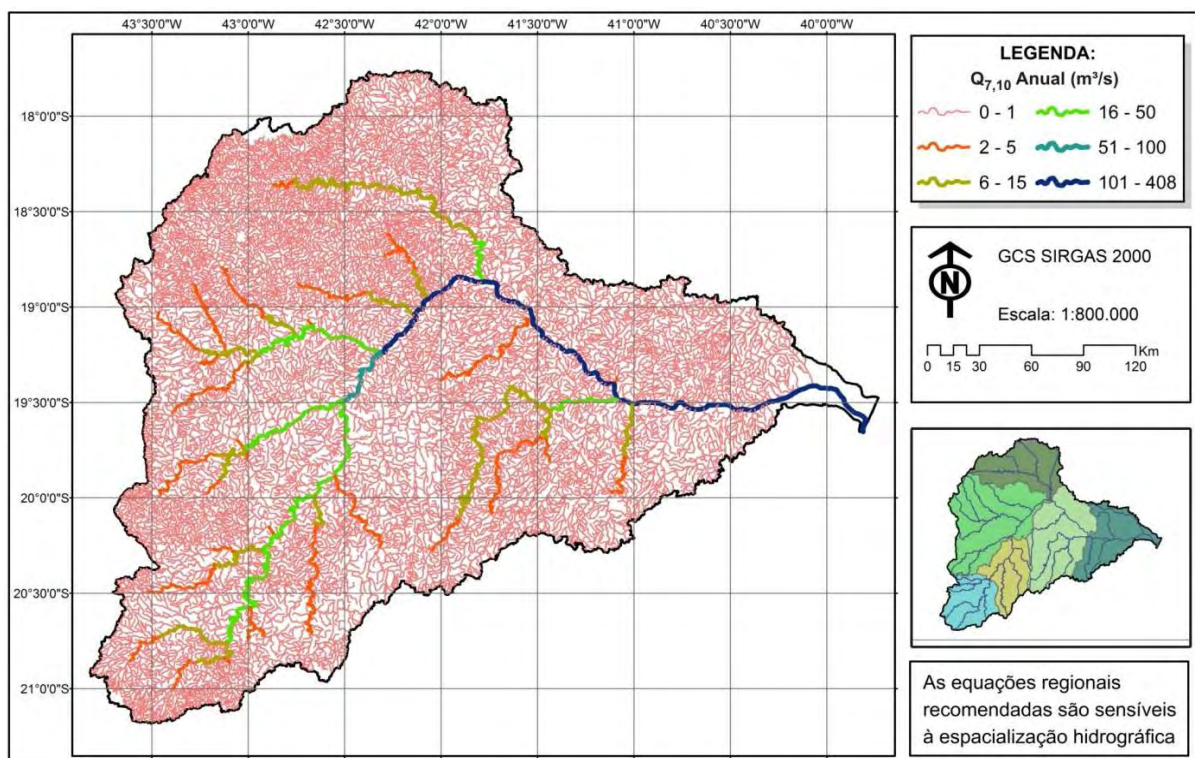


Figura 5.24. Vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$) espacializadas sobre a hidrografia.

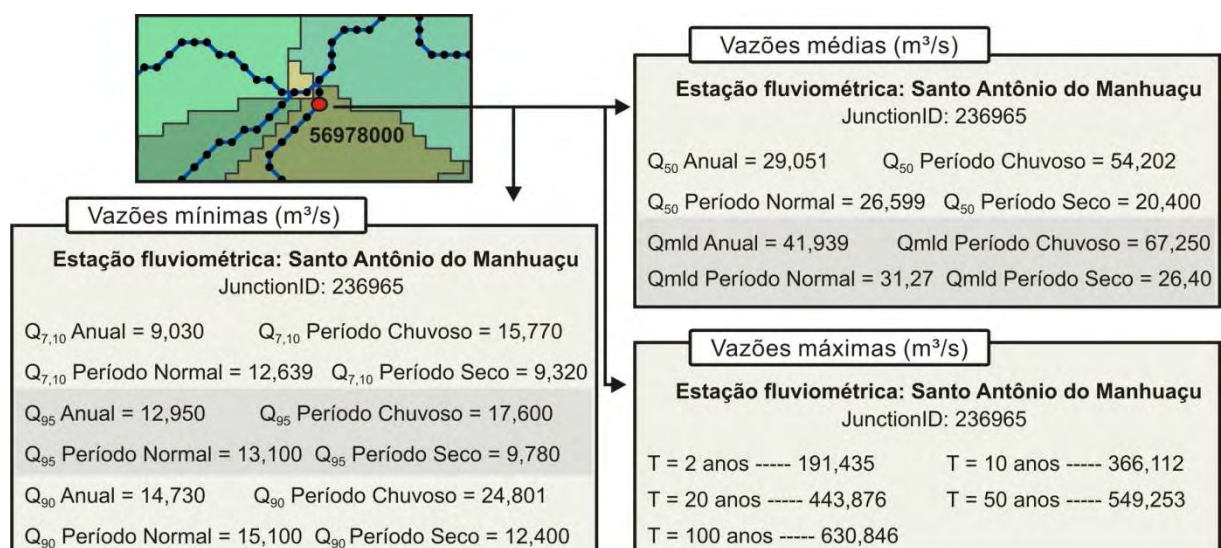


Figura 5.25. Vazões características armazenadas na rede geométrica da hidrografia

5.2.4. Ajuste das vazões estimadas

O ajuste das vazões espacializadas pelas equações de regressão regionais foi capaz de eliminar os erros das estimativas nas seções da hidrografia monitoradas por estações fluviométricas, ou seja, nestas seções as vazões estimadas coincidem com as vazões calculadas a partir das séries históricas de vazão. Conforme a metodologia utilizada, o ajuste foi realizado nas áreas de influência das estações fluviométricas utilizadas como pontos de controle para a correção das estimativas. As áreas da bacia hidrográfica que não possuíam pontos de controle para a correção das vazões permaneceram com as estimativas das equações regionais.

Conforme os resultados da regionalização, um número reduzido de estações se enquadraram no caso B, em que o ajuste foi realizado aplicando-se a vazão específica da estação fluviométrica ao longo dos pontos sequenciais nas respectivas áreas de influência. Para a grande maioria das estações, enquadradas no caso A, pois se ajustaram à regressão múltipla, a correção das estimativas nas áreas de influência se deu a partir dos coeficientes de ajuste para cada estação fluviométrica.

A identificação das áreas de influência de cada estação fluviométrica utilizada como ponto de controle é apresentada na Figura 5.26, que ainda destaca as áreas de influência nas regiões homogêneas II e V.

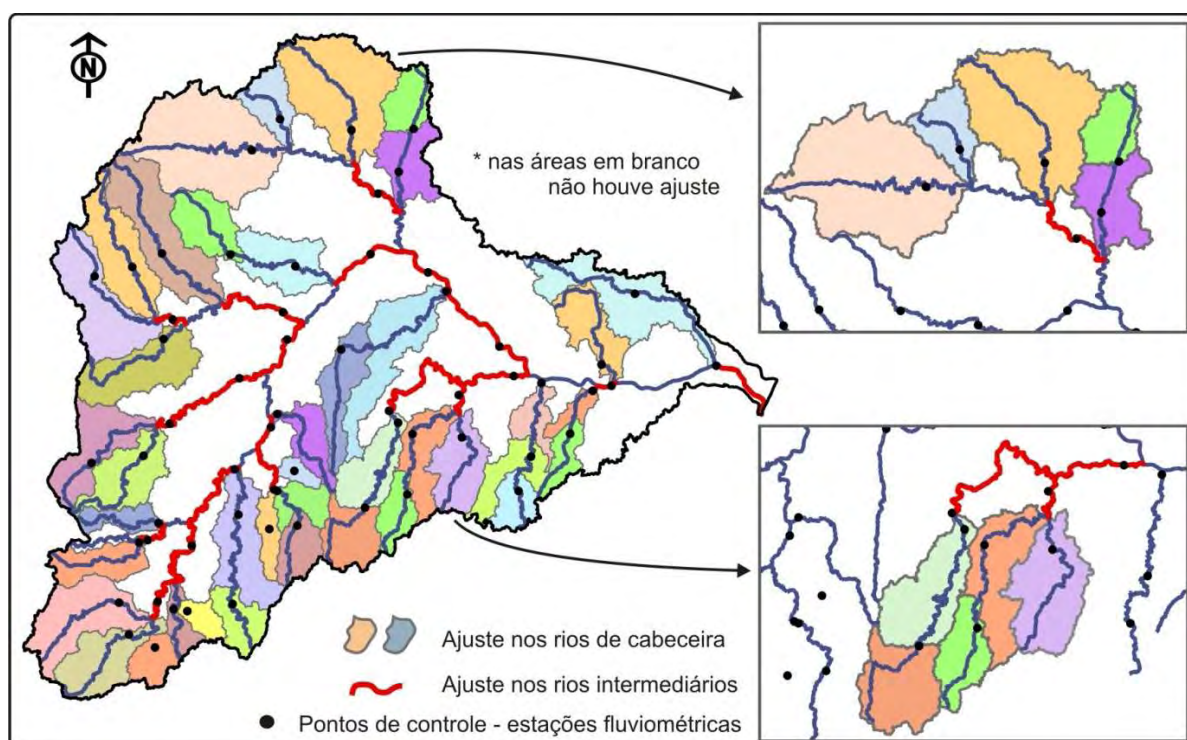


Figura 5.26. Áreas de influência do ajuste das vazões estimadas pela regionalização.

Eliminando o erro das estimativas nas estações fluviométricas reduziram-se os erros relativos das vazões incorporadas ao sistema de informações. Ressalta-se que o ajuste por meio de coeficientes de ajuste também pode ser utilizado para atualizar as vazões, periodicamente, em razão dos registros de monitoramento mais recentes. O erro médio das estimativas, a amplitude dos coeficientes e o número de ajustes em cada caso estão resumidos no Quadro 5.12 e detalhados no Apêndice E.

Quadro 5.12. Resumo do ajuste das vazões estimadas pelas equações regionais

Vazão	Período	Erro médio (%)	Coeficiente de ajuste		Número de ocorrências	
			Mínimo	Máximo	Caso A	Caso B
$Q_{7,10}$	Anual	14,38	0,75	1,60	57	4
	Seco	15,29	0,70	1,45	57	4
	Normal	12,44	0,69	1,47	57	4
	Chuvoso	12,41	0,67	1,42	57	4
Q_{95}	Anual	18,42	0,77	1,81	57	4
	Seco	16,01	0,70	1,49	57	4
	Normal	14,88	0,68	1,59	58	3
	Chuvoso	15,31	0,67	1,66	57	4
Q_{90}	Anual	12,89	0,72	1,46	57	4
	Seco	14,97	0,71	1,36	57	4
	Normal	13,62	0,68	1,51	58	3
	Chuvoso	13,74	0,68	1,44	57	4
Q_{50}	Anual	11,15	0,72	1,33	59	2
	Seco	11,05	0,71	1,40	59	2
	Normal	10,84	0,70	1,35	59	2
	Chuvoso	10,93	0,69	1,43	59	2
Q_{mld}	Anual	9,91	0,69	1,31	61	0
	Seco	10,21	0,68	1,32	60	1
	Normal	11,76	0,67	1,33	60	1
	Chuvoso	8,64	0,70	1,26	60	1
$Q_{MÁX}$	2 anos	13,00	0,73	1,62	58	3
	10 anos	11,86	0,72	1,35	53	8
	20 anos	12,47	0,73	1,37	53	8
	50 anos	14,43	0,74	1,58	53	8
	100 anos	15,89	0,71	1,75	53	8

5.3. Modelo do banco de dados

Novamente, o cadenciamento das atividades envolvidas na modelagem do banco de dados foi fundamental para garantir a versatilidade no uso das informações geográficas e hidrológicas e a eficiência das funções administrativas do sistema de controle dinâmico. O mapeamento dos processos afetos à outorga forneceu o conhecimento necessário à sistematização das variáveis e indicadores para fundamentar as análises dos processos de outorga. Já o acondicionamento do modelo Arc Hydro produziu um banco de dados hidroreferenciado apropriado para gerenciar, com eficiência, as informações geográficas, hidrológicas e administrativas.

Esta eficiência na gestão das informações armazenadas no BD diz respeito à capacidade que o modelo possui para relacionar informações complementares, organizar o conhecimento em categorias lógicas para evitar a duplicidade de dados, e estabelecer regras sobre os atributos a fim de manter a integridade das informações.

5.3.1. Processos afetos à outorga

O mapeamento dos processos relacionados com a aplicação do instrumento de outorga nos domínios de gestão estabelecidos na bacia hidrográfica do rio Doce identificou as principais informações que definem a situação atual dos sistemas de outorga das agências reguladoras. Apesar da ênfase regional no estudo do instrumento de outorga, o modelo do banco de dados está dimensionado para se adequar facilmente aos critérios e práticas adotadas em qualquer Estado.

Basicamente as informações necessárias à regularização dos usos múltiplos dividem-se em hidrológicas e administrativas. Enquanto as informações administrativas são encaminhadas à análise jurídica, as informações hidrológicas são validadas pela análise técnica, responsável também pela avaliação do impacto das interferências considerando a disponibilidade hídrica na seção e os critérios de outorga definidos.

O estudo do material de referência da base legal para aplicação da outorga, identificou que semelhante à outorga para captação de águas superficiais baseada em um determinado percentual da vazão de referência, a outorga para lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais se baseia na disponibilidade hídrica para diluição, também função da vazão de referência. Os aspectos principais dos critérios definidos para outorga em rios da união e de domínio dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo são resumidos nos Quadros 5.13 e 5.14.

Quadro 5.13. Resumo dos critérios de outorga para captação de águas superficiais

Órgão gestor	Q referência	Percentual outorgável	Limite individual
ANA	Q ₉₅	70%	20% Qref
IGAM	Q _{7,10}	30%	Não possui
IEMA	Q _{7,10}	50%	25% Qref

Quadro 5.14. Resumo dos critérios de outorga para lançamento de efluentes em águas superficiais

Órgão gestor	Q referência	Parâmetros	Vazão de diluição	Limite individual
ANA	Q ₉₅	T, DBO, P, N	Qref	Não possui
IGAM	Q _{7,10}	DBO	até 70% Qref	50% Qref
IEMA	Q _{7,10}	DBO, P	até 50% Qref	25% Qref

Os procedimentos administrativos afetos à outorga são disciplinados por portarias internas que estabelecem o protocolo, a documentação necessária e os prazos para análise dos formulários submetidos ao órgão. Inicialmente, é feita uma pré-análise para autuação dos requerimentos, quando é verificado se a documentação está completa. Os pedidos de outorga são então publicados em Diário Oficial.

Tanto a ANA como os órgãos estaduais possuem dezenas de formulários específicos para cadastro dos usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos, para cada tipo de uso dos recursos hídricos e para caracterizar as variadas finalidades de uso das águas. O resultado da padronização das informações solicitadas é apresentado como parte da sistematização das variáveis.

As análises técnicas atuam em duas frentes: primeiro avaliam a consistência das informações fornecidas sobre o uso dos recursos hídricos, considerando valores médios como o consumo per capita, os coeficientes técnicos de captação, consumo e geração de efluentes nas indústrias e a eficiência da irrigação; depois avaliam se na seção da interferência existe a disponibilidade hídrica demandada. Neste ponto, as captações a montante precisam ser consideradas na disponibilidade outorgável, o limite individual deve ser respeitado e é preciso garantir que a nova outorga não implicará violação do percentual mínimo remanescente a jusante. Um aspecto positivo dos critérios de outorga para lançamento de efluentes é consideração vazão de referência, também adotada para as captações superficiais.

Segundo a Resolução nº 357/05 do CONAMA, a vazão de referência que quantifica a disponibilidade hídrica deve ser capaz de harmonizar o uso múltiplo das águas e as políticas de preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos. Embora haja consenso na necessidade de adoção de vazões de referência específicas para cada bacia hidrográfica, apenas a legislação da ANA enfatiza esta preocupação e possibilita novos critérios.

Nos Estados, a legislação define as vazões de referência e o percentual outorgável, mas não estabelece se a vazão de referência deve ser constante ao longo do ano ou variável em consonância com as crescentes discussões sobre o enfoque ecossistêmico (AGRA, 2009) e o hidrograma ecológico (COLLISCHONN, 2005). No entanto, talvez pela falta de informações ou pela ausência de sistema gestores para lidar com um maior volume de dados, as agências reguladoras têm simplificado as análises ao adotar, para todo o ano, as vazões de referência obtidas com base no período mais crítico do ano, limitando a outorga em períodos com maior disponibilidade hídrica.

A adoção nos Estados do conceito de vazão de diluição, proposto inicialmente por Kelman (1997), além de seguir o disposto na Resolução CNRH nº 16/2001, facilitou a análise das outorgas uma vez que permite mensurar o impacto dos lançamentos em termos de quantidade de água. Com relação à parcela outorgável para diluição de efluentes, Salim et al. (2009), ao comentarem os critérios adotados pelo IEMA, acreditam que a separação da mesma em relação àquela destinada às captações facilita as análises, pois não é preciso considerar os efeitos do balanço hídrico consuntivo sobre a capacidade de diluição dos poluentes. No IEMA e no IGAM, o balanço hídrico das demandas relacionadas à qualidade de água considera apenas as vazões de diluição e os efeitos da autodepuração sobre as mesmas, enquanto as demandas para usos consuntivos são contabilizadas separadamente.

Entretanto, optou-se por seguir as diretrizes da PNRH que preconiza a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade. Dessa forma, respeitando os critérios legalmente definidos por cada órgão gestor, o SIGWeb AQUORA utiliza para diluição a parcela das vazões de referência que ainda não foi outorgada e realiza o balanço hídrico em conjunto com as captações superficiais. Para auxiliar os gestores em relação aos limites outorgáveis diferenciados, foram processados indicadores para alertar quando um critério é desrespeitado.

5.3.2. Sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas

O mapeamento dos processos afetos à outorga identificou a necessidade de armazenar no BD diversas outras informações além daquelas produzidas na construção da base geográfica e hidrológica. Como o sistema foi desenvolvido para unificar o controle dos usos múltiplos, respeitando os critérios definidos por cada órgão gestor, a sistematização das variáveis foi fundamental para modelar um banco de dados versátil, capaz de suportar as funcionalidades dos SIG, disponibilizar informações hidrológicas, subsidiar as funções para análise das interferências (captações e lançamentos) e ainda exercer a gestão administrativa das outorgas.

Base geográfica

A sistematização das variáveis geográficas organizou as informações existentes e flexibilizou o banco de dados para aplicação em outras bacias. A Figura 5.27 apresenta as classes de feição (feature class) dos níveis de organização das áreas de drenagem (bacia, sub-bacias e microbacias) e as respectivas variáveis. Vale destacar os atributos da ottocodificação (HydroCode) e os identificadores globais utilizados no aninhamento relacional das bacias hidrográficas (BasinID e WshedID).

Simple feature class Basin		Geometry Polygon Contains M values No Contains Z values No		Bacia Hidrográfica	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision Scale Length
OBJECTID	Object ID				
SHAPE	Geometry	Yes			
HydroID	Long integer	Yes			0
HydroCode	Long integer	Yes			0
AreaSqKm	Double	Yes			0 0
Simple feature class Watershed		Geometry Polygon Contains M values No Contains Z values No		Sub-bacia	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision Scale Length
OBJECTID	Object ID				
SHAPE	Geometry	Yes			
HydroID	Long integer	Yes			0
HydroCode	Long integer	Yes			0
BasinID	Long integer	Yes			0
Simple feature class Catchment		Geometry Polygon Contains M values No Contains Z values No		Microbacia	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision Scale Length
OBJECTID	Object ID				
SHAPE	Geometry	Yes			
HydroID	Long integer	Yes			0
HydroCode	Long integer	Yes			0
BasinID	Long integer	Yes			0
WshedID	Long integer	Yes			0
AreaSqKm	Double	Yes			0 0
JunctionID	Long integer	Yes			0
NextDownID	Long integer	Yes			0
SHAPE_Length	Double	Yes			0 0
SHAPE_Area	Double	Yes			0 0

Figura 5.27. Variáveis associadas aos níveis de organização das áreas de drenagem.

As variáveis associadas aos elementos da rede geométrica representativa da hidrografia são apresentadas pela Figura 5.28. Entre os atributos dos segmentos da drenagem, destacam-se o código Otto, o identificador da microbacia associada ao trecho (DrainID) e o identificador do segmento a jusante (NextDownID) que otimiza a navegação sobre a drenagem. As feições do subtipo da hidrografia referente às linhas de margem não estão presentes no BD, mas podem ser carregadas quando disponíveis. Nos pontos sequenciais observam-se os identificadores da microbacia (DrainID) e do trecho de rio associado (EdgeID), o identificador do ponto à jusante (NextDownID) e os critérios de outorga com base no respectivo domínio de gestão.

Complex edge feature class						Geometry	Polyline
HydroEdge						Contains M values	No
						Contains Z values	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
Enabled	Short integer	Yes	1	EnabledDomain	0		
HydroID	Long integer	Yes			0		
HydroCode	Long integer	Yes			0		
NextDownID	Long integer	Yes			0		
DrainID	Long Integer	Yes			0		
FType	String	Yes					15
Name	String	Yes					50
LengthKm	Double	Yes			0	0	
LengthDown	Double	Yes			0	0	
FlowDir	Long integer	Yes	1	HydroFlowDirections	0		
EdgeType	Long integer	Yes	1	HydroEdgeType	0		
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0	

HydroID

Código Otto *

NextDownID

DrainID

Tipo

Nome

Comprimento do trecho (km)

Distância à foz (m)

Direção do escoamento

Tipo do arco

Subtypes of HydroEdge					
Subtype field		EdgeType			
Default subtype		1			
List of defined default values and domains for subtypes in this class					
Subtype Code	Subtype Description	Field name	Default value	Domain	
1	Flowline	Enabled	1	EnabledDomain	
		FlowDir	1	HydroFlowDirections	
		EdgeType		HydroEdgeType	
2	Shoreline	Enabled	1	EnabledDomain	
		FlowDir	1	HydroFlowDirections	
		EdgeType		HydroEdgeType	

Talvegue

Margens

Simple junction feature class						Geometry	Point
HydroJunction						Contains M values	No
						Contains Z values	No
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
SHAPE	Geometry	Yes					
AncillaryRole	Short integer	Yes	0	AncillaryRoleDomain	0		
Enabled	Short integer	Yes	1	EnabledDomain	0		
HydroID	Long integer	Yes			0		
DrainID	Long integer	Yes			0		
EdgeID	Long integer	Yes			0		
NextDownID	Long integer	Yes			0		
LengthDown	Long integer	Yes			0		
AreaSqKm	Double	Yes			0	0	
CmprRioPrncKm	Double	Yes			0	0	
CmprTotalKm	Double	Yes			0	0	
DensDrenKmKm2	Double	Yes			0	0	
DeclMediaPerc	Double	Yes			0	0	
PrecAnoMm	Double	Yes			0	0	
PrecSemChuMm	Double	Yes			0	0	
PrecSemSecMm	Double	Yes			0	0	
VazaoRef	Short integer	Yes		VazaoRefDomain	0		
PercOutg	Double	Yes			0	0	
Dominio	Short integer	Yes		DominioDomain	0		

AncillaryRole

HydroID

DrainID

EdgeID

NextDownID *

Distância à foz (km)

Área de drenagem (km²)

Comprimento do rio principal (km)

Comprimento total da drenagem (km)

Densidade de drenagem (km/km²)

Declividade média na bacia (%)

Precipitação total anual (mm)

Precipitação do semestre chuvoso (mm)

Precipitação do semestre seco (mm)

Vazão de referência

Percentual outorgável

Domínio de gestão

Figura 5.28. Variáveis associadas aos elementos espaciais da rede hidrográfica.

Embora os pontos sequenciais identifiquem os domínios de gestão, a divisão estadual foi acrescentada à base geográfica para facilitar a visualização das dominialidades. Outros temas incorporados ao BD, por despertarem interesse de gestores e profissionais envolvidos com a gestão dos recursos hídricos, foram as regiões hidrologicamente homogêneas utilizadas na regionalização de vazões e os municípios, com os indicadores gerais dos aspectos demográficos e econômicos. A Figura 5.29 apresenta as variáveis incorporadas à divisão municipal e o dicionário completo do banco de dados com a descrição de cada campo.

Simple feature class						Geometry Polygon				
Municípios						Contains M values	No	Contains Z values	No	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length			
OBJECTID	Object ID									
SHAPE	Geometry	Yes								
Geocode	Long integer	Yes			0					
Name	String	Yes					50			
UF	Short integer	Yes		UFDomain	0					
Pop	Double	Yes			0	0				
PIB	Double	Yes			0	0				
IDH	Double	Yes			0	0				
PopUrb	Double	Yes			0	0				
PopRur	Double	Yes			0	0				
SHAPE_Length	Double	Yes			0	0				
SHAPE_Area	Double	Yes			0	0				

Municípios

Geocódigo

Nome

Estado

População

PIB per capita (R\$)

IDH

População urbana (%)

População rural (%)

Figura 5.29. Variáveis associadas à divisão municipal, retiradas do Censo 2006.

As estações de monitoramento encontram-se agrupadas no modelo do BD para minimizar a duplicidade de informações. Assim, foram reunidos os elementos espaciais em uma única classe e utilizados os identificadores para relacionar as estações com as tabelas específicas por tipo de monitoramento. A Figura 5.30 apresenta a classe das estações e o domínio que identifica os tipos de medição.

Simple feature class						Geometry Point				
MonitoringPoint						Contains M values	No	Contains Z values	No	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length			
OBJECTID	Object ID									
SHAPE	Geometry	Yes								
HydroID	Long integer	Yes			0					
HydroCode	Long integer	Yes			0					
JunctionID	Long integer	Yes			0					
Name	String	Yes					50			
FType	Short integer	Yes		MonitorType	0					

Estações de monitoramento

HydroID

Código

JunctionID

Nome

Tipo

Coded value domain

MonitorType

Description Tipo de estação de monitoramento

Code	Description
1	Estação fluviométrica
2	Estação pluviométrica
3	Estação de qualidade
4	Estação meteorológica

Valores do Domínio

Tipos de estação de monitoramento

Figura 5.30. Sistematização das estações de monitoramento em uma única classe.

A base geográfica também armazena as variáveis específicas para cada tipo de uso ou interferência nos recursos hídricos: captação superficial, captação subterrânea, lançamento de efluentes, barramentos com e sem captação, aproveitamento de potencial hidrelétrico, extração mineral, estruturas hidráulicas e modificações nos cursos d'água. As Figuras 5.31 a 5.33 apresentam as principais classes com as respectivas coleções de variáveis.

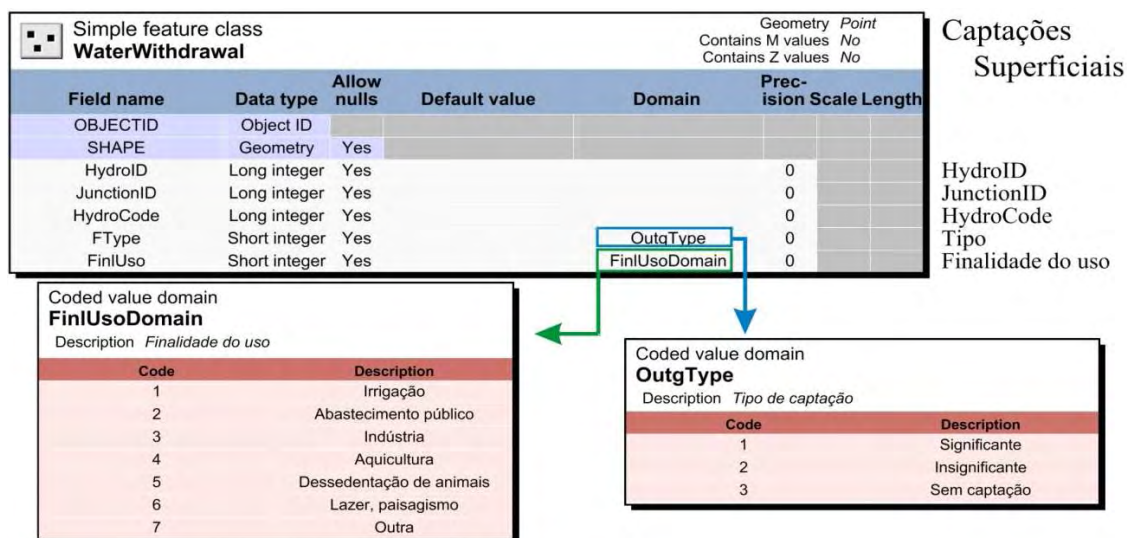


Figura 5.31. Variáveis associadas à classe das captações de águas superficiais.

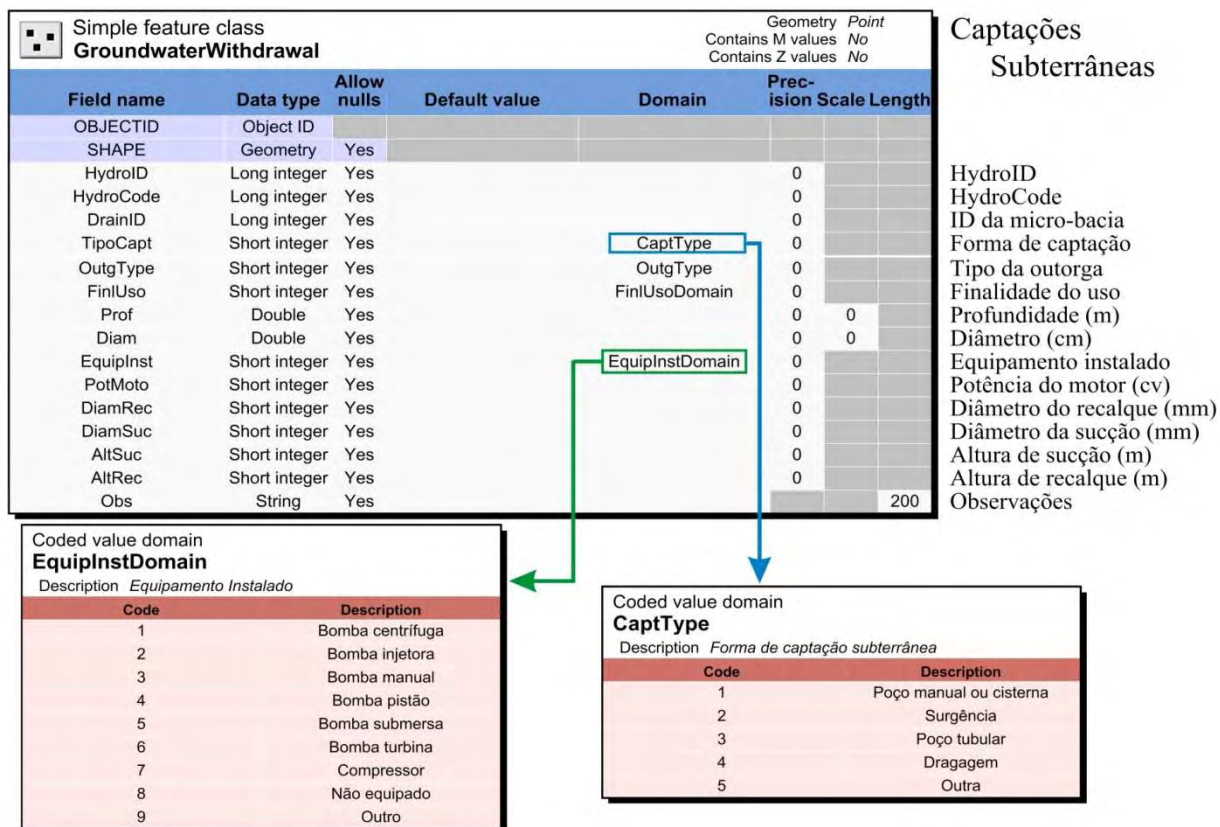


Figura 5.32. Variáveis associadas à classe das captações de águas subterrâneas.

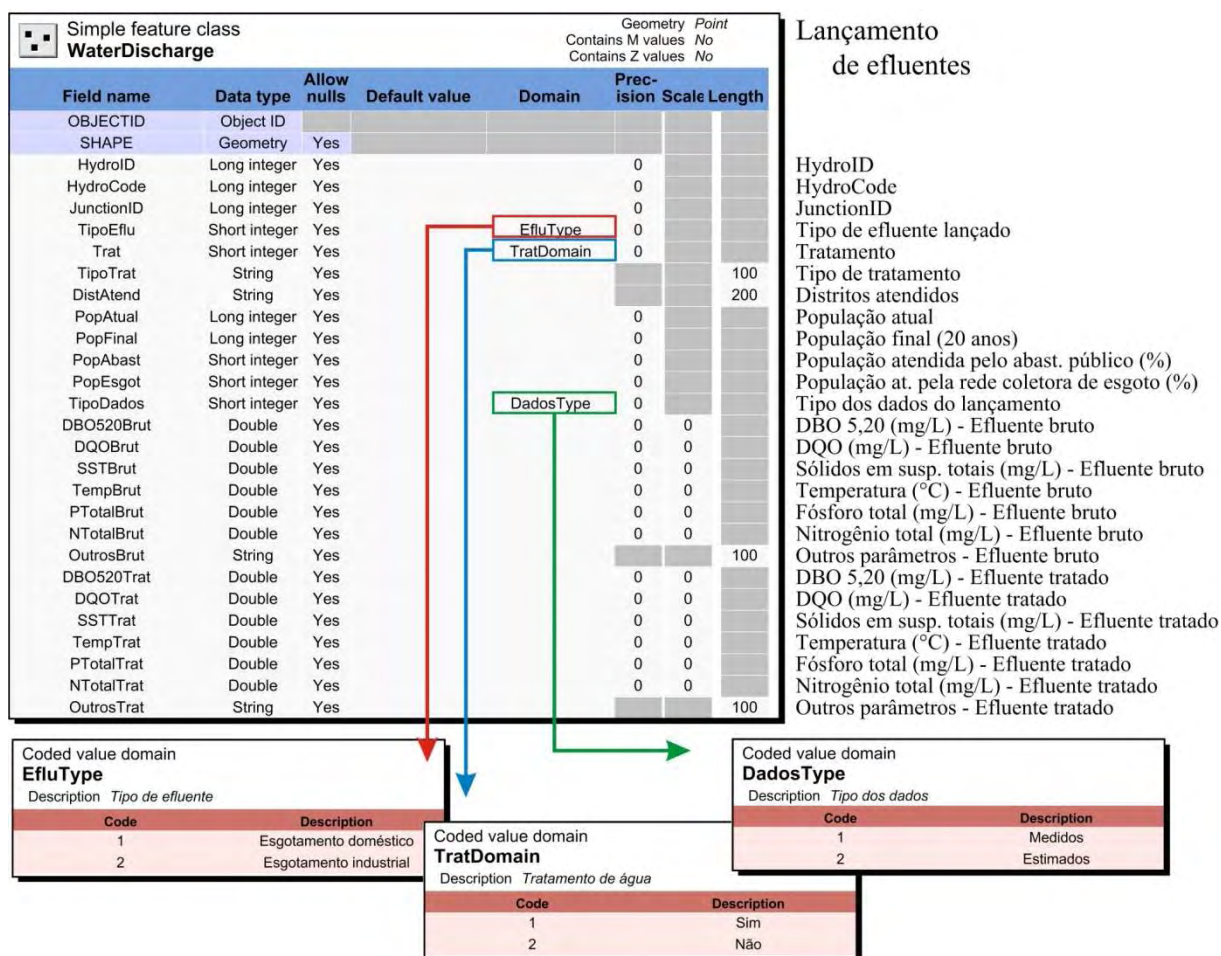


Figura 5.33. Variáveis associadas à classe dos lançamentos de efluentes.

Analisando as figuras, observa-se que as classes de captações e lançamentos não armazenam informações sobre a cronologia do uso dos recursos hídricos como, por exemplo, as vazões demandadas ou lançadas nos cursos d'água. O modelo do BD considera que estas são informações administrativas, utilizadas nas análises técnicas e no balanço hídrico consuntivo, portanto são armazenadas em uma tabela específica, mas que mantém o relacionamento com os elementos espaciais.

Vale ressaltar que embora os formulários de outorga permitam a caracterização mensal das intervenções (vazão, dias/mês, horas/dia), os parâmetros qualitativos dos efluentes lançados nos cursos d'água são considerados constantes ao longo do ano. Por esta razão os parâmetros não foram associados à tabela de cronologia das intervenções, mas incorporados à classe geográfica dos lançamentos de efluentes.

O destaque na classe de captações subterrâneas está no hidrorreferenciamento com base nas microbacias (DrainID), ao contrário das outras intervenções que se relacionam com os pontos sequenciais da hidrografia (JunctionID).

Base hidrológica

Com exceção das variáveis fluviométricas e pluviométricas associadas às estações de monitoramento, o restante das variáveis hidrológicas relacionam-se com os 542.203 pontos que compõem a rede hidrográfica. Nesta lista estão as estimativas de vazões mínimas, máximas e médias considerando o período anual e os semestres seco, normal e chuvoso; as vazões de referência, $Q_{7,10}$ ou Q_{95} , dependendo do domínio de gestão; as vazões outorgáveis, definidas pelo percentual outorgável; as vazões disponíveis, resultantes do balanço hídrico; e ainda os parâmetros qualitativos das águas superficiais. As Figuras 5.34 a 5.36 referem-se às vazões regionalizadas.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length	
OBJECTID	Object ID							
JunctionID	Long integer	Yes			0			JunctionID
Q710Ano	Double	Yes			0	0		Q7,10 Anual
Q710Quad1	Double	Yes			0	0		Q7,10 Chuvoso
Q710Quad2	Double	Yes			0	0		Q7,10 Normal
Q710Quad3	Double	Yes			0	0		Q7,10 Seco
Q90Ano	Double	Yes			0	0		Q90 Anual
Q90Quad1	Double	Yes			0	0		Q90 Chuvoso
Q90Quad2	Double	Yes			0	0		Q90 Normal
Q90Quad3	Double	Yes			0	0		Q90 Seco
Q95Ano	Double	Yes			0	0		Q95 Anual
Q95Quad1	Double	Yes			0	0		Q95 Chuvoso
Q95Quad2	Double	Yes			0	0		Q95 Normal
Q95Quad3	Double	Yes			0	0		Q95 Seco

Figura 5.34. Vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) associadas aos períodos anual e sazonais.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length	
OBJECTID	Object ID							
JunctionID	Long integer	Yes			0			JunctionID
QmedAno	Double	Yes			0	0		Qmlp Anual
QmedQuad1	Double	Yes			0	0		Qmlp Chuvoso
QmedQuad2	Double	Yes			0	0		Qmlp Normal
QmedQuad3	Double	Yes			0	0		Qmlp Seco
Q50Ano	Double	Yes			0	0		Q50 Anual
Q50Quad1	Double	Yes			0	0		Q50 Chuvoso
Q50Quad2	Double	Yes			0	0		Q50 Normal
Q50Quad3	Double	Yes			0	0		Q50 Seco

Figura 5.35. Vazões médias (Q_{med} e Q_{50}) associadas aos períodos anual e sazonais.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length	
OBJECTID	Object ID							
JunctionID	Long integer	Yes			0			JunctionID
QmaxT2	Double	Yes			0	0		T = 2 anos
QmaxT10	Double	Yes			0	0		T = 10 anos
QmaxT20	Double	Yes			0	0		T = 20 anos
QmaxT50	Double	Yes			0	0		T = 50 anos
QmaxT100	Double	Yes			0	0		T = 100 anos

Figura 5.36. Vazões máximas associadas às recorrências de 2, 10, 20, 50 e 100 anos.

Uma vez que o sistema de controle dinâmico utiliza a base mensal para a análise das interferências e a atualização da disponibilidade hídrica, o banco de dados foi modelado para armazenar as vazões de referência, outorgáveis e disponíveis para a outorga, em cada mês, possibilitando maior controle sobre os usos múltiplos da água. Embora, atualmente, os órgãos gestores trabalhem com uma única vazão de referência ao longo do ano, característica do período mais crítico, julgou-se mais apropriado carregar o BD com as vazões sazonais associadas aos períodos seco, normal e chuvoso. A Figura 5.37 apresenta as vazões utilizadas nas análises técnicas da outorga e a Figura 5.38, apresenta as vazões resultantes do balanço hídrico.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
JunctionID	Long integer	Yes			0		
OutgM1	Double	Yes			0	0	
OutgM2	Double	Yes			0	0	
OutgM3	Double	Yes			0	0	
OutgM4	Double	Yes			0	0	
OutgM5	Double	Yes			0	0	
OutgM6	Double	Yes			0	0	
OutgM7	Double	Yes			0	0	
OutgM8	Double	Yes			0	0	
OutgM9	Double	Yes			0	0	
OutgM10	Double	Yes			0	0	
OutgM11	Double	Yes			0	0	
OutgM12	Double	Yes			0	0	
RefM1	Double	Yes			0	0	
RefM2	Double	Yes			0	0	
RefM3	Double	Yes			0	0	
RefM4	Double	Yes			0	0	
RefM5	Double	Yes			0	0	
RefM6	Double	Yes			0	0	
RefM7	Double	Yes			0	0	
RefM8	Double	Yes			0	0	
RefM9	Double	Yes			0	0	
RefM10	Double	Yes			0	0	
RefM11	Double	Yes			0	0	
RefM12	Double	Yes			0	0	

JunctionID

Janeiro

Fevereiro

Março

Abril

Maio

Junho

Julho

Agosto

Setembro

Outubro

Novembro

Dezembro

Outorgáveis

Referência

Figura 5.37. Vazões de referência e outorgáveis com base nos domínios de gestão.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID						
JunctionID	Long integer	Yes			0		
DispM1	Double	Yes			0	0	
DispM2	Double	Yes			0	0	
DispM3	Double	Yes			0	0	
DispM4	Double	Yes			0	0	
DispM5	Double	Yes			0	0	
DispM6	Double	Yes			0	0	
DispM7	Double	Yes			0	0	
DispM8	Double	Yes			0	0	
DispM9	Double	Yes			0	0	
DispM10	Double	Yes			0	0	
DispM11	Double	Yes			0	0	
DispM12	Double	Yes			0	0	

JunctionID

Janeiro

Fevereiro

Março

Abril

Maio

Junho

Julho

Agosto

Setembro

Outubro

Novembro

Dezembro

Vazões Disponíveis

Figura 5.38. Vazões disponíveis resultantes do balanço hídrico consuntivo.

É importante ressaltar que as vazões de referência e outorgáveis foram calculadas a partir dos critérios de outorga associados à cada ponto da hidrografia. Dessa forma, o banco é flexível à possibilidade de critérios específicos para determinada região, sub-bacia ou curso d'água. Como as vazões disponíveis são calculadas reduzindo-se as demandas da disponibilidade hídrica outorgável, a implementação dos critérios diferenciados é automaticamente incorporada ao sistema.

Assim como as informações quantitativas, as variáveis associadas à qualidade das águas foram relacionadas a cada ponto da rede geométrica. Poderiam ser simplificadas por trecho de curso d'água já que, atualmente, os impactos qualitativos são tratados utilizando o conceito de vazão de diluição, para diluir os poluentes até a concentração limite da classe de enquadramento. No entanto, a versatilidade do banco de dados almeja o uso das informações não apenas na aplicação de controle dos usos múltiplos, mas também em modelos hidrológicos mais complexos.

Dessa forma, optou-se pela resolução das vazões a fim de permitir a utilização do banco de dados em modelos hidrológicos que simulam o comportamento dos parâmetros qualitativos mediante as demandas outorgadas ou a partir cenários de uso dos recursos hídricos utilizando diferentes versões do banco de dados.

A modelagem das variáveis qualitativas é apresentada na Figura 5.39. Ao contrário da representação das vazões, o BD está modelado para armazenar um único valor associado a cada parâmetro de qualidade, normalmente medido nas campanhas de monitoramento. Estas campanhas são realizadas, no mínimo, a cada semestre (seco e chuvoso), mas devido à indisponibilidade dessas informações, a modelagem da qualidade foi simplificada nesta versão do SIGWeb AQUORA.

Table Qualidade								Qualidade da Água	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec- ision	Scale	Length		
OBJECTID	Object ID								
JunctionID	Long Integer	Yes			0			JunctionID	
OD	Double	Yes			0	0		Oxigênio dissolvido (mg/L)	
CF	Double	Yes			0	0		Coliformes fecais (NMP/100mL)	
pH	Double	Yes			0	0		pH	
DBO	Double	Yes			0	0		DBO (mg/L)	
NO3	Double	Yes			0	0		Nitrato total - NO3 (mg/L)	
PO4	Double	Yes			0	0		Fosfato total - PO4 (mg/L)	
Tu	Double	Yes			0	0		Turbidez	
ST	Double	Yes			0	0		Sólidos totais (mg/L)	
VarTemp	Double	Yes			0	0		Variação de temperatura	
IQA	Double	Yes			0	0		Índice de Qualidade das Águas - IQA	
Ntotal	Double	Yes			0	0		Nitrogênio total (mg/L)	
Ptotal	Double	Yes			0	0		Fósforo total (mg/L)	
Temp	Double	Yes			0	0		Temperatura (°C)	
Clas	Short Integer	Yes			0			Classe	

Figura 5.39. Variáveis associadas à qualidade das águas superficiais.

O plano da bacia hidrográfica do rio Doce (PIRH-Doce, 2009) enquadra todos os rios da bacia na classe 2 e apresenta gráficos com a variação anual dos parâmetros qualitativos para cada estação de monitoramento, mas as séries de dados não estão disponíveis para consulta, impossibilitando maior precisão dos parâmetros carregados no BD. Devido à falta de acesso aos resultados das campanhas e pela importância nas análises técnicas, o BD foi carregado apenas com as variáveis necessárias aos processos de outorga para lançamento de efluentes. O Quadro 5.15 apresenta os parâmetros médios de qualidade simplificados a partir do relatório do plano da bacia do rio Doce e carregados no BD para subsidiar as funções do SIGWeb. Também se apresenta os limites da Resolução CONAMA 357/2005 para a classe 2.

Quadro 5.15. Classe de enquadramento e parâmetros de qualidade carregados no BD

Classe de Enquadramento	Temperatura (°C)	DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	N _{TOTAL} (mg L ⁻¹)	P _{TOTAL} (mg L ⁻¹)
2	25	1,0	0,2	0,03
Permitido	± 3°C	5,0	2,0	0,05

A extrapolação dos parâmetros de qualidade medidos pelas campanhas para outras seções da hidrografia é um grande desafio para a gestão dos recursos hídricos, pois as concentrações das variáveis são influenciadas não somente pela magnitude das vazões, mas por processos físicos e biológicos além das intervenções antrópicas. Sob esta justificativa e devido à dificuldade de acesso às séries de dados qualitativos, os parâmetros do quadro 5.15 foram espacializados de forma uniforme sobre a hidrografia, possibilitando a avaliação das funções da análise técnica. Assim que estiverem disponíveis, as informações podem ser atualizadas no banco de dados.

A dificuldade encontrada para consultar os resultados do monitoramento da qualidade das águas superficiais consolida a importância dos sistemas de informação em recursos hídricos com acesso multi-usuário via internet. Com a operação do SIGWeb AQUORA, por exemplo, os resultados da modelagem morfológica e da regionalização de vazões são disponibilizados a toda sociedade, ao invés de permanecerem estáticos na instituição que produziu o conhecimento. Esta é a aplicação concreta dos três princípios dos sistemas de informação estabelecidos na Lei nº 9.433/97: descentralização da produção de dados e informações; coordenação unificada do sistema e acesso aos dados garantido à toda a sociedade.

Base administrativa

São dois os tipos de informação incorporada à base de dados administrativa: as informações solicitadas nos formulários de outorga que caracterizam os envolvidos e a cronologia das intervenções nos recursos hídricos; e as informações associadas ao controle administrativo dos processos de outorga. Os envolvidos são os usuários de recursos hídricos, os responsáveis técnicos pelo processo de outorga e os empreendimentos que requerem regularização, já a cronologia refere-se às demandas mensais dos recursos hídricos pelos empreendimentos impactantes. As informações administrativas gerenciam os diferentes tipos de requerimento, gerenciam prazos, portarias e vistorias e garantem o controle das permissões de acesso pelo sistema.

A Figura 5.40 apresenta as variáveis que caracterizam os envolvidos no processo de outorga. Estas informações são carregadas mediante o cadastro dos usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos por meio do SIGWeb.

Table UsurOutorga							Usuário de Recursos Hídricos	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale Length		
OBJECTID	Object ID							
UsurOutgID	Long integer	Yes			0		ID do usuário	
UsurOutg	String	Yes				50	Nome	
CPF	String	Yes				20	CPF	

Table RespTecnico							Responsável Técnico	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale Length		
OBJECTID	Object ID							
RespTecnID	Long integer	Yes			0		RespTecnID	
RespTecn	String	Yes				50	Nome	
CREA	String	Yes				20	CREA	
CPF	String	Yes				20	CPF	
Endr	String	Yes				50	Endereço	
Bairro	String	Yes				30	Bairro	
CEP	String	Yes				10	CEP	
Mncp	String	Yes				50	Município	
UF	Short integer	Yes		UFDomain	0		Estado	
Fone	String	Yes				20	Telefone	
Email	String	Yes				30	E-mail	

Table EmprUsur							Empreendimento Usuário	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Prec-ision	Scale Length		
OBJECTID	Object ID							
EmprUsurID	Long integer	Yes			0		ID do empreendimento	
EmprUsurNM	String	Yes				50	Razão social	
UsurOutgID	Long integer	Yes			0		ID do usuário	
Mncp	String	Yes				50	Município	
UF	Short integer	Yes		UFDomain	0		Estado	
Bairro	String	Yes				30	Bairro	
Fone	String	Yes				20	Telefone	
CEP	String	Yes				10	CEP	
Endr	String	Yes				50	Endereço	
CNPJ	String	Yes			0		CNPJ	

*Códigos correspondentes a todos os Estados do País.

Figura 5.40. Variáveis características dos envolvidos no processo de outorga.

De acordo com a finalidade dos usos múltiplos dos recursos hídricos, diferentes variáveis são necessárias para caracterizar os empreendimentos. O banco foi modelado para contemplar as seguintes finalidades de uso das captações: irrigação, abastecimento público, indústria, aquicultura, dessedentação de animais, lazer/paisagismo ou outra, identificada pelo usuário. Além das finalidades do uso das captações, o BD também gerencia as informações para aproveitamento de potencial hidrelétrico, extração mineral e modificação na calha dos rios. Como exemplo, as Figuras 5.41 e 5.42 apresentam as variáveis dos empreendimentos de abastecimento público e irrigação.

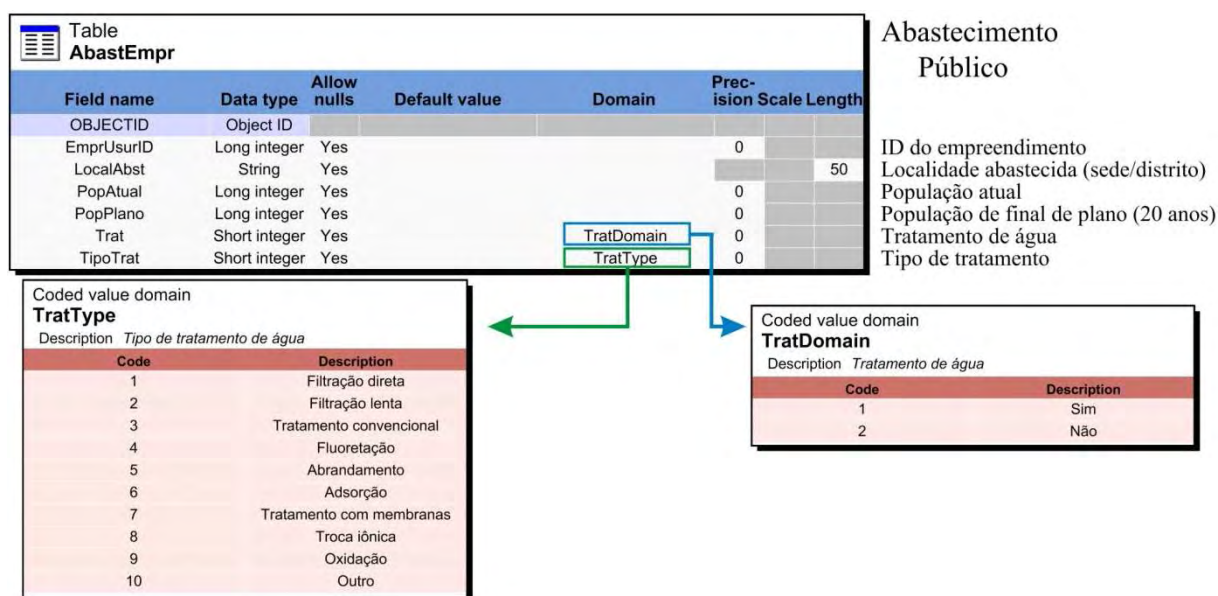


Figura 5.41. Variáveis características dos empreendimentos de abastecimento público.

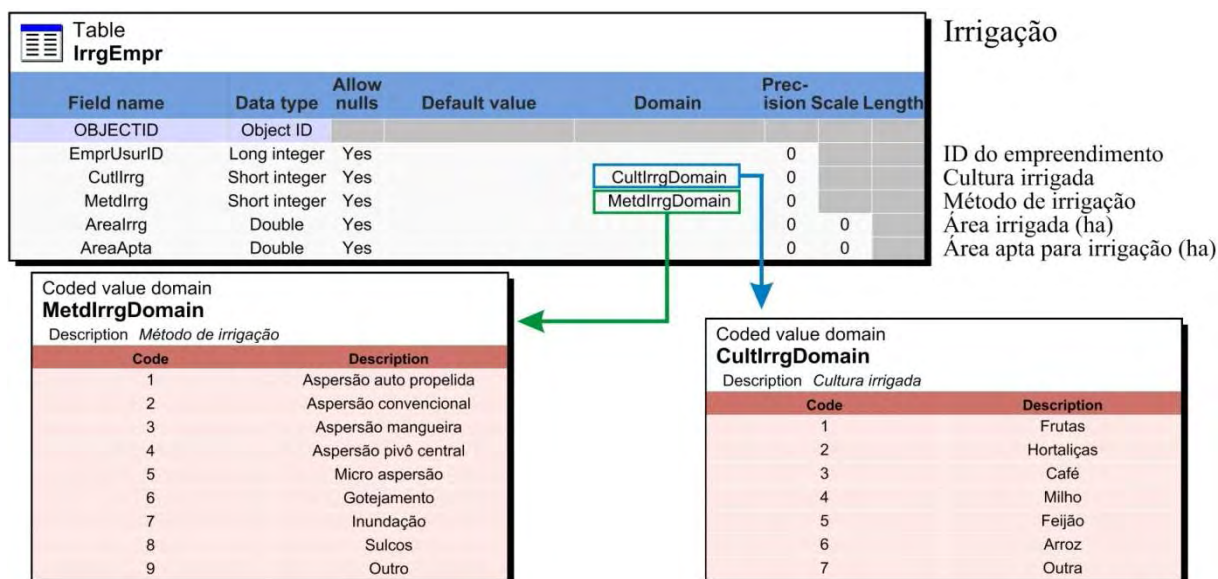


Figura 5.42. Variáveis características dos empreendimentos de abastecimento público.

A cronologia das captações e dos lançamentos de efluentes é gerenciada pela tabela apresentada na Figura 5.43. Além das vazões demandadas ou lançadas pelos empreendimentos usuários, em cada mês, são armazenados o número de dias por mês e a quantidade de horas por dia em que ocorrem as interferências. Estas informações, apesar de solicitadas nos formulários de outorga, não participam da análise dos impactos das interferências e, tampouco, do balanço hídrico consuntivo. Ou seja, tanto a análise técnica como a atualização da disponibilidade hídrica, utiliza apenas as vazões mensais das captações e lançamento de efluentes.

Table CronOutg							Cronologia da Outorga	
Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale Length		
OBJECTID	Object ID							ID da outorga
OutgID	Long integer	Yes			0			Mês
Mes	Short integer	Yes		MesDomain	0			Vazão (m³/s)
Vazao	Double	Yes			0	0		Dias por mês
Dias	Short integer	Yes			0			Horas por dia
Horas	Short integer	Yes			0			

*Códigos correspondentes aos meses do ano.

Figura 5.43. Variáveis sobre a cronologia das captações e lançamentos de efluentes.

De modo geral, as informações administrativas não sofrem grandes variações entre os domínios de gestão analisados. Com exceção das variáveis que identificam os usuários da aplicação SIGWeb, para gerência das permissões de acesso, as informações já são utilizadas pelas agências reguladoras. Algumas informações estão associadas a formulários de outorga específicos, como o tipo e a finalidade das intervenções e o tipo dos processos, outras são utilizadas pelas equipes responsáveis pelas análises jurídica e técnica, como a modalidade, o tipo e a situação das outorgas. A Figura 5.44 apresenta as principais variáveis destas categorias.

Tipo das intervenções Captação superficial Captação subterrânea Lançamento de efluentes Barramento Aproveitamento hidrelétrico Extração mineral Estrutura Modificação na calha dos rios	Finalidade das intervenções Irrigação Abastecimento público Indústria Aquicultura Dessedentação de animais Outra..	Situação das outorgas Ativa Em análise Falta documentação Suspensa Arquivada APDH DRDH
Tipo dos processos Outorga Renovação Alteração Transferência Cessão	Tipo das outorgas Significante Insignificante Sem captação	Modalidade das outorgas Autorização Concessão

Figura 5.44. Variáveis das principais categorias de informações administrativas.

Enquanto os tipos de intervenções deram origem a classes de feição no banco de dados geográfico, os tipos de processos assim como as finalidades dos usos estão representados no formato de tabelas. A tabela que gerencia os processos de outorga, por exemplo, é apresentada na Figura 5.45. A situação, o tipo e a modalidade das outorgas estão representadas no banco de dados como domínios de atributos.

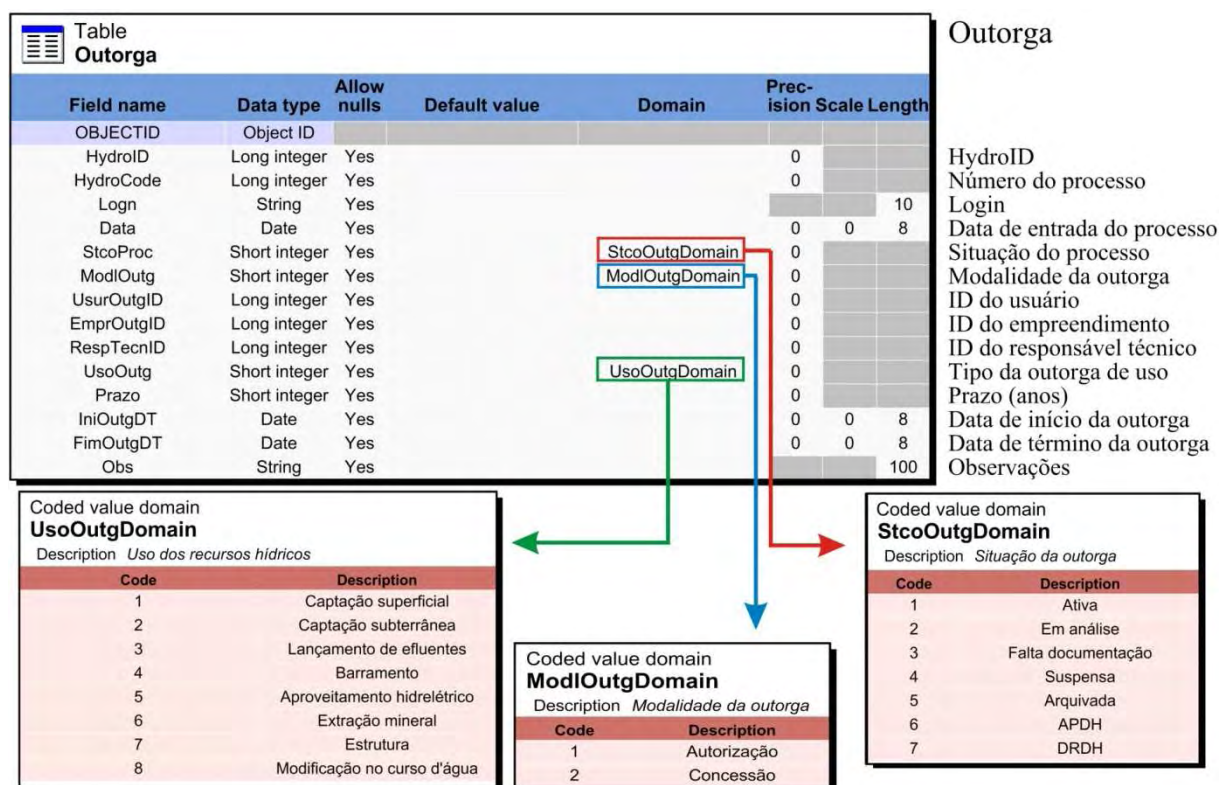


Figura 5.45. Variáveis associadas à gestão administrativa dos processos de outorga.

Na tabela que gerencia os processos de outorga, algumas variáveis são preenchidas no ato do requerimento: número do processo, data de entrada, tipo de intervenção e os identificadores do usuário, responsável técnico e do empreendimento. Quando o gestor analisa o processo de outorga, as demais informações são atribuídas ao respectivo processo: modalidade, situação, prazo de validade e alguma observação, que o gestor julgar pertinente. Vale ressaltar que o processo de outorga registra o profissional do órgão gestor responsável pelo processo (Login). Esta é uma forma de controlar o acesso aos processos apenas na dominialidade do gestor.

Uma variável importante no desenvolvimento da aplicação é a situação da outorga. Quando um profissional do órgão gestor, com acesso à dominialidade, modifica a situação da outorga para “Ativa”, o sistema automaticamente atualiza a disponibilidade hídrica a jusante da seção de intervenção, até o exutório da bacia.

O banco de dados também foi modelado para gerenciar as portarias emitidas para os processos de outorga e as vistorias de fiscalização dos empreendimentos usuários. Estas tabelas constam no dicionário do banco de dados utilizado para documentar, na íntegra, o modelo do BD. Nesta versão do sistema, o domínio associado às agências reguladoras foi carregado apenas com as entidades que atuam na bacia do rio Doce, mas o modelo do BD permite a expansão da aplicação para outras bacias hidrográficas, dependendo apenas da disponibilidade dos dados.

O aspecto principal da sistematização das variáveis administrativas é a unificação das bases de dados. O banco foi modelado para armazenar e gerenciar os processos de outorga considerando a bacia hidrográfica como domínio de gestão. Vale ressaltar, que as informações foram centralizadas, mas o acesso ao banco é compartilhado. Isto significa harmonizar os princípios de coordenação centralizada e gestão descentralizada, pois apesar das informações estarem em um único banco de dados, os órgãos gestores podem permanecer atuando, com autonomia, em seus respectivos domínios de gestão.

Este controle sobre as dominialidades da gestão é assegurado por meio das permissões de acesso. Todos os usuários do sistema possuem uma conta, usualmente denominada Login, que dependendo do tipo de acesso, libera ou não o acesso às variáveis e funções administrativas. A tabela que gerencia as permissões de acesso no sistema é apresentada na Figura 5.46. Ressalta-se a relação existente entre as permissões de acesso e os domínios de gestão. Fora da aplicação, as permissões de acesso são gerenciadas pelo administrador do banco de dados espacial (SDBA).

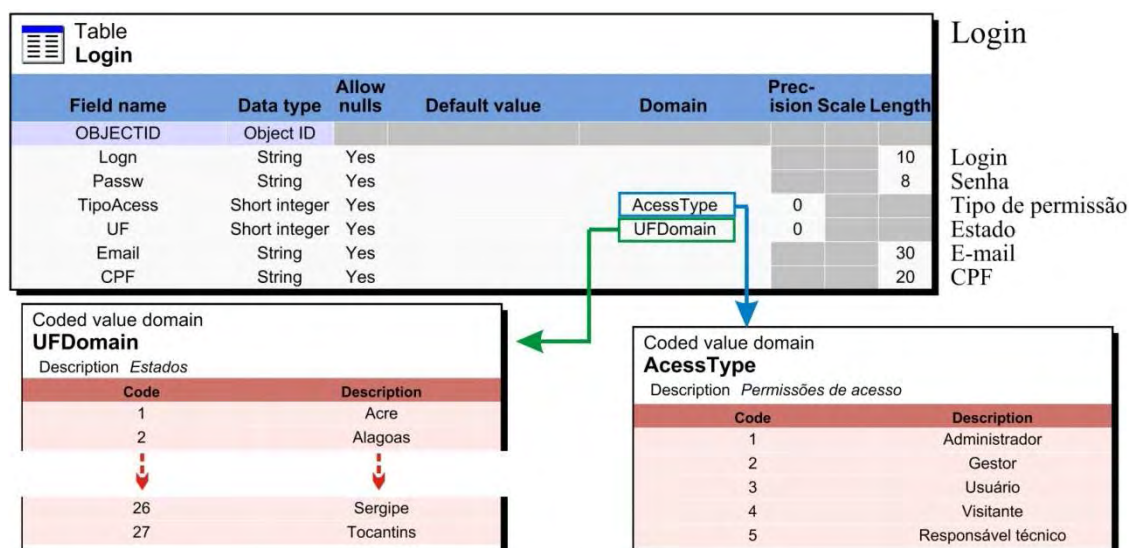


Figura 5.46. Variáveis que controlam as permissões de acesso no SIGWeb AQUORA.

5.3.3. Recondicionamento do modelo Arc Hydro

O modelo do banco de dados no formato ESRI Geodatabase, resultado do recondicionamento do modelo Arc Hydro para atender as especificações do sistema de controle dos usos múltiplos, é composto por quatro categorias de feições geográficas (*Feature Datasets*) e uma variedade de tabelas isoladas para armazenar as variáveis administrativas, hidrológicas e do sistema, além de uma grande quantidade de classes de relacionamento e domínios para assegurar a eficiência e a integridade do BD.

Conforme a recomendação da ANA na elaboração do SNIRH (ANA, 2007b), o modelo do BD integra as bases de dados geográficos, hidrológicos e administrativos, associados à gestão dos usos múltiplos da água. Além das informações dos três pilares do sistema, o BD armazena as informações necessárias ao controle interno do sistema de gestão. O modelo do banco de dados do SIGWeb AQUORA, com as classes de feição, tabelas e alguns dos relacionamentos é apresentado na Figura 5.47.

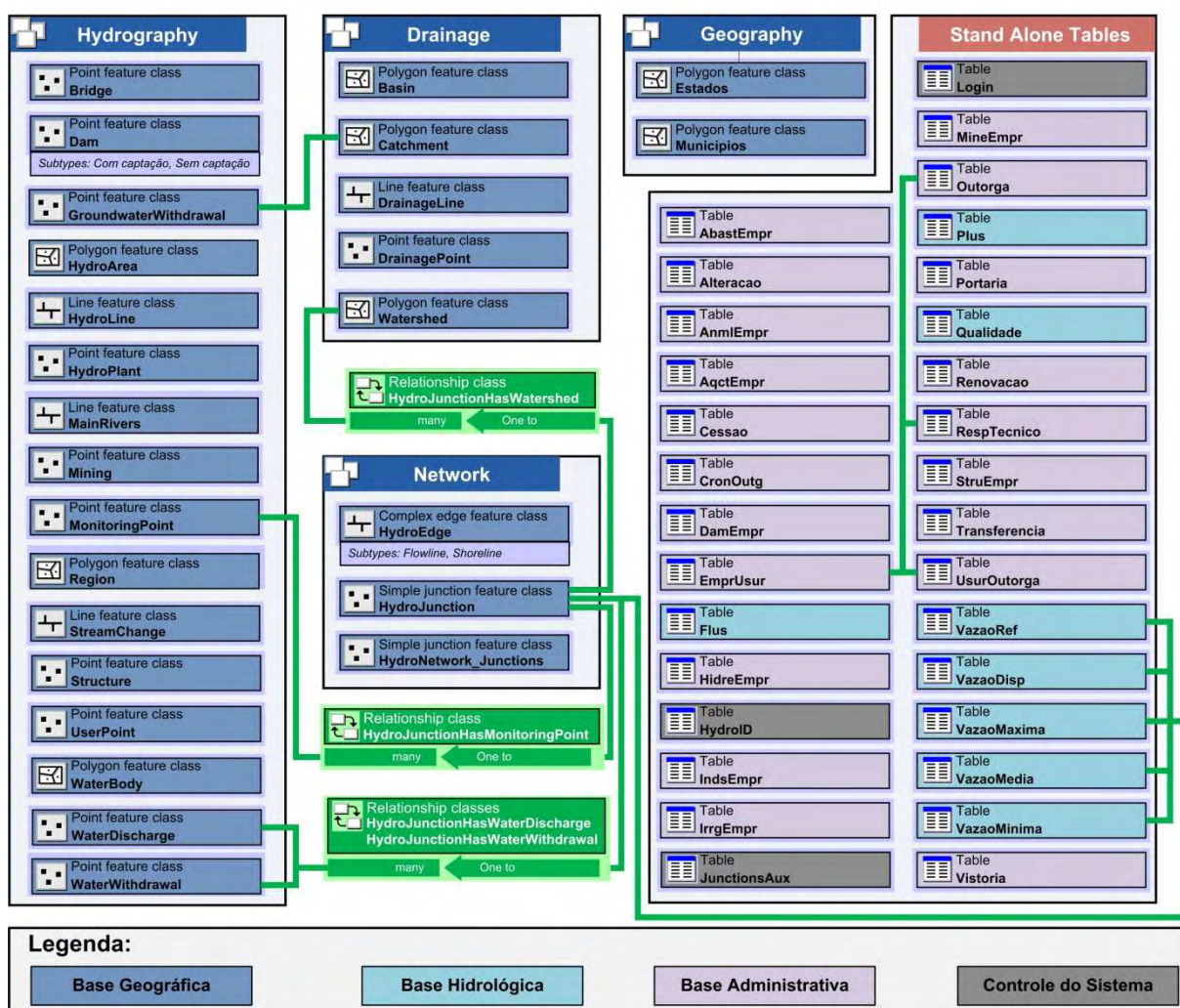


Figura 5.47. Modelo do banco de dados geográficos do SIGWeb AQUORA.

Hydrography dataset

Na categoria que agrupa as feições geográficas associadas à hidrografia (Hydrography) foram aproveitadas várias classes do modelo Arc Hydro: Bridge para as pontes, Dam para os barramentos, HydroArea para as áreas inundadas por reservatórios, HydroLine para a hidrografia mapeada, MonitoringPoint para as estações de monitamento, Structure para as estruturas hidráulicas, UserPoint para pontos destacados pelo usuário, *WaterBody* para as massas d'água, *WaterDischarge* para os lançamentos de efluentes e *WaterWithdrawal* para as captações superficiais. Nestas classes, algumas variáveis foram acrescentadas como apresentado no dicionário do banco de dados.

A categoria da hidrografia foi estendida para se ajustar à finalidade do BD. Foram adicionadas as classes: GroundwaterWithdrawal para as captações de águas subterrâneas, HydroPlant para aproveitamentos hidrelétricos, MainRivers para os rios principais, Mining para o extrativismo mineral em corpos d'água, Region para as regiões homogêneas da regionalização hidrológica, e StreamChange para as modificações na calha dos rios.

A integração entre os elementos geográficos e a hidrografia, foi estabelecida por meio de classes de relacionamento. Estas classes relacionam os tipos de interferência nos recursos hídricos com os pontos da rede geométrica da hidrografia. Este relacionamento é possível devido aos identificadores comuns, presentes em ambas as classes (HydroID e JunctionID). A Figura 5.48 apresenta os relacionamentos do tipo um para muitos entre a rede geométrica e os elementos da categoria hidrografia.

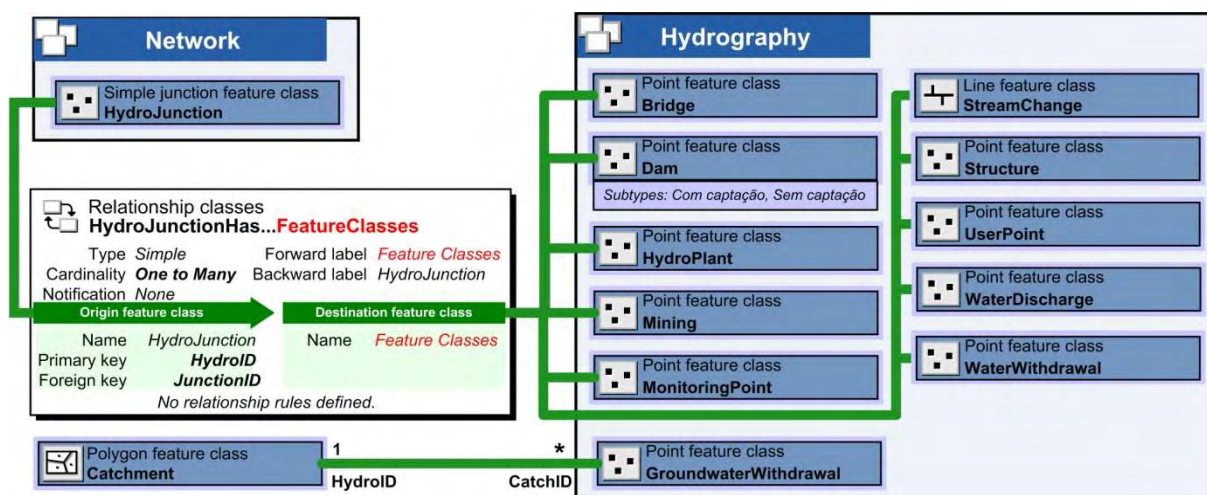


Figura 5.48. Relacionamentos entre os pontos sequenciais da rede geométrica e os elementos geográficos das interferências nos recursos hídricos.

Destaca-se o relacionamento da classe correspondente às captações de águas subterrâneas com as microbacias ao invés dos pontos sobre a hidrografia. Vale lembrar que apesar de não estarem relacionadas, diretamente, à rede geométrica, as captações subterrâneas também se relacionam com a hidrografia, pois os segmentos e pontos da rede geométrica armazenam os identificadores das microbacias. Além disso, as microbacias se relacionam com os elementos de jusante, possibilitando consultas às captações subterrâneas com base nas áreas de drenagem.

As intervenções nos recursos hídricos também estão relacionadas com a tabela administrativa que gerencia as outorgas de direito de uso. Ressalta-se que existe uma classe de relacionamento para cada tipo de intervenção, possibilitando a prática da outorga unificada, onde um mesmo processo faz referência a mais de um tipo de uso dos recursos hídricos. Ressalta-se também a cardinalidade 1:n (1 para muitos), onde uma outorga pode estar associada a mais de um elemento da mesma classe de uso. A Figura 5.49 apresenta a classe de relacionamento com as outorgas.

As classes correspondentes aos tipos de intervenção nos recursos hídricos também estão associadas à tabela administrativa responsável por armazenar a variação temporal no uso quantitativo dos recursos hídricos, aqui denominada: Cronologia da outorga (CronOutg). Além das classes de captação (superficial e subterrânea) e de lançamento de efluentes, também as classes de aproveitamento do potencial hidrelétrico, extração mineral e barramento com captação, possuem cronologia no uso das águas (Figura 5.50). Em relação aos reservatórios que regularizam as vazões, os acréscimos na disponibilidade hídrica à jusante podem ser considerados invertendo-se o sinal das vazões mensais declaradas ao sistema.

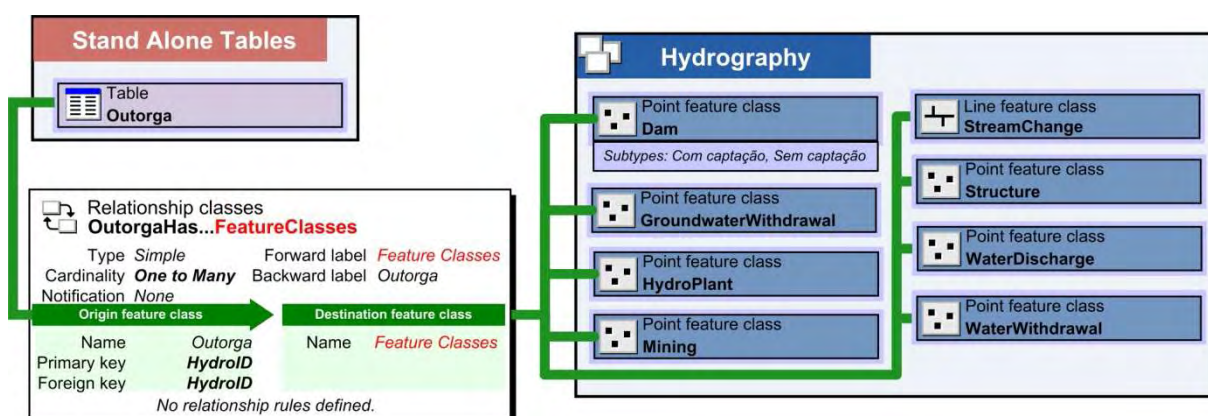


Figura 5.49. Relacionamentos entre os tipos de intervenção nos recursos hídricos e a tabela administrativa que gerencia as outorgas de direito de uso.

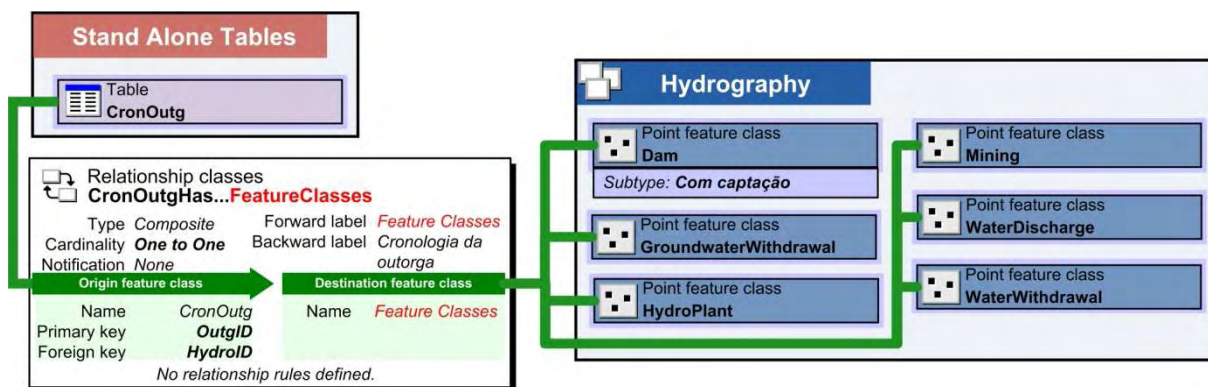


Figura 5.50. Relacionamentos entre os tipos de intervenção que possuem cronologia de uso dos recursos hídricos e respectiva tabela administrativa.

Diferente das classes de relacionamento “simples” utilizadas anteriormente, foi estabelecido um relacionamento “composto” entre as intervenções e a cronologia das outorgas e também entre as estações de monitoramento e as tabelas da base hidrológica que armazenam as variáveis fluviométricas e pluviométricas (Figura 5.51). Isto significa que se um registro da origem for excluído, o registro correspondente no destino também deixa de existir. Isto ajuda a manter a integridade das informações armazenadas no banco de dados.

No caso do relacionamento dos elementos geográficos com os pontos sequenciais ou com as microbacias, não é interessante uma relação composta, pois se trata apenas do hidrorreferenciamento das feições. Já em relação à outorga e os tipos de intervenção, a regra é desnecessária já que os processos não precisam ser excluídos, apenas suspensos ou arquivados. A finalidade da regra é evitar armazenar informações que não se relacionam com nenhum outro elemento no BD.

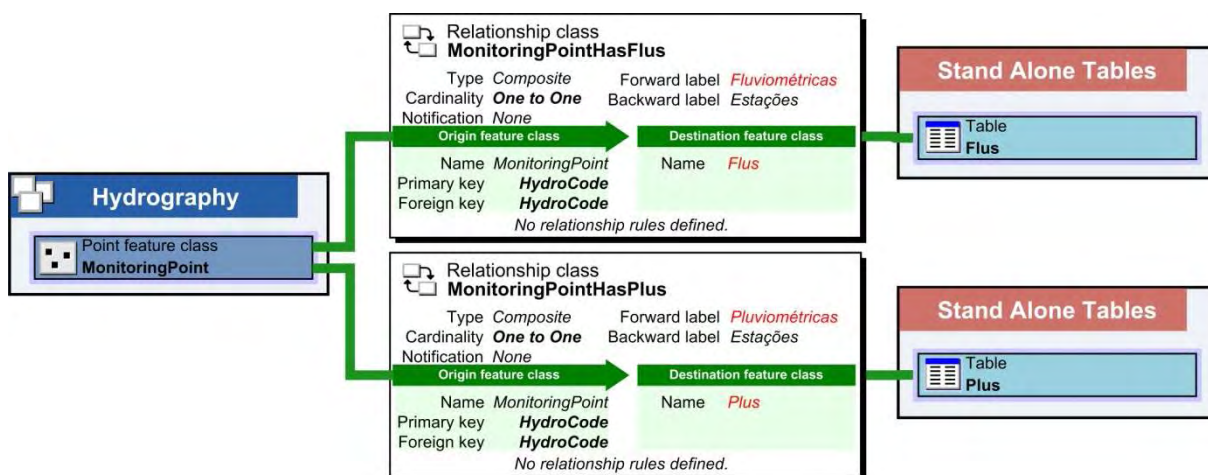


Figura 5.51. Relacionamento entre as estações de monitoramento e as tabelas que armazenam as variáveis fluviométricas e pluviométricas.

Drainage dataset

Não houve nenhuma alteração significativa no modelo da categoria que armazena as classes geográficas associadas aos diferentes níveis de organização das áreas de drenagem (bacia, sub-bacia e microbacia). O relacionamento entre as áreas de drenagem e os pontos da rede hidrográfica associados à foz das microbacias e sub-bacias foram mantidos e criou-se o relacionamento entre as microbacias e as captações de águas subterrâneas. Houve apenas pequenas modificações na coleção de atributos das classes Basin, Watershed e Catchment.

No modelo do SIGWeb AQUORA, as classes possuem identificadores que estabelecem o aninhamento dos níveis de organização como exemplificado na Figura 5.11, apresentada como resultado da construção da base geográfica. Além dos identificadores, foi acrescentada uma variável para armazenar o nome das bacias e sub-bacias hidrográficas e a variável HidroCode, já presente no modelo Arc Hydro recebeu os códigos Otto das áreas de drenagem.

Network dataset

No BD do AQUORA, ao contrário do modelo Arc Hydro, a categoria que armazena a rede geométrica da hidrografia (Network Dataset) não apresenta as classes SchematicLink e SchematicNode que representam o fluxo de escoamento entre as áreas de drenagem. Estas classes foram descartadas, nesta versão do BD, pois as microbacias e sub-bacias já possuem como atributo, a identificação do caminho de escoamento (NextDownID) e pelo fato das classes não definirem uma rede geométrica (*network*), apesar do potencial para tanto.

Em relação às classes que compõem a rede geométrica, a maior diferença está no detalhamento dos pontos da rede armazenados na classe HydroJunction. Enquanto no modelo Arc Hydro apenas as confluências são armazenadas, no modelo do AQUORA armazenam-se os pontos sequenciais sobre os arcos complexos.

Além das classes de relacionamento responsáveis pelo hidrorreferenciamento dos elementos geográficos das categorias Hydrography e Drainage, os pontos sequenciais foram relacionados com as tabelas da base hidrológica: Qualidade, VazaoRef, VazaoDisp, VazaoMinima, VazaoMedia e VazaoMaxima. Estes relacionamentos, apresentados na Figura 5.52, asseguram o acesso direto às informações hidrológicas a partir de consultas sobre a hidrografia.

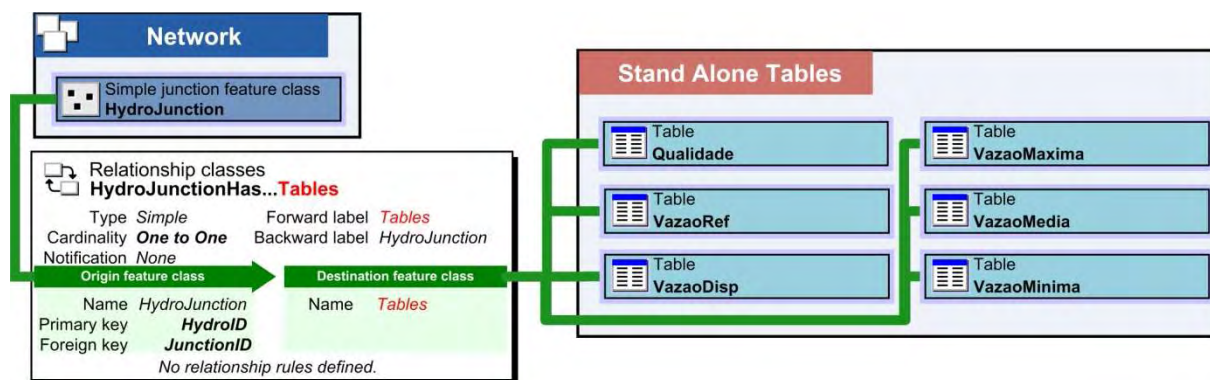


Figura 5.52. Relacionamentos entre a os pontos da rede geométrica da hidrografia e as tabelas que armazenam as informações hidrológicas espacializadas.

Geography Dataset

Esta categoria de classes geográficas foi criada para armazenar os elementos espaciais que apesar de não possuírem uma relação com a hidrografia, despertam interesse dos órgãos gestores pela relevância na gestão dos usos múltiplos da água. Nesta versão do BD, estão disponíveis somente os temas da divisão estadual da dominialidade de gestão na bacia do rio Doce e o tema dos municípios da bacia com as características gerais retiradas do censo demográfico de 2000 e do Sistema Nacional de Informações das Cidades - SNIC (GEOSNIC, 2009).

A fim de expandir o sistema de gestão dos usos múltiplos para um sistema mais amplo, capaz de subsidiar a gestão dos recursos hídricos integrando fatores sociais, econômicos e ambientais, é apropriado incorporar ao banco de dados uma série de elementos geográficos que podem ser armazenados na categoria genérica da Geografia até que se estabeleça um conjunto de classes que justifique a criação de categorias específicas para cada área do conhecimento.

No contexto dos sistemas de informação para gestão dos recursos hídricos, além das informações diretamente relacionadas à gestão dos usos múltiplos da água, precisam ser reunidas e armazenadas informações sobre a caracterização da gestão (órgãos colegiados, comitês de bacia, centros de referência em pesquisa e informação), sobre a caracterização sócio-econômica (uso e ocupação do solo, economia, demografia, saúde, habitação, infra-estrutura de transportes, energia elétrica e saneamento) e sobre a caracterização física do território (climatologia, cobertura vegetal, geologia, áreas de preservação legalmente definidas, áreas degradadas ou de grau elevado de vulnerabilidade, turismo, lazer e usos ecológicos).

Tabelas isoladas (Stand alone tables)

No modelo do banco de dados as tabelas isoladas são responsáveis por armazenar as informações hidrológicas, administrativas e as variáveis relacionadas às funcionalidades da aplicação para gestão dos usos múltiplos da água. Além de se relacionarem com as classes geográficas para unificação dos pilares do sistema, as tabelas administrativas precisam se comunicar entre si para exercer o total controle sobre os processos afetos ao instrumento de outorga.

Por meio das classes de relacionamento estabelecidas, o modelo do AQUORA caracteriza os empreendimentos por meio de tabelas específicas segundo a finalidade do uso dos recursos hídricos ou de acordo com o tipo de intervenção, quando não se tratar de captações superficiais ou subterrâneas. Conforme apresentado pela Figura 5.53, os relacionamentos são independentes, possibilitando que os empreendimentos se relacionem com mais de uma finalidade de uso dos recursos hídricos.

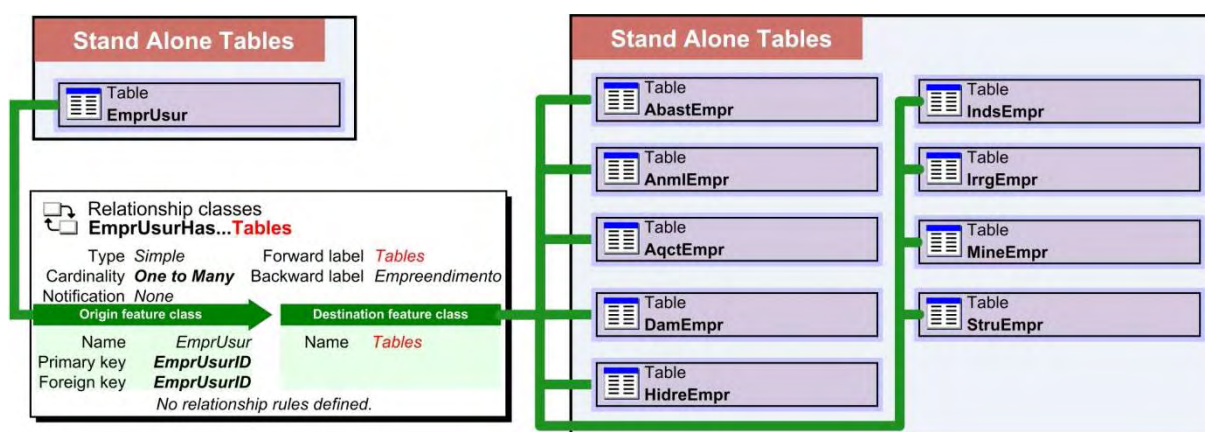


Figura 5.53. Relacionamentos entre os empreendimentos usuários e as tabelas que caracterizam as finalidades do uso dos recursos hídricos.

Para o controle administrativo das outorgas, o BD estabelece relacionamentos entre o usuário de recursos hídricos (pessoa física), o empreendimento outorgado (pessoa jurídica) e o responsável técnico pelo processo de outorga. Todos estes envolvidos são relacionados no processo de outorga submetido à análise pelo órgão gestor, mas é importante destacar que a autorização ou concessão de direito de uso é emitida para o empreendimento e não para o usuário, dono do empreendimento. Ressalta-se, também, que o modelo do BD permite que os envolvidos se relacionem com mais de um processo de outorga. Esta flexibilidade é importante, pois permite o uso do cadastro dos envolvidos, descartando novos registros a cada processo.

A Figura 5.54 apresenta três tipos de relacionamentos envolvendo as tabelas administrativas do banco de dados. Os relacionamentos entre os envolvidos e os processos de outorga, o relacionamento entre os empreendimentos e os registros das vistorias técnicas para fiscalização das intervenções e os relacionamentos entre os usuários comuns do sistema e a tabela utilizada para gerenciar as permissões de acesso às informações do BD e às funcionalidades da aplicação na internet.

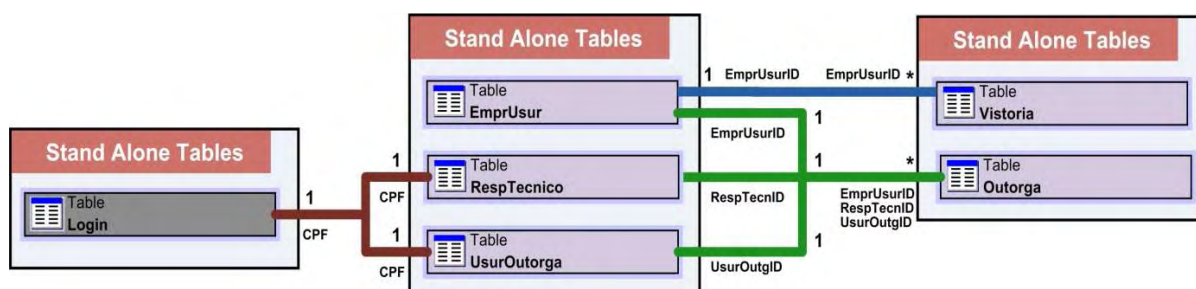


Figura 5.54. Relacionamentos entre os envolvidos e os processos de outorga, entre os empreendimentos e as vistorias, e entre os usuários do sistema e o controle das permissões de acesso.

O modelo do BD permite estabelecer um histórico das vistorias realizadas, uma vez que cada empreendimento pode se relacionar a vários registros de fiscalização. Embora as contas de usuários do sistema se relacionem apenas por meio do Cadastro de Pessoa Física (CPF), a aplicação na Web utiliza o processo convencional com base em login e senha para validação das permissões de acesso.

Outro aspecto funcional do BD, importante no controle administrativo dos usos múltiplos da água, é o gerenciamento das portarias publicadas associadas a cada tipo de processo (Figura 5.55). Com este conjunto de tabelas e relacionamentos, o modelo do BD atende todas as necessidades operacionais do instrumento de outorga.

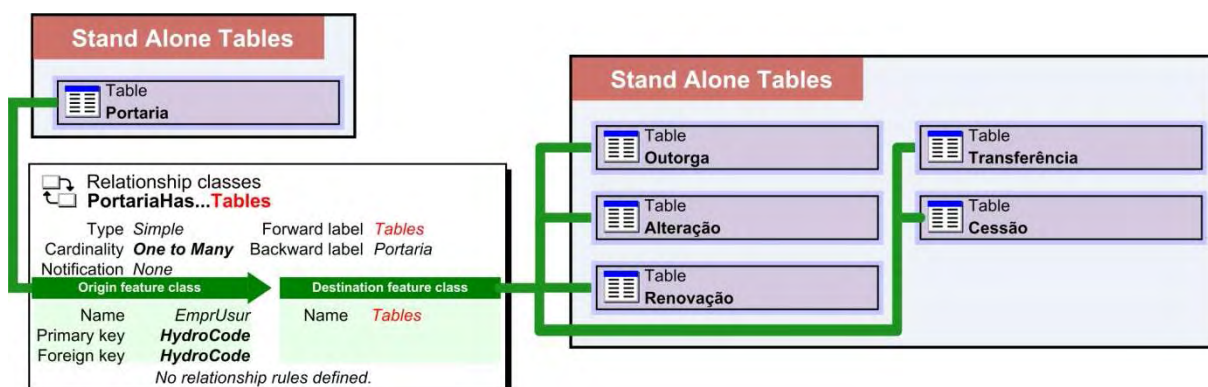


Figura 5.55. Relacionamentos entre as portarias publicadas e os tipos de processos.

5.4. Sistema de controle em tempo real

O Sistema de Controle Dinâmico para Gestão dos Usos Múltiplos da Água, desenvolvido neste trabalho, foi denominado SIGWeb AQUORA, uma vez que a aplicação se baseia em um banco de dados geográfico, possui as funcionalidades de um SIG com acesso remoto via internet e por se tratar da evolução do Sistema Multi-usuário para Gestão dos Recursos Hídricos, denominado AQUORA por Marques (2006), com base no termo em latim “Aequora” que significa “as águas”.

Atualmente, o banco de dados do sistema está armazenado no Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), na Universidade Federal de Viçosa (UFV). O sistema utiliza o servidor da Central de Processamento de Dados (CPD) ligado à Diretoria de Tecnologia da Informação (DTI), também da UFV, para publicar a aplicação na internet. O endereço eletrônico, atual, do SIGWeb AQUORA na rede mundial de computadores é: <http://agua.dea.ufv.br/Aquora>, de livre acesso aos visitantes.

O acesso à aplicação pode ser realizado por qualquer navegador de internet, no entanto é altamente recomendável a utilização do navegador Mozilla FireFox[®] 3.6.X, devido à maior compatibilidade com os recursos de SIG em Java. A página com a interface do SIGWeb AQUORA na internet é apresentada na Figura 5.56.



Figura 5.56. Interface e funcionalidades do SIGWeb AQUORA na internet.

Fazem parte da interface do sistema: 1) Tabela de conteúdo, 2) Ferramentas convencionais de SIG, 3) Tabela de resultados de consultas, 4) Barra de funcionalidades da aplicação. Na área destinada à visualização do mapa, também estão disponíveis os comandos de navegação: zoom e arraste.

Na tabela de conteúdo do portal espacial (Figura 5.57) são listados os temas geográficos disponíveis para visualização e consulta dos atributos. As camadas geográficas com maior nível de detalhes ou densidade de feições possuem escalas dinâmicas, ou seja, são visualizadas apenas a partir de determinada escala para não depreciar o mapa com uma quantidade de informações incompatível com a área visualizada. A camada referente à hidrografia na escala 1:250.000, por exemplo, é automaticamente ligada ao aproximar-se da rede de drenagem.

Ressalta-se que somente as intervenções de captações de águas superficiais e de lançamento de efluentes foram carregadas na aplicação, pois representam os tipos de intervenção que exigem análises técnicas bem definidas, baseadas em critérios regulamentados pela legislação. Além das classes armazenadas no BD, foram carregados temas do servidor espacial do ESRI (server.arcgisonline.com) para demonstrar a compatibilidade com a produção descentralizada dos dados e o potencial de integração dos bancos de dados na democratização da informação.

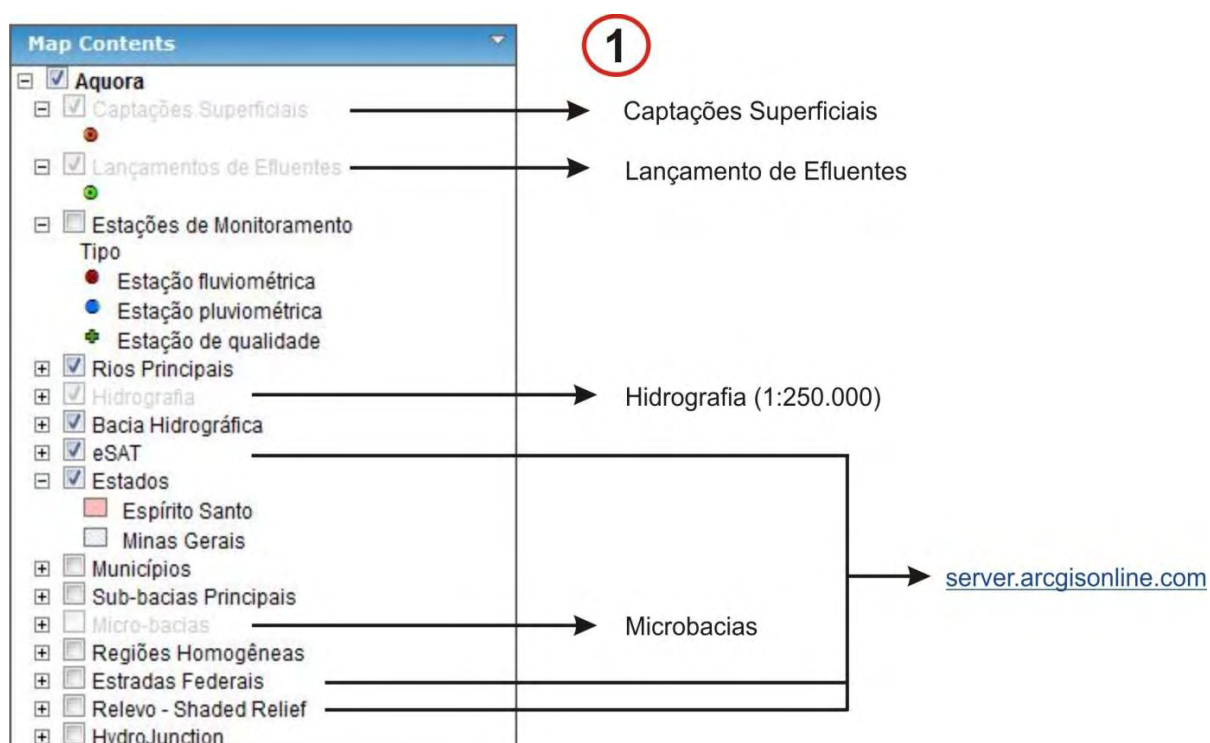


Figura 5.57. Tabela de conteúdo com a listagem dos temas disponíveis no SIGWeb.

É importante destacar que devido à flexibilidade adotada na modelagem do banco de dados, a abrangência do sistema de gestão desenvolvido depende somente da disponibilidade de informações geográficas e hidrológicas para serem incorporadas ao banco de dados do sistema. O modelo é capaz de unificar, por exemplo, toda a base de informações disponíveis para o Brasil, oferecer as funções para análises das interferências e gerenciar os usos múltiplos da água respeitando as diferenças em cada dominialidade de gestão. A Figura 5.58 ilustra a abrangência atual do SIGWeb AQUORA frente ao potencial de expansão a partir de novas informações.

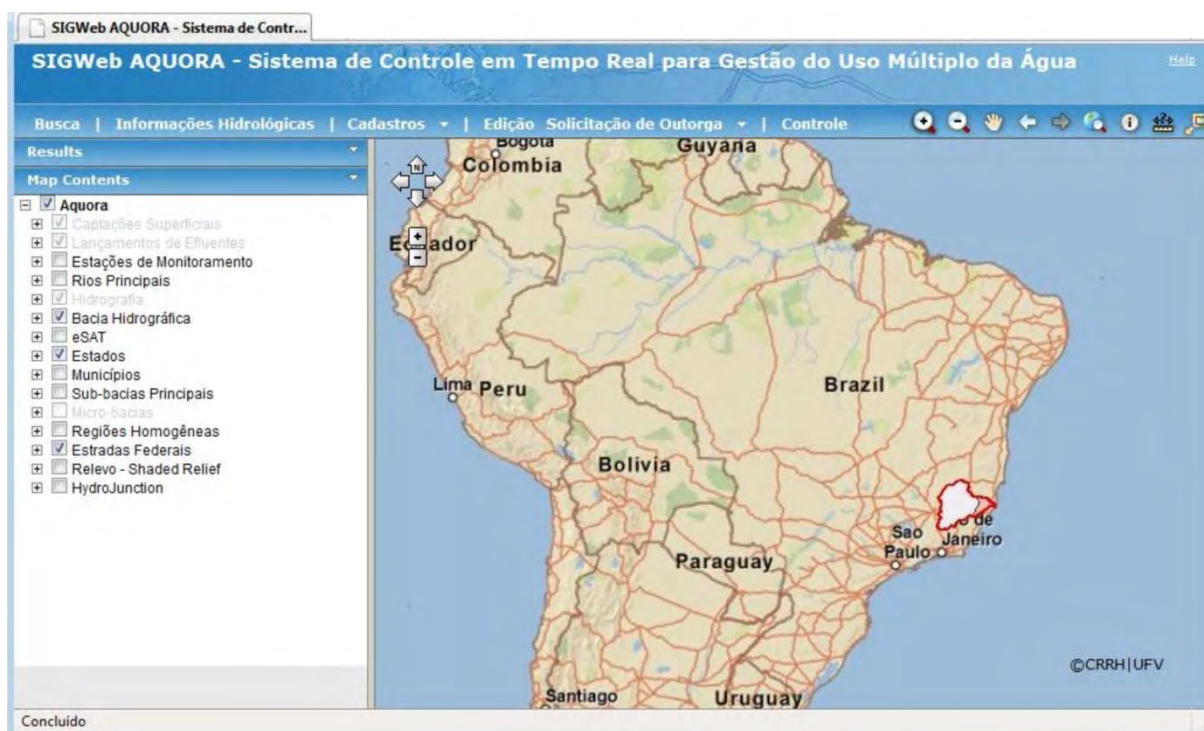


Figura 5.58. Comparação entre as abrangências atual e potencial do SIGWeb Aquora.

As ferramentas convencionais de SIG para navegação espacial e consulta direta aos elementos geográficos do mapa foram incorporadas à aplicação, que em sua essência preserva as propriedades de um portal espacial. Além das ferramentas para ampliação e redução de escalas (zoom) e para a movimentação sobre o mapa (pan), são oferecidas as ferramentas de identificação e medição. Enquanto a identificação dos elementos fornece as variáveis de cada camada selecionada, a medição retorna as coordenadas do ponto clicado pelo usuário, o comprimento dos segmentos ou a área dos polígonos desenhados em tela. A Figura 5.59 apresenta as ferramentas espaciais convencionais oferecidas pelo SIGWeb AQUORA.

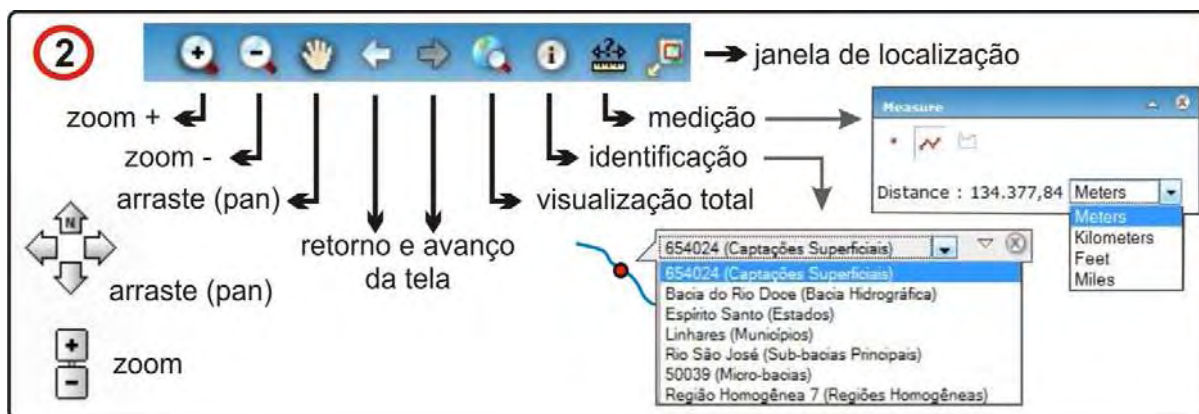


Figura 5.59. Ferramentas convencionais de SIG oferecidas pelo AQUORA.

Vale lembrar que as funções convencionais de SIG como alteração das camadas visíveis, navegação espacial, consulta por atributos e identificação dos elementos geográficos são independentes de autenticação no sistema, ou seja: os visitantes não precisam se cadastrar para utilizar estas ferramentas.

A tabela de resultados apresenta a resposta do sistema para as consultas por atributos, executadas a partir da função “Busca”. Esta função, básica de SIG, identifica e localiza os elementos espaciais que possuem determinado atributo armazenado em suas variáveis. Com o propósito de auxiliar na localização das seções de interesse ou dos usos múltiplos cadastrados, estima-se que o público alvo do sistema de informação aplique as consultas sobre as camadas da hidrografia, dos municípios e das intervenções nos recursos hídricos. Para exemplificar esta funcionalidade, a Figura 5.60 ilustra as etapas de uma consulta por atributos.

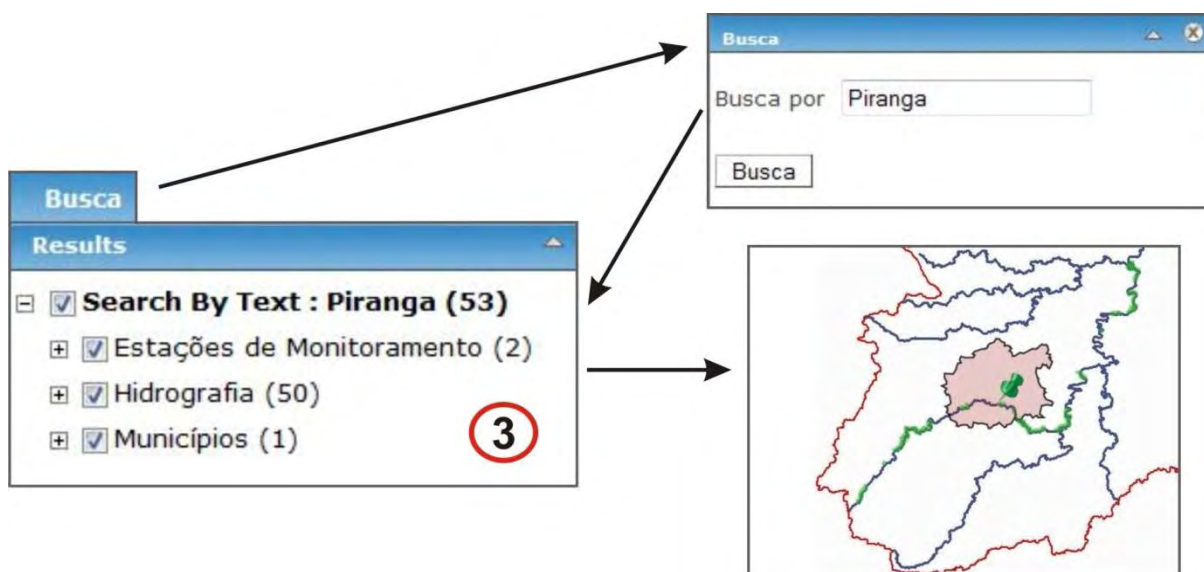


Figura 5.60. Apresentação dos resultados da consulta pelo atributo Piranga.

O acesso às funções específicas da aplicação é realizado a partir da barra de funcionalidades apresentada na Figura 5.61. Com exceção das funções de “Busca” e “Edição”, as funções são específicas para o propósito da gestão de recursos hídricos. Ressalta-se, que nesta versão do SIGWeb, a função de edição está desbloqueada para qualquer usuário do sistema, todavia é recomendável, no uso corporativo da solução desenvolvida, o acesso apenas ao administrador do banco de dados e aos profissionais com permissão de gestor dos recursos hídricos.

Nesta versão do sistema desenvolvido, por se tratar de um projeto de pesquisa e portanto, sujeito à avaliações e melhoramentos contínuos, julgou-se apropriado simplificar o controle das permissões de acesso às funcionalidades da aplicação na internet. Dessa forma, apenas o cadastro dos usuários (login e senha) é utilizado para gerenciar as permissões e organizar as modificações no BD do AQUORA.

Das funções específicas do sistema para gestão dos usos múltiplos da água, apenas a função “Consulta à disponibilidade hídrica” pode ser utilizada livremente, sem a necessidade de cadastro no sistema. As funções de solicitação de outorga para captação de águas superficiais e para o lançamento de efluentes necessitam do cadastro prévio dos usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos. Já para o controle administrativo das outorgas, apenas o administrador do banco e os usuários com permissão de gestor podem controlar a situação dos processos, respeitando as diferentes dominialidades de gestão.

Todas as funcionalidades do sistema foram avaliadas e responderam conforme as expectativas. O SIGWeb AQUORA serve não apenas como um portal espacial para divulgação de informações geográficas e hidrológicas, mas principalmente, para operacionalizar o instrumento de outorga com base nos princípios da PNRH.

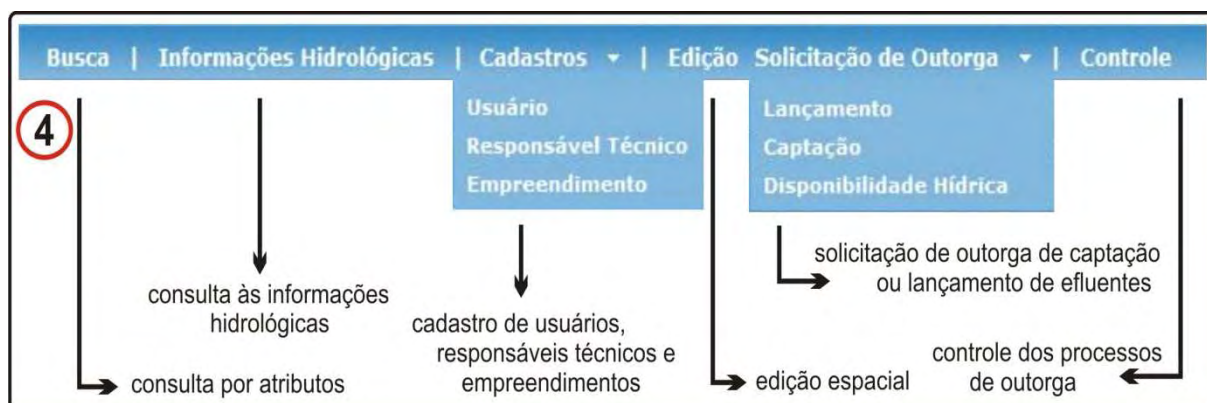


Figura 5.61. Barra de funcionalidades para a gestão dos usos múltiplos da água.

5.4.1. Consulta de informações hidrológicas

A função “Informações hidrológicas” confirmou o potencial do SIGWeb na transferência do conhecimento sobre os recursos hídricos à toda a sociedade. Com apenas esta funcionalidade, o sistema funciona como um Atlas Hidrológico online, disponível a qualquer cidadão com acesso à internet. Ao selecionar a função, uma janela flutuante é apresentada ao usuário que então deve utilizar o ponteiro para indicar, no mapa, a seção da hidrografia onde deseja consultar a disponibilidade hídrica. A Figura 5.62 apresenta esta janela flutuante com os resultados da consulta.

Consultar Informações Hidrológicas

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO DE INTERESSE

Hydro ID	508438	Longitude	-42.9339453821226
Domínio	Minas Gerais (IGAM)	Latitude	-20.42413688860251
Área de drenagem (Km²)	6052,8223	Município	Ponte Nova
Declividade média (%)	18,7447	Sub-Bacia	Rio Piranga
Chuva total anual (mm)	1413,397	Curso D'Água	Rio Piranga

VAZÕES MÍNIMAS (m³/s)

Período Anual	Critério de Outorga
Q7,10 28.03300145	Vazão de referência Q7,10
Q90 41.4421101	Percentual outorgável 30
Q95 36.5326383	

Período Chuvoso	Período Normal	Período Seco
Q7,10 46.53706502	Q7,10 34.6037292	Q7,10 28.04732352
Q90 67.84311864	Q90 43.46557281	Q90 34.46808625
Q95 51.68354028	Q95 39.09704879	Q95 28.73063424

VAZÕES MÉDIAS (m³/s)

Período Anual
Qmld 95.777803
Q50 79.7377993

Período Chuvoso	Período Normal	Período Seco
Qmld 147.61207468	Qmld 75.2127548	Qmld 66.32346714
Q50 121.43587688	Q50 72.50956814	Q50 55.00903772

VAZÕES MÁXIMAS (m³/s)

Qmax T = 2 anos 466.31743625
Qmax T = 10 anos 910.59688902
Qmax T = 20 anos 1104.64648158
Qmax T = 50 anos 1376.9638064
Qmax T = 100 ano 1597.5354631

Figura 5.62. Resultado da consulta de informações hidrológicas sobre a hidrografia.

Observa-se que a função identifica a seção de interesse, apresentando as coordenadas geográficas (latitude e longitude), o domínio de gestão (Minas Gerais, Espírito Santo ou União), o municípios, a sub-bacia, o curso d'água e, ainda, as características de área (km²), declividade média (%) e precipitação total anual (mm) da área de drenagem correspondente à seção da hidrografia.

São identificadas as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) estimadas com base no período anual e nos períodos sazonais (seco, normal e chuvoso) além do critério de outorga para a seção de interesse, representada pela vazão de referência e percentual outorgável estabelecido pelo órgão gestor competente. Ressalta-se que no modelo do BD os critérios estão associados à rede de drenagem e não aos limites estaduais, permitindo a adoção de critérios diferentes para regiões específicas.

As vazões médias (Q_{mld} e Q_{50}) também são apresentadas para os períodos anual e sazonais, já as vazões máximas anuais apresentadas estão associadas aos períodos de retorno de 2, 10, 20, 50 e 100 anos.

É importante destacar que estas variáveis físicas e hidrológicas foram produzidas por métodos cientificamente comprovados e um rigoroso controle de qualidade. Devido ao ajustamento que refinou as vazões estimadas pelos modelos da regionalização hidrológica, em todas as estações fluviométricas, as estimativas coincidem com as vazões observadas nas séries históricas. Os valores das bases de dados geográfica e hidrológica possuem grande precisão podendo ser considerados umas das melhores informações atualmente disponíveis para a bacia do rio Doce.

No contexto do instrumento de outorga, é essencial que haja a padronização das informações hidrológicas, tanto para os órgãos gestores, que precisam de informações confiáveis para analisar os processos e conduzir as políticas de desenvolvimento, tanto para os usuários, que não possuem qualquer informação.

Normalmente, estas informações permanecem estáticas nos grupos de pesquisa ou nas instituições de ensino onde são geradas, enquanto a sociedade e os responsáveis por gerenciar os recursos hídricos carecem de informações precisas, produzidas com baixo investimento. Até mesmo nas instituições onde são produzidas, é comum a replicação de esforços em uma mesma área de trabalho devido às dificuldades na transferência do conhecimento. Um portal espacial na internet traz benefícios a todos os envolvidos e interessados na gestão dos recursos hídricos.

5.4.2. Cadastro de usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos

Se por um lado a função para consulta hidrológica atestou a eficiência na transferência de informações no sentido servidor-cliente, a função de cadastro foi bem sucedida no sentido contrário desta comunicação, pois conforme esperado, as informações fornecidas pelo usuário da aplicação na internet foram registradas nas tabelas específicas do banco de dados carregado no servidor. Da mesma forma, qualquer informação pode ser carregada no BD a partir da aplicação na internet.

Uma característica do SIGWeb AQUORA é o acesso a todas as funcionalidades do sistema através de uma única página na internet. As diferentes funções ativam janelas flutuantes específicas, que podem ser movimentadas e minimizadas na tela, permitindo que os usuários executem as tarefas sem precisar deixar a aplicação e ter que novamente carregá-la para utilizar outros recursos do sistema.

Conforme o tipo de cadastro selecionado, janelas diferentes devem ser preenchidas para carregar as informações nos campos modelados em cada tabela do banco de dados (Figura 5.63). Ao contrário das informações cadastrais fornecidas pelos formulários de outorga, o cadastro dos envolvidos através do sistema não requer, obrigatoriamente, o vínculo com um processo de outorga. Dessa forma, o banco de dados serve também como um inventário de empreendedores, profissionais liberais e empreendimentos que possam vir a solicitar outorgas de direito de uso dos recursos hídricos.

The figure displays three side-by-side floating windows from the SIGWeb AQUORA application, each with a title bar and standard window controls (minimize, maximize, close). Each window contains a form for registration with various fields and a legend at the bottom.

- Cadastrar Usuário:** Fields include Estado (Minas Gerais), Nome (Felipe de Azevedo Mar), Município (Viçosa), Bairro (Ramos), Telefone (38912889), CEP (36570-000), Endereço (Rua Padre Anchieta), E-mail (engmarx@ufv.br), CPF (087.053.707-52), Login (marx), and Senha (marx). Legend: + inserir novo usuário, x limpar todos os campos.
- Cadastrar Responsável Técnico:** Fields include Estado (Minas Gerais), Nome (Felipe de Azevedo Mar), CREA (90476-D), CPF (087.053.707-52), Município (Viçosa), Bairro (Ramos), Telefone (3892-2889), CEP (36570-000), Endereço (Rua Padre Anchieta, 29), E-mail (engmarx@terra.com.br), Login (responsavel), and Senha (responsavel).
- Cadastrar Empreendimento:** Fields include Estado (Minas Gerais), Nome Empreendimento (Teste do sistema), CNPJ (123123), Município (Viçosa), Bairro (Boa Vista), Telefone (31-38912889), CEP (36570-000), Endereço (Rua Padre Anchieta), Login (usuario), and Senha (usuario). A red box highlights the Login and Senha fields. Legend: login e senha do usuário ou empreendedor.

Figura 5.63. Janelas flutuantes para o cadastro do usuário, responsável técnico e empreendimento envolvido no processo de outorga.

5.4.3. Solicitação de outorga

A solicitação de outorga no sistema deve ser realizada em duas etapas: a) identificação da seção de interesse e caracterização da modalidade de outorga; e b) identificação dos envolvidos no processo e detalhamento mensal da cronologia do uso dos recursos hídricos. Na primeira etapa, o usuário do sistema utiliza a função “Edição” para criar o ponto de outorga e fornecer os atributos que caracterizam a modalidade selecionada (captação superficial ou lançamento de efluentes). Em seguida, a função “Solicitação de outorga” é utilizada para incorporar ao ponto geográfico, as informações complementares ao processo de outorga.

A função de edição herda do SIG todas as funcionalidades para a criação e manipulação de elementos geográficos, incluindo as configurações da ferramenta (Figura 5.64). Como já mencionado, em uma versão corporativa do sistema devem ser estabelecidas restrições de acesso dos usuários às funcionalidades da ferramenta de edição para evitar o uso indevido da aplicação.

Ao acessar a função “Edição”, o usuário precisa selecionar a modalidade da outorga e clicar na seção da hidrografia onde ocorre a interferência nos recursos hídricos. Se já forem conhecidas, as coordenadas geográficas podem ser utilizadas na localização da seção de interesse, porém para garantir o hidrorreferenciamento, após a localização, é necessário que o usuário execute um clique sobre a hidrografia.

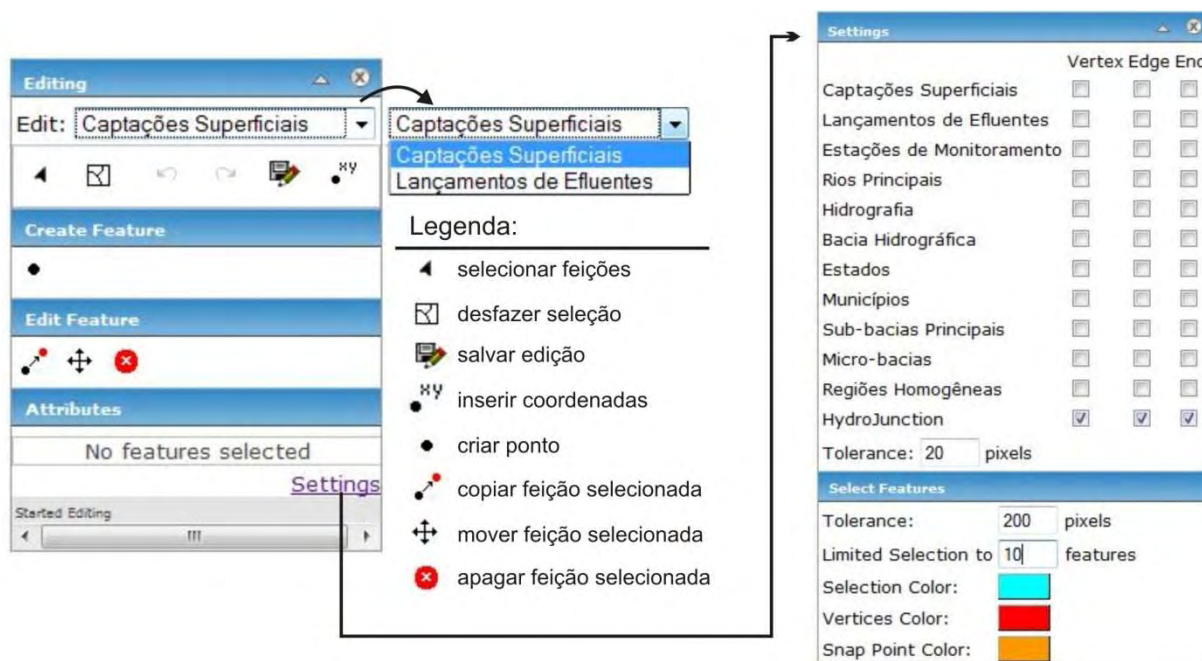


Figura 5.64. Ferramenta para identificação da seção de interesse- caracterização da modalidade de outorga e configurações da ferramenta de edição.

A principal função da etapa de edição é hidrorreferenciar a outorga com o ponto da hidrografia que possui as informações hidrológicas e a identificação da trajetória do escoamento. Só assim é possível analisar o impacto das interferências e atualizar a disponibilidade hídrica a jusante com base nas outorgas concedidas.

A Figura 5.65 apresenta a janela da ferramenta de edição quando a modalidade captações superficiais é selecionada e a Figura 5.66 ilustra a variação da ferramenta quando a modalidade selecionada é o lançamento de efluentes.

The screenshot shows the 'Editing' window with 'Edit: Captações Superficiais' selected. The 'Attributes' section contains the following fields:

OID	3
HYDROID	654003
JUNCTIONID	152015
HYDROCODE	654003
FTYPE	Significante
FINLUSO	Irrigação

Callouts point to the 'FTYPE' and 'FINLUSO' fields:

- Tipo de captação:** A dropdown menu with options: Significante, Insignificante, Sem captação.
- Finalidade do uso:** A dropdown menu with options: Irrigação, Abastecimento público, Indústria, Aquicultura, Dessedentação de animais, Lazer, paisagismo, Outra.

Text above the callouts: Guardar identificação da outorga HydroID = 654003

Figura 5.65. Ferramenta de edição para solicitar outorgas de captação superficial.

The screenshot shows the 'Editing' window with 'Edit: Lançamentos de Efluentes' selected. The 'Attributes' section contains the following fields:

OID	3
HYDROID	654031
HYDROCODE	654031
JUNCTIONID	371221
TIPOEFLU	Esgotamento industrial
TRAT	Não
TIPOTRAT	não tem

Callouts point to the 'TIPOEFLU', 'TRAT', and 'TIPOTRAT' fields:

- Tipo de efluente:** A dropdown menu with options: Esgotamento industrial, Esgotamento doméstico, Esgotamento industrial.
- Possui tratamento?:** A dropdown menu with options: Não, Sim, Não.
- Tipo de dados:** A dropdown menu with options: Medidos, Medidos, Estimados.

Text above the callouts: Guardar identificação da outorga HydroID = 654031

The main window also displays a list of attributes on the right side:

DISTATEND	
POPATUAL	
POPPFINAL	
POPABAST	
POPESGOT	
TIPODADOS	Medidos
DBO520BRUT	100.0
DQOBRUT	120.0
SSTBRUT	
PTOTALBRUT	3.0
TEMPBRUT	31.0
OUTROSBRUT	
NTOTALBRUT	5.0
DQOTRAT	
DBO520TRAT	
TEMPTRAT	
SSTTRAT	
NTOTALTRAT	
PTOTALTRAT	
OUTROSTRAT	

Figura 5.66. Ferramenta de edição para solicitar outorgas de lançamento de efluentes.

Com exceção dos identificadores, que são carregados no momento de criação dos pontos sobre o mapa, os campos a serem preenchidos nas janelas de edição correspondem às variáveis sistematizadas das classes captação superficial (WaterWithdrawal) e lançamento de efluentes (WaterDischarge). Ressalta-se que a identificação do ponto da drenagem (JunctionID) associado à seção de interesse selecionada pelo usuário é essencial para se prosseguir na solicitação da outorga. Caso esta informação não seja carregada, o usuário deve apagar o ponto sem referência hidrográfica e refazer a edição para coincidir com a rede geométrica.

Observa-se que as janelas apresentam os nomes dos campos de cada classe, que podem ser estranhos para usuários sem acesso ao dicionário do banco de dados. Embora os campos possuam rótulos que traduzem as abreviações utilizadas nos nomes, na versão atual do SIGWeb a ferramenta de edição não carrega estas informações. Para conhecer o conteúdo dos campos o usuário pode utilizar a ferramenta para identificar feições e consultar alguma outorga no mapa. Neste caso, os atributos das outorgas são apresentados com os devidos rótulos.

Os usuários do sistema devem realizar a caracterização das captações e lançamentos como se estivessem preenchendo os formulários de outorga. O uso das opções com base nos domínios dos campos auxilia no preenchimento das janelas. Antes de salvar a edição, os usuários precisam memorizar o identificador da outorga recém criada (HydroID) pois esta informação é utilizada para relacionar os dados complementares fornecidos na segunda etapa da solicitação da outorga.

Com a outorga salva e o identificador em mãos, o usuário precisa complementar as informações relacionadas ao processo de outorga. Esta segunda etapa só pode ser conduzida por usuários previamente cadastrados no sistema, pois a função “Solicitação de outorga” precisa identificar os envolvidos (usuário, responsável técnico e empreendimento) que irão compor o referido processo.

Antes de submeter a cronologia do uso das águas ao julgamento, o usuário pode verificar a disponibilidade hídrica outorgável e os parâmetros qualitativos das águas na seção de interesse. Para tanto, basta entrar com o identificador da outorga na função “Disponibilidade hídrica”, localizada na palheta “Solicitação de outorga”. A Figura 5.67 ilustra a janela para a avaliação preliminar que deve auxiliar os usuários do sistema na identificação de conflitos entre as vazões mensais demandadas para captação ou diluição de efluentes e a disponibilidade hídrica outorgável.

Disponibilidade Hídrica

Dados da Seção Escolhida

HydroID:

	Vazão Disponível (m³/s)	Vazão Permitida (m³/s)	Comprometimento do Trecho (%)	
Janeiro	2.325	2.325	17.699	Classe
Fevereiro	2.325	2.325	17.699	2
Março	2.325	2.325	17.699	Temperatura (°C)
Abril	1.615	0.925	23.641	25
Maio	1.615	0.925	23.641	DBO5,20 (mg/L)
Junho	1.615	0.925	23.641	1.0
Julho	1.615	0.925	23.641	N total (mg/L)
Agosto	0.914	0.421	35.361	0.2
Setembro	0.914	0.421	35.361	P total (mg/L)
Outubro	0.914	0.421	35.361	0.03
Novembro	0.914	0.421	35.361	
Dezembro	2.325	2.325	17.699	

Legenda:  Avalia disponibilidade  Limpa resultados

Figura 5.67. Função para avaliação da disponibilidade hídrica na seção da outorga.

Para processar a avaliação na seção de interesse, o usuário precisa informar ao sistema o identificador gerado na etapa de edição da outorga (HydroID). Analisando a janela de resultados, percebe-se que a função “Disponibilidade hídrica” funciona como uma prévia das análises técnicas dos processos de outorga, considerando a situação atual dos recursos hídricos com os usos múltiplos já outorgados na bacia hidrográfica.

Na seção de interesse indicada pelo usuário, a função processa as análises de montante e jusante, identifica o comprometimento atual da disponibilidade hídrica passível de outorga e apresenta as variáveis qualitativas: classe de enquadramento, temperatura (°C), DBO (mg L⁻¹), nitrogênio e fósforo totais (mg L⁻¹).

Enquanto a vazão disponível refere-se ao remanescente das vazões outorgáveis mensais, considerando os usuários já estabelecidos à montante, a vazão permitida utiliza o conceito de imobilização hídrica para identificar, em cada mês, a menor vazão disponível a jusante que deve limitar as vazões demandadas a montante. Esta função leva apenas alguns segundos para consultar a trajetória do escoamento até a foz. A vazão permitida corresponde à máxima vazão que pode ser outorgada sem desrespeitar os critérios legais, que estabelecem o percentual das vazões mínimas de referência que deve permanecer nos cursos d’água após a concessão das outorgas.

O comprometimento do trecho corresponde ao percentual da vazão outorgável comprometido pelas outorgas já concedidas à montante. Indicadores como este também são processados na etapa complementar para solicitação de outorgas. As Figura 5.68 e 5.69 apresentam as janelas correspondentes às funções da solicitação para captação de águas superficiais e para lançamento de efluentes, respectivamente.

Solicitação de Outorga: Captação de Águas Superficiais

Captações Superficiais

INFORMAÇÕES GERAIS

HydroID: 654003

Login: marx

Senha: marx

CPF Usuário: 087.053.707-52

CNPJ Empreendimento: 123123

CPF Resp. Técnico: 087.053.707-52

Observações:

CAPTAÇÃO

	Vazão (m³/s)	dias/mês	horas/dia
Janeiro	0.03	20	8
Fevereiro	0.05	20	8
Março	0.05	20	8
Abril	0.06	20	8
Maio	0.06	20	8
Junho	0.06	20	8
Julho	0.08	20	8
Agosto	0.08	20	8
Setembro	0.09	20	8
Outubro	0.09	20	8
Novembro	0.09	20	8
Dezembro	0.05	20	8

INDICADORES

Comprometimento do usuário (%)	Comprometimento da seção (%)
2.9567	9.5327
4.6781	10.6321
4.6781	10.6321
9.7154	12.1028
9.7154	12.1028
9.7154	12.1028
12.7154	20.6321
16.9897	24.6354
19.9897	28.3254
19.9897	30.6385
19.9897	31.2178
4.6781	10.3657

Avaliar dados da captação Salvar dados da captação Limpar dados da captação

Figura 5.68. Janela para solicitação de outorga para captação superficial.

Solicitação de Outorga: Lançamento de Efluentes

Lançamento de Efluentes

INFORMAÇÕES GERAIS

HydroID: 654003

Login: marx

Senha: marx

CPF Usuário: 087.053.707-52

CNPJ Empreendimento: 123123

CPF Resp. Técnico: 087.053.707-52

Observações:

LANÇAMENTO

	Vazão (m³/s)	dias/mês	horas/dia
Janeiro	0.20	20	10
Fevereiro	0.20	20	10
Março	0.15	20	10
Abril	0.10	20	10
Maio	0.05	20	10
Junho	0.05	20	10
Julho	0.05	20	10
Agosto	0.05	20	10
Setembro	0.05	20	10
Outubro	0.05	20	10
Novembro	0.05	20	10
Dezembro	0.20	20	10

Classe enquadramento: 2

Temperatura (°C)

Lançamento	Seção
31	25

DBO5,20 (mg/L)

Lançamento	Seção
100	1

N total (mg/L)

Lançamento	Seção
5	0.20

P total (mg/L)

Lançamento	Seção
0.1	0.03

Avaliar dados do lançamento Salvar dados do lançamento Limpar dados do lançamento

Figura 5.69. Janela para solicitação de outorga para lançamento de efluentes.

Nas janelas associadas às solicitações de outorga para captações superficiais e lançamento de efluentes, o usuário complementa o processo de outorga com as informações que caracterizam o regime de uso dos recursos hídricos. Para cada mês devem ser informadas as vazões captadas ou lançadas, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, mais o número de dias por mês e o número de horas por dia em que ocorrem as captações ou lançamentos. Estas informações são armazenadas no sistema, contudo apenas as vazões mensais são utilizadas nas análises técnicas dos processos de outorga.

Devido à sazonalidade das vazões mínimas de referência nos períodos seco, normal e chuvoso, a caracterização mensal dos usos das águas ganhou um novo significado. Uma vez que as vazões de referência refletem as variações do regime hidrológico, os usuários podem explorar a disponibilidade hídrica para planejar as intervenções mensais e harmonizar os impactos dos empreendimentos com a flexibilidade dos critérios de outorga.

Com as tendências de ocupação e desenvolvimento das bacias seguidas de reduções na disponibilidade hídrica, pode ser interessante, por exemplo, os empreendimentos realizarem suas captações em períodos de maior disponibilidade e armazenar em reservatórios para uso nos períodos de escassez. Neste mesmo sentido, os efluentes dos empreendimentos podem ser armazenados e lançados para diluição nos cursos d'água em períodos com maior volume escoado. Também podem ser apropriados ajustes nos valores da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em função do impacto das demandas nos períodos seco, normal e chuvoso.

Na janela correspondente à solicitação de outorga para captação superficial, após indicar o número (HydroID) da outorga criada com a ferramenta “Edição”, identificar os envolvidos e preencher a cronologia das interferências, os usuários do sistema podem avaliar o impacto das captações com base nas vazões demandadas e na disponibilidade hídrica atual do curso d'água. Na janela para solicitação de outorga para lançamento de efluentes, devido à maior complexidade na avaliação dos impactos, a avaliação apenas retorna os parâmetros de qualidade do manancial. Contudo, o impacto dos lançamentos é processado na função “Controle”.

O indicador “Comprometimento do usuário” é importante para avaliar se as captações atendem os limites individuais e o indicador “Comprometimento do trecho”

indica o percentual comprometido das vazões outorgáveis, já considerando, além das vazões outorgadas a montante, as vazões recém solicitadas pelo usuário.

5.4.4. Controle dos processos de outorga

A função “Controle” conseguiu agrupar em uma única ferramenta, a análise técnica integrada dos aspectos de quantidade e qualidade, o controle administrativo dos processos de outorga e a atualização permanente do cenário de utilização dos recursos hídricos. A função automatiza a análise da disponibilidade hídrica com base nas outorgas concedidas a montante, avalia o impacto das captações e lançamentos na disponibilidade hídrica a jusante e, a partir do controle administrativo dos órgãos gestores, responsáveis pelos processos nas respectivas dominialidades, atualiza em tempo real a disponibilidade hídrica após a ativação das novas outorgas.

Ao acessar a função “Controle” é exibida uma caixa de ferramentas que se ajusta dependendo da modalidade de outorga selecionada pelo usuário do sistema (Figura 5.70). Para iniciar o controle de um processo de outorga, basta que o gestor utilize a ferramenta ponteiro para selecionar uma outorga diretamente sobre o mapa. Selecionada uma outorga, o sistema processa, automaticamente, as informações e indicadores que irão subsidiar a análise do processo. A função leva alguns segundos para retornar os resultados, pois percorre toda a trajetória do escoamento até o exutório a fim de identificar a vazão permitida para não haver conflitos a jusante.

Devido à versatilidade do banco de dados e ao potencial da integração SIG e TI, seria adequado, em uma versão corporativa do sistema, utilizar filtros sobre as outorgas para facilitar as consultas dos órgãos gestores com base, por exemplo, na situação dos processos. Ressalta-se, neste trabalho, o compromisso maior com a inovação das funcionalidades, de modo que os objetivos da função consistiram em avaliar as rotinas para as análises de montante e jusante, o processamento dos indicadores e a atualização da disponibilidade hídrica após a ativação das outorgas.

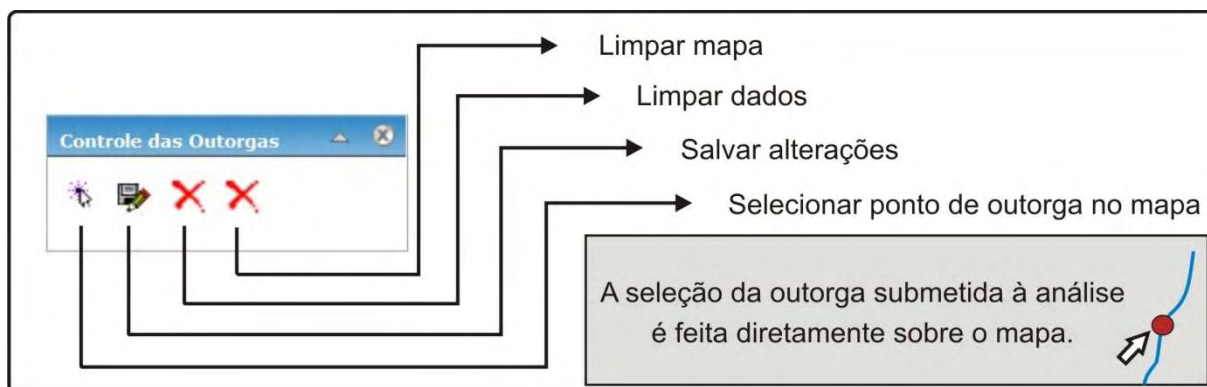


Figura 5.70. Ferramenta da função “Controle” para análise dos processos de outorga.

Como já mencionado, pelo contexto de pesquisa, a versão atual do SIGWeb oferece liberdade de acesso às funções do sistema para permitir avaliações completas por parte dos usuários, entretanto, manteve-se a restrição da ativação das outorgas àqueles que não foram cadastrados com a permissão de gestor de recursos hídricos ou administrador, que possui acesso irrestrito a todo o sistema, incluindo o acesso direto ao banco de dados no SGBDR.

A Figura 5.71 ilustra a janela da função “Controle” após a seleção de uma outorga de captação superficial. A função carrega informações gerais sobre o processo de outorga como a situação, a modalidade, a data da solicitação e o domínio de gestão. As vazões disponíveis consideram a vazão outorgável definida por cada órgão gestor já descontadas as vazões demandadas à montante. As vazões demandadas referem-se ao processo de outorga, as vazões permitidas apresentam os resultados das análises de jusante e os indicadores são os mesmos calculados na análise dos dados da solicitação de outorga para captação.

Controle das Outorgas

Você selecionou: Captação Superficial

INFORMAÇÕES GERAIS

Situação: Data Início: Domínio:

HydroID: Data Fim: Observações:

Modalidade: Login gestor:

Data: Senha gestor:

	Vazão Disponível (m³/s)	Vazão Demandada (m³/s)	Vazão Permitida (m³/s)	Comprometimento do usuário (%)	Comprometimento da seção(%)
Janeiro	0.918	0.03	0.918	2.9567	9.5327
Fevereiro	0.955	0.05	0.955	4.6781	9.5327
Março	0.955	0.05	0.955	4.6781	10.6321
Abril	0.543	0.06	0.543	9.7154	12.1028
Maio	0.543	0.06	0.543	9.7154	12.1028
Junho	0.543	0.06	0.543	9.7154	12.1028
Julho	0.499	0.08	0.499	12.7154	20.6321
Agosto	0.355	0.08	0.355	16.9897	24.6354
Setembro	0.322	0.09	0.322	16.9897	28.3254
Outubro	0.312	0.09	0.312	16.9897	30.6385
Novembro	0.310	0.09	0.310	16.9897	31.2178
Dezembro	0.958	0.05	0.958	4.6781	10.3657

Figura 5.71. Janela para análise técnica e concessão das outorgas para captação.

O deferimento da outorga é realizado modificando-se a situação do processo “Em análise” para “Ativa”. Após analisar as informações apresentadas na janela de controle, o gestor, com atuação no domínio de gestão da outorga, deve preencher as datas de início e fim do licenciamento, entrar com as informações para validação da permissão de acesso (login e senha), ativar a outorga e em seguida salvar a modificação. Se for confirmada a permissão de gestor (ou administrador) para o respectivo domínio de gestão, o sistema atualiza, em tempo real, a disponibilidade hídrica mensal, até o exutório da bacia hidrográfica.

Caso a outorga selecionada sobre o mapa seja referente a um lançamento de efluente, a janela da função de controle se ajusta para apresentar as informações necessárias à tomada de decisão. A Figura 5.72 apresenta a janela para análise técnica e concessão das outorgas para lançamento de efluentes. Observa-se que, apesar das informações gerais seguirem o padrão utilizado no controle das captações, as demais informações são específicas segundo a modalidade.

Controle das Outorgas

Você selecionou: Lançamento de Efluente

INFORMAÇÕES GERAIS

Situação: Data Início: Domínio:
HydroID: Data Fim: Observações:
Modalidade: Login gestor:
Data: Senha gestor:

	Regime do Lançamento	Regime da Seção	Vazão de Diluição	Indicadores		
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Qdilui/Qref (%)	Qindisp/Qrem (%)	(Qindisp+Qcons)/Qref (%)
Janeiro	0.050	12.385	1.188	9.592	13.191	34.219
Fevereiro	0.050	12.385	1.188	9.592	11.921	26.145
Março	0.050	12.385	1.188	9.592	11.921	26.145
Abril	0.020	9.875	0.475	4.810	6.286	25.266
Mai	0.020	9.875	0.475	4.810	6.286	25.266
Junho	0.020	9.875	0.475	4.810	6.286	25.266
Julho	0.020	9.875	0.475	4.810	6.286	25.266
Agosto	0.010	7.421	0.238	3.207	5.040	37.030
Setembro	0.010	7.421	0.238	3.207	5.040	37.030
Outubro	0.010	7.421	0.238	3.207	5.040	37.030
Novembro	0.010	7.421	0.238	3.207	4.575	30.292
Dezembro	0.050	12.385	1.188	9.592	11.921	26.145
Temperatura (°C)	38	25	0.167			
DBO5,20 (mg/L)	100	1	1.188			
N total (mg/L)	5	0.20	0.083			
P total (mg/L)	0.20	0.03	0.375			

Figura 5.72. Janela para análise técnica e concessão das outorgas para lançamento de efluentes.

Na janela de controle das outorgas para lançamento de efluentes, as vazões mensais do regime de lançamento referem-se às vazões declaradas pelo usuário na solicitação da outorga. As vazões que caracterizam o regime na seção da intervenção apresentam as vazões de referência, definidas por cada órgão gestor dos recursos hídricos para regulamentar o instrumento de outorga. No caso da bacia do rio Doce, a $Q_{7,10}$ nos rios estaduais e a Q_{95} no rio federal. Vale lembrar que o banco de dados hidrológico do sistema incorporou a sazonalidade do regime de escoamento às vazões mínimas de referência utilizadas no processo de outorga.

Na parte inferior da janela, são apresentados os principais parâmetros qualitativos considerados nos critérios para avaliação dos impactos de lançamentos de efluentes. Estes parâmetros referem-se ao efluente lançado pelo empreendimento e às águas que escoam na seção do curso d'água onde ocorre o lançamento. Em seguida, com base na máxima vazão efluente, são calculadas as máximas vazões de diluição para identificação do parâmetro crítico.

As normas vigentes estabelecem que quando o parâmetro crítico for outro, que não a DBO, o órgão gestor deve tratar a situação individualmente, analisando caso a caso. Sem uma regulamentação dos critérios utilizados para os demais parâmetros e devido ao decaimento de simples modelagem computacional, as vazões de diluição mensais são calculadas, sempre com base na DBO, considerado o principal parâmetro de referência por caracterizar grande parte dos efluentes.

Assim como na avaliação das captações, na análise dos lançamentos são calculados indicadores mensais para auxiliar o parecer técnico sobre a outorga. O primeiro indicador fornece o percentual da vazão de referência do manancial necessário para a diluição do poluente lançando até a concentração máxima permitida na classe de enquadramento do curso d'água. O segundo indicador refere-se à parcela da vazão remanescente que será indisponibilizada pelo efluente. Já o terceiro indicador apresenta o impacto global no curso d'água considerando as vazões imobilizadas em razão tanto das captações como dos lançamentos de efluentes.

Os indicadores expressam a gestão sistemática dos recursos hídricos, isto é, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade. Como o impacto qualitativo está representado na vazão de diluição, ao salvar a ativação de uma outorga para lançamento, o sistema atualiza a disponibilidade hídrica a jusante considerando uma taxa decrescente em razão do decaimento da DBO.

Como pode ser observado nas figuras 5.71 e 5.72, o sistema apresenta as principais informações que um órgão gestor precisa para avaliar, com precisão, aspectos técnicos que, sem dúvida, exigem a sistematização de informações hidrológicas e administrativas em um banco de dados geográfico e a automação das normas vigentes nos domínios de gestão. Além dos aspectos considerados na função de controle, a versatilidade do BD permite um número indefinido de consultas relevantes à gestão integrada dos usos múltiplos da água:

- se a disponibilidade hídrica outorgável no manancial atende às vazões mensais demandadas pelo usuário;
- se a concessão da outorga não implicará violação dos critérios de vazões remanescentes em trechos localizados a jusante da intervenção;
- se as demandas mensais dos usuários atendem aos limites de comprometimento individual, definidos pelos órgãos gestores;

- qual o nível de comprometimento atual da disponibilidade hídrica em determinada área de drenagem;
- quantas outorgas foram solicitadas no mês, quantas foram concedidas;
- quantas e quais outorgas venceram e dependem de renovação;
- qual o montante de vazões demandadas por finalidade de uso das águas, por sub-bacia, por curso d'água, por município.

Até o momento, a diferença dos critérios adotados pelos órgãos gestores que compartilham a gestão em bacias hidrográficas representava um ofensor à gestão integrada e sistemática dos recursos hídricos. Outra dificuldade diz respeito à necessidade de se adotar vazões de referência sazonais ou critérios específicos por região hidrográfica para flexibilizar o instrumento de outorga.

Realmente, estas diferenças representam um número maior de informações a serem consideradas nas análises dos processos. Contudo, por se apoiar em um BD geográfico, modelado especificamente para a gestão dos usos múltiplos da água, o AQUORA é capaz de administrar os diferentes critérios de outorga com as vazões de referência sazonais, realizar para cada mês as análises técnicas e o balanço hídrico consuntivo, considerar os usuários estabelecidos a montante e a jusante e, ainda gerenciar todas as informações administrativas do instrumento de outorga.

5.4.5. Avaliação das funcionalidades do sistema

O cálculo do balanço hídrico utilizando as funcionalidades do SIGWeb foi uma atividade simples e rápida. Bastou cadastrar os pontos na foz de cada sub-bacia, salvar a solicitação com as vazões demandadas e, em seguida, utilizar a função “Disponibilidade hídrica” para consultar o comprometimento nas sub-bacias. Além do comprometimento, o teste foi importante para avaliar se as vazões outorgáveis correspondem ao percentual das vazões de referência definidas em cada domínio de gestão e como a sazonalidade das vazões estimadas influenciam no comprometimento da disponibilidade hídrica nas sub-bacias. O comprometimento sazonal das sub-bacias é apresentado no Quadro 5.16, juntamente com as vazões de referência, outorgáveis e demandadas nos períodos chuvoso, normal e seco.

Quadro 5.16. Resultados do balanço hídrico nas sub-bacias utilizando as funcionalidades do SIGWeb AQUORA

Sub-bacia	Período	Qref (m³s⁻¹)	Qoutg (m³s⁻¹)	Demanda (m³s⁻¹)	Comprometimento (%)
Piranga	Chuvoso	50,725	15,218	1,363	8,96
	Normal	37,539	11,262	1,363	12,10
	Seco	30,310	9,093	1,363	14,99
Carmo	Chuvoso	23,175	6,953	0,549	7,90
	Normal	15,201	4,560	0,549	12,04
	Seco	15,398	4,619	0,549	11,88
Casca	Chuvoso	14,721	4,416	0,639	14,47
	Normal	10,538	3,161	0,639	20,21
	Seco	6,717	2,015	0,639	31,71
Matipó	Chuvoso	13,612	4,084	0,403	9,87
	Normal	8,619	2,586	0,403	15,59
	Seco	5,296	1,589	0,403	25,37
Piracicaba	Chuvoso	40,251	12,075	1,903	15,76
	Normal	28,616	8,585	1,903	22,17
	Seco	27,796	8,339	1,903	22,82
Santo Antônio	Chuvoso	67,631	20,289	0,643	3,17
	Normal	49,690	14,907	0,643	4,31
	Seco	38,707	11,612	0,643	5,54

Continua..

Quadro 5.16. Continuação

Sub-bacia	Período	Qref (m³s⁻¹)	Qoutg (m³s⁻¹)	Demanda (m³s⁻¹)	Comprometimento (%)
Corrente Grande	Chuvoso	14,665	4,400	0,260	5,91
	Normal	12,135	3,641	0,260	7,14
	Seco	8,913	2,674	0,260	9,72
Suaçuí Pequeno	Chuvoso	11,347	3,404	0,154	4,52
	Normal	8,511	2,553	0,154	6,03
	Seco	6,504	1,951	0,154	7,89
Suaçuí Grande	Chuvoso	36,414	10,924	1,324	12,12
	Normal	27,652	8,296	1,324	15,96
	Seco	22,360	6,708	1,324	19,74
Caratinga	Chuvoso	8,601	2,580	1,066	41,32
	Normal	6,600	1,980	1,066	53,84

	Seco	5,380	1,614	1,066	66,05
Manhuaçu	Chuvoso	37,565	11,269	1,992	17,68
	Normal	31,073	9,322	1,992	21,37
	Seco	22,413	6,724	1,992	29,63
Guandú	Chuvoso	7,189	3,594	1,371	38,14
	Normal	6,779	3,389	1,371	40,45
	Seco	5,219	2,610	1,371	52,54
Santa Joana	Chuvoso	1,562	0,781	0,833	106,65
	Normal	1,152	0,576	0,833	144,67
	Seco	0,871	0,436	0,833	191,23
Pancas	Chuvoso	1,758	0,879	0,542	61,65
	Normal	1,141	0,570	0,542	95,03
	Seco	0,807	0,404	0,542	134,27
São José	Chuvoso	2,752	1,376	1,246	90,56
	Normal	1,727	0,864	1,246	144,27
	Seco	1,692	0,846	1,246	147,27

Observa-se que na sub-bacia do rio Carmo as vazões estimadas no período normal foram mais críticas que as vazões do período seco. Como a sazonalidade das vazões estimadas foi confirmada nas estações fluviométricas, este desvio de comportamento só ocorreu devido à diferença dos modelos utilizados na estimativa.

Analisando os Quadros 5.7 e 5.8 observa-se que a equação regional para estimativa da $Q_{7,10}$ na sub-bacia do rio Carmo (região 2) utiliza as variáveis físicas área e declividade média da bacia no período seco e apenas a área de drenagem no período normal (Equações 15 e 16). Como a regionalização das vazões foi realizada individualmente para cada período sazonal, pode acontecer dos modelos regionais estimarem vazões espacializadas que comprometam a flexibilidade dos critérios de outorga nas seções mais afastadas das estações fluviométricas.

$$\text{Período seco: } Q_{7,10} = 0,000030A^{0,873319}S^{2,081342} \quad (15)$$

$$\text{Período normal: } Q_{7,10} = 0,009453A^{0,954810} \quad (16)$$

Embora a flexibilidade do critério de outorga tenha sido comprometida em apenas uma das sub-bacias analisadas, a reflexão provocada indicou ser mais

apropriado ao invés de regionalizar as vazões sazonais, aplicar percentuais sazonais sobre a vazão mínima de referência anual. Isto é, uma vez identificada a flexibilidade das vazões mínimas de referência utilizando os períodos sazonais, não é necessário regionalizar as vazões para cada período adotado. Basta regionalizar as vazões mínimas anuais, mais fáceis de serem calculadas, e depois aplicar os coeficientes da flexibilidade para reproduzir a sazonalidade das vazões.

A discussão desse método seria em torno da área de abrangência a ser utilizada na definição dos coeficientes para flexibilizar as vazões mínimas anuais. Poderiam ser utilizadas as sub-bacias, as regiões homogêneas, as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHS), os afluentes de cabeceira, as estações fluviométricas, etc. Adotando-se a bacia hidrográfica do rio Doce, por exemplo, bastaria converter as flexibilidades médias apresentadas no Quadro 5.5, em coeficientes sazonais. Para exemplificar a simplicidade deste processo, o Quadro 5.17 apresenta os resultados para a $Q_{7,10}$, na bacia do rio Doce.

Quadro 5.17. Conversão da flexibilidade média em coeficientes sazonais

Conversão	Período Seco	Período Normal	Período Chuvoso
Flexibilidade sazonal	1,8%	34,58%	76,93%
Coeficiente sazonal	1	1,35	1,77

Em relação ao comprometimento das sub-bacias, destaca-se a porção capixaba da bacia hidrográfica do rio Doce. Nas sub-bacias dos rios Santa Joana, Pancas e São José as demandas estimadas pelo plano de bacia superam o limite outorgável no período seco em 91, 34 e 47% respectivamente. A Figura 5.73 apresenta a classificação das sub-bacias com base no comprometimento da vazão outorgável nos períodos chuvoso, normal e seco, respectivamente.

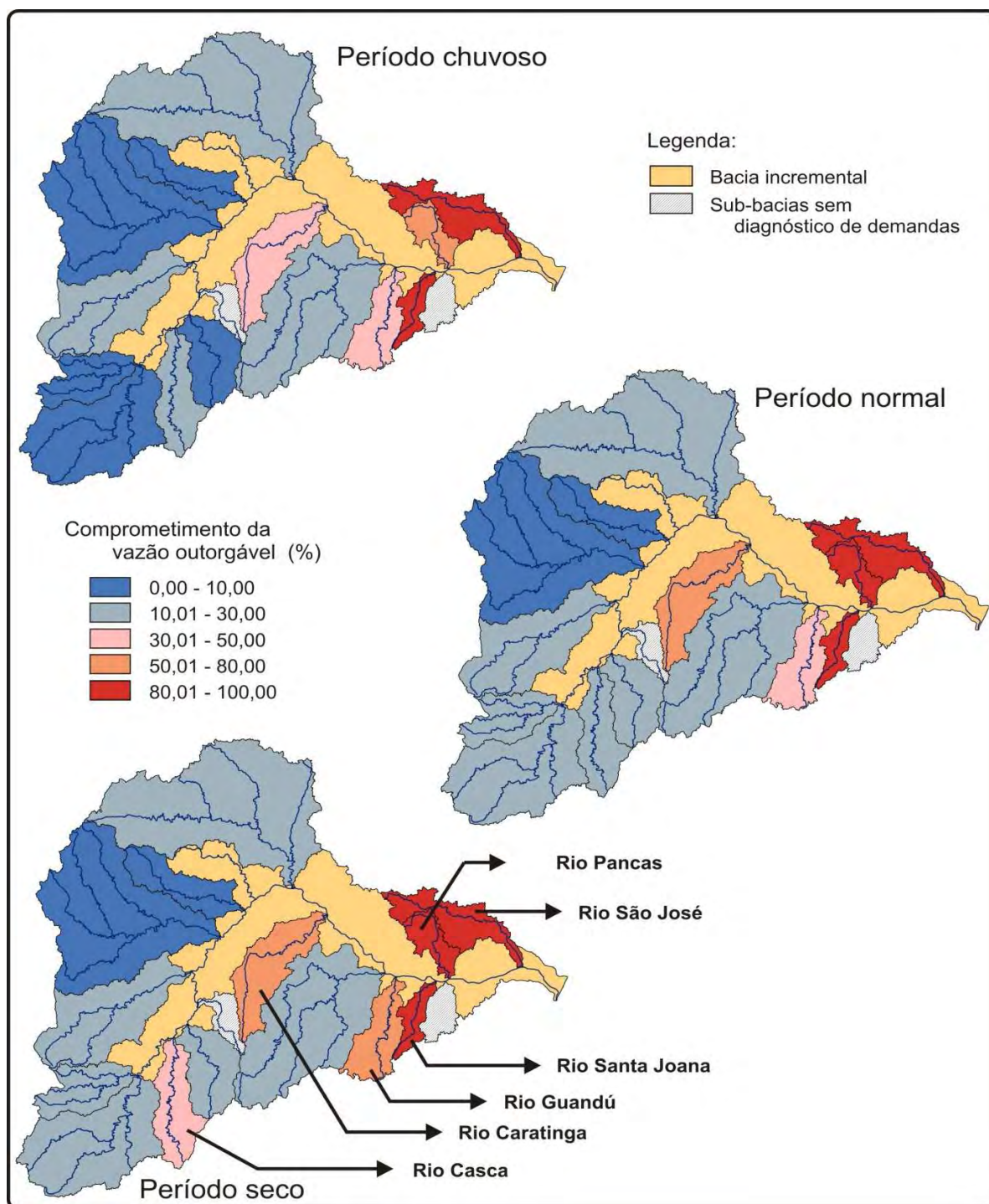


Figura 5.73. Comprometimento da vazão outorgável nos períodos sazonais.

A segunda avaliação do sistema foi mais precisa. Realizada na sub-bacia do rio Casca a avaliação comprovou a eficiência do sistema nas análises de montante e jusante; no cálculo dos indicadores de comprometimento do usuário e da seção; na atualização, em tempo real, da disponibilidade hídrica após a ativação de uma nova outorga; no cálculo das vazões de diluição e, também, no decaimento da vazão indisponível ao longo da trajetória dos efluentes lançados nos cursos d'água. Para

facilitar a compreensão dos resultados da avaliação, a estratégia composta por quatro passos é apresentada na Figura 5.74.

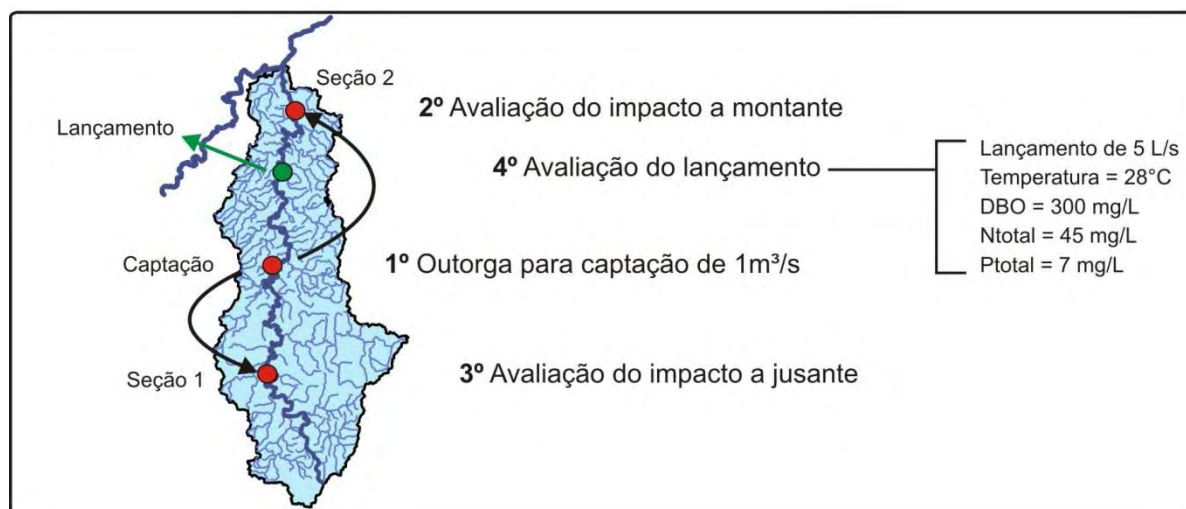


Figura 5.74. Etapas da avaliação das funcionalidades do SIGWeb AQUORA.

Inicialmente, as vazões disponíveis fornecidas pela página do sistema na WEB, referentes aos quatro pontos amostrais, correspondiam exatamente à disponibilidade estabelecida pelos critérios de outorga, no entanto, à medida que as outorgas foram sendo ativadas, o sistema atualizou, em tempo real, a disponibilidade hídrica nas seções de intervenção e também em toda a trajetória do escoamento superficial até o exutório da bacia. O Quadro 5.18 apresenta a disponibilidade outorgável inicial nos quatro pontos utilizados na avaliação.

Quadro 5.18. Disponibilidade outorgável inicial nas quatro seções de interesse

Vazão (m^3s^{-1})	Período Chuvoso	Período Normal	Período Seco
Seção 1	1,209	0,893	0,702
Captação	2,449	1,856	1,266
Lançamento	3,634	2,645	1,733
Seção 2	4,124	2,958	1,921

Já durante a solicitação da vazão de $1\text{m}^3\text{s}^{-1}$ para a captação outorgada, o sistema informou os comprometimentos mensais na disponibilidade hídrica. Devido aos valores iniciais das vazões disponíveis sazonais e à vazão demandada constante, foram informados os comprometimentos de 40,84%, 53,87% e 78,99% nos meses associados, respectivamente, aos períodos chuvoso, normal e seco.

Conforme esperado, após a ativação da outorga para captação de $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, através da função “Controle”, a disponibilidade hídrica foi atualizada a jusante e imobilizou a outorga nas seções a montante. A Figura 5.75 ilustra a tabela da função “Disponibilidade hídrica” que informa as vazões outorgáveis atualizadas na seção 2, a jusante da outorga recém ativada. O indicador de comprometimento do trecho refere-se, portanto, ao percentual da vazão outorgável que foi captado a montante. As vazões disponíveis para outorga, as vazões máximas permitidas e o indicador de comprometimento foram analisados, também pela função “Controle” e confirmaram os resultados esperados. Os indicadores do usuário foram analisados nas intervenções.

A capacidade do sistema em processar as análises em escala mensal é importante por se adaptar aos requerimentos de outorga padrão da ANA, IGAM e IEMA, que prevêm a caracterização mensal das demandas. Mais que isto, a escala mensal permite contemplar as sazonalidades no balanço hídrico, as quais podem ser bastante intensas, dependendo da finalidade do uso dos recursos hídricos.

	Vazão Disponível (m^3/s)	Vazão Permitida (m^3/s)	Comprometimento do Trecho (%)	
Janeiro	3.124	3.124	24.25	Classe
Fevereiro	3.124	3.124	24.25	2
Março	3.124	3.124	24.25	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
Abril	1.958	1.958	33.80	25
Maio	1.958	1.958	33.80	DBO5,20 (mg/L)
Junho	1.958	1.958	33.80	1.0
Julho	1.958	1.958	33.80	N total (mg/L)
Agosto	0.921	0.921	52.07	0.2
Setembro	0.921	0.921	52.07	P total (mg/L)
Outubro	0.921	0.921	52.07	0.03
Novembro	0.921	0.921	52.07	
Dezembro	3.124	3.124	24.25	

Figura 5.75. Disponibilidade hídrica atualizada e comprometimento do trecho na seção 2, a jusante da outorga recém ativada.

A montante da captação outorgada as vazões disponíveis não sofreram atualização, mas o gestor pode verificar a vazão permitida para outorga com base no impacto a jusante. A Figura 5.76 apresenta a tabela que destaca a máxima vazão permitida para outorga na seção 1. Observa-se que mesmo sem haver comprometimento na seção, a outorga possui restrição devido ao usuário já

estabelecido a jusante. Nestes casos, a outorga das vazões disponíveis implicaria violação do critério de vazão remanescente a jusante.

	Vazão Disponível (m³/s)	Vazão Permitida (m³/s)	Comprometimento do Trecho (%)	
Janeiro	1.209	1.209	0.0	Classe
Fevereiro	1.209	1.209	0.0	2
Março	1.209	1.209	0.0	Temperatura (°C)
Abril	0.893 >>>>	0.856	0.0	25
Maio	0.893 >>>>	0.856	0.0	DBO5,20 (mg/L)
Junho	0.893 >>>>	0.856	0.0	1.0
Julho	0.893 >>>>	0.856	0.0	N total (mg/L)
Agosto	0.702 >>>>	0.266	0.0	0.2
Setembro	0.702 >>>>	0.266	0.0	P total (mg/L)
Outubro	0.702 >>>>	0.266	0.0	0.03
Novembro	0.702 >>>>	0.266	0.0	
Dezembro	1.209	1.209	0.0	

Figura 5.76. Disponibilidade hídrica atualizada e comprometimento do trecho na seção da captação 1, a montante da outorga recém ativada.

Observa-se que de abril a novembro a captação a jusante criou uma restrição às outorgas a montante. É claro que na simulação esta situação foi planejada para acontecer após a ativação de uma única outorga a jusante. Mas ressalta-se que o sistema atualiza, em tempo real, a disponibilidade hídrica a jusante das intervenções, de modo que os impactos na disponibilidade hídrica dos cursos d'água se acumulam, imobilizando novas outorgas a montante.

É importante salientar que as análises automáticas do SIGWeb AQUORA não substituem o trabalho dos gestores. O sistema não decide, portanto, apesar do conhecimento técnico aplicado na produção das informações e no desenvolvimento das rotinas operacionais, sempre haverá a necessidade do gestor para transformar informação em conhecimento e se responsabilizar pela tomada de decisão.

Atualmente, os órgãos gestores não lidam com estas análises integradas que o AQUORA oferece, pois sem dúvida a operacionalização das análises de montante e jusante requer ferramentas computacionais integradas a bancos de dados de usuários dos recursos hídricos. O SIGWeb vai além, devido ao acesso multi-usuário pela internet e à versatilidade das aplicações do banco de dados geográfico.

Collischonn e Lopes (2009), da Agência Nacional de Águas (ANA), confirmam que atualmente, é normal a análise da disponibilidade hídrica de forma individual, de acordo com a frequência de entrada de pedidos de outorga nas agências, de forma que cada pedido de outorga resulta praticamente em um novo estudo de disponibilidade e demanda. Mencionam a identificação de todos os usuários a montante de um determinado trecho de rio, que requer uma série de procedimentos de geoprocessamento utilizando SIG, tornando o processo de análise pouco ágil e possível apenas a profissionais experientes em análises espaciais.

Os resultados para a simulação da outorga de lançamento de efluente também corresponderam às expectativas. A função “Controle” carregou as vazões de lançamento declaradas na solicitação da outorga (regime do lançamento), as vazões de referência sazonais do banco de dados hidrológicos (regime da seção), os parâmetros de qualidade da seção e do efluente lançado (temperatura, DBO_{5,20}, N_{Total} e P_{Total}) e calculou corretamente as vazões de diluição (máximas e mensais) junto com os indicadores de comprometimento da disponibilidade hídrica (Figura 5.77).

	Regime do Lançamento	Regime da Seção	Vazão de Diluição	Indicadores		
	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Qdilui/Qref (%) ¹	Qindisp/Qrem (%) ²	(Qindisp+Qcons)/Qref (%) ³
Janeiro	0.005	12.114	0.369	3.046	3.365	11.342
Fevereiro	0.005	12.114	0.369	3.046	3.365	11.342
Março	0.005	12.114	0.369	3.046	3.365	11.342
Abril	0.003	8.816	0.221	2.507	2.866	13.884
Maio	0.003	8.816	0.221	2.507	2.866	13.884
Junho	0.003	8.816	0.221	2.507	2.866	13.884
Julho	0.003	8.816	0.221	2.507	2.866	13.884
Agosto	0.002	5.778	0.148	2.561	3.139	19.903
Setembro	0.002	5.778	0.148	2.561	3.139	19.903
Outubro	0.002	5.778	0.148	2.561	3.139	19.903
Novembro	0.002	5.778	0.148	2.561	3.139	19.903
Dezembro	0.005	12.114	0.369	3.046	3.365	11.342
Temperatura (°C)	31	25	0.005			
DBO _{5,20} (mg/L)	300	1	0.369			
N total (mg/L)	45	0.20	0.119			
P total (mg/L)	7	0.03	1.738			

Figura 5.77. Informações de apoio à análise da outorga para lançamento de efluente.

Como a concepção metodológica do AQUORA baseia-se no conceito de vazão de diluição, conforme estabelecido pela Resolução CNRH nº 16/01, o sistema utilizou as concentrações permitidas na classe de enquadramento do curso d'água (Resolução CONAMA 357/05) para verificar a máxima vazão de diluição associada aos parâmetros de qualidade. Estes cálculos utilizaram a equação 6 para a DBO,

N_{Total} e P_{Total} e a equação 7 para a temperatura. Na verificação do parâmetro crítico, estes cálculos foram realizados para a máxima vazão mensal do lançamento, que na simulação correspondeu a 5 L s^{-1} , em janeiro.

Embora a função “Controle” tenha sido programada para consultar no BD os parâmetros de qualidade e a classe de enquadramento do curso d’água, na bacia do rio Doce os cálculos foram simplificados, uma vez que todos os cursos d’água estão enquadrados na classe 2 e os parâmetros de qualidade encontram-se generalizados nesta versão do BD. A representação da dinâmica espacial e temporal das variáveis qualitativas nos cursos d’água deve ser encarada com um próximo desafio aos pesquisadores e gestores de recursos hídricos que atuam na bacia.

Os cálculos realizados pelo sistema com base nos limites permitidos para a classe 2 e nos parâmetros de qualidade do efluente e das águas no manancial são apresentados pelas equações:

Vazão de diluição para Temperatura:

$$Q_{Diluição} = Q_{Efluente} \times \frac{(T_{Ambiente} - T_{Efluente} - 3)}{3} = 0,005 \times \frac{(31 - 25 - 3)}{3} = 0,005$$

Vazão de diluição para $DBO_{5,20}$:

$$Q_{Diluição} = Q_{Efluente} \times \frac{(DBO_{5,20} - DBO_{5,20}^{Efluente})}{(DBO_{5,20}^{Ambiente} - DBO_{5,20}^{Efluente})} = 0,005 \times \frac{(300 - 5)}{(5 - 1)} = 0,369$$

Vazão de diluição para N_{Total} :

$$Q_{Diluição} = Q_{Efluente} \times \frac{(N_{Total} - N_{Total}^{Efluente})}{(N_{Total}^{Ambiente} - N_{Total}^{Efluente})} = 0,005 \times \frac{(45 - 2)}{(2 - 0,20)} = 0,0119$$

Vazão de diluição para P_{Total} :

$$Q_{Diluição} = Q_{Efluente} \times \frac{(P_{Total} - P_{Total}^{Efluente})}{(P_{Total}^{Ambiente} - P_{Total}^{Efluente})} = 0,005 \times \frac{(7 - 0,05)}{(0,05 - 0,03)} = 1,738$$

Observa-se que o parâmetro crítico foi o fósforo total (P_{Total}) que requer $1,738 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para diluir sua concentração de 7 para $0,05 \text{ mg L}^{-1}$. Baseado nas normas vigentes que regulamentam o instrumento de outorga, o sistema identifica o parâmetro crítico porém o cálculo mensal das vazões de diluição considera sempre a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). De acordo com Garcia e Tucci (2000), o

fósforo possui um comportamento mais complexo de perdas e ganhos, pois sua concentração no curso d'água depende, além de uma taxa de decaimento, da parcela de fósforo orgânico nas algas, de sua taxa de sedimentação diária e da produção bentônica de fósforo dissolvido.

Como o sistema foi desenvolvido para atender os processos utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos, as vazões de diluição mensais variaram em função das vazões do lançamento de efluente. Vale ressaltar que nos formulários utilizados pelos órgãos gestores, não são consideradas variações dos parâmetros qualitativos dos efluentes, ou seja, a temperatura e as concentrações dos poluentes são consideradas constantes ao longo do ano, variando apenas as vazões lançadas.

Enquanto o indicador 1 apresentou o comprometimento individual do usuário, os indicadores 2 e 3 permitiram avaliar de forma integrada os impactos da captação a montante e do lançamento de efluente. Isto foi possível devido à operacionalização do conceito de vazão de diluição, proposto inicialmente por (KELMAN, 1997). Com as vazões de diluição mensais, foi possível mensurar o impacto da fonte poluidora em termos de quantidade de água, integrando as análises de quantidade e qualidade.

Interpretando os resultados da análise técnica do lançamento de efluente, no mês de janeiro, o indicador 1 mostrou que a vazão de diluição representou 3% da vazão de referência na seção do manancial; o indicador 2 apontou que a vazão indisponibilizada pelo lançamento correspondeu a 3,4% da vazão remanescente após a captação a montante; e o indicador 3, que acumula todas as intervenções, expôs que a vazão captada a montante mais a vazão indisponibilizada pelo efluente representaram 11,3% da vazão de referência na seção do lançamento.

Após ativada, a outorga do lançamento atualizou as vazões remanescentes na trajetória do escoamento até a foz da bacia hidrográfica. Este balanço hídrico mensal considerou além da soma das vazões lançadas com as vazões de diluição (vazões indisponíveis), os efeitos da autodepuração sobre as mesmas. O decaimento observado nas vazões indisponibilizadas é apresentado na Figura 5.78.

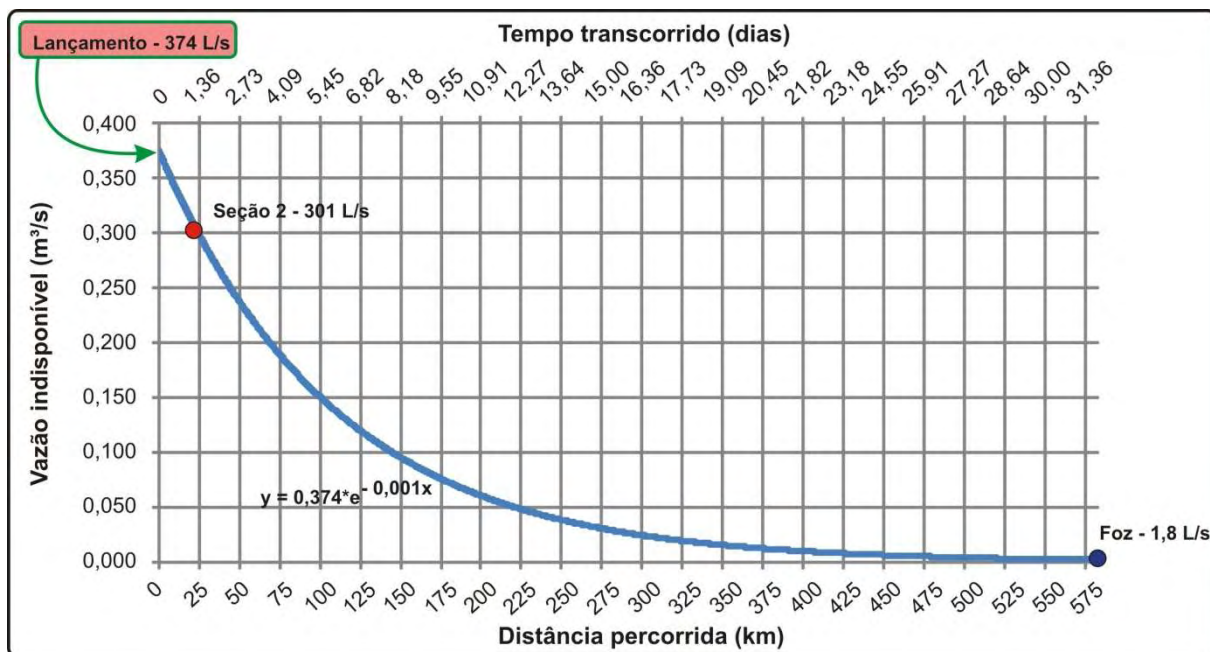


Figura 5.78. Decaimento da vazão indisponibilizada pelo balanço hídrico quantitativo.

O gráfico da figura 5.78 foi elaborado com resultados reais do balanço hídrico após a ativação da outorga para o lançamento de efluente. A vazão indisponibilizada diminui de 374 L s^{-1} na seção do lançamento, para $1,8 \text{ L s}^{-1}$ na foz da bacia hidrográfica, após 31 dias e 575 km à jusante. O ajuste perfeito ao modelo exponencial já era esperado, uma vez que as variáveis de qualidade, utilizadas como parâmetros na equação de decaimento da carga de DBO (Equação 12) e na equação de decaimento da vazão indisponível (Equação 14), não variam na base de dados hidrológicos para a bacia do rio Doce, devido à indisponibilidade das informações espacializadas.

Logo, com a temperatura e a classe de enquadramento constantes ao longo da hidrografia e devido à consideração de uma velocidade de escoamento permanente, o índice de desoxigenação K_1 é igual a 0,214, o tempo de deslocamento entre os pontos da hidrografia é de 0,006 dias e a função de decaimento foi simplificada conforme a Equação 17. Assim, a cada ponto da hidrografia a vazão indisponível diminui 0,1%.

$$Y = Q_{\text{indisp}_1} \times e^{-0,001X} \quad (17)$$

onde: Y equivale à vazão indisponibilizada em uma seção qualquer, Q_{indisp} é a vazão indisponível na seção do lançamento do efluente ($Q_{\text{dilui}} + Q_{\text{eflu}}$), 0,001 é a taxa de decaimento simplificada (0,1%) e X é a ordem do ponto na seção qualquer.

A avaliação do sistema finalizou com o cadastramento, avaliação e ativação das outorgas para captação superficial concedidas pelo IGAM e pela ANA até 2009. A avaliação das outorgas para lançamento e daquelas concedidas pelo IEMA dependem da disponibilização das informações pelos órgãos gestores, mas como o sistema encontra-se disponível na internet, os próprios agentes gestores poderão cadastrar as outorgas dos respectivos domínios de gestão. Ressalta-se que para a ativação das outorgas os usuários precisam da permissão de gestor. Os agentes interessados podem solicitar permissão de acesso enviando uma mensagem ao administrador do sistema, pelo endereço: marxfel@gmail.com.

Algumas observações sobre o banco de outorgas disponibilizado pelo IGAM são importantes por confirmarem as vantagens de um sistema de controle baseado em um banco de dados geográfico, modelado especificamente para a gestão dos usos múltiplos da água. O banco de dados em formato de planilha eletrônica pode facilitar as consultas por usuários menos experientes, mas sem dúvida não é a forma mais apropriada para se armazenar grandes volumes de informação, que possuem a localização geográfica como atributo. A estrutura hidrorreferenciada composta por classes geográficas e relacionamentos com tabelas hidrológicas e administrativas é muito mais eficiente para subsidiar as análises e o controle dos processos de outorga.

A quantidade e a variedade dos tipos de inconsistências identificadas na base de informações disponibilizada pelo IGAM indicaram a necessidade de uma investigação minuciosa para verificar a causa das inconsistências e sintetizar os resultados em um relatório específico, para informar a entidade sobre os tipos de problemas encontrados. São exemplos das inconsistências encontradas:

- ☐ Outorgas para captação sem vazões demandadas (cerca de 10% do banco);
- ☐ Vazões demandadas espúrias (de 5 até 540.000 m³s⁻¹) ou incoerentes com o afluente onde o empreendimento realiza a captação;
- ☐ Identificação de sub-bacias e cursos d'água que não coincidem com a localização geográfica da intervenção;
- ☐ Falta de padronização na nomenclatura das finalidades da captação (abastecimento público - consumo humano; indústria - consumo industrial);
- ☐ Registros de outorga repetidos no banco de dados;
- ☐ Outorgas registradas com vazões inferiores à 1L s⁻¹ (insignificantes); e
- ☐ Erros de digitação nas vazões mensais demandadas.

Ao todo, foram registradas, analisadas e ativadas 204 outorgas para captação superficial em Minas Gerais (IGAM) e 91 na calha principal do rio Doce (ANA). Vale ressaltar que o número dos processos e os dados dos usuários, responsáveis técnicos e empreendimentos foram substituídos por variáveis comuns para evitar a divulgação de informações sem a devida autorização.

É importante ressaltar que existe uma informação referente à extensão da dominialidade da ANA na bacia do rio Doce. Segundo esta informação, a ANA estaria responsável pelas outorgas no rio Doce e também no Piranga, a jusante da confluência com o rio Xopotó. No entanto, pela ausência de um material de referência que atestasse tal informação, utilizou-se as áreas de abrangência das outorgas concedidas pelo IGAM e pela ANA, para atestar a dominialidade estadual em toda a extensão do rio Piranga. Ressalta-se, que se vier a ser confirmada a dominialidade da ANA, uma pequena alteração no BD seria suficiente para ajustar o sistema à conjuntura atual do instrumento de outorga na bacia do rio Doce.

Merece destaque a facilidade e a rapidez com que as outorgas foram processadas pelo sistema. Em cerca de 4 horas, todas as 295 outorgas foram cadastradas, analisadas e ativadas para atualização em tempo real da disponibilidade hídrica a jusante. Utilizando as funções do SIGWeb, as outorgas foram hidrorreferenciadas no momento da solicitação, se conectando automaticamente às informações da base hidrológica e aos demais usuários da bacia hidrográfica.

Durante a ativação das outorgas foi essencial a visualização, em tempo real, da situação dos processos de outorga. Assim, o gestor pode facilmente identificar quais as outorgas carecem de análise técnica. A versatilidade do modelo de banco de dados traz vantagens operacionais como essa. Variações da simbologia podem indicar as finalidades de uso, o órgão gestor responsável pela outorga ou os processos com prazo de validade próximo do fim. A Figura 5.79 exemplifica as simbologias adotadas e a Figura 5.80 ilustra o SIGWeb AQUORA com as outorgas ativadas.

<u>Captações superficiais</u>		<u>Lançamento de efluentes</u>	
	Recém cadastradas - sem cronologia de uso		Recém cadastradas - sem cronologia de uso
	Em análise - aguardando parecer do gestor		Em análise - aguardando parecer do gestor
	Ativa - participando do balanço hídrico		Ativa - participando do balanço hídrico

Figura 5.79. Classes de simbologia de acordo com a situação dos processos.

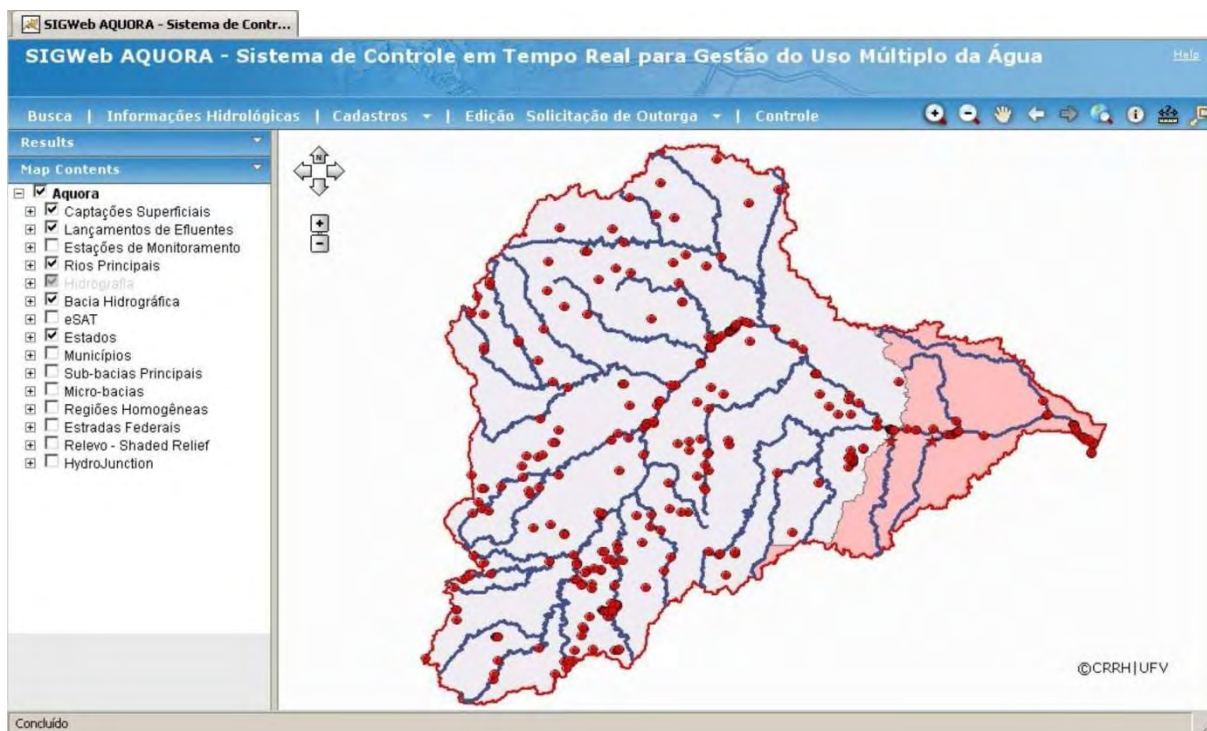


Figura 5.80. SIGWeb AQUORA com as outorgas para captações superficiais ativadas.

Analisando os indicadores de comprometimento do usuário, concluiu-se que cerca de 30% das outorgas concedidas pelo IGAM referem-se à captação de vazões superiores ao limite outorgável “inicial” nos cursos d’água (30% da $Q_{7,10}$). Vale destacar que o IGAM adota outra metodologia para estimar a $Q_{7,10}$ e que, por isso, o resultado pode não indicar violação da legislação estadual. Mas é um resultado muito importante e que pôde ser facilmente identificado pelos indicadores de análise dos impactos. Com a divulgação das informações na internet, até mesmo os requerentes poderiam ter identificado que as vazões solicitadas são maiores que as disponíveis para outorga. Apesar da possibilidade de variar as demandas mensais das captações, apenas dois usuários declararam vazões diferentes entre os meses do ano.

Embora as estimativas de vazão sejam o resultado de métodos cientificamente comprovados e sob um rigoroso controle de qualidade, é possível que em rios sem monitoramento e com áreas de drenagem pequenas, a base de informações hidrológicas apresente vazões diferentes da realidade do manancial. Por esta razão, o sistema não restringe a outorga com base na violação dos critérios de outorga na seção, apenas informa a situação ao gestor, que fica responsável pela decisão. Para efeito da simulação, todas as outorgas foram ativadas, implicando reduções na disponibilidade hídrica a jusante. Vale ressaltar que o indicador de conflito a jusante (Vazão Permitida) não foi avaliado, pois depende da ordem de análise dos processos.

Durante a solicitação das outorgas no domínio de Minas Gerais, quando foram avaliados os comprometimentos mensais cruzando as demandas para captação com as vazões outorgáveis sazonais, novamente foram apuradas situações em que a vazão de referência no período seco era maior do que a estimada para o período normal. Foram poucas ocorrências, mas é importante discutir a causa do problema para aperfeiçoar a pesquisa e a construção de bases de dados hidrológicos no futuro.

Os cursos d'água onde a flexibilidade sazonal não foi atendida estão presentes na sub-bacia do rio Carmo e estas situações ocorreram, como já mencionado, devido à regionalização independente das vazões mínimas dos períodos seco, normal e chuvoso, que resultaram em equações de regressão com comportamento próprio, específicas para a melhor estimativa de determinada vazão sazonal.

A solução que se propõe é flexibilizar os critérios de outorga de outra maneira, também com base na variação da disponibilidade hídrica entre os períodos chuvoso, normal e seco. A alternativa, mais simples e eficiente que a regionalização das vazões sazonais, seria a aplicação de coeficientes sazonais sobre a vazão de referência anual. Estes coeficientes podem ser específicos para cada área de abrangência associada às estações fluviométricas. Este processo exigiria um esforço muito menor, pois haveria necessidade de uma única regionalização hidrológica (período anual), servindo de base à aplicação dos coeficientes para construção dos critérios sazonais.

Da mesma forma que a ativação das demandas estimadas pelo diagnóstico de usos consuntivos implicou o balanço hídrico em tempo real, as outorgas das captações superficiais também atualizaram a disponibilidade hídrica a jusante das intervenções. É claro que após a ativação das demandas estimadas pelo diagnóstico do PIRH-Doce (2009) o banco de informações hidrológicas foi restaurado à sua condição inicial. Este é um processo simples devido ao modelo de banco de dados desenvolvido. Como as vazões de referência estão relacionadas à rede geométrica da hidrografia, que definem o critério de outorga nos cursos d'água, o cálculo das vazões outorgáveis “iniciais” é feito com uma simples operação de atualização no BD.

Diferentemente do balanço hídrico com as demandas estimadas, o balanço hídrico a partir das outorgas concedidas pelo IGAM, até agosto de 2009, representa a situação atual dos recursos hídricos no contexto dos usos consuntivos regularizados. Este balanço hídrico foi possível apenas nas sub-bacias sob domínio de Minas Gerais. A Figura 5.81 apresenta o comprometimento atual das vazões outorgáveis sazonais.

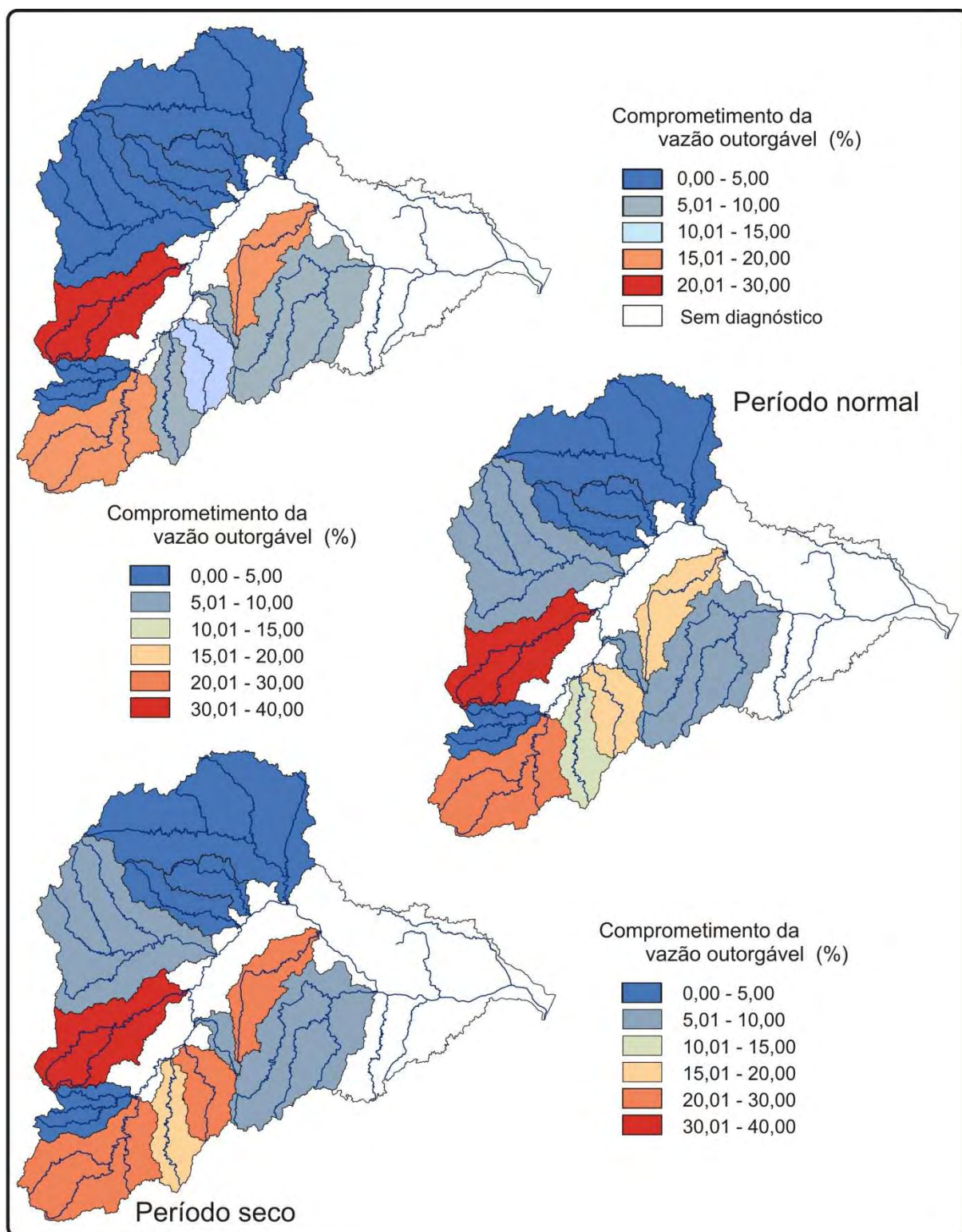


Figura 5.81. Comprometimento da vazão outorgável devido às outorgas concedidas.

Para a melhor compreensão dos resultados dos balanços hídricos, utilizando ora as demandas estimadas ora as outorgas já concedidas no Estado de Minas Gerais, o Quadro 5.19 apresenta ambos os resultados do comprometimento das vazões outorgáveis nas sub-bacias, usando estas duas fontes de usos consuntivos.

Quadro 5.19. Comprometimento da disponibilidade outorgável nas sub-bacias de Minas Gerais utilizando as demandas estimadas no PIRH-Doce e as outorgas concedidas pelo IGAM, até agosto de 2009.

Sub-bacia	Comprometimento PIRH-Doce (%)			Comprometimento IGAM (%)		
	Chuvoso	Normal	Seco	Chuvoso	Normal	Seco
Piranga	8,96	12,10	14,99	17,66	23,88	29,56
Carmo	7,90	12,04	11,88	2,78	4,24	4,18
Casca	14,47	20,21	31,71	8,72	12,19	19,12
Matipó	9,87	15,59	25,37	10,41	15,60	26,77
Rib. Sacramento	--	--	--	5,36	6,01	8,78
Piracicaba	15,76	22,17	22,82	28,33	39,85	41,03
Santo Antônio	3,17	4,31	5,54	4,95	6,74	8,65
Corrente Grande	5,91	7,14	9,72	1,64	1,98	2,70
Suaçuí Pequeno	4,52	6,03	7,89	2,50	3,33	4,36
Suaçuí Grande	12,12	15,96	19,74	2,06	2,71	3,35
Caratinga	41,32	53,84	66,05	15,17	19,76	24,24
Manhuaçu	17,68	21,37	29,63	5,05	6,10	8,46

Analisando o quadro 5.19 verifica-se que o diagnóstico dos usos consuntivos do PIRH-Doce (2009) subestimou as vazões demandadas nas sub-bacias dos rios Piranga, Matipó, Piracicaba e Santo Antônio. Este resultado é preocupante, uma vez que o plano de recursos hídricos deveria refletir o cenário de desenvolvimento da bacia a fim de nortear o planejamento das atividades de gestão e controle. É claro que o pronto acesso ao balanço hídrico a partir das outorgas ativadas no AQUORA foi fundamental para esse comparativo. Sem o banco de dados integrando as informações hidrológicas e administrativas à rede de drenagem, e sem o sistema de controle para atualizar a disponibilidade hídrica, em tempo real, seria muito difícil atingir este conhecimento a partir das informações dos processos de outorga.

A diferença entre as demandas estimadas pelo diagnóstico do PIRH e as vazões atualmente imobilizadas pelas outorgas de captação superficial atinge quase 100% na sub-bacia do rio Piranga e 80 e 56% nas sub-bacias dos rios Piracicaba e Santo Antônio, respectivamente. Por outro lado, as vazões outorgadas na sub-bacia do rio Suaçuí Grande representam apenas 17% das demandas estimadas pelo PIRH. No ribeirão Sacramento o PIRH não diagnosticou o comprometimento das vazões.

O Quadro 5.20 apresenta o comparativo das demandas estimadas pelo diagnóstico do plano de bacia e as demandas totais a partir das outorgas concedidas.

Quadro 5.20. Comparativo entre as vazões de captação estimadas pelo PIRH-Doce e informadas pelas outorgas vigentes do IGAM até agosto de 2009

Sub-bacia	Demandas PIRH-Doce (m ³ s ⁻¹)	Demandas Outorgas IGAM (m ³ s ⁻¹)	Saldo (m ³ s ⁻¹)	% demandas outorgadas
Piranga	1,363	2,698	-1,335	197,95
Carmo	0,549	0,194	0,355	35,26
Casca	0,639	0,385	0,254	60,31
Matipó	0,403	0,426	-0,023	105,61
Piracicaba	1,903	3,421	-1,518	179,78
Santo Antônio	0,643	1,045	-0,362	156,22
Corrente Grande	0,260	0,072	0,188	27,77
Suaçuí Pequeno	0,154	0,085	0,069	55,19
Suaçuí Grande	1,324	0,225	1,099	16,99
Caratinga	1,066	0,391	0,675	36,71
Manhuaçu	1,992	0,569	1,423	28,56

Como a ativação das outorgas do IGAM, da ANA e das demandas estimadas nos afluentes do ES atualizou a disponibilidade hídrica a jusante, foi possível verificar a demanda total na bacia hidrográfica a partir da consulta na foz do rio Doce. Ativados todos os usos consuntivos, outorgados pela ANA e pelo IGAM e estimados no ES, verificou-se que na foz da bacia do rio Doce as captações a montante representam cerca de 20% das vazões outorgáveis no período seco, 14% no período normal e 10% no período chuvoso. O Quadro 5.21 apresenta o resumo das vazões demandadas na bacia hidrográfica, já o Quadro 5.22 apresenta as vazões outorgáveis e o comprometimento da disponibilidade hídrica na foz do rio Doce.

Quadro 5.21. Resumo das vazões demandadas (outorgadas e estimadas) na bacia hidrográfica do rio Doce

	Sub-bacias MG	Sub-bacias ES	Bacia incremental e calha do rio Doce
Vazão (m ³ s ⁻¹)	9,521	3,992	21,155
%	27,46	11,51	61,02

Quadro 5.22. Resumo das vazões demandadas (outorgadas e estimadas) consultadas na foz na bacia hidrográfica do rio Doce

	Chuvoso	Normal	Seco
Vazões outorgáveis 70% Q_{95} (m^3s^{-1})	345,329	243,114	205,049
Vazões demandadas (m^3s^{-1})	34,669	34,646	34,668
Comprometimento hídrico (%)	10,04	14,25	16,91

Ressalta-se que da mesma forma que o comprometimento na foz da bacia não representa o comprometimento nas sub-bacias, o comprometimento nas sub-bacias não representa o comprometimento individual nos cursos d'água. Por isso é essencial que o banco de dados de outorga esteja integrado a um banco de dados geográfico carregado com informações hidrológicas sobre toda a hidrografia. Assim as análises técnicas realizadas na seção da intervenção são capazes de considerar todos os usuários já estabelecidos na bacia, a montante e jusante. Com o balanço hídrico em tempo real, a qualquer momento o gestor pode consultar o comprometimento hídrico em determinada seção, rio, microbacia ou sub-bacia.

Além dos resultados produzidos pela aplicação na internet (SIGWeb), o AQUORA permite muitos outros diagnósticos dos recursos hídricos por meio do banco de dados unificado, armazenado em um sistema gerenciador de banco de dados.

É importante salientar que o desenvolvimento do sistema de controle não substitui o trabalho de profissionais especialistas, pois embora a utilização e o consumo da informação visem o conhecimento, a informação em si não é conhecimento. É condição necessária, mas não suficiente à obtenção do conhecimento, podendo ser considerada conhecimento potencial.

Portanto, apesar do conhecimento técnico aplicado no desenvolvimento das rotinas de análise das captações e lançamentos de efluentes, sempre haverá a necessidade de um especialista intermediando a transformação da informação em conhecimento e responsabilizando-se pela tomada de decisão. Nesse contexto, o SIGWeb AQUORA, embora incorpore regras para análise e atualização das informações, objetiva dar suporte e executar as decisões tomadas pelo gestor, que na concepção realista, sempre será um ser humano.

6. CONCLUSÕES

Analizando as metodologias utilizadas, os resultados obtidos e as discussões apresentadas, chegou-se às seguintes conclusões:

A construção da base de informações geográficas criou a estrutura necessária ao desenvolvimento do sistema. Além das características físicas e pluviométricas que participaram da regionalização hidrológica, o banco de dados geográfico armazenou os relacionamentos espaciais naturais de uma bacia hidrográfica: as relações entre as áreas de drenagem e segmentos da hidrografia, e principalmente, entre os elementos de montante e jusante, capitais nas análises técnicas e no balanço hídrico consuntivo.

A metodologia proposta para a identificação dos períodos sazonais agrupou os meses em períodos chuvoso, normal e seco, flexibilizando os critérios de outorga com base nas tendências de comportamento das vazões mínimas de referência.

A técnica proposta para ajustar as vazões estimadas pela regionalização hidrológica com base nas vazões observadas aumentou a precisão das estimativas nas áreas de influência do monitoramento das vazões.

O modelo de banco de dados unificado possibilitou o armazenamento das informações geográficas, hidrológicas e administrativas afetas ao instrumento de outorga; permitiu o uso de geoprocessamento para gerar conhecimento a partir das informações disponíveis; realizou a gestão administrativa dos processos de outorga e ainda serviu de base para a aplicação de controle através da internet.

O SIGWeb AQUORA além de funcionar como portal espacial divulgando informações hidrológicas a toda a sociedade, automatizou as principais funções necessárias para a gestão dos usos múltiplos da água.

Em relação à análise de lançamentos de efluentes, a modelagem utilizada foi simplificada, contudo a escassez de dados do monitoramento qualitativo dos rios dificultou o uso de modelos mais complexos, que demandam mais parâmetros. A modelagem com base no conceito da vazão de diluição atende os objetivos da outorga e das políticas de recursos hídricos, além disso, dispensou a necessidade de processamentos complexos que poderiam inviabilizar a aplicação na internet.

O cadastramento e ativação das outorgas concedidas na bacia do rio Doce comprovaram a eficiência da integração SIG e TI, a facilidade de uso das funções do sistema, a interface amigável e, principalmente, a relevância dos indicadores de comprometimento da disponibilidade hídrica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRA, S.G. **Enfoque ecossistêmico aplicado à gestão dos recursos hídricos**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília-DF, abril de 2009.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Bases de dados georreferenciadas: ottobacias**. Biblioteca virtual. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: janeiro de 2010.
- _____. **A ANA na gestão das águas: tecnologia e capacitação**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/TecnologiaCapacitacao/default2.asp>>. Acesso em: 5 jul. 2009a.
- _____. **Sistema de apoio à decisão para outorga**. Superintendência de Outorga e Fiscalização. Curso hidrologia aplicada à outorga. Brasília - DF. 2009b.
- _____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília - DF. 2009c.
- _____. **Manual de construção da base hidrográfica ottocodificada da ANA**. Fase I - Construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter. Brasília - DF, 2008.
- _____. **GEO Brasil: recursos hídricos**: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007a. 264 p.

- _____. **Visão geral sobre o SNIRH e processos geoespaciais relacionados.** Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Brasília – DF, 24p. 2007b.
- _____. **Estudo Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Operacionalização e Integração com a Base de Dados da ANA.** PROÁGUA Nacional. Solicitação de Propostas N°03/2007. 2007c.
- _____. **Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada ao Milionésimo.** In: XVII SBRH, São Paulo. ANAIS CD-ROM. 2007d.
- _____. **Diagnóstico da outorga de direito de uso dos recursos hídricos no País: diretrizes e prioridades.** Superintendência de outorga e cobrança. Brasília - DF, maio de 2005a.
- _____. **Diretrizes para análise e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos para fins de lançamento de efluentes.** Resolução nº 219, de 6 de junho de 2005b.
- ARCTUR D., ZEILER M. **Stream and river networks.** In: Designing geodatabases: case studies in GIS data modeling. ESRI Press. Redlands - California, 2004.
- AZEVEDO, L. G. T. et al. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil.** In: AZEVEDO, L. G. T; MEJIA, A (Coord). Série Água Brasil. Brasília: Banco Mundial, 2003. 48p.
- BRASIL, Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.
- AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- CÂMARA, G., CASANOVA, M., HEMERLY, A., MAGALHÃES, G., MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.
- CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da $Q_{7,10}$ para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CBH-Doce – Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Doce. **A bacia do rio doce: caracterização da bacia**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/cbhriodoce/bacia/caracterizacao.asp>. Acesso em: 2 out. 2005.
- CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.
- CHAVES, M. de A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Estabelece diretrizes para a implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Resolução CNRH nº 13, de 25 de setembro de 2000.
- COLLISCHONN B., LOPES A. V. **Sistema de apoio à decisão para análise de outorga na bacia do rio Paraná**. In: ANAIS XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande - MS, 2009.
- COLLISCHONN, W. **Em busca do hidrograma ecológico**. In: ANAIS, XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB, 2005.
- DANGERMOND J. Preface In: **Spatial Portals: gateways to geographic information**. ESRI Press. First edition. Redlands, California, 2005.
- DOW C. H. **Teoria de Dow**. Material não publicado. 1884.
- ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.

- _____. **Manual de minicentrals hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78 p.
- FAO - **Food and Agriculture Organization**. Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century. UN-Water, FAO. 2007.
- FERREIRA, K. R., PAIVA, J. A. C., CÂMARA, G. **Interface para Operações Espaciais em Banco de Dados Geográficos**. INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 2003.
- FOINA P. R. **Tecnologia de informação: planejamento e gestão**. Atlas. 2ª edição, São Paulo-SP, 2006.
- GARBRECHT J., MARTZ L. W. **Assessing the performance of automated watershed segmentation from Digital Elevation Models**. In: GIS for water resources and watershed management. CRC Press. Boca Raton, Florida, 2003.
- GARCIA R. L., TUCCI C. E. M. Simulação da qualidade da água em rios em regime não-permanente: rio dos Sinos. Recursos Hídricos: Lisboa, vol. 21, nº 2, 2000. p. 17-26
- GEOSNIC - **Portal Espacial do Sistema Nacional de Informações das Cidades**. Ministério das Cidades. Disponível em: <http://geosnic.cidades.gov.br>. Acesso em: abril 2009.
- GUSTARD, A., YOUNG, A.E., REES, G., HOLMES, M., **Low flows, drought and operational hydrology**. In: Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater Developments in Water Science, vol. 48. Elsevier, NL. 2004.
- GWP - Global Water Partnership. **Integrated Water Resources Management**. Technical Advisory Committee (TAC), Stockholm, Sweden, 2003.
- HELLWEGER, F. **AGREE - DEM Surface Reconditioning System**. University of Texas, Austin, 1997. Disponível em: <<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/GIS/HYDRO/ferdi/research/agree/agree.html>>. Acesso em: 8 nov. 2006.

- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis: an approach based on L-Moments**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1997. 224 p.
- HONEYCUTT D. **Hydro networks**. In: Arc Hydro - GIS for water resources. ESRI Press. Redlands - California. First edition, 2002.
- IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Critérios técnicos referentes à outorga para diluição de efluentes em corpos de água superficiais do domínio do Estado do Espírito Santo**. Instrução normativa nº 007 de 21 de junho de 2006.
- IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Procedimentos gerais de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga para o lançamento de efluentes em corpos de água superficiais no domínio do Estado de Minas Gerais**. Deliberação normativa CERH nº 24, de 27 de outubro de 2008.
- JUNIOR J. C. F. M., SEDIYAMA G. C., FERREIRA P. A., LEAL B. G., MINUSI R. B. **Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol 10, nº 2, abril/junho, 2006.
- KELMAN, J. **Gerenciamento de Recursos Hídricos: Outorga e Cobrança**. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória – ES. 1997.
- KENN, P. G. W. **Guia Gerencial para a tecnologia da informação: Conceitos essenciais e terminologia para empresas e gerentes**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.
- LEMOS, A. F. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco, à montante do reservatório de Três Marias**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LIMA, G.; MAUAD, F. F.; JENSEN, R. A. **“Riverhelp!” Sistema de suporte a decisões para planejamento e gerenciamento integrado de recursos hídricos**. IN: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Florianópolis –SC, 2007. 20p.

- LYON J. G. **GIS for water resources and watershed management**. CRC Press. Boca Raton, Florida, 2003.
- MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 9. ed., rev., atual. e ampl. São Paulo: Malheiros, 2001.
- MAIDMENT D. R. **Arc Hydro: GIS for water resources**. ESRI Press. Redlands-California. First edition. 2002.
- MAIDMENT D. R., DJOKIC D. **Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems**. ESRI Press. Redlands, California. 2000.
- MARQUES F., SILVA D., RAMOS M., PRUSKI F. **Sistema multi-usuário para gestão de recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 14, Nº 4, 2009, p 51-69.
- MARQUES F. **Avaliação da demanda por infra-estrutura: hardware, software e pessoal**. Relatório de implantação do Centro de Inteligência Geográfica da Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Tocantins. Agosto, 2009.
- MARQUES F., SILVA D., RAMOS M., PRUSKI F. **Regionalização e espacialização de vazões mínimas trimestrais na bacia do rio Doce**. In: ANAIS do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP, 2007.
- MARQUES, F. A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MASSER I. **Spatial Portals: gateways to geographic information**. 1st edition, ESRI Press, Redlands, California. 2005.
- MAUAD, F. F., ALBERTIN, L. L. **Gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Sapucaí-Mirim/Grande: aplicação de simulação computacional**. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR, 2003.
- MENESES, P. R., GALVÃO, W. S. **Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas**. INPE. In: XII SBSR, Goiania. Anais. 2511-2518. 2005.

- MIRANDA, G. X. et al. **Sistema de informações sobre recursos hídricos do estado de Santa Catarina – SIRHESC**. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis-SC, 2007.
- MOORE, I. D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R. **Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications**. Hydrol. Processes, 5, 3-30. 1991.
- MOREHOUSE S. **Creating and documenting a generic geographic data model**. Preface In: Arc Hydro: GIS for water resources. ESRI Press. Redlands - California, first edition, 2002
- MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília - DF, MMA, 2006.
- _____. **SISAGUA, Sistemas de apoio ao gerenciamento de usuários de água**. Brasília – DF, dezembro de 2000.
- MURRAY, C. **Oracle Spatial User's Guide Reference**. 10g Release 1. Redwood City, Oracle Corporation. 2003.
- NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- OGC, **Open Geospatial Consortium**. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org>>. Último acesso em: ago., 2008.
- OLIVEIRA F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do rio Grande**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- OLIVERA F., et al. **Drainage systems**. In: Arc Hydro - GIS for water resources. ESRI Press. Redlands - California. First edition, 2002.

- PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação**. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989. 19 p. Trabalho não publicado.
- PIRH-Doce – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce. Disponível em <<http://www.pirhdoce.com.br/>>. Acesso em: setembro de 2009.
- POMPEU, C. T. **Águas doces no direito brasileiro. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. REBOUÇAS, A. da C. et al. Organização e coordenação científica de Instituto de Estudos Avançados da USP e Academia Brasileira de Ciências. São Paulo, 1999.
- PostGIS. **PostGIS Manual**. Disponível em: <<http://postgis.refractory.net/docs/postgis.pdf>>. Último acesso em: ago., 2008.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Relatório do Desenvolvimento Humano. **A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. Brasília, novembro de 2006, p. 51.52.
- REZENDE T. A. **Evolução da Tecnologia da Informação nos Últimos 45 Anos**. Revista FAE Business, nº 4, dezembro de 2002.
- RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. **Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce**. Engenharia na agricultura. Viçosa – MG, v.13, n. 2, p. 103-107, abr., 2005.
- RIBEIRO M. M. R., LANNA A. E. L. **A outorga integrada das vazões de captação e diluição**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, volume 8, nº 3, setembro, 2003. PP 151-168.
- RODRIGUES, R. B.; SILVA, L. M. C. **ALOC Server – Sistema de alocação de carga e de vazão de diluição para os processos de enquadramento, outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis -SC, 2007. 20p.
- SEMA/MT, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Elaboração de Ferramenta Computacional para Implantação e Operacionalização das Atividades de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos**. Cuiabá - MT, 2007.

- SERLA - Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. **Implementação do sistema estadual de informações de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Tomada de preços Nº. 13. /2007.
- SALIM F. P. C., ROQUES T. V. P., SOUZA W. G. **Definição de critérios técnicos de análise de outorga para diluição de efluentes em cursos d'água: o caso do Estado do Espírito Santo**. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo - SP. 2007.
- SELWOOD J. R., TANG W. **Spatial Portals: gateways to geographic information**. ESRI Press. First edition. Redlands, California, 2005.
- SIGRH – Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos de São Paulo. **Manual do usuário**. São Paulo, SP: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, 2004. 47 p.
- SILVA D. D., MARQUES F. A., LEMOS A. F. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para abacia do rio São Francisco**. Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG. vol. 17, nº5, setembro/outubro 2009. p. 392-403.
- SILVA JÚNIOR, O. B., BUENO, E. O., TUCCI, C. E. M., CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2002. p. 21-37.
- SILVA L. M. C., MONTEIRO R. A. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos: uma das possíveis abordagens**. Documento da Superintendência de Outorga e Cobrança da ANA. Material não publicado. 2009.
- SMAKHTIN, V.U. **Low flow hydrology: a review**. Journal of Hydrology. Nº 240, p. 147-186. 2001.
- SILVA, D. D., RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. MMA-SRH-ABEAS-UFV. Brasília-DF. 2001.
- SOUSA F. M. L., NETO V. S. C., PACHECO W. E. BARBOSA S. A. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: sistematização conceitual e modelagem funcional**. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Campo Grande - MS, 2009.

- SRHMA-TO - Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins. **Elaboração de um sistema computacional para gerenciamento dos processos de outorga de direito de uso dos recursos hídricos no Estado do Tocantins**. Solicitação de propostas N° 004/GOP-SRHMA, TO, 2009.
- SRH/MMA – Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente. **Estágio atual da política nacional**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/index.cfm>>. Acesso em: 10 jul. 2006.
- TANAKA, A. K. **Bancos de Dados Espaciais**. Departamento de Informática Aplicada – UNIRIO. 2007.
- TARQUI, J. L. Z., SILVA, E. A. **Descentralização e participação na gestão de recursos hídricos**. In: Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiânia-GO, 2004.
- THEOBALD, D. M. **Understanding Topology and Shapefiles**. ESRI: ArcUser 2001. Disponível em: <<http://www.esri.com/news/arcuser/0401/topo.html>> Acessado em: 25 jul. 2006.
- THOMAS, P. **A cobrança pelo uso da água nas bacias PCJ**. In: Revista ABRH – Notícias, Edição comemorativa do dia mundial da água, N°10, março, 2006.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão estratégica em recursos hídricos: evolução dos recursos hídricos**. In: Revista ABRH – Notícias, Edição comemorativa do dia mundial da água, N°10, mar. 2006.
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.
- TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., NETTO, O. M. C. **Cenário da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão mundial da água”**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.
- UCHOA, H. N., FERREIRA, P. R. **Geoprocessamento com software livre**. Versão 1.0. Disponível em <<http://www.geolivres.org.br>>. Acesso em: maio de 2008.
- UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Regionalização de vazões para a sub-bacia 56**. UFRRJ, 2001. 124p.

- UN - United Nations. United Nations **Millennium Declaration**. Resolution adopted by the General Assembly. 8th plenary meeting. Setembro de 2000.
- UNEP - The United Nations Environment Programme, IETC - International Environmental Technology Centre. **Integrated Watershed Management**. 2004.
- UNESCO IHP, International Hydrological Program V: **Hydrology and water resources development in a vulnerable environment**. Detailed plan of the 5th phase (1996-2001) of the IHP. Paris, 54 pp. 1996.
- VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para América do Sul**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004.
- VOGT I. **GIS for water resources management in Europe**. 1st edition, ESRI Press, Redlands, California, 2004.
- W3C, **World Wide Web Consortium**. Disponível em: <<http://www.w3.org/>>. Último acesso em: ago., 2008.
- WARNER G. S., MARTINÓ A. R. G., SCATENA F. N., CIVCO D. L. **Watershed characterization by GIS for low flow prediction**. In: GIS for water resources and watershed management. CRC Press. Boca Raton, Florida, 2003.
- WIKIPÉDIA - A enciclopédia livre. **Tecnologia da informação**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Tecnologia_da_informação> Acesso em: fev., 2010.
- ZAMPROGNO D. P. et al. **Desenvolvimento de sistema para suporte a gestão participativa de recursos hídricos**. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa - PB, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A. Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais pelos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	- 70% da Q_{95} podendo variar em função das peculiaridades da região. - 20% para cada usuário individual	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério.	1,0 L/s	Resolução ANA 542/2004
INGÁ-BA	- 80% da Q_{90} - 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual 6.296/97
COGERH-CE	- 90% da Q_{90reg}	Decreto Estadual nº 23.067/94	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23.067/94
SEMARH-GO	- 70% da Q_{95}	Não possui legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	- 30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. - Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99.	1,0 L/s e acumulação de 5000 m³ para a maior parte do Estado e 0,5 L/s e 3000 m³ para as regiões de escassez (águas superficiais). 10,0m³/dia (águas subterrâneas), exceto poços tubulares.	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AESA-PB	- 90% da Q_{90reg} . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual 19.260/1997	2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	- 50% da Q_{95}	Decreto Estadual 4646/2001	1,0 m³/h (0,3 L/s)	
CPRH-PE	- Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica.	0,5 L/s ou 43 m³/dia (águas superficiais) 5,0m³/dia (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	- 80% da Q_{95} (Rios) - 80% da Q_{90reg} (Açudes)	Não existe legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGARN - RN	- 90% da Q_{90reg}	Decreto Estadual Nº 13.283/97	1,0 m³/h (0,3 L/s)	Decreto Estadual Nº 13.283/97
SEMA-RS	- Não está definido	-	Media mensal até 2,0m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 42047/2002

Continua...

Quadro 1A. Continuação

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
DAEE-SP	- 50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$.	Não existe legislação específica.	5,0 m³/dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC - SE	- 100% da Q_{90} - 30% da Q_{90} para cada usuário individual	Não existe legislação específica	2,5 m³/h (0,69 L/s)	Resolução N° 01/2001
NATURATINS - TO	- 75% Q_{90} por bacia. - Individualmente o máximo é 25% da Q_{90} . - Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Decreto estadual já aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos	0,25L/s ou 21,60m³/dia. A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0L/s ou 21,60m³/dia	Portaria NATURATINS n° 118/2002
IEMA-ES	- Somatório das vazões outorgadas fica limitado a 50% da $Q_{7,10}$ para rios perenes e da Q_{90} para rios intermitentes - A jusante de cada uso ou interferência, deverá ser garantido fluxo residual mínimo de 50% da vazão de referência. - Nenhum usuário receberá outorga superior a 25% da vazão de referência	Instrução Normativa N° 019 - IEMA, de 04 de outubro de 2005	As derivações e captações em corpos de águas superficiais, por usuário em um mesmo corpo de água, cujas vazões captadas sejam iguais ou inferiores a 1,5 L/s, limitadas a um volume máximo diário de 43.200L;	Erro! A referência de hiperlink não é válida.
INEA - RJ	- 50% da $Q_{7,10}$	PORTARIA SERLA N° 567, de 07 de maio de 2007	- Captações de águas superficiais com vazão inferior a 0,4 L/s e volume máximo diário de 34.560L;	PORTARIA SERLA N° 567, de 07 de maio de 2007

Fonte: Adaptado de ANA (2005a).

APÊNDICE B

Quadro 1B. Identificação das estações pluviométricas utilizadas na construção da base hidrológica da bacia do rio Doce

Código	Estação	Altitude (m)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
01742017	Malacacheta		-17,8456	-42,0756
01742019	Água Boa	600	-17,9922	-42,3939
01840000	Águia Branca	180	-18,9856	-40,7461
01841001	Vila Matias - Montante	174	-18,5747	-41,9178
01841003	Campanário	240	-18,2386	-41,7486
01841011	Tumiritinga	135	-18,9764	-41,6403
01841019	Divino das Laranjeiras	535	-18,7772	-41,4819
01841020	Governador Valadares	150	-18,8800	-41,9508
01842004	São Pedro do Suaçuí	498	-18,3583	-42,5956
01842005	Coroaci	530	-18,6119	-42,2786
01842007	Guanhães	808	-18,7722	-42,9311
01842008	Santa Maria do Suaçuí	420	-18,2011	-42,4553
01842020	São João Evangelista	532	-18,5528	-42,7642
01842021	Porto Santa Rita	255	-18,9503	-42,3567
01843011	Serro	940	-18,5928	-43,4125
01843012	Rio Vermelho	720	-18,2797	-43,0006
01939002	Povoação	3	-19,5775	-39,7944
01940000	Itarana	165	-19,8744	-40,8744
01940001	São João de Petrópolis	149	-19,8053	-40,6789
01940005	Cavalinho	50	-19,6922	-40,3981
01940006	Colatina	40	-19,5308	-40,6231
01940009	Pancas	135	-19,2203	-40,8533
01940012	Itaimbé	70	-19,6636	-40,8353
01940013	Novo Brasil	170	-19,2375	-40,5914
01940016	Barra de São Gabriel		-19,0578	-40,5164
01940020	Caldeirão	690	-19,9550	-40,7417
01940022	Jacupemba	50	-19,5886	-40,1981
01940023	Rio Bananal	95	-19,2742	-40,3208
01940025	Serraria	80	-19,2953	-40,5175
01941000	Ipanema	260	-19,7989	-41,7061
01941003	Baixo Guandu	70	-19,5236	-41,0142
01941004	Resplendor Jusante	130	-19,3431	-41,2461
01941005	Barra do Cuiete Jusante		-19,0617	-41,5328
01941006	Assarai Montante	172	-19,5947	-41,4581
01941008	Laranja da Terra	250	-19,9011	-41,0581
01941009	Ibituba	160	-19,6911	-41,0200
01941010	São Sebastião da Encruzilhada	115	-19,4897	-41,1617

Continua...

Quadro 1B. Continuação

Código	Estação	Altitude (m)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
01941011	Santo Antonio do Manhuaçu	290	-19,6783	-41,8361
01941012	Alto Rio Novo	600	-19,0592	-41,0275
01941018	Itanhomi	255	-19,1758	-41,8703
01941019	Mutum		-19,8167	-41,4436
01942002	Bom Jesus do Galho	505	-19,8336	-42,3178
01942006	Vermelho Velho	420	-19,9989	-42,3475
01942008	Dom Cavati	355	-19,3736	-42,1050
01942029	Mario de Carvalho (PCD)	232	-19,5247	-42,6442
01942030	Cenibra		-19,3164	-42,3961
01942032	Naque Velho		-19,1886	-42,4228
01943001	Rio Piracicaba	623	-19,9228	-43,1778
01943002	Conceição do Mato Dentro	675	-19,0167	-43,4442
01943003	Ferros	470	-19,2503	-43,0144
01943007	Santa Bárbara	748	-19,9453	-43,4011
01943008	Santa Maria de Itabira	538	-19,4419	-43,1178
01943025	Morro do Pilar	560	-19,2175	-43,3742
01943027	Usina Peti	1110	-19,8808	-43,3675
02041008	Dores do Manhumirim	458	-20,1081	-41,7283
02041023	Afonso Cláudio Montante	300	-20,0786	-41,1214
02042008	Raul Soares Montante	305	-20,1036	-42,4400
02042010	Abrecampo	532	-20,2989	-42,4781
02042011	Rio Casca	330	-20,2261	-42,6500
02042015	Seriquite	638	-20,7261	-42,9172
02042016	São Miguel do Anta	583	-20,6825	-42,8067
02042017	Matipó	595	-20,2772	-42,3256
02042018	Ponte Nova Jusante	350	-20,3847	-42,9028
02042031	Fazenda Cachoeira D'Antas		-19,9947	-42,6742
02043009	Acaiaca Jusante	423	-20,3625	-43,1439
02043010	Piranga	620	-20,6906	-43,2994
02043011	Fazenda Paraíso	477	-20,3900	-43,1803
02043014	Porto Firme	598	-20,6703	-43,0881
02043025	Usina da Brecha	529	-20,5167	-43,0167
02043026	Braz Pires	632	-20,8475	-43,2419
02043027	Fazenda Ocidente	462	-20,2856	-43,0989
02143003	Desterro do Melo	780	-21,1492	-43,5200

Quadro 2B. Identificação das estações fluviométricas utilizadas na construção da base hidrológica, agrupadas em regiões homogêneas

Código	Estação	Curso D`água	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
56425000	Fazenda Cachoeira D`Antas	Rio Doce	-19,9947	-42,6742
56539000	Cachoeira dos Óculos-Montante	Rio Doce	-19,7769	-42,4764
56719998	Cenibra	Rio Doce	-19,3278	-42,3975
56850000	Governador Valadares (PCD)	Rio Doce	-18,8822	-41,9508
56920000	Tumiritinga	Rio Doce	-18,9711	-41,6392
56948005	Resplendor-Jusante	Rio Doce	-19,3428	-41,2458
56994500	Colatina	Rio Doce	-19,5333	-40,6278
56998000	Linhares	Rio Doce	-19,4075	-40,0639
56028000	Piranga	Rio Piranga	-20,6906	-43,2994
56055000	Braz Pires	Rio Xopotó	-20,8475	-43,2419
56065000	Senador Firmino	Rio Turvo	-20,9117	-43,0972
56075000	Porto Firme	Rio Piranga	-20,6703	-43,0881
56085000	Seriquite	Rio Turvo Sujo	-20,7236	-42,9231
56090000	Fazenda Varginha	Rio Turvo Limpo	-20,7139	-42,9992
56110005	Ponte Nova - Jusante (PCD)	Rio Piranga	-20,3889	-42,9039
56240000	Fazenda Paraíso	Rio Gualaxo Do Sul	-20,3769	-43,1919
56335001	Acaiaca Jusante	Rio do Carmo	-20,3625	-43,1439
56337000	Fazenda Ocidente	Rio Gualaxo do Norte	-20,2856	-43,0989
56385000	São Miguel do Anta	Rio Casca	-20,6836	-42,6725
56415000	Rio Casca	Rio Casca	-20,2261	-42,6500
56460000	Matipó	Rio Matipó	-20,2772	-42,3256
56484998	Raul Soares - Montante	Rio Matipó	-20,1036	-42,4400
56500000	Abre Campo	Rio Santana	-20,2989	-42,4781
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	Rio Matipó	-20,0975	-42,4592
56520000	Vermelho Velho	Ribeirão Vermelho	-19,9989	-42,3486
56570000	Pingo D`água	Ribeirão Sacramento	-19,7086	-42,4456
56610000	Rio Piracicaba	Rio Piracicaba	-19,9317	-43,1731
56640000	Carrapato (Brumal)	Ribeirão Santa Bárbara	-19,9711	-43,4567
56659998	Nova Era IV	Rio Piracicaba	-19,7656	-43,0328
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	Rio Piracicaba	-19,5244	-42,6550
56750000	Conceição do Mato Dentro	Rio Santo Antônio	-19,0144	-43,4461
56765000	Dom Joaquim	Rio do Peixe	-18,9661	-43,2431
56775000	Ferros	Rio Santo Antônio	-19,2322	-43,0200
56787000	Fazenda Barraca	Rio do Tanque	-19,3319	-43,0703
56800000	Senhora do Porto	Rio Guanhões	-18,8947	-43,0825
56825000	Naque Velho	Rio Santo Antonio	-19,1881	-42,4228
56845000	Fazenda Corrente	Rio Corrente Grande	-18,8947	-42,7125
56846000	Porto Santa Rita	Rio Corrente Grande	-18,9517	-42,3592

Continua...

Quadro 1B. Continuação

Código	Estação	Curso D'água	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
56860000	São Pedro do Suaçuí	Rio Suaçuí Grande	-18,3611	-42,6050
56870000	Santa Maria do Suaçuí	Rio São Félix	-18,2000	-42,4547
56880000	Fazenda Urupuca	Rio Urupuca	-18,2500	-42,0667
56891900	Vila Matias-Montante (PCD)	Rio Suaçuí Grande	-18,5747	-42,9178
56900000	Campanário	Rio Itambacurí	-18,2392	-41,7311
56915500	Jampruca	Rio Itambacurí	-18,4594	-41,8075
56935000	Dom Cavati	Rio Caratinga	-19,3736	-42,1050
56940002	Barra do Cuieté-Jusante	Rio Caratinga	-19,0694	-41,5369
56960005	Fazenda Vargem Alegre	Rio Manhuaçu	-20,1825	-41,9611
56976000	Fazenda Bragança	Rio Manhuaçu	-19,7431	-41,7853
56978000	Santo Antônio do Manhuaçu	Rio Manhuaçu	-19,6825	-41,8372
56983000	Dores de Manhumirim	Rio José Pedro	-20,1081	-41,7283
56988500	Ipanema	Rio José Pedro	-19,7989	-41,7061
56989001	Mutum	Rio São Manoel	-19,8111	-41,4378
56989400	Assaraí-Montante	Rio José Pedro	-19,5947	-41,4581
56990000	S. Sebastião da Encruzilhada	Rio Manhuaçu	-19,4925	-41,1617
56990990	Afonso Claudio-Montante	Rio Guandu	-20,0786	-41,1214
56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu	-19,9011	-41,0581
56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu	-19,5236	-41,0142
56993002	Itaguaçu-Jusante	Rio Santa Joana	-19,7800	-40,8511
56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	-19,5586	-40,7325
56995500	Ponte do Pancas	Rio Pancas	-19,4228	-40,6864
56997000	Barra de São Gabriel	Rio São José	-19,0578	-40,5164

APÊNDICE C

Quadro 1C. Principais características físicas e variáveis pluviométricas das estações selecionadas para a regionalização hidrológica na bacia do rio Doce

Código	A (Km²)	Dd (Km/Km²)	S (%)	Pa (mm)	Pss (mm)	Pmc (mm)
56028000	1395,306	0,64	18,11	1501,95	234,55	385,80
56055000	1093,054	0,84	19,12	1514,80	240,85	380,01
56065000	298,436	0,83	16,24	1368,40	215,25	337,27
56075000	4182,442	0,76	18,68	1458,59	228,74	368,27
56085000	340,070	0,59	17,72	1243,31	203,38	309,24
56090000	328,0581	0,58	17,73	1295,61	207,11	319,33
56110005	6227,798	0,71	18,75	1410,58	223,85	355,59
56240000	974,681	0,67	21,36	1423,70	215,86	371,93
56335001	1333,089	0,64	21,06	1420,23	214,59	371,94
56337000	553,157	0,72	20,75	1411,60	211,48	375,64
56385000	585,346	0,61	24,38	1225,44	198,89	309,31
56415000	2087,605	0,60	22,87	1265,12	203,65	328,14
56425000	10082,968	0,69	19,79	1404,73	219,97	360,61
56460000	618,491	0,47	23,84	1242,14	193,44	328,59
56484998	1357,657	0,57	22,93	1239,44	192,24	331,00
56500000	272,848	0,44	26,32	1264,05	192,59	337,04
56510000	1875,020	0,58	23,46	1248,93	192,30	334,38
56520000	153,6246	0,69	22,29	1226,75	189,70	334,98
56539000	15929,867	0,66	20,34	1354,80	211,18	352,35
56570000	824,375	0,57	22,35	1215,50	182,96	334,86
56610000	1160,171	0,81	18,77	1413,90	208,86	386,82
56640000	421,969	0,88	26,57	1396,85	189,09	388,48
56659998	3061,305	0,77	19,76	1416,41	202,97	393,01
56696000	5284,561	0,69	22,17	1385,62	200,88	381,61
56719998	24234,511	0,66	20,61	1348,95	205,44	357,72
56750000	282,382	0,70	18,08	1415,87	187,84	383,38
56765000	978,204	0,93	16,93	1366,60	181,60	367,55
56775000	4100,260	0,71	19,77	1421,38	194,82	386,17
56787000	1257,468	0,70	20,88	1401,01	198,54	385,85
56800000	1520,532	0,84	19,60	1320,76	173,89	357,87

Continua..

Quadro 1C. Continuação

Código	A (Km²)	Dd (Km/Km²)	S (%)	Pa (mm)	Pss (mm)	Pmc (mm)
56825000	10208,965	0,71	22,76	1372,47	189,18	373,80
56845000	1066,559	0,86	17,95	1313,9	176,30	362,99
56846000	1960,808	0,84	23,53	1319,71	183,71	361,27
56850000	40619,492	0,69	21,20	1342,62	197,78	360,30
56860000	2772,501	0,88	20,62	1220,87	150,51	343,17
56870000	626,389	0,89	19,75	1162,88	156,11	345,40
56880000	2677,763	0,75	20,73	1156,85	186,09	320,82
56891900	9971,399	0,83	20,64	1194,02	169,42	339,19
56900000	781,658	0,63	21,16	1097,5	189,57	293,45
56915500	1413,280	0,63	20,42	1089,48	183,27	294,12
56920000	55407,086	0,72	20,88	1291,08	189,37	350,76
56935000	774,927	0,50	21,79	1208,05	179,72	336,94
56940002	3229,818	0,64	22,79	1133,9	166,68	322,20
56948005	61546,320	0,71	21,07	1268,72	186,38	345,80
56960005	1071,371	0,66	26,71	1234,1	195,64	331,96
56976000	2266,420	0,68	26,49	1233,52	191,73	337,81
56978000	2350,085	0,68	26,42	1232,82	191,30	338,17
56983000	388,476	0,62	30,27	1234,62	195,67	339,31
56988500	1410,145	0,70	27,00	1230,79	190,17	342,68
56989001	1185,411	0,71	26,07	1172,61	179,13	331,74
56989400	3205,850	0,71	25,71	1195,28	183,46	336,44
56990000	8722,007	0,69	26,08	1168,25	180,97	328,87
56990990	438,980	0,58	28,10	1153,01	186,87	327,49
56991500	1341,652	0,61	28,10	1136,98	181,10	324,05
56992000	2191,674	0,62	27,48	1095,72	175,03	312,10
56993002	467,564	0,59	27,04	1133,65	200,73	317,10
56993551	885,063	0,57	26,06	1105,76	194,82	308,44
56994500	76816,813	0,70	21,96	1241,1	185,79	340,00
56995500	918,362	0,72	29,38	1147,37	237,89	302,63
56997000	1250,065	0,66	24,21	1141,61	238,31	294,53
56998000	82508,039	0,69	21,89	1237,19	191,29	337,31

* A - área de drenagem; Dd - densidade de drenagem; S - declividade média da bacia; Pa, Pss, Pmc - precipitações: total anual, total do semestre seco e total do mês mais chuvoso.

APÊNDICE D

Quadro 1D. Flexibilidade da Q_{7,10} com a adoção dos períodos sazonais

Código	Estação	Q _{7,10} Anual	Q _{7,10} nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56028000	Piranga	6,00	6,01	8,01	10,77	0,17	33,50	79,50
56055000	Braz Pires	5,76	5,53	7,59	8,99	-3,99	31,77	56,08
56065000	Senador Firmino	1,64	1,69	2,04	2,30	3,05	24,39	40,24
56075000	Porto Firme	19,72	19,70	26,66	33,01	-0,10	35,19	67,39
56085000	Seriquite	1,29	1,30	1,60	1,82	0,78	24,03	41,09
56090000	Fazenda Varginha	1,64	1,62	1,84	2,01	-1,22	12,20	22,56
56110005	Ponte Nova - Jusante (PCD)	28,78	28,78	35,56	47,89	0,00	23,56	66,40
56240000	Fazenda Paraíso	4,78	5,48	6,03	8,52	14,64	26,15	78,24
56335001	Acaiaca Jusante	11,67	11,77	13,40	15,54	0,86	14,82	33,16
56337000	Fazenda Ocidente	4,86	4,87	5,54	5,89	0,21	13,99	21,19
56385000	São Miguel do Anta	2,35	2,35	2,99	4,05	0,00	27,23	72,34
56415000	Rio Casca	5,74	5,78	8,82	12,12	0,70	53,66	111,15
56425000	Fazenda Cachoeira D'Antas	53,11	52,25	69,84	86,38	-1,62	31,50	62,64
56460000	Matipó	1,66	1,91	2,22	3,09	15,06	33,73	86,14
56484998	Raul Soares - Montante	2,76	2,77	5,08	7,87	0,36	84,06	185,14
56500000	Abre Campo	0,94	0,94	1,26	1,75	0,00	34,04	86,17
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	4,04	4,41	6,82	10,62	9,16	68,81	162,87
56520000	Vermelho Velho	0,68	0,68	0,79	0,86	0,00	16,18	26,47
56539000	Cachoeira dos Óculos-Montante	82,98	82,84	95,77	114,35	-0,17	15,41	37,80
56570000	Pingo D'água	2,04	1,87	2,72	3,05	-8,33	33,33	49,51
56610000	Rio Piracicaba	5,40	5,51	7,53	8,46	2,04	39,44	56,67
56640000	Carrapato (Brumal)	2,72	2,74	3,25	4,91	0,74	19,49	80,51
56659998	Nova Era IV	16,60	16,83	18,18	22,89	1,39	9,52	37,89
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	26,57	27,13	27,93	39,27	2,11	5,12	47,80
56719998	Cenibra	108,79	110,47	129,10	155,39	1,54	18,67	42,83

Continua...

Quadro 1D. Continuação

Código	Estação	Q _{7,10} Anual	Q _{7,10} nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56750000	Conceição do Mato Dentro	0,97	0,96	1,46	2,11	-1,03	50,52	117,53
56765000	Dom Joaquim	2,19	2,17	3,19	4,47	-0,91	45,66	104,11
56775000	Ferros	14,68	14,18	17,62	26,46	-3,41	20,03	80,25
56787000	Fazenda Barraca	4,57	4,73	6,34	7,85	3,50	38,73	71,77
56800000	Senhora do Porto	3,66	3,69	5,41	6,50	0,82	47,81	77,60
56825000	Naque Velho	34,74	38,20	48,98	66,77	9,96	40,99	92,20
56845000	Fazenda Corrente	2,43	2,43	3,78	4,51	0,00	55,56	85,60
56846000	Porto Santa Rita	6,86	6,91	9,59	11,60	0,73	39,80	69,10
56850000	Governador Valadares (PCD)	175,87	177,79	212,98	275,46	1,09	21,10	56,63
56860000	São Pedro do Suaçuí	7,46	7,46	9,97	10,50	0,00	33,65	40,75
56870000	Santa Maria do Suaçuí	1,09	1,13	1,60	1,90	3,67	46,79	74,31
56880000	Fazenda Urupuca	1,56	1,87	2,55	4,23	19,87	63,46	171,15
56891900	Vila Matias-Montante (PCD)	16,27	16,92	22,66	28,67	4,00	39,27	76,21
56900000	Campanário	0,28	0,24	0,55	0,72	-14,29	96,43	157,14
56915500	Jampruca	0,66	0,70	1,16	1,48	6,06	75,76	124,24
56920000	Tumiritinga	222,88	223,53	269,90	351,78	0,29	21,10	57,83
56935000	Dom Cavati	1,79	1,73	2,31	2,20	-3,35	29,05	22,91
56940002	Barra do Cuieté-Jusante	5,41	5,38	6,60	8,60	-0,55	22,00	58,96
56948005	Resplendor-Jusante	183,77	184,20	217,66	293,53	0,23	18,44	59,73
56960005	Fazenda Vargem Alegre	1,12	1,40	1,80	2,61	25,00	60,71	133,04
56976000	Fazenda Bragança	8,36	8,33	11,11	13,62	-0,36	32,89	62,92
56978000	Santo Antonio do Manhuaçu	9,03	9,32	12,64	15,77	3,21	39,98	74,64
56983000	Dores de Manhumirim	1,51	1,47	1,99	3,19	-2,65	31,79	111,26
56988500	Ipanema	5,37	5,37	6,13	8,47	0,00	14,15	57,73
56989001	Mutum	2,57	2,59	3,50	4,13	0,78	36,19	60,70
56989400	Assaraí-Montante	7,98	8,10	10,00	14,25	1,50	25,31	78,57
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	22,40	22,36	31,01	37,55	-0,18	38,44	67,63

Continua...

Quadro 1D. Continuação

Código	Estação	Q _{7,10} Anual	Q _{7,10} nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Seco	Normal	Seco	Normal
56990990	Afonso Cláudio-Montante	1,09	1,07	1,85	2,81	-1,83	69,72	157,80
56991500	Laranja da Terra	4,63	5,03	5,63	6,57	8,64	21,60	41,90
56992000	Baixo Guandú	5,16	5,22	6,78	7,19	1,16	31,40	39,34
56993002	Itaguaçu-Jusante	0,82	0,79	1,02	1,55	-3,66	24,39	89,02
56993551	Jusante Córrego da Piaba	0,85	0,87	1,15	1,56	2,35	35,29	83,53
56994500	Colatina	224,99	224,96	261,46	362,26	-0,01	16,21	61,01
56995500	Ponte do Pancas	0,60	0,57	0,86	1,39	-5,00	43,33	131,67
56997000	Barra de São Gabriel	0,99	1,15	1,36	2,23	16,16	37,37	125,25
56998000	Linhares	264,94	266,80	303,65	441,51	0,70	14,61	66,65
Média						1,80	34,58	76,93

Quadro 2D. Flexibilidade da Q₉₀ com a adoção dos períodos sazonais

Código	Estação	Q ₉₀ Anual	Q ₉₀ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56028000	Piranga	9,11	6,38	9,60	12,20	-29,97	5,38	33,92
56055000	Braz Pires	8,35	7,10	8,53	12,80	-14,97	2,16	53,29
56065000	Senador Firmino	2,43	2,17	2,39	3,39	-10,70	-1,65	39,51
56075000	Porto Firme	30,90	26,50	31,30	46,30	-14,24	1,29	49,84
56085000	Seriquite	1,77	1,34	1,82	2,07	-24,29	2,82	16,95
56090000	Fazenda Varginha	2,09	1,91	2,02	2,55	-8,61	-3,35	22,01
56110005	Ponte Nova - Jusante (PCD)	42,58	35,40	44,70	69,90	-16,86	4,98	64,16
56240000	Fazenda Paraíso	8,77	7,33	8,50	8,65	-16,42	-3,08	-1,37
56335001	Acaiaca Jusante	15,62	13,70	15,30	17,00	-12,29	-2,05	8,83
56337000	Fazenda Ocidente	6,07	4,52	5,27	6,57	-25,54	-13,18	8,24
56385000	São Miguel do Anta	3,43	2,61	3,49	5,31	-23,91	1,75	54,81
56415000	Rio Casca	10,62	8,63	10,80	14,00	-18,74	1,69	31,83
56425000	Fazenda Cachoeira D`Antas	76,98	63,90	79,70	121,00	-16,99	3,53	57,18
56460000	Matipó	3,07	2,25	3,18	5,18	-26,71	3,58	68,73
56484998	Raul Soares - Montante	6,04	3,61	7,20	10,70	-40,23	19,21	77,15
56500000	Abre Campo	1,51	0,77	1,40	1,77	-49,01	-7,28	17,22
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	7,76	6,42	9,21	13,60	-17,27	18,69	75,26
56520000	Vermelho Velho	0,93	0,74	0,93	1,21	-20,43	0,00	30,11
56539000	Cachoeira dos Óculos-Montante	105,74	94,90	107,00	155,00	-10,25	1,19	46,59
56570000	Pingo D`água	3,20	2,19	3,46	3,82	-31,56	8,13	19,38
56610000	Rio Piracicaba	9,77	6,81	9,36	12,60	-30,30	-4,20	28,97
56640000	Carrapato (Brumal)	4,04	2,72	4,01	5,59	-32,67	-0,74	38,37
56659998	Nova Era IV	21,41	17,70	19,40	29,90	-17,33	-9,39	39,65
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	34,79	30,30	34,80	56,60	-12,91	0,03	62,69
56719998	Cenibra	142,60	121,00	151,00	219,00	-15,15	5,89	53,58
56750000	Conceição do Mato Dentro	1,86	1,11	1,57	2,76	-40,32	-15,59	48,39
56765000	Dom Joaquim	3,99	2,62	3,66	6,55	-34,34	-8,27	64,16

Continua...

Quadro 2D. Continuação

Código	Estação	Q ₉₀ Anual	Q ₉₀ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56775000	Ferros	21,30	14,40	17,90	35,80	-32,39	-15,96	68,08
56787000	Fazenda Barraca	8,15	6,10	8,40	8,17	-25,15	3,07	0,25
56800000	Senhora do Porto	6,15	3,75	6,53	9,07	-39,02	6,18	47,48
56825000	Naque Velho	66,58	53,90	70,00	85,30	-19,04	5,14	28,12
56845000	Fazenda Corrente	4,18	3,03	4,44	7,19	-27,51	6,22	72,01
56846000	Porto Santa Rita	10,97	8,08	11,60	16,70	-26,34	5,74	52,23
56850000	Governador Valadares (PCD)	243,41	215,00	250,00	366,00	-11,67	2,71	50,36
56860000	São Pedro do Suaçuí	10,73	8,37	10,80	16,20	-21,99	0,65	50,98
56870000	Santa Maria do Suaçuí	2,13	1,44	1,77	1,95	-32,39	-16,90	-8,45
56880000	Fazenda Urupuca	4,04	2,59	3,64	5,81	-35,89	-9,90	43,81
56891900	Vila Matias-Montante (PCD)	25,83	20,20	25,30	41,80	-21,80	-2,05	61,83
56900000	Campanário	0,90	0,57	0,78	1,70	-36,67	-13,33	88,89
56915500	Jampruca	1,29	0,74	1,05	2,25	-42,64	-18,60	74,42
56920000	Tumiritinga	311,58	258,00	322,00	474,00	-17,20	3,34	52,13
56935000	Dom Cavati	2,90	2,46	2,52	3,32	-15,17	-13,10	14,48
56940002	Barra do Cuieté-Jusante	9,10	7,51	8,66	12,10	-17,47	-4,84	32,97
56948005	Resplendor-Jusante	247,88	207,00	255,00	393,00	-16,49	2,87	58,54
56960005	Fazenda Vargem Alegre	2,82	1,65	2,81	4,39	-41,49	-0,35	55,67
56976000	Fazenda Bragança	13,06	9,59	14,20	18,70	-26,57	8,73	43,19
56978000	Santo Antonio do Manhuaçu	14,73	12,40	15,10	24,80	-15,82	2,51	68,36
56983000	Dores de Manhumirim	2,33	1,74	2,36	4,56	-25,32	1,29	95,71
56988500	Ipanema	7,60	5,31	7,84	10,80	-30,13	3,16	42,11
56989001	Mutum	4,23	2,53	4,29	6,13	-40,19	1,42	44,92
56989400	Assaraí-Montante	12,85	7,91	12,90	20,80	-38,44	0,39	61,87
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	35,25	24,60	38,10	58,70	-30,21	8,09	66,52
56990990	Afonso Cláudio-Montante	2,46	0,90	2,72	3,00	-63,41	10,57	21,95
56991500	Laranja da Terra	6,97	4,16	6,54	9,40	-40,32	-6,17	34,86

Continua...

Quadro 2D. Continuação

Código	Estação	Q ₉₀ Anual	Q ₉₀ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Seco	Normal	Seco	Normal
56992000	Baixo Guandú	7,45	4,76	7,80	10,80	-36,11	4,70	44,97
56993002	Itaguaçu-Jusante	1,94	0,56	1,42	2,20	-71,13	-26,80	13,40
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1,52	0,84	1,53	2,47	-44,74	0,66	62,50
56994500	Colatina	298,88	247,00	298,00	498,00	-17,36	-0,29	66,62
56995500	Ponte do Pancas	1,54	0,82	1,50	2,92	-46,75	-2,60	89,61
56997000	Barra de São Gabriel	3,04	1,54	2,94	4,93	-49,34	-3,29	62,17
56998000	Linhares	382,85	320,00	402,00	603,00	-16,42	5,00	57,50
Média						-27,62	-0,66	46,39

Quadro 3D. Flexibilidade da Q₉₅ com a adoção dos períodos sazonais

Código	Estação	Q ₉₅ Anual	Q ₉₅ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56028000	Piranga	8,04	5,62	7,93	10,20	-30,10	-1,37	26,87
56055000	Braz Pires	7,33	5,67	7,61	10,30	-22,65	3,82	40,52
56065000	Senador Firmino	2,09	1,91	2,13	2,83	-8,61	1,91	35,41
56075000	Porto Firme	27,31	22,90	27,90	37,10	-16,15	2,16	35,85
56085000	Seriquite	1,61	1,24	1,57	1,86	-22,98	-2,48	15,53
56090000	Fazenda Varginha	1,92	1,81	1,87	2,25	-5,73	-2,60	17,19
56110005	Ponte Nova - Jusante (PCD)	37,53	29,50	40,20	53,20	-21,40	7,11	41,75
56240000	Fazenda Paraíso	7,61	6,50	7,42	6,63	-14,59	-2,50	-12,88
56335001	Acaiaca Jusante	14,14	11,60	13,40	13,70	-17,96	-5,23	-3,11
56337000	Fazenda Ocidente	5,46	3,36	4,82	5,58	-38,46	-11,72	2,20
56385000	São Miguel do Anta	2,98	2,29	3,18	4,54	-23,15	6,71	52,35
56415000	Rio Casca	9,23	6,78	9,10	11,40	-26,54	-1,41	23,51
56425000	Fazenda Cachoeira D`Antas	67,41	57,60	70,10	105,00	-14,55	3,99	55,76
56460000	Matipó	2,61	2,01	2,69	3,27	-22,99	3,07	25,29
56484998	Raul Soares - Montante	4,50	2,29	5,53	6,67	-49,11	22,89	48,22
56500000	Abre Campo	1,30	0,61	1,03	1,39	-53,08	-20,77	6,92
56510000	Instituto Florestal Raul Soares	5,98	4,58	7,21	7,36	-23,41	20,57	23,08
56520000	Vermelho Velho	0,80	0,61	0,81	0,91	-23,75	1,25	13,75
56539000	Cachoeira dos Óculos-Montante	96,91	83,90	97,60	124,00	-13,42	0,71	27,95
56570000	Pingo D`água	2,72	1,89	2,64	2,71	-30,51	-2,94	-0,37
56610000	Rio Piracicaba	8,48	6,08	7,88	7,69	-28,30	-7,08	-9,32
56640000	Carrapato (Brumal)	3,56	2,33	3,64	4,63	-34,55	2,25	30,06
56659998	Nova Era IV	19,59	16,60	17,50	25,30	-15,26	-10,67	29,15
56696000	Mario de Carvalho (PCD)	30,98	27,40	32,20	43,80	-11,56	3,94	41,38
56719998	Cenibra	130,36	106,00	139,00	177,00	-18,69	6,63	35,78
56750000	Conceição do Mato Dentro	1,54	0,90	1,30	1,93	-41,56	-15,58	25,32
56765000	Dom Joaquim	3,34	2,16	3,11	4,98	-35,33	-6,89	49,10

Continua...

Quadro 3D. Continuação

Código	Estação	Q ₉₅ Anual	Q ₉₅ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
56775000	Ferros	18,81	12,50	14,50	28,60	-33,55	-22,91	52,05
56787000	Fazenda Barraca	6,85	4,57	6,68	6,30	-33,28	-2,48	-8,03
56800000	Senhora do Porto	5,24	3,01	5,79	6,89	-42,56	10,50	31,49
56825000	Naque Velho	58,88	37,90	55,70	63,90	-35,63	-5,40	8,53
56845000	Fazenda Corrente	3,66	2,61	3,79	5,56	-28,69	3,55	51,91
56846000	Porto Santa Rita	9,40	7,09	10,60	14,00	-24,57	12,77	48,94
56850000	Governador Valadares (PCD)	219,80	182,00	224,00	305,00	-17,20	1,91	38,76
56860000	São Pedro do Suaçuí	9,60	7,09	9,10	12,80	-26,15	-5,21	33,33
56870000	Santa Maria do Suaçuí	1,66	1,08	1,40	1,31	-34,94	-15,66	-21,08
56880000	Fazenda Urupuca	3,20	1,96	2,76	3,57	-38,75	-13,75	11,56
56891900	Vila Matias-Montante (PCD)	22,10	16,30	20,00	29,90	-26,24	-9,50	35,29
56900000	Campanário	0,45	0,29	0,48	1,04	-35,56	6,67	131,11
56915500	Jampruca	0,98	0,38	0,68	1,47	-61,22	-30,61	50,00
56920000	Tumiritinga	274,98	232,00	293,00	394,00	-15,63	6,55	43,28
56935000	Dom Cavati	2,43	2,06	2,03	2,46	-15,23	-16,46	1,23
56940002	Barra do Cuieté-Jusante	7,56	6,23	7,28	9,27	-17,59	-3,70	22,62
56948005	Resplendor-Jusante	218,04	183,00	233,00	305,00	-16,07	6,86	39,88
56960005	Fazenda Vargem Alegre	1,38	1,00	1,71	2,62	-27,83	23,91	89,86
56976000	Fazenda Bragança	11,28	6,11	12,10	14,10	-45,83	7,27	25,00
56978000	Santo Antonio do Manhuaçu	12,95	9,78	13,10	17,60	-24,48	1,16	35,91
56983000	Dores de Manhumirim	2,03	1,47	2,12	3,74	-27,59	4,43	84,24
56988500	Ipanema	6,64	4,72	6,49	8,39	-28,92	-2,26	26,36
56989001	Mutum	3,50	2,08	3,44	4,34	-40,57	-1,71	24,00
56989400	Assaraí-Montante	10,74	6,65	10,50	15,50	-38,08	-2,23	44,32
56990000	São Sebastião da Encruzilhada	30,13	21,30	32,20	49,70	-29,31	6,87	64,95
56990990	Afonso Cláudio-Montante	2,09	0,50	2,11	2,30	-76,08	0,96	10,05
56991500	Laranja da Terra	6,22	3,60	5,55	7,08	-42,12	-10,77	13,83

Continua...

Quadro 3D. Continuação

Código	Estação	Q ₉₅ Anual	Q ₉₅ nos períodos sazonais			Flexibilidade sazonal (%)		
			Seco	Normal	Seco	Normal	Seco	Normal
56992000	Baixo Guandú	6,55	4,02	6,60	7,81	-38,63	0,76	19,24
56993002	Itaguaçu-Jusante	1,61	0,35	1,13	1,34	-78,26	-29,81	-16,77
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1,13	0,56	1,07	1,38	-50,44	-5,31	22,12
56994500	Colatina	266,60	211,00	264,00	392,00	-20,86	-0,98	47,04
56995500	Ponte do Pancas	1,17	0,48	1,12	1,86	-58,97	-4,27	58,97
56997000	Barra de São Gabriel	2,18	0,85	2,40	2,52	-61,01	10,09	15,60
56998000	Linhares	329,63	291,00	345,00	490,00	-11,72	4,66	48,65
Média						-30,62	-1,28	30,52

APÊNDICE E

Quadro 1E. Valores de $Q_{7,10}$ observados nas séries históricas de vazão ($Q_{7,10}$ obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização ($Q_{7,10}$ est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período anual e o período seco

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Anual					Q _{7,10} Período Seco				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	53,11	57,38	8,04	A	0,93	52,25	57,08	9,25	A	0,92
	56539000	82,98	79,76	-3,88	A	1,04	82,84	79,56	-3,96	A	1,04
	56719998	82,98	107,89	30,02	A	0,77	110,47	107,89	-2,34	A	1,02
	56850000	175,87	156,48	-11,03	A	1,12	177,79	156,97	-11,71	A	1,13
	56920000	222,88	195,67	-12,21	A	1,14	223,53	196,65	-12,03	A	1,14
	56948005	183,77	211,05	14,84	A	0,87	184,20	212,24	15,22	A	0,87
	56994500	224,99	247,56	10,03	A	0,91	224,96	249,29	10,81	A	0,90
	56998000	264,94	260,64	-1,62	A	1,02	266,80	262,56	-1,59	A	1,02
Região II	56028000	6,00	7,63	27,15	A	0,79	6,01	6,94	15,48	A	0,87
	56055000	5,76	6,09	5,76	A	0,95	5,53	6,28	13,56	A	0,88
	56065000	1,64	1,84	12,30	A	0,89	1,69	1,44	-14,83	A	1,17
	56075000	19,72	20,98	6,39	A	0,94	19,70	19,32	-1,94	A	1,02
	56085000	1,29	2,08	61,03	B	3,79	1,30	1,98	52,63	B	3,82
	56090000	1,64	2,01	22,53	A	0,82	1,62	1,88	15,87	A	0,86
	56110005	28,78	30,28	5,20	A	0,95	28,78	27,57	-4,20	A	1,04
	56240000	4,76	5,48	15,15	A	0,87	5,48	7,16	30,59	A	0,77
	56335001	11,67	7,31	-37,32	A	1,60	11,77	9,14	-22,38	A	1,29
	56337000	4,86	3,25	-33,08	A	1,49	4,87	4,11	-15,63	A	1,19
Região III	56385000	2,35	1,78	-24,32	A	1,32	2,35	1,81	-23,03	A	1,30
	56415000	5,74	4,62	-19,57	A	1,24	5,78	4,76	-17,67	A	1,21
	56460000	1,66	1,85	11,66	A	0,90	1,91	1,89	-1,24	A	1,01
	56484998	2,76	3,34	21,13	A	0,83	2,77	3,43	23,84	A	0,81
	56500000	0,94	1,00	6,73	A	0,94	0,94	1,01	7,67	A	0,93

Continua...

Quadro 1E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Anual					Q _{7,10} Período Seco				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	4,04	4,26	5,43	A	0,95	4,41	4,39	-0,56	A	1,01
	56520000	0,68	0,65	-4,11	A	1,04	0,68	0,65	-3,85	A	1,04
	56570000	2,04	2,30	12,72	A	0,89	1,87	2,35	25,51	A	0,80
Região IV	56610000	5,40	5,22	-3,27	A	1,03	5,51	5,05	-8,32	A	1,09
	56640000	2,72	1,74	-36,18	A	1,57	2,74	1,88	-31,22	A	1,45
	56659998	16,60	14,04	-15,45	A	1,18	16,83	13,01	-22,70	A	1,29
	56696000	26,57	20,87	-21,46	A	1,27	27,13	22,15	-18,35	A	1,22
	56750000	0,97	1,27	31,23	A	0,76	0,96	1,27	32,70	A	0,75
	56765000	2,19	2,28	3,96	A	0,96	2,17	2,26	3,98	A	0,96
	56775000	14,68	19,29	31,43	A	0,76	14,18	17,30	21,98	A	0,82
	56787000	4,57	5,32	16,31	A	0,86	4,73	5,46	15,52	A	0,87
	56800000	3,66	4,27	16,75	A	0,86	3,69	3,54	-3,93	A	1,04
	56825000	34,74	37,88	9,04	A	0,92	38,20	42,09	10,19	A	0,91
	56845000	2,43	2,88	18,71	A	0,84	2,43	2,35	-3,10	A	1,03
	56846000	6,86	5,49	-20,00	A	1,25	6,91	8,43	21,94	A	0,82
Região V	56860000	7,46	8,16	9,42	A	0,91	7,46	7,82	4,81	A	0,95
	56870000	1,09	0,92	-15,67	A	1,19	1,13	0,87	-22,61	A	1,29
	56880000	1,56	1,46	-6,41	A	1,07	1,87	2,67	42,92	A	0,70
	56891900	16,28	16,06	-1,38	A	1,01	16,92	14,86	-12,20	A	1,14
	56900000	0,28	0,38	33,97	A	0,75	0,24	0,34	42,87	A	0,70
	56915500	0,66	0,54	-17,85	A	1,22	0,70	0,49	-30,19	A	1,43
Região VI	56935000	1,79	2,19	22,13	A	0,82	1,73	2,15	24,52	A	0,80
	56940002	5,41	5,22	-3,45	A	1,04	5,38	5,19	-3,52	A	1,04
	56960005	1,12	3,87	245,15	B	1,05	1,40	3,85	174,67	B	1,31
	56976000	8,36	8,59	2,81	A	0,97	8,33	8,65	3,81	A	0,96
	56978000	9,03	8,88	-1,63	A	1,02	9,32	8,94	4,07	A	1,04
	56983000	1,51	1,31	-13,41	A	1,15	1,47	1,28	-12,88	A	1,15

Continua...

Quadro 1E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Anual					Q _{7,10} Período Seco				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	5,37	5,05	-6,00	A	1,06	5,37	5,04	-6,16	A	1,07
	56989001	2,57	2,53	-1,60	A	1,02	2,59	2,49	-3,77	A	1,04
	56989400	7,98	8,98	12,52	A	0,89	8,10	9,02	11,37	A	0,90
	56990000	22,40	20,70	-7,58	A	1,08	22,36	21,02	-6,00	A	1,06
Região VII	56990990	1,09	0,96	-12,38	A	1,14	1,07	0,94	-12,49	A	1,14
	56991500	4,63	3,50	-24,31	A	1,32	5,03	3,61	-28,31	A	1,39
	56992000	5,16	9,95	92,77	B	2,35	5,22	11,76	125,20	B	0,44
	56993002	0,82	1,03	25,34	A	0,80	0,79	1,01	27,91	A	0,78
	56993551	0,85	2,16	154,08	B	0,96	0,87	2,02	132,51	B	0,43
	56995500	0,60	0,65	9,07	A	0,92	0,57	0,68	18,51	A	0,84
	56997000	0,99	0,92	-7,01	A	1,08	1,15	0,99	-14,12	A	1,16

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 2E. Valores de $Q_{7,10}$ observados nas séries históricas de vazão ($Q_{7,10}$ obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização ($Q_{7,10}$ est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período normal e o período chuvoso

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Normal					Q _{7,10} Período Chuvoso				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	69,84	71,72	2,68	A	0,97	86,38	84,29	-2,42	A	1,02
	56539000	95,77	98,12	2,46	A	0,98	114,35	119,49	4,50	A	0,96
	56719998	129,10	130,83	1,34	A	0,99	155,39	164,59	5,92	A	0,94
	56850000	212,98	186,42	-12,47	A	1,14	275,46	244,10	-11,38	A	1,13
	56920000	269,90	230,63	-14,55	A	1,17	351,78	309,36	-12,06	A	1,14
	56948005	217,66	247,86	13,87	A	0,88	293,53	335,19	14,19	A	0,88
	56994500	261,46	288,53	10,35	A	0,91	362,26	396,95	9,58	A	0,91
	56998000	303,65	303,02	-0,21	A	1,00	441,51	419,21	-5,05	A	1,05
Região II	56028000	8,01	9,51	18,71	A	0,84	10,77	11,69	8,56	A	0,92
	56055000	7,59	7,53	-0,77	A	1,01	8,99	9,12	1,49	A	0,99
	56065000	2,04	2,18	6,89	A	0,94	2,30	2,44	6,14	A	0,94
	56075000	26,66	27,12	1,74	A	0,98	33,01	35,65	8,01	A	0,93
	56085000	1,60	2,47	54,39	B	4,71	1,82	2,79	53,15	B	5,35
	56090000	1,84	2,39	29,72	A	0,77	2,01	2,69	33,70	A	0,75
	56110005	35,56	39,67	11,55	A	0,90	47,89	53,42	11,55	A	0,90
	56240000	6,03	6,75	11,96	A	0,89	8,52	8,12	-4,68	A	1,05
	56335001	13,40	9,10	-32,06	A	1,47	15,54	11,16	-28,17	A	1,39
	56337000	5,54	3,93	-29,05	A	1,41	5,89	4,57	-22,44	A	1,29
Região III	56385000	2,99	2,46	-17,57	A	1,21	4,05	3,25	-19,66	A	1,24
	56415000	8,82	7,62	-13,66	A	1,16	12,12	11,25	-7,21	A	1,08
	56460000	2,22	2,59	16,57	A	0,86	3,09	3,43	11,11	A	0,90
	56484998	5,08	5,20	2,34	A	0,98	7,87	7,39	-6,08	A	1,06
	56500000	1,26	1,25	-0,63	A	1,01	1,75	1,55	-11,69	A	1,13

Continua...

Quadro 2E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Normal					Q _{7,10} Período Chuvoso				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	6,82	6,92	1,51	A	0,99	10,62	10,13	-4,63	A	1,05
	56520000	0,79	0,75	-4,80	A	1,05	0,86	0,88	2,61	A	0,97
	56570000	2,72	3,34	22,77	A	0,81	3,05	4,54	48,98	A	0,67
Região IV	56610000	7,53	5,96	-20,85	A	1,26	8,46	8,74	3,29	A	0,97
	56640000	3,25	2,29	-29,53	A	1,42	4,91	3,47	-29,42	A	1,42
	56659998	18,18	14,92	-17,95	A	1,22	22,89	21,22	-7,29	A	1,08
	56696000	27,93	25,00	-10,50	A	1,12	39,27	34,96	-10,97	A	1,12
	56750000	1,46	1,57	7,30	A	0,93	2,11	2,40	13,75	A	0,88
	56765000	3,19	3,47	8,70	A	0,92	4,47	4,39	-1,72	A	1,02
	56775000	17,62	19,66	11,60	A	0,90	26,46	27,72	4,77	A	0,95
	56787000	6,34	6,43	1,44	A	0,99	7,85	9,41	19,83	A	0,83
	56800000	5,41	7,70	42,27	A	0,70	6,50	6,92	6,47	A	0,94
	56825000	48,98	46,59	-4,88	A	1,05	66,77	63,84	-4,39	A	1,05
	56845000	3,78	5,50	45,61	A	0,69	4,51	4,68	3,75	A	0,96
	56846000	9,59	9,79	2,07	A	0,98	11,60	14,12	21,73	A	0,82
Região V	56860000	9,97	9,81	-1,64	A	1,02	10,50	11,44	8,96	A	0,92
	56870000	1,60	1,35	-15,42	A	1,18	1,90	1,58	-16,62	A	1,20
	56880000	2,55	2,49	-2,44	A	1,03	4,23	5,19	22,71	A	0,81
	56891900	22,66	19,15	-15,47	A	1,18	28,67	25,37	-11,50	A	1,13
	56900000	0,55	0,64	15,55	A	0,87	0,72	0,85	17,82	A	0,85
	56915500	1,16	0,91	-21,67	A	1,28	1,48	1,28	-13,61	A	1,16
Região VI	56935000	2,31	2,81	21,56	A	0,82	2,20	2,32	5,54	A	0,95
	56940002	6,60	6,72	1,84	A	0,98	8,60	8,71	1,30	A	0,99
	56960005	1,80	5,02	178,97	B	1,68	2,61	7,22	176,48	B	2,44
	56976000	11,11	11,29	1,59	A	0,98	13,62	15,01	10,22	A	0,91
	56978000	12,64	11,67	-7,68	A	1,08	15,77	15,46	-1,94	A	1,02
	56983000	1,99	1,67	-15,91	A	1,19	3,19	2,67	-16,29	A	1,19

Continua...

Quadro 2E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{7,10} Período Normal					Q _{7,10} Período Chuvoso				
		Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{7,10} obs.	Q _{7,10} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	6,13	6,58	7,31	A	0,93	8,47	9,19	8,52	A	0,92
	56989001	3,50	3,24	-7,45	A	1,08	4,13	4,64	12,27	A	0,89
	56989400	10,00	11,74	17,39	A	0,85	14,25	15,12	6,13	A	0,94
	56990000	31,01	27,28	-12,03	A	1,14	37,55	31,78	-15,36	A	1,18
Região VII	56990990	1,85	1,38	-25,32	A	1,34	2,81	2,11	-24,91	A	1,33
	56991500	5,63	4,57	-18,84	A	1,23	6,57	5,39	-17,98	A	1,22
	56992000	6,78	11,55	70,37	B	3,09	7,19	12,15	69,00	B	3,28
	56993002	1,02	1,16	14,16	A	0,88	1,55	1,82	17,41	A	0,85
	56993551	1,15	2,60	126,07	B	1,30	1,56	3,55	127,29	B	1,76
	56995500	0,86	0,92	6,47	A	0,94	1,39	1,52	9,53	A	0,91
	56997000	1,36	1,24	-9,07	A	1,10	2,23	1,96	-12,22	A	1,14

* Caso A ($C_a = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 3E. Valores de Q_{95} observados nas curvas de permanência (Q_{95} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{95} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período anual e o período seco

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Anual					Q ₉₅ Período Seco				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	67,41	70,23	4,18	A	0,96	57,60	59,64	3,54	A	0,97
	56539000	96,91	97,40	0,51	A	0,99	83,90	82,38	-1,82	A	1,02
	56719998	130,36	131,49	0,87	A	0,99	106,00	110,79	4,52	A	0,96
	56850000	219,80	190,24	-13,45	A	1,16	182,00	159,55	-12,34	A	1,14
	56920000	274,98	237,53	-13,62	A	1,16	232,00	198,66	-14,37	A	1,17
	56948005	218,04	256,07	17,44	A	0,85	183,00	213,96	16,92	A	0,86
	56994500	266,60	300,06	12,55	A	0,89	211,00	250,21	18,58	A	0,84
	56998000	329,63	315,79	-4,20	A	1,04	291,00	263,16	-9,57	A	1,11
Região II	56028000	8,04	9,93	23,54	A	0,81	5,62	7,34	30,69	A	0,77
	56055000	7,33	7,86	7,24	A	0,93	5,67	6,33	11,72	A	0,90
	56065000	2,09	2,27	8,42	A	0,92	1,91	1,56	-18,12	A	1,22
	56075000	27,31	28,44	4,12	A	0,96	22,90	20,75	-9,40	A	1,10
	56085000	1,61	2,57	59,51	B	4,73	1,24	1,98	59,79	B	3,65
	56090000	1,92	2,48	29,22	A	0,77	1,81	1,92	6,06	A	0,94
	56110005	37,53	41,64	10,96	A	0,90	29,50	29,93	1,46	A	0,99
	56240000	7,61	7,04	-7,45	A	1,08	6,50	6,63	2,05	A	0,98
	56335001	14,14	9,51	-32,76	A	1,49	11,60	8,65	-25,45	A	1,34
	56337000	5,46	4,09	-25,04	A	1,33	3,36	3,82	13,55	A	0,88
Região III	56385000	2,98	2,55	-14,50	A	1,17	2,29	1,75	-23,44	A	1,31
	56415000	9,23	7,49	-18,82	A	1,23	6,78	5,73	-15,50	A	1,18
	56460000	2,61	2,67	2,28	A	0,98	2,01	1,85	-8,18	A	1,09
	56484998	4,50	5,20	15,59	A	0,87	2,29	3,25	41,90	A	0,70
	56500000	1,30	1,33	2,56	A	0,98	0,61	0,86	41,21	A	0,71

Continua...

Quadro 3E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Anual					Q ₉₅ Período Seco				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	5,98	6,84	14,39	A	0,87	4,58	5,18	13,18	A	0,88
	56520000	0,80	0,82	2,38	A	0,98	0,61	0,50	-17,29	A	1,21
	56570000	2,72	3,41	25,24	A	0,80	1,89	2,41	27,61	A	0,78
Região IV	56610000	8,48	5,22	-38,40	A	1,62	6,08	4,86	-20,12	A	1,25
	56640000	3,56	3,38	-4,97	A	1,05	2,33	1,78	-23,78	A	1,31
	56659998	19,59	14,04	-28,36	A	1,40	16,60	12,75	-23,21	A	1,30
	56696000	30,98	20,87	-32,64	A	1,48	27,40	21,94	-19,92	A	1,25
	56750000	1,54	1,27	-17,34	A	1,21	0,90	1,19	32,34	A	0,76
	56765000	3,34	3,47	4,02	A	0,96	2,16	2,21	2,40	A	0,98
	56775000	18,81	19,29	2,58	A	0,97	12,50	17,05	36,38	A	0,73
	56787000	6,85	5,32	-22,40	A	1,29	4,57	5,26	15,13	A	0,87
	56800000	5,24	4,27	-18,46	A	1,23	3,01	3,29	9,42	A	0,91
	56825000	58,88	37,88	-35,66	A	1,55	37,90	42,24	11,44	A	0,90
	56845000	3,66	2,88	-21,18	A	1,27	2,61	2,24	-14,11	A	1,16
	56846000	9,40	5,49	-41,62	A	1,71	7,09	8,18	15,44	A	0,87
Região V	56860000	9,60	8,16	-14,97	A	1,18	7,09	8,28	16,85	A	0,86
	56870000	1,66	0,92	-44,63	A	1,81	1,08	0,90	-16,95	A	1,20
	56880000	3,20	2,88	-9,85	A	1,11	1,96	2,41	23,19	A	0,81
	56891900	22,10	16,06	-27,35	A	1,38	16,30	13,35	-18,10	A	1,22
	56900000	0,45	0,38	-16,64	A	1,20	0,29	0,29	0,17	A	1,00
	56915500	0,98	0,54	44,67	A	1,81	0,38	0,39	1,85	A	0,98
Região VI	56935000	2,43	2,19	-10,04	A	1,11	2,06	2,12	2,92	A	0,97
	56940002	7,56	5,22	-30,91	A	1,45	6,23	5,39	-13,41	A	1,15
	56960005	1,38	3,87	180,12	B	1,29	1,00	3,52	253,80	B	0,93
	56976000	11,28	8,59	-23,81	A	1,31	6,11	7,55	23,58	A	0,81
	56978000	12,95	8,88	-31,41	A	1,46	9,78	7,80	-20,26	A	1,25
	56983000	2,03	1,31	-35,59	A	1,55	1,47	1,25	-14,73	A	1,17

Continua...

Quadro 3E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Anual					Q ₉₅ Período Seco				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	6,64	5,05	-23,98	A	1,32	4,72	4,56	-3,31	A	1,03
	56989001	3,50	2,53	-27,75	A	1,38	2,08	2,56	22,97	A	0,81
	56989400	10,74	8,98	-16,40	A	1,20	6,65	8,29	24,65	A	0,80
	56990000	30,13	20,70	-31,29	A	1,46	21,30	19,08	-10,43	A	1,12
Região VII	56990990	2,09	1,85	-11,25	A	1,13	0,50	0,42	-15,58	A	1,18
	56991500	6,22	4,95	-20,42	A	1,26	3,60	2,41	-33,07	A	1,49
	56992000	6,55	11,75	79,45	B	2,99	4,02	9,93	147,01	B	1,83
	56993002	1,61	1,96	21,78	A	0,82	0,35	0,47	33,06	A	0,75
	56993551	1,13	3,22	184,88	B	1,28	0,56	1,26	124,41	B	0,63
	56995500	1,17	1,40	19,75	A	0,84	0,48	0,49	2,44	A	0,98
	56997000	2,18	1,84	-15,39	A	1,18	0,85	0,82	-3,52	A	1,04

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 4E. Valores de Q_{95} observados nas curvas de permanência (Q_{95} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{95} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período normal e o período chuvoso

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Normal					Q ₉₅ Período Chuvoso				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	70,10	72,70	3,71	A	0,96	105,00	98,36	-6,32	A	1,07
	56539000	97,60	100,91	3,39	A	0,97	124,00	137,05	10,53	A	0,90
	56719998	139,00	136,32	-1,92	A	1,02	177,00	185,81	4,98	A	0,95
	56850000	224,00	197,42	-11,87	A	1,13	305,00	270,24	-11,40	A	1,13
	56920000	293,00	246,64	-15,82	A	1,19	394,00	338,49	-14,09	A	1,16
	56948005	233,00	265,94	14,14	A	0,88	305,00	365,30	19,77	A	0,83
	56994500	264,00	311,74	18,08	A	0,85	392,00	429,00	9,44	A	0,91
	56998000	345,00	328,13	-4,89	A	1,05	490,00	451,83	-7,79	A	1,08
Região II	56028000	7,93	9,88	24,65	A	0,80	10,20	11,93	16,98	A	0,85
	56055000	7,61	7,77	2,12	A	0,98	10,30	9,32	-9,48	A	1,10
	56065000	2,13	2,16	1,53	A	0,98	2,83	2,51	-11,28	A	1,13
	56075000	27,90	29,16	4,50	A	0,96	37,10	36,19	-2,46	A	1,03
	56085000	1,57	2,46	56,66	B	4,62	1,86	2,86	54,03	B	5,47
	56090000	1,87	2,37	26,95	A	0,79	2,25	2,76	22,78	A	0,81
	56110005	40,20	43,16	7,36	A	0,93	53,20	54,11	1,72	A	0,98
	56240000	7,42	6,94	-6,45	A	1,07	6,63	8,30	25,24	A	0,80
	56335001	13,40	9,45	-29,48	A	1,42	13,70	11,39	-16,83	A	1,20
	56337000	4,82	3,97	-17,59	A	1,21	5,58	4,68	-16,05	A	1,19
Região III	56385000	3,18	2,51	-21,02	A	1,27	4,54	3,20	-29,56	A	1,42
	56415000	9,10	8,20	-9,90	A	1,11	11,40	10,20	-10,53	A	1,12
	56460000	2,69	2,64	-1,73	A	1,02	3,27	3,36	2,84	A	0,97
	56484998	5,53	5,49	-0,64	A	1,01	6,67	6,89	-3,28	A	0,97
	56500000	1,03	1,23	19,85	A	0,83	1,39	1,59	14,68	A	0,87

Continua...

Quadro 4E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Normal					Q ₉₅ Período Chuvoso				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	7,21	7,42	2,91	A	0,97	7,36	9,25	25,65	A	0,80
	56520000	0,81	0,72	-10,70	A	1,12	0,91	0,94	-3,73	A	0,96
	56570000	2,64	3,45	30,83	A	0,76	2,71	2,75	1,33	A	0,99
Região IV	56610000	7,88	6,08	-22,84	A	1,30	7,69	7,62	-0,85	A	1,01
	56640000	3,64	2,29	-37,05	A	1,59	4,63	2,78	-39,88	A	1,66
	56659998	17,50	15,51	-11,39	A	1,13	25,30	20,05	-20,75	A	1,26
	56696000	32,20	26,26	-18,44	A	1,23	43,80	34,54	-21,14	A	1,27
	56750000	1,30	1,56	19,62	A	0,84	1,93	1,87	-3,35	A	1,03
	56765000	3,11	3,25	4,64	A	0,96	4,98	6,43	29,18	A	0,77
	56775000	14,50	20,56	41,78	A	0,71	28,60	26,83	-6,20	A	1,07
	56787000	6,68	6,57	-1,62	A	1,02	6,30	8,26	31,14	A	0,76
	56800000	5,79	7,89	36,34	A	0,73	6,89	9,98	44,90	A	0,69
	56825000	55,70	49,58	-10,99	A	1,12	63,90	66,57	4,18	A	0,96
	56845000	3,79	5,61	47,92	A	0,68	5,56	7,01	26,11	A	0,79
	56846000	10,60	10,09	-4,82	A	1,05	14,00	12,86	-8,12	A	1,09
Região V	56860000	9,10	9,84	8,10	A	0,93	12,80	10,66	-16,74	A	1,20
	56870000	1,40	1,23	-11,96	A	1,14	1,31	1,43	9,26	A	0,92
	56880000	2,76	3,42	23,87	A	0,81	3,57	5,35	49,82	A	0,67
	56891900	20,00	17,24	-13,79	A	1,16	29,90	27,46	-8,18	A	1,09
	56900000	0,48	0,48	0,72	A	0,99	1,04	0,87	-16,07	A	1,19
	56915500	0,68	0,66	-2,46	A	1,03	1,47	1,40	-4,63	A	1,05
Região VI	56935000	2,03	2,83	39,27	A	0,72	2,46	3,05	23,83	A	0,81
	56940002	7,28	6,92	-4,89	A	1,05	9,27	9,86	6,34	A	0,94
	56960005	1,71	5,15	201,18	B	1,60	2,62	7,75	195,75	B	2,45
	56976000	12,10	11,86	-1,98	A	1,02	14,10	16,52	17,17	A	0,85
	56978000	13,10	12,27	-6,30	A	1,07	17,60	17,04	-3,18	A	1,03
	56983000	2,12	1,66	-21,66	A	1,28	3,74	2,77	-25,84	A	1,35

Continua...

Quadro 4E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₅ Período Normal					Q ₉₅ Período Chuvoso				
		Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₅ obs.	Q ₉₅ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	6,49	6,80	4,79	A	0,95	8,39	9,96	18,76	A	0,84
	56989001	3,44	3,27	-4,94	A	1,05	4,34	5,04	16,24	A	0,86
	56989400	10,50	12,33	17,42	A	0,85	15,50	16,94	9,27	A	0,92
	56990000	32,20	29,35	-8,86	A	1,10	49,70	36,94	-25,68	A	1,35
Região VII	56990990	2,11	1,55	-26,41	A	1,36	2,30	1,78	-22,74	A	1,29
	56991500	5,55	4,60	-17,14	A	1,21	7,08	5,54	-21,73	A	1,28
	56992000	6,60	7,41	12,26	A	0,89	7,81	13,96	78,70	B	2,56
	56993002	1,13	1,65	46,10	A	0,68	1,34	1,89	41,40	A	0,71
	56993551	1,07	2,65	147,60	B	1,21	1,38	3,57	158,62	B	1,56
	56995500	1,12	1,42	26,89	A	0,79	1,86	1,79	-3,54	A	1,04
	56997000	2,40	1,82	-24,32	A	1,32	2,52	2,48	-1,49	A	1,02

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 5E. Valores de Q_{90} observados nas curvas de permanência (Q_{90} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{90} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período anual e o período seco

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Anual					Q ₉₀ Período Seco				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	76,98	77,72	0,96	A	0,99	63,90	67,21	5,18	A	0,95
	56539000	105,74	108,35	2,47	A	0,98	94,90	93,04	-1,96	A	1,02
	56719998	142,60	146,97	3,07	A	0,97	121,00	125,40	3,63	A	0,96
	56850000	243,41	213,90	-12,12	A	1,14	215,00	181,06	-15,79	A	1,19
	56920000	311,58	268,03	-13,98	A	1,16	258,00	225,80	-12,48	A	1,14
	56948005	247,88	289,30	16,71	A	0,86	207,00	243,32	17,54	A	0,85
	56994500	298,88	339,84	13,71	A	0,88	247,00	284,86	15,33	A	0,87
	56998000	382,85	357,96	-6,50	A	1,07	320,00	299,72	-6,34	A	1,07
Região II	56028000	9,11	11,21	23,10	A	0,81	6,38	8,47	32,73	A	0,75
	56055000	8,35	8,87	6,22	A	0,94	7,10	7,43	4,67	A	0,96
	56065000	2,43	2,55	4,87	A	0,95	2,17	1,73	-20,40	A	1,26
	56075000	30,90	32,20	4,20	A	0,96	26,50	24,28	-8,37	A	1,09
	56085000	1,77	2,89	63,22	B	5,21	1,34	2,25	68,27	B	3,94
	56090000	2,09	2,79	33,53	A	0,75	1,91	2,18	14,38	A	0,87
	56110005	42,58	47,20	10,85	A	0,90	35,40	35,14	-0,74	A	1,01
	56240000	8,77	7,94	-9,41	A	1,10	7,33	8,07	10,16	A	0,91
	56335001	15,62	10,73	-31,28	A	1,46	13,70	10,49	-23,43	A	1,31
	56337000	6,07	4,61	-24,05	A	1,32	4,52	4,59	1,51	A	0,99
Região III	56385000	3,43	2,96	-13,70	A	1,16	2,61	2,07	-20,65	A	1,26
	56415000	10,62	9,07	-14,56	A	1,17	8,63	6,78	-21,48	A	1,27
	56460000	3,07	3,11	1,22	A	0,99	2,25	2,18	-3,11	A	1,03
	56484998	6,04	6,21	2,84	A	0,97	3,61	4,54	25,69	A	0,80
	56500000	1,51	1,51	0,07	A	1,00	0,77	1,02	32,02	A	0,76

Continua...

Quadro 5E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Anual					Q ₉₀ Período Seco				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	7,76	8,25	6,37	A	0,94	6,42	6,13	-4,50	A	1,05
	56520000	0,93	0,91	-2,04	A	1,02	0,74	0,60	-19,59	A	1,24
	56570000	3,20	4,00	25,07	A	0,80	2,19	2,85	30,13	A	0,77
Região IV	56610000	9,77	8,18	-16,23	A	1,19	6,81	5,75	15,54	A	1,18
	56640000	4,04	2,81	-30,52	A	1,44	2,72	2,09	-23,30	A	1,30
	56659998	21,41	21,45	0,16	A	1,00	17,70	15,22	-14,03	A	1,16
	56696000	34,79	31,82	-8,55	A	1,09	30,30	26,31	-13,18	A	1,15
	56750000	1,86	2,06	11,00	A	0,90	1,11	1,39	25,64	A	0,80
	56765000	3,99	5,56	39,47	A	0,72	2,62	2,66	1,57	A	0,98
	56775000	21,30	29,21	37,16	A	0,73	14,40	20,40	41,65	A	0,71
	56787000	8,15	8,35	2,48	A	0,98	6,10	6,24	2,22	A	0,98
	56800000	6,15	6,89	12,04	A	0,89	3,75	4,11	9,49	A	0,91
	56825000	66,58	57,10	-14,24	A	1,17	53,90	50,91	-5,54	A	1,06
	56845000	4,18	4,71	12,58	A	0,89	3,03	2,75	-9,25	A	1,10
	56846000	10,97	8,80	-19,80	A	1,25	8,08	9,73	20,48	A	0,83
Região V	56860000	10,73	11,78	9,82	A	0,91	8,37	9,15	9,36	A	0,91
	56870000	2,13	1,85	-13,24	A	1,15	1,44	1,25	-12,93	A	1,15
	56880000	4,04	5,07	25,51	A	0,80	2,59	3,48	34,25	A	0,74
	56891900	25,83	21,94	-15,07	A	1,18	20,20	16,51	-18,24	A	1,22
	56900000	0,90	0,91	0,74	A	0,99	0,57	0,54	-5,22	A	1,06
	56915500	1,29	1,26	-2,00	A	1,02	0,74	0,75	1,01	A	0,99
Região VI	56935000	2,90	3,47	19,66	A	0,84	2,46	2,56	4,24	A	0,96
	56940002	9,10	8,79	-3,46	A	1,04	7,51	6,23	-17,05	A	1,21
	56960005	2,82	5,98	112,19	B	2,63	1,65	4,44	168,85	B	1,54
	56976000	13,06	13,24	1,38	A	0,99	9,59	9,72	1,33	A	0,99
	56978000	14,73	13,69	-7,07	A	1,08	12,40	10,04	-19,03	A	1,24
	56983000	2,33	2,04	-12,56	A	1,14	1,74	1,53	-12,01	A	1,14

Continua...

Quadro 5E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Anual					Q ₉₀ Período Seco				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	7,60	7,82	2,90	A	0,97	5,31	5,77	8,69	A	0,92
	56989001	4,23	4,13	-2,32	A	1,02	2,53	3,00	18,75	A	0,84
	56989400	12,85	14,27	11,07	A	0,90	7,91	10,31	30,36	A	0,77
	56990000	35,25	33,49	-5,00	A	1,05	24,60	23,69	-3,72	A	1,04
Região VII	56990990	2,46	2,20	-10,39	A	1,12	0,90	0,72	-20,21	A	1,25
	56991500	6,97	5,66	-18,87	A	1,23	4,16	3,07	-26,31	A	1,36
	56992000	7,45	12,96	73,97	B	3,40	4,76	10,06	111,40	B	2,17
	56993002	1,94	2,32	19,83	A	0,83	0,56	0,78	39,18	A	0,72
	56993551	1,52	3,82	151,54	B	1,72	0,84	1,81	115,46	B	0,95
	56995500	1,54	1,90	23,20	A	0,81	0,82	0,89	8,28	A	0,92
	56997000	3,04	2,50	-17,86	A	1,22	1,54	1,37	-10,73	A	1,12

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 6E. Valores de Q_{90} observados nas curvas de permanência (Q_{90} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{90} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período normal e o período chuvoso

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Normal					Q ₉₀ Período Chuvoso				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	79,70	80,34	0,80	A	0,99	121,00	116,96	-3,34	A	1,03
	56539000	107,00	111,87	4,55	A	0,96	155,00	164,84	6,35	A	0,94
	56719998	151,00	151,57	0,38	A	1,00	219,00	225,85	3,13	A	0,97
	56850000	250,00	220,29	-11,88	A	1,13	366,00	332,76	-9,08	A	1,10
	56920000	322,00	275,80	-14,35	A	1,17	474,00	420,06	-11,38	A	1,13
	56948005	255,00	297,60	16,71	A	0,86	393,00	454,52	15,65	A	0,86
	56994500	298,00	349,39	17,25	A	0,85	498,00	536,76	7,78	A	0,93
	56998000	402,00	367,94	-8,47	A	1,09	603,00	566,34	-6,08	A	1,06
Região II	56028000	9,60	11,16	16,24	A	0,86	12,20	14,749	20,89	A	0,83
	56055000	8,53	8,76	2,66	A	0,97	12,80	11,430	-10,70	A	1,12
	56065000	2,39	2,41	0,94	A	0,99	3,39	2,947	-13,07	A	1,15
	56075000	31,30	33,19	6,05	A	0,94	46,30	46,403	0,22	A	1,00
	56085000	1,82	2,75	50,91	B	5,35	2,07	3,378	63,17	B	0,61
	56090000	2,02	2,65	31,20	A	0,76	2,55	3,253	27,57	A	0,78
	56110005	44,70	49,29	10,27	A	0,91	69,90	70,320	0,60	A	0,99
	56240000	8,50	7,81	-8,07	A	1,09	8,65	10,141	17,24	A	0,85
	56335001	15,30	10,66	-30,30	A	1,43	17,00	14,063	-17,28	A	1,21
	56337000	5,27	4,45	-15,51	A	1,18	6,57	5,613	-14,56	A	1,17
Região III	56385000	3,49	3,08	-11,73	A	1,13	5,31	4,47	-15,75	A	1,19
	56415000	10,80	10,24	5,21	A	1,05	14,00	15,59	11,33	A	0,90
	56460000	3,18	3,25	2,04	A	0,98	5,18	4,72	-8,83	A	1,10
	56484998	7,20	6,82	-5,29	A	1,06	10,70	10,22	-4,51	A	1,05
	56500000	1,40	1,50	7,01	A	0,93	1,77	2,12	19,49	A	0,84

Continua...

Quadro 6E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Normal					Q ₉₀ Período Chuvoso				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	9,21	9,25	0,43	A	1,00	13,60	14,03	3,14	A	0,97
	56520000	0,93	0,87	-6,36	A	1,07	1,21	1,20	-0,54	A	1,01
	56570000	3,46	4,26	23,03	A	0,81	3,82	4,58	19,86	A	0,83
Região IV	56610000	9,36	7,07	-24,48	A	1,32	12,60	10,33	-18,05	A	1,22
	56640000	4,01	2,65	-33,85	A	1,51	5,59	3,87	-30,77	A	1,44
	56659998	19,40	18,10	-6,69	A	1,07	29,90	26,47	-11,46	A	1,13
	56696000	34,80	30,73	-11,70	A	1,13	56,60	44,96	-20,56	A	1,26
	56750000	1,57	1,80	14,47	A	0,87	2,76	2,62	-5,04	A	1,05
	56765000	3,66	3,90	6,50	A	0,94	6,55	8,75	33,59	A	0,75
	56775000	17,90	24,03	34,24	A	0,74	35,80	35,15	-1,81	A	1,02
	56787000	8,40	7,64	-9,02	A	1,10	8,17	11,16	36,66	A	0,73
	56800000	6,53	9,19	40,70	A	0,71	9,07	13,42	48,01	A	0,68
	56825000	70,00	58,17	-16,90	A	1,20	85,30	85,18	-0,14	A	1,00
	56845000	4,44	6,52	46,74	A	0,68	7,19	9,52	32,35	A	0,76
	56846000	11,60	11,76	1,34	A	0,99	16,70	17,18	2,88	A	0,97
Região V	56860000	10,80	11,42	5,74	A	0,95	16,20	14,35	-11,39	A	1,13
	56870000	1,77	1,61	-9,26	A	1,10	1,95	2,09	7,43	A	0,93
	56880000	3,64	4,62	26,99	A	0,79	5,81	7,89	35,83	A	0,74
	56891900	25,30	21,74	14,07	A	1,16	41,80	38,37	-8,20	A	1,09
	56900000	0,78	0,74	-4,49	A	1,05	1,70	1,41	-17,13	A	1,21
	56915500	1,05	1,05	0,28	A	1,00	2,25	2,29	1,79	A	0,98
Região VI	56935000	2,52	3,36	33,39	A	0,75	3,32	4,06	22,38	A	0,82
	56940002	8,66	8,47	-2,17	A	1,02	12,10	12,82	5,99	A	0,94
	56960005	2,81	6,05	115,41	B	2,62	4,39	10,19	132,03	B	4,10
	56976000	14,20	13,92	-1,98	A	1,02	18,70	21,60	15,50	A	0,87
	56978000	15,10	14,41	-4,59	A	1,05	24,80	22,27	-10,19	A	1,11
	56983000	2,36	1,96	-17,12	A	1,21	4,56	3,67	-19,44	A	1,24

Continua...

Quadro 6E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₉₀ Período Normal					Q ₉₀ Período Chuvoso				
		Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₉₀ obs.	Q ₉₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	7,84	8,00	2,02	A	0,98	10,80	13,07	21,03	A	0,83
	56989001	4,29	3,94	-8,08	A	1,09	6,13	6,62	7,95	A	0,93
	56989400	12,90	14,69	13,88	A	0,88	20,80	22,07	6,09	A	0,94
	56990000	38,10	35,29	-7,37	A	1,08	58,70	47,75	-18,66	A	1,23
Região VII	56990990	2,72	1,97	-27,40	A	1,38	3,00	2,50	-16,78	A	1,20
	56991500	6,54	5,51	-15,72	A	1,19	9,40	6,98	-25,73	A	1,35
	56992000	7,80	8,65	10,92	A	0,90	10,80	18,10	67,57	B	4,93
	56993002	1,42	2,09	47,36	A	0,68	2,20	2,65	20,26	A	0,83
	56993551	1,53	3,28	114,54	B	1,73	2,47	5,16	108,85	B	2,79
	56995500	1,50	1,83	21,69	A	0,82	2,92	3,19	9,24	A	0,92
	56997000	2,94	2,30	-21,76	A	1,28	4,93	4,43	-10,24	A	1,11

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 7E. Valores de Q_{50} observados nas curvas de permanência (Q_{50} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{50} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período anual e o período seco

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Anual					Q ₅₀ Período Seco				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	136,39	128,79	-5,57	A	1,06	99,20	95,55	-3,68	A	1,04
	56539000	168,56	182,40	8,21	A	0,92	131,00	136,73	4,38	A	0,96
	56719998	241,72	251,03	3,85	A	0,96	178,00	189,96	6,72	A	0,94
	56850000	407,25	371,90	-8,68	A	1,10	316,00	284,72	-9,90	A	1,11
	56920000	536,56	471,02	-12,22	A	1,14	418,00	363,14	-13,13	A	1,15
	56948005	424,62	510,23	20,16	A	0,83	332,00	394,30	18,77	A	0,84
	56994500	548,33	603,98	10,15	A	0,91	419,00	469,08	11,95	A	0,89
	56998000	718,01	637,74	-11,18	A	1,13	554,00	496,10	-10,45	A	1,12
Região II	56028000	16,75	19,21	14,67	A	0,87	12,60	15,15	20,26	A	0,83
	56055000	14,28	15,00	5,07	A	0,95	11,30	12,02	6,37	A	0,94
	56065000	4,32	4,04	-6,58	A	1,07	3,65	3,51	3,88	A	1,04
	56075000	55,44	58,30	5,17	A	0,95	42,60	42,93	0,78	A	0,99
	56085000	2,59	4,61	77,83	B	7,62	2,20	3,97	80,49	B	6,47
	56090000	3,20	4,44	38,79	A	0,72	2,71	3,84	41,61	A	0,71
	56110005	82,07	87,22	6,27	A	0,94	56,50	62,63	10,85	A	0,90
	56240000	14,15	13,36	-5,57	A	1,06	12,00	10,78	-10,15	A	1,11
	56335001	24,31	18,34	-24,55	A	1,33	19,50	14,51	-25,58	A	1,34
	56337000	9,37	7,53	-19,60	A	1,24	8,19	6,30	-23,08	A	1,30
Região III	56385000	6,09	5,73	-5,92	A	1,06	4,57	4,15	-9,20	A	1,10
	56415000	18,66	18,63	-0,14	A	1,00	14,20	13,14	-7,44	A	1,08
	56460000	6,48	6,03	-6,95	A	1,07	4,23	4,36	3,13	A	0,97
	56484998	13,37	12,50	-6,49	A	1,07	8,94	8,90	-0,47	A	1,00
	56500000	2,83	2,82	-0,26	A	1,00	2,03	2,08	2,33	A	0,98

Continua...

Quadro 7E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Anual					Q ₅₀ Período Seco				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	17,14	16,87	-1,59	A	1,02	12,30	11,92	-3,06	A	1,03
	56520000	1,66	1,66	0,19	A	1,00	1,31	1,23	-5,81	A	1,06
	56570000	6,30	7,87	24,94	A	0,80	4,56	5,66	24,13	A	0,81
Região IV	56610000	18,89	16,39	-13,21	A	1,15	13,20	12,21	-7,49	A	1,08
	56640000	7,81	6,05	-22,57	A	1,29	5,88	5,12	-12,84	A	1,15
	56659998	35,76	40,34	12,79	A	0,89	26,50	28,09	6,00	A	0,94
	56696000	62,93	58,69	-6,73	A	1,07	48,90	44,88	-8,21	A	1,09
	56750000	4,24	4,52	6,61	A	0,94	3,01	3,63	20,60	A	0,83
	56765000	9,58	11,54	20,44	A	0,83	6,28	6,26	-0,24	A	1,00
	56775000	45,93	53,80	17,14	A	0,85	29,40	36,10	22,78	A	0,81
	56787000	16,30	16,75	2,76	A	0,97	18,30	13,09	-28,49	A	1,40
	56800000	12,99	14,23	9,52	A	0,91	9,39	8,99	-4,25	A	1,04
	56825000	114,29	101,68	-11,03	A	1,12	85,50	78,99	-7,61	A	1,08
	56845000	8,64	9,97	15,44	A	0,87	5,94	6,40	7,82	A	0,93
	56846000	21,96	17,88	-18,57	A	1,23	14,70	19,16	30,35	A	0,77
Região V	56860000	21,96	22,67	3,24	A	0,97	16,10	17,23	7,03	A	0,93
	56870000	4,62	4,29	-7,09	A	1,08	3,75	3,39	-9,56	A	1,11
	56880000	10,67	13,28	24,47	A	0,80	8,16	9,78	19,87	A	0,83
	56891900	58,99	51,95	-11,94	A	1,14	41,80	36,71	-12,18	A	1,14
	56900000	3,12	2,98	-4,45	A	1,05	2,29	2,25	-1,75	A	1,02
	56915500	4,52	4,50	-0,47	A	1,00	3,29	3,29	0,05	A	1,00
Região VI	56935000	6,06	7,27	19,97	A	0,83	5,61	5,44	-3,01	A	1,03
	56940002	20,81	19,55	-6,05	A	1,06	17,70	15,59	-11,91	A	1,14
	56960005	9,23	11,86	28,53	A	0,78	6,70	8,52	27,09	A	0,79
	56976000	26,24	25,44	-3,06	A	1,03	19,00	17,92	-5,66	A	1,06
	56978000	29,05	26,29	-9,52	A	1,11	20,40	18,52	-9,20	A	1,10
	56983000	4,81	4,22	-12,33	A	1,14	3,29	3,10	-5,65	A	1,06

Continua...

Quadro 7E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Anual					Q ₅₀ Período Seco				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	14,09	15,40	9,31	A	0,91	10,00	11,02	10,24	A	0,91
	56989001	9,17	9,00	-1,84	A	1,02	6,11	6,98	14,31	A	0,87
	56989400	26,48	28,70	8,39	A	0,92	18,30	21,07	15,12	A	0,87
	56990000	67,85	67,40	-0,67	A	1,01	50,10	49,99	-0,21	A	1,00
Região VII	56990990	5,03	4,34	-13,63	A	1,16	4,06	3,99	-1,72	A	1,02
	56991500	13,27	10,94	-17,59	A	1,21	8,62	7,90	-8,34	A	1,09
	56992000	15,33	16,40	7,00	A	0,93	10,90	10,67	-2,13	A	1,02
	56993002	3,82	4,58	19,81	A	0,83	2,24	2,95	31,71	A	0,76
	56993551	4,53	7,32	61,68	B	5,12	3,04	5,14	69,13	B	3,43
	56995500	4,97	6,56	31,95	A	0,76	3,77	4,55	20,75	A	0,83
	56997000	9,41	10,31	-9,41	A	0,91	6,67	7,57	13,45	A	0,88

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 8E. Valores de Q_{50} observados nas curvas de permanência (Q_{50} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{50} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período normal e o período chuvoso

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Normal					Q ₅₀ Período Chuvoso				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	122,00	116,76	-4,30	A	1,04	211,00	203,72	-3,45	A	1,04
	56539000	153,00	166,01	8,50	A	0,92	274,00	298,74	9,03	A	0,92
	56719998	224,00	229,29	2,36	A	0,98	430,00	424,45	-1,29	A	1,01
	56850000	375,00	341,19	-9,02	A	1,10	720,00	654,01	-9,17	A	1,10
	56920000	497,00	433,27	-12,82	A	1,15	882,00	848,10	-3,84	A	1,04
	56948005	406,00	469,76	15,71	A	0,86	842,00	926,08	9,99	A	0,91
	56994500	496,00	557,13	12,32	A	0,89	1064,00	1114,86	4,78	A	0,95
	56998000	645,00	588,63	-8,74	A	1,10	1238,00	1183,59	-4,39	A	1,05
Região II	56028000	15,00	17,71	18,09	A	0,85	28,80	30,30	5,20	A	0,95
	56055000	13,20	13,85	4,94	A	0,95	22,60	23,62	4,50	A	0,96
	56065000	3,88	3,75	-3,38	A	1,03	6,48	6,28	-3,09	A	1,03
	56075000	51,20	53,49	4,48	A	0,96	91,20	92,88	1,84	A	0,98
	56085000	2,52	4,28	69,67	B	7,41	3,82	7,17	87,81	B	11,23
	56090000	3,03	4,12	36,10	A	0,73	5,10	6,92	35,61	A	0,74
	56110005	74,60	79,87	7,06	A	0,93	125,00	139,42	11,54	A	0,90
	56240000	13,20	12,34	-6,49	A	1,07	22,40	21,01	-6,21	A	1,07
	56335001	22,80	16,92	-25,80	A	1,35	36,40	28,92	-20,55	A	1,26
	56337000	8,82	6,98	-20,88	A	1,26	14,40	11,79	-18,15	A	1,22
Região III	56385000	5,51	5,22	-5,33	A	1,06	10,00	10,17	1,66	A	0,98
	56415000	16,80	17,18	2,26	A	0,98	32,70	36,55	11,78	A	0,89
	56460000	5,60	5,49	-1,91	A	1,02	13,30	10,74	-19,21	A	1,24
	56484998	12,20	11,48	-5,92	A	1,06	27,80	23,71	-14,73	A	1,17
	56500000	2,55	2,55	0,03	A	1,00	4,86	4,72	-2,97	A	1,03

Continua...

Quadro 8E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Normal					Q ₅₀ Período Chuvoso				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	16,50	15,53	-5,86	A	1,06	34,10	32,81	-3,79	A	1,04
	56520000	1,52	1,49	-2,06	A	1,02	2,52	2,65	4,97	A	0,95
	56570000	5,92	7,19	21,46	A	0,82	11,00	14,35	30,44	A	0,77
Região IV	56610000	16,50	13,18	-20,13	A	1,25	29,80	25,25	-15,27	A	1,18
	56640000	6,83	5,27	-22,82	A	1,30	14,10	9,89	-29,87	A	1,43
	56659998	30,70	31,74	3,40	A	0,97	70,10	62,06	-11,47	A	1,13
	56696000	57,90	52,06	-10,09	A	1,11	113,00	102,93	-8,91	A	1,10
	56750000	3,78	3,66	-3,08	A	1,03	7,46	6,81	-8,65	A	1,09
	56765000	8,31	11,29	35,88	A	0,74	19,10	21,56	12,86	A	0,89
	56775000	41,20	41,36	0,40	A	1,00	99,60	81,36	-18,31	A	1,22
	56787000	14,80	14,18	-4,21	A	1,04	27,30	27,21	-0,35	A	1,00
	56800000	11,80	16,84	42,70	A	0,70	22,50	32,44	44,19	A	0,69
	56825000	107,00	94,53	-11,66	A	1,13	202,00	189,49	-6,19	A	1,07
	56845000	7,62	8,48	-11,33	A	0,90	16,00	23,35	45,97	A	0,69
	56846000	19,40	21,20	9,29	A	0,92	32,60	41,07	25,97	A	0,79
Região V	56860000	20,10	20,75	3,21	A	0,97	33,60	34,40	2,39	A	0,98
	56870000	4,39	3,98	-9,26	A	1,10	7,05	6,54	-7,18	A	1,08
	56880000	8,51	11,52	35,41	A	0,74	18,60	22,59	21,43	A	0,82
	56891900	51,90	44,00	-15,22	A	1,18	100,00	90,17	-9,83	A	1,11
	56900000	2,71	2,58	-4,64	A	1,05	5,24	5,23	-0,24	A	1,00
	56915500	3,87	3,77	-2,48	A	1,03	8,66	8,34	-3,69	A	1,04
Região VI	56935000	5,86	6,41	9,31	A	0,91	10,20	13,28	30,22	A	0,77
	56940002	17,60	17,12	-2,74	A	1,03	37,70	35,10	-6,90	A	1,07
	56960005	9,61	10,67	11,06	A	0,90	18,60	22,10	18,81	A	0,84
	56976000	24,70	23,28	-5,75	A	1,06	55,00	47,96	-12,80	A	1,15
	56978000	26,60	24,07	-9,52	A	1,11	54,20	49,58	-8,53	A	1,09
	56983000	4,00	3,71	-7,34	A	1,08	9,23	7,73	-16,30	A	1,19

Continua...

Quadro 8E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q ₅₀ Período Normal					Q ₅₀ Período Chuvoso				
		Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q ₅₀ obs.	Q ₅₀ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	12,20	13,92	14,11	A	0,88	24,00	28,77	19,88	A	0,83
	56989001	8,18	7,86	-3,89	A	1,04	17,30	16,24	-6,11	A	1,07
	56989400	23,50	25,96	10,49	A	0,91	49,20	53,32	8,38	A	0,92
	56990000	62,60	61,52	-1,72	A	1,02	124,00	125,44	1,16	A	0,99
Região VII	56990990	4,66	4,58	-1,77	A	1,02	9,01	7,97	-11,58	A	1,13
	56991500	11,50	9,99	-13,11	A	1,15	20,80	18,27	-12,15	A	1,14
	56992000	14,30	14,08	-1,55	A	1,02	25,80	26,31	2,00	A	0,98
	56993002	3,10	3,63	17,00	A	0,85	7,50	8,35	11,32	A	0,90
	56993551	3,96	6,47	63,27	B	4,47	9,13	13,73	50,43	B	10,32
	56995500	4,55	5,73	25,93	A	0,79	12,70	13,79	8,56	A	0,92
	56997000	7,99	9,51	19,03	A	0,84	16,60	17,34	4,45	A	0,96

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 9E. Valores de vazões médias de longa duração observados (Q_{mid} obs. m^3s^{-1}), estimados pela regionalização (Q_{mid} est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período anual e o período seco

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{mid} Período Anual					Q _{mid} Período Seco				
		Q _{mid} obs.	Q _{mid} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{mid} obs.	Q _{mid} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	166,99	163,45	-2,12	A	1,02	118,54	115,67	-2,43	A	1,02
	56539000	223,04	237,94	6,68	A	0,94	156,82	167,42	6,76	A	0,94
	56719998	338,96	335,82	-0,93	A	1,01	233,31	235,06	0,75	A	0,99
	56850000	553,29	513,20	-7,25	A	1,08	386,14	356,91	-7,57	A	1,08
	56920000	689,81	662,21	-4,00	A	1,04	496,12	458,77	-7,53	A	1,08
	56948005	676,77	721,89	6,67	A	0,94	469,28	499,46	6,43	A	0,94
	56994500	857,00	865,98	1,05	A	0,99	568,42	597,49	5,11	A	0,95
	56998000	911,79	918,33	0,72	A	0,99	635,29	633,04	-0,35	A	1,00
Região II	56028000	23,93	25,05	4,69	A	0,96	15,60	17,79	14,02	A	0,88
	56055000	19,06	19,61	2,89	A	0,97	13,51	14,08	4,18	A	0,96
	56065000	5,40	5,33	-1,29	A	1,01	4,21	4,05	-3,57	A	1,04
	56075000	72,82	75,36	3,48	A	0,97	49,65	50,96	2,64	A	0,97
	56085000	4,32	6,08	40,80	A	0,71	2,81	4,60	63,65	B	0,61
	56090000	4,04	5,86	45,00	A	0,69	3,24	4,44	37,16	A	0,73
	56110005	98,54	112,35	14,02	A	0,88	68,14	74,65	9,54	A	0,91
	56240000	18,81	17,48	-7,06	A	1,08	13,60	12,61	-7,27	A	1,08
	56335001	30,77	23,93	-22,22	A	1,29	22,30	17,03	-23,63	A	1,31
	56337000	13,02	9,90	-23,93	A	1,31	9,16	7,33	-20,02	A	1,25
Região III	56385000	8,12	8,33	2,63	A	0,97	5,86	5,63	-3,98	A	1,04
	56415000	25,25	27,45	8,73	A	0,92	18,12	17,45	-3,69	A	1,04
	56460000	10,09	8,77	-13,05	A	1,15	6,28	5,91	-5,85	A	1,06
	56484998	19,23	18,34	-4,62	A	1,05	11,74	11,90	-1,33	A	0,99
	56500000	4,45	4,07	-8,55	A	1,09	2,92	2,85	-2,35	A	1,02

Continua...

Quadro 9E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{mld} Período Anual					Q _{mld} Período Seco				
		Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	25,93	24,82	-4,25	A	1,04	15,79	15,86	0,45	A	1,00
	56520000	2,18	2,38	9,27	A	0,92	1,68	1,71	2,00	A	0,98
	56570000	10,17	11,49	12,97	A	0,89	6,73	7,63	13,34	A	0,88
Região IV	56610000	27,82	26,35	-5,30	A	1,06	18,01	14,77	-17,99	A	1,22
	56640000	12,45	9,68	-22,27	A	1,29	8,22	6,21	-24,42	A	1,32
	56659998	56,41	64,35	14,08	A	0,88	35,71	33,93	-4,99	A	1,05
	56696000	87,34	88,78	1,64	A	0,98	59,50	54,16	-8,97	A	1,10
	56750000	6,92	7,48	8,14	A	0,92	4,50	4,40	-2,10	A	1,02
	56765000	16,56	17,43	5,22	A	0,95	10,18	12,76	25,41	A	0,80
	56775000	82,22	86,05	4,65	A	0,96	45,66	43,58	-4,55	A	1,05
	56787000	24,79	26,51	6,94	A	0,94	15,80	15,83	0,17	A	1,00
	56800000	19,28	19,92	3,29	A	0,97	13,12	18,63	41,92	A	0,70
	56825000	171,54	149,30	-12,97	A	1,15	106,06	95,22	-10,22	A	1,11
	56845000	12,34	13,89	12,56	A	0,89	8,13	9,46	16,31	A	0,86
	56846000	26,82	24,89	-7,20	A	1,08	18,57	23,16	24,73	A	0,80
Região V	56860000	28,99	29,27	0,96	A	0,99	21,03	21,42	1,87	A	0,98
	56870000	6,32	5,88	-6,89	A	1,07	4,82	4,43	-7,96	A	1,09
	56880000	15,82	19,97	26,24	A	0,79	10,84	13,75	26,84	A	0,79
	56891900	85,67	76,54	-10,67	A	1,12	57,11	50,67	-11,27	A	1,13
	56900000	4,94	4,88	-1,14	A	1,01	3,40	3,39	-0,25	A	1,00
	56915500	8,13	7,76	-4,58	A	1,05	5,44	5,17	-4,99	A	1,05
Região VI	56935000	9,37	10,75	14,79	A	0,87	6,59	7,17	8,82	A	0,92
	56940002	30,48	28,68	-5,90	A	1,06	20,60	19,23	-6,66	A	1,07
	56960005	13,09	17,48	33,58	A	0,75	9,68	11,39	17,62	A	0,85
	56976000	41,37	37,28	-9,89	A	1,11	24,53	23,80	-2,97	A	1,03
	56978000	41,94	38,52	-8,17	A	1,09	26,40	24,57	-6,93	A	1,07
	56983000	6,77	6,26	-7,44	A	1,08	4,55	4,19	-7,94	A	1,09

Continua...

Quadro 9E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{mld} Período Anual					Q _{mld} Período Seco				
		Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	20,36	22,65	11,25	A	0,90	14,09	14,67	4,18	A	0,96
	56989001	13,92	13,28	-4,56	A	1,05	8,71	8,94	2,64	A	0,97
	56989400	37,38	42,01	12,41	A	0,89	23,90	27,15	13,59	A	0,88
	56990000	96,86	98,02	1,20	A	0,99	64,32	62,62	-2,63	A	1,03
Região VII	56990990	7,65	6,65	-13,09	A	1,15	5,09	4,19	-17,75	A	1,22
	56991500	17,53	15,67	-10,62	A	1,12	12,27	10,36	-15,57	A	1,18
	56992000	22,05	22,84	3,55	A	0,97	14,80	15,43	4,27	A	0,96
	56993002	6,03	6,98	15,68	A	0,86	3,75	4,41	17,62	A	0,85
	56993551	8,04	11,39	41,64	A	0,71	5,04	7,40	46,71	A	0,68
	56995500	11,15	11,71	5,09	A	0,95	6,34	7,62	20,15	A	0,83
	56997000	14,51	14,84	2,27	A	0,98	10,01	9,79	-2,24	A	1,02

* Caso A ($Ca = Q_{obs}/Q_{est}$, adimensional); Caso B ($q = Q_{obs}/Area$. $L.s^{-1}km^{-2}$).

Quadro 10E. Valores de vazões médias de longa duração observados ($Q_{\text{mld obs. m}^3\text{s}^{-1}}$), estimados pela regionalização ($Q_{\text{mld est. m}^3\text{s}^{-1}}$), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas considerando o período normal e o período chuvoso

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{mld} Período Normal					Q _{mld} Período Chuvoso				
		Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	133,60	129,46	-3,10	A	1,03	251,59	246,50	-2,02	A	1,02
	56539000	170,09	184,82	8,66	A	0,92	337,89	364,78	7,96	A	0,93
	56719998	259,23	256,22	-1,16	A	1,01	536,15	522,63	-2,52	A	1,03
	56850000	407,84	383,03	-6,08	A	1,06	887,25	813,61	8,30	A	1,09
	56920000	533,89	487,75	-8,64	A	1,09	1069,11	1061,61	-0,70	A	1,01
	56948005	491,60	529,33	7,67	A	0,93	1110,11	1161,64	4,64	A	0,96
	56994500	606,41	629,02	3,73	A	0,96	1419,57	1404,62	-1,05	A	1,01
	56998000	1451,64	1493,35	2,87	A	0,97	663,24	665,01	0,27	A	1,00
Região II	56028000	16,45	19,14	16,35	A	0,86	40,42	40,12	-0,74	A	1,01
	56055000	14,62	15,01	2,64	A	0,97	30,27	31,90	5,38	A	0,95
	56065000	4,18	4,12	-1,39	A	1,01	7,81	9,42	20,60	A	0,83
	56075000	55,27	57,13	3,37	A	0,97	110,12	112,59	2,24	A	0,98
	56085000	3,07	4,69	52,81	B	0,65	5,90	10,65	80,30	B	17,36
	56090000	3,27	4,53	38,37	A	0,72	5,69	8,12	42,84	A	0,70
	56110005	77,36	84,94	9,79	A	0,91	151,95	163,68	7,72	A	0,93
	56240000	14,28	13,39	-6,27	A	1,07	28,72	28,64	-0,27	A	1,00
	56335001	24,40	18,29	-25,05	A	1,33	44,90	38,44	14,39	A	1,17
	56337000	9,89	7,61	-23,02	A	1,30	19,95	16,82	-15,70	A	1,19
Região III	56385000	6,33	6,09	-3,77	A	1,04	12,44	13,53	8,73	A	0,92
	56415000	18,67	19,50	4,46	A	0,96	42,32	47,06	11,20	A	0,90
	56460000	6,73	6,40	-4,80	A	1,05	17,32	14,28	-17,56	A	1,21
	56484998	13,50	13,15	-2,57	A	1,03	33,94	30,86	-9,08	A	1,10
	56500000	3,22	3,03	-5,93	A	1,06	7,47	6,40	-14,37	A	1,17

Continua...

Quadro 10E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{md} Período Normal					Q _{md} Período Chuvoso				
		Q _{md} obs.	Q _{md} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{md} obs.	Q _{md} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	18,96	17,68	-6,79	A	1,07	43,85	42,35	-3,41	A	1,04
	56520000	1,72	1,79	3,95	A	0,96	3,19	3,64	14,08	A	0,88
	56570000	7,08	8,33	17,75	A	0,85	16,18	18,92	16,97	A	0,85
Região IV	56610000	19,03	15,15	-20,38	A	1,26	41,41	40,79	-1,50	A	1,02
	56640000	7,56	6,11	-19,13	A	1,24	21,43	17,02	-20,57	A	1,26
	56659998	34,53	36,19	4,79	A	0,95	95,64	94,33	-1,38	A	1,01
	56696000	61,28	59,06	-3,62	A	1,04	143,43	151,18	5,40	A	0,95
	56750000	4,35	4,26	-1,98	A	1,02	11,32	12,03	6,27	A	0,94
	56765000	10,18	13,00	27,77	A	0,78	29,54	35,20	19,17	A	0,84
	56775000	48,24	47,04	-2,50	A	1,03	135,17	121,42	-10,17	A	1,11
	56787000	16,52	16,29	-1,40	A	1,01	39,42	43,73	10,94	A	0,90
	56800000	13,70	19,31	40,95	A	0,71	30,58	30,94	1,18	A	0,99
	56825000	120,31	106,65	-11,36	A	1,13	274,05	267,04	-2,56	A	1,03
	56845000	8,66	10,45	20,66	A	0,83	19,48	21,55	10,62	A	0,90
	56846000	23,73	24,26	2,27	A	0,98	37,74	38,58	2,21	A	0,98
Região V	56860000	22,35	22,53	0,82	A	0,99	42,75	43,52	1,80	A	0,98
	56870000	4,76	4,35	-8,77	A	1,10	9,54	8,99	-5,76	A	1,06
	56880000	9,61	13,55	40,92	A	0,71	27,72	32,11	15,84	A	0,86
	56891900	61,88	52,41	-15,31	A	1,18	131,90	122,13	-7,40	A	1,08
	56900000	3,24	3,11	-4,15	A	1,04	8,12	8,17	0,69	A	0,99
	56915500	4,96	4,71	-4,97	A	1,05	13,86	13,37	-3,50	A	1,04
Região VI	56935000	6,08	7,25	19,32	A	0,84	15,79	17,91	13,42	A	0,88
	56940002	20,44	19,62	-4,04	A	1,04	50,55	48,07	-4,90	A	1,05
	56960005	10,96	12,22	11,44	A	0,90	23,41	28,91	23,50	A	0,81
	56976000	29,31	27,01	-7,84	A	1,09	71,25	61,32	-13,94	A	1,16
	56978000	31,27	27,94	-10,65	A	1,12	67,25	63,34	-5,81	A	1,06
	56983000	4,60	4,17	-9,52	A	1,11	10,99	10,43	-5,13	A	1,05

Continua...

Quadro 10E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{mld} Período Normal					Q _{mld} Período Chuvoso				
		Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{mld} obs.	Q _{mld} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	14,09	16,01	13,57	A	0,88	32,93	37,41	13,62	A	0,88
	56989001	9,66	8,91	-7,74	A	1,08	23,83	22,23	-6,68	A	1,07
	56989400	26,95	30,10	11,72	A	0,90	63,23	69,48	9,88	A	0,91
	56990000	72,20	72,28	0,10	A	1,00	156,51	161,88	3,43	A	0,97
Região VII	56990990	5,36	4,03	-24,80	A	1,33	13,01	11,72	-9,92	A	1,11
	56991500	13,51	10,72	-20,65	A	1,26	26,83	25,37	-5,44	A	1,06
	56992000	16,09	16,48	2,41	A	0,98	34,74	35,62	2,53	A	0,98
	56993002	3,38	4,26	25,88	A	0,79	10,82	12,24	13,21	A	0,88
	56993551	5,01	7,45	48,63	A	0,67	14,43	19,03	31,89	A	0,76
	56995500	6,15	7,69	25,13	A	0,80	19,69	19,53	-0,84	A	1,01
	56997000	9,70	10,08	3,92	A	0,96	23,69	24,16	2,01	A	0,98

* Caso A (Ca = Qobs/Qest, adimensional); Caso B (q = Qobs/Area. L.s⁻¹km⁻²).

Quadro 11E. Valores de vazões máximas observadas ($Q_{\max}$ obs. m^3s^{-1}), estimadas pela regionalização ($Q_{\max}$ est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas associadas aos períodos de retorno de 2 e 10 anos

Região Homogênea	Código da Estação	$Q_{\max}$ T = 2 anos					$Q_{\max}$ T = 10 anos				
		$Q_{\max}$ obs.	$Q_{\max}$ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	$Q_{\max}$ obs.	$Q_{\max}$ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	650,47	658,81	1,28	A	0,99	1101,93	1272,88	15,51	A	0,87
	56539000	895,89	980,14	9,40	A	0,91	1707,47	1814,72	6,28	A	0,94
	56719998	1646,20	1411,20	-14,28	A	1,17	3069,29	2512,66	-18,14	A	1,22
	56850000	2275,42	2210,20	-2,87	A	1,03	3959,15	3750,41	-5,27	A	1,06
	56920000	2744,48	2894,37	5,46	A	0,95	4527,92	4771,33	5,38	A	0,95
	56948005	3002,30	3171,01	5,62	A	0,95	4925,21	5176,44	5,10	A	0,95
	56994500	3982,73	3844,24	-3,48	A	1,04	6474,01	6147,18	-5,05	A	1,05
	56998000	4057,89	4090,47	0,80	A	0,99	6418,77	6497,52	1,23	A	0,99
Região II	56028000	184,66	134,23	-27,31	A	1,38	404,06	458,56	13,49	A	0,88
	56055000	114,51	128,35	12,08	A	0,89	154,88	374,98	142,11	B	141,70
	56065000	22,64	29,80	31,63	A	0,76	30,21	109,44	262,25	B	101,23
	56075000	336,00	345,89	2,94	A	0,97	630,91	704,01	11,59	A	0,90
	56085000	50,15	41,79	-16,67	A	1,20	78,52	82,17	4,65	A	0,96
	56090000	19,36	40,70	110,24	B	59,01	26,02	92,01	253,61	B	79,31
	56110005	477,40	477,85	0,09	A	1,00	919,35	762,66	-17,04	A	1,21
	56240000	125,79	158,25	25,81	A	0,79	274,99	321,37	16,86	A	0,86
	56335001	173,61	194,84	12,23	A	0,89	371,16	383,83	3,41	A	0,97
	56337000	122,97	93,81	-23,72	A	1,31	329,20	242,96	-26,20	A	1,35
Região III	56385000	41,43	53,80	29,85	A	0,77	58,88	56,52	-4,01	A	1,04
	56415000	132,19	160,15	21,15	A	0,83	256,84	352,10	37,09	A	0,73
	56460000	57,67	56,40	-2,20	A	1,02	92,49	90,28	-2,39	A	1,02
	56484998	115,11	110,72	-3,82	A	1,04	284,89	229,87	-19,31	A	1,24
	56500000	37,88	27,95	-26,22	A	1,36	100,34	42,59	-57,55	B	367,75

Continua...

Quadro 11E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{max} T = 2 anos					Q _{max} T = 10 anos				
		Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	153,26	146,05	-4,70	A	1,05	384,87	354,10	-8,00	A	1,09
	56520000	13,68	17,07	24,82	A	0,80	19,71	21,40	8,60	A	0,92
	56570000	93,71	72,17	-22,99	A	1,30	146,25	141,67	-3,13	A	1,03
Região IV	56610000	210,41	225,81	7,32	A	0,93	349,99	392,14	12,04	A	0,89
	56640000	132,73	105,39	-20,60	A	1,26	232,22	179,01	-22,92	A	1,30
	56659998	510,92	535,87	4,88	A	0,95	912,29	964,78	5,75	A	0,95
	56696000	555,29	674,69	21,50	A	0,82	965,81	1204,93	24,76	A	0,80
	56750000	71,46	70,50	-1,35	A	1,01	100,49	117,38	16,81	A	0,86
	56765000	187,34	140,54	-24,98	A	1,33	288,55	234,02	-18,90	A	1,23
	56775000	649,95	598,92	-7,85	A	1,09	1001,63	1072,22	7,05	A	0,93
	56787000	172,49	236,47	37,09	A	0,73	438,93	410,73	-6,42	A	1,07
	56800000	126,29	166,03	31,47	A	0,76	224,00	274,06	22,35	A	0,82
	56825000	1320,84	983,47	-25,54	A	1,34	2320,76	1758,57	-24,22	A	1,32
	56845000	55,63	138,33	148,67	B	52,16	98,55	228,71	132,08	B	92,40
	56846000	94,69	216,54	128,68	B	48,29	150,54	362,40	140,73	B	76,77
Região V	56860000	146,34	158,17	8,09	A	0,93	243,05	295,06	21,40	A	0,82
	56870000	47,66	59,60	25,05	A	0,80	117,37	97,90	-16,59	A	1,20
	56880000	126,60	122,22	-3,46	A	1,04	196,62	207,15	5,36	A	0,95
	56891900	421,24	340,23	-19,23	A	1,24	735,51	687,73	-6,50	A	1,07
	56900000	39,56	41,81	5,70	A	0,95	51,12	57,46	12,40	A	0,89
	56915500	63,06	61,03	-3,22	A	1,03	101,11	87,85	13,12	A	1,15
Região VI	56935000	111,45	68,66	-38,39	A	1,62	270,80	274,13	1,23	A	0,99
	56940002	244,85	251,87	2,87	A	0,97	593,92	711,71	19,83	A	0,83
	56960005	124,34	92,21	-25,84	A	1,35	232,46	187,30	-19,43	A	1,24
	56976000	212,49	182,43	-14,15	A	1,16	652,74	340,85	-47,78	B	288,00
	56978000	191,43	188,55	-1,50	A	1,02	366,11	353,12	-3,55	A	1,04
	56983000	33,47	36,61	9,39	A	0,91	42,27	58,59	38,61	A	0,72

Continua...

Quadro 11E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{max} T = 2 anos					Q _{max} T = 10 anos				
		Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	145,42	118,43	-18,56	A	1,23	250,53	223,56	-10,76	A	1,12
	56989001	102,73	101,11	1,58	A	1,02	198,18	218,21	10,11	A	0,91
	56989400	222,24	250,17	12,57	A	0,89	413,32	487,09	17,85	A	0,85
	56990000	482,48	622,35	28,99	A	0,78	792,79	1003,12	26,53	A	0,79
Região VII	56990990	73,18	69,25	-5,37	A	1,06	113,70	109,62	-3,58	A	1,04
	56991500	116,69	117,36	0,57	A	0,99	193,90	183,15	-5,54	A	1,06
	56992000	170,25	161,44	-5,17	A	1,05	252,36	250,43	-0,77	A	1,01
	56993002	79,88	69,34	-13,19	A	1,15	195,55	109,65	-43,93	B	418,24
	56993551	83,19	90,61	8,92	A	0,92	131,18	142,07	8,30	A	0,92
	56995500	85,62	91,59	6,97	A	0,93	149,11	143,50	-3,76	A	1,04
	56997000	97,91	108,32	10,63	A	0,90	156,22	168,99	8,17	A	0,92

* Caso A (Ca = Qobs/Qest, adimensional); Caso B (q = Qobs/Area. L.s⁻¹km⁻²).

Quadro 12E. Valores de vazões máximas observadas ($Q_{\max}$ obs. m^3s^{-1}), estimadas pela regionalização ($Q_{\max}$ est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas associadas aos períodos de retorno de 20 e 50 anos

Região Homogênea	Código da Estação	$Q_{\max}$ T = 20 anos					$Q_{\max}$ T = 50 anos				
		$Q_{\max}$ obs.	$Q_{\max}$ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	$Q_{\max}$ obs.	$Q_{\max}$ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	1302,82	1472,50	13,02	A	0,88	1588,71	1745,60	9,88	A	0,91
	56539000	2084,20	2114,54	1,46	A	0,99	2602,21	2527,97	-2,85	A	1,03
	56719998	3777,92	2947,27	-21,99	A	1,28	4857,05	3550,91	-26,89	A	1,37
	56850000	4795,14	4435,17	-7,51	A	1,08	6067,30	5394,72	-11,09	A	1,12
	56920000	5330,78	5670,25	6,37	A	0,94	6482,13	6936,64	7,01	A	0,93
	56948005	5742,51	6161,90	7,30	A	0,93	6874,76	7552,74	9,86	A	0,91
	56994500	7403,34	7343,13	-0,81	A	1,01	8580,49	9037,47	5,33	A	0,95
	56998000	7300,29	7770,40	6,44	A	0,94	8417,29	9575,95	13,77	A	0,88
Região II	56028000	500,93	583,37	16,46	A	0,86	631,76	756,94	19,81	A	0,83
	56055000	166,34	473,14	184,44	B	152,18	179,23	607,47	238,93	B	163,97
	56065000	33,28	129,00	287,63	B	111,51	37,42	152,66	307,97	B	125,39
	56075000	764,71	865,10	13,13	A	0,88	956,56	1092,24	14,18	A	0,88
	56085000	86,86	91,69	5,56	A	0,95	96,40	102,56	6,39	A	0,94
	56090000	28,11	104,76	272,70	B	85,69	30,57	119,67	291,45	B	93,18
	56110005	1113,97	915,02	-17,86	A	1,22	1387,21	1130,40	-18,51	A	1,23
	56240000	342,82	400,31	16,77	A	0,86	435,41	506,64	16,36	A	0,86
	56335001	465,90	477,36	2,46	A	0,98	597,66	604,70	1,18	A	0,99
	56337000	418,68	305,40	-27,06	A	1,37	538,78	388,43	-27,91	A	1,39
Região III	56385000	65,25	62,95	3,52	A	1,04	73,37	71,44	-2,63	A	1,03
	56415000	322,40	441,72	37,01	A	0,73	425,71	568,97	33,65	A	0,75
	56460000	105,76	104,76	-0,94	A	1,01	122,97	123,35	0,31	A	1,00
	56484998	367,39	281,96	-23,25	A	1,30	482,65	353,40	-26,78	A	1,37
	56500000	133,54	47,62	-64,34	B	489,43	181,37	53,49	-70,51	B	664,72

Continua...

Quadro 12E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{max} T = 20 anos					Q _{max} T = 50 anos				
		Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região III Cont.	56510000	493,88	446,33	-9,63	A	1,11	644,50	576,18	-10,60	A	1,12
	56520000	21,74	22,97	5,65	A	0,95	24,20	24,64	1,81	A	0,98
	56570000	161,45	169,47	4,97	A	0,95	178,70	205,96	15,25	A	0,87
Região IV	56610000	404,32	453,36	12,13	A	0,89	475,59	531,50	11,76	A	0,89
	56640000	266,18	205,10	-22,95	A	1,30	307,67	237,89	-22,68	A	1,29
	56659998	1062,87	1129,89	6,31	A	0,94	1254,05	1345,60	7,30	A	0,93
	56696000	1129,94	1409,75	24,76	A	0,80	1348,20	1676,35	24,34	A	0,80
	56750000	107,85	133,59	23,87	A	0,81	115,68	153,67	32,84	A	0,75
	56765000	319,34	267,14	-16,35	A	1,20	355,15	308,29	-13,19	A	1,15
	56775000	1118,97	1254,56	12,12	A	0,89	1260,95	1492,14	18,33	A	0,85
	56787000	579,43	474,97	-18,03	A	1,22	797,45	556,99	-30,15	A	1,43
	56800000	263,68	312,41	18,48	A	0,84	315,60	359,82	14,01	A	0,88
	56825000	2668,33	2061,61	-22,74	A	1,29	3096,12	2456,85	-20,65	A	1,26
	56845000	116,33	260,61	124,03	B	109,07	139,78	300,05	114,66	B	131,06
	56846000	171,70	415,04	141,72	B	87,57	199,08	480,74	141,48	B	101,53
Região V	56860000	278,64	349,89	25,57	A	0,80	323,48	422,47	30,60	A	0,77
	56870000	152,39	112,03	-26,49	A	1,36	205,05	130,01	-36,60	A	1,58
	56880000	219,57	237,52	8,18	A	0,92	247,14	275,56	11,50	A	0,90
	56891900	847,71	832,26	-1,82	A	1,02	987,34	1027,10	4,03	A	0,96
	56900000	53,59	61,65	15,04	A	0,87	56,00	66,24	18,29	A	0,85
	56915500	114,13	95,47	-16,35	A	1,20	130,06	104,02	-20,02	A	1,25
Região VI	56935000	340,70	357,22	4,85	A	0,95	434,87	466,40	7,25	A	0,93
	56940002	762,51	855,16	12,15	A	0,89	997,59	1106,17	10,88	A	0,90
	56960005	274,14	204,04	-25,57	A	1,34	327,63	241,32	-26,34	A	1,36
	56976000	874,64	365,33	-58,23	B	385,91	1188,62	436,85	-63,25	B	524,45
	56978000	443,89	378,83	-14,66	A	1,17	549,26	453,70	-17,40	A	1,21
	56983000	45,16	59,35	31,43	A	0,76	48,65	65,34	34,30	A	0,74

Continua...

Quadro 12E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{max} T = 20 anos					Q _{max} T = 50 anos				
		Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*	Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região VI Cont.	56988500	291,01	239,34	-17,76	A	1,22	342,94	282,26	-17,69	A	1,21
	56989001	238,36	241,83	1,45	A	0,99	291,69	289,79	-0,65	A	1,01
	56989400	494,46	529,42	7,07	A	0,93	602,47	644,58	6,99	A	0,93
	56990000	918,97	1044,95	13,71	A	0,88	1084,24	1274,94	17,59	A	0,85
Região VII	56990990	125,85	125,55	-0,24	A	1,00	139,88	145,45	3,98	A	0,96
	56991500	219,85	205,59	-6,49	A	1,07	251,32	232,91	-7,33	A	1,08
	56992000	278,31	278,67	0,13	A	1,00	308,97	312,54	1,16	A	0,99
	56993002	257,37	125,38	-51,28	B	550,45	354,58	145,00	-59,11	B	758,36
	56993551	147,20	160,54	9,06	A	0,92	166,58	183,24	10,00	A	0,91
	56995500	174,52	162,00	-7,17	A	1,08	208,31	184,69	-11,34	A	1,13
	56997000	175,08	189,61	8,30	A	0,92	197,59	214,69	8,66	A	0,92

* Caso A (Ca = Qobs/Qest, adimensional); Caso B (q = Qobs/Area. L.s⁻¹km⁻²).

Quadro 13E. Valores de vazões máximas observadas ($Q_{\max}$ obs. m^3s^{-1}), estimadas pela regionalização ($Q_{\max}$ est. m^3s^{-1}), erro relativo (%) da comparação dos valores observados e estimados, tipo de ajustamento e coeficientes de ajuste das vazões estimadas associadas ao período de retorno de 100 anos

Região Homogênea	Código da Estação	$Q_{\max}$ T = 100 anos				
		$Q_{\max}$ obs.	$Q_{\max}$ est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região I	56425000	1824,21	1962,18	7,56	A	0,93
	56539000	3007,85	2858,16	-4,98	A	1,05
	56719998	5804,01	4036,13	-30,46	A	1,44
	56850000	7183,87	6172,20	-14,08	A	1,16
	56920000	7437,83	7967,67	7,12	A	0,93
	56948005	7784,42	8686,90	11,59	A	0,90
	56994500	9446,57	10423,87	10,35	A	0,91
	56998000	9239,37	11054,97	19,65	A	0,84
Região II	56028000	732,86	891,48	21,64	A	0,82
	56055000	187,83	709,95	277,98	B	171,84
	56065000	40,67	168,62	314,60	B	136,28
	56075000	1115,43	1272,05	14,04	A	0,88
	56085000	102,85	109,52	6,48	A	0,94
	56090000	32,29	129,40	300,74	B	98,43
	56110005	1608,76	1301,66	-19,09	A	1,24
	56240000	507,52	586,59	15,58	A	0,87
	56335001	701,71	701,61	-0,01	A	1,00
	56337000	631,14	449,79	-28,73	A	1,40
Região III	56385000	79,41	78,03	-1,74	A	1,02
	56415000	519,35	673,30	29,64	A	0,77
	56460000	135,96	137,36	1,03	A	0,99
	56484998	573,96	410,23	-28,53	A	1,40
	56500000	220,10	57,57	-73,85	B	806,67
	56510000	762,86	681,69	-10,64	A	1,12
	56520000	25,96	25,72	-0,93	A	1,01
	56570000	190,30	233,90	22,91	A	0,81
Região IV	56610000	529,95	591,46	11,61	A	0,90
	56640000	337,33	262,78	-22,10	A	1,28
	56659998	1394,96	1514,03	8,54	A	0,92
	56696000	1516,62	1883,54	24,19	A	0,81
	56750000	120,65	168,74	39,86	A	0,71
	56765000	379,73	339,14	-10,69	A	1,12
	56775000	1361,62	1677,05	23,17	A	0,81
	56787000	990,68	619,92	-37,42	A	1,60
	56800000	354,79	395,13	11,37	A	0,90
	56825000	3403,73	2763,97	-18,80	A	1,23
	56845000	157,59	329,48	109,07	B	147,76
	56846000	219,71	530,07	141,26	B	112,05
Região V	56860000	356,33	478,14	34,18	A	0,75
	56870000	250,34	143,33	-42,75	A	1,75
	56880000	266,56	303,35	13,80	A	0,88

Continua...

Quadro 13E. Continuação

Região Homogênea	Código da Estação	Q _{max} T = 100 anos				
		Q _{max} obs.	Q _{max} est.	Erro (%)	Caso	Ajuste*
Região V Cont.	56891900	1088,64	1178,87	8,29	A	0,92
	56900000	57,39	69,21	20,60	A	0,83
	56915500	141,46	109,70	-22,45	A	1,29
Região VI	56935000	507,52	551,89	8,74	A	0,92
	56940002	1183,54	1303,99	10,18	A	0,91
	56960005	367,38	268,95	-26,79	A	1,37
	56976000	1439,61	490,63	-65,92	B	635,19
	56978000	630,87	510,06	-19,15	A	1,24
	56983000	51,13	69,60	36,12	A	0,73
	56988500	381,53	314,14	-17,66	A	1,21
	56989001	332,36	325,61	-2,03	A	1,02
	56989400	685,05	732,26	6,89	A	0,94
	56990000	1209,04	1452,20	20,11	A	0,83
Região VII	56990990	149,45	160,01	7,07	A	0,93
	56991500	273,70	252,43	-7,77	A	1,08
	56992000	330,30	336,42	1,85	A	0,98
	56993002	442,00	159,35	-63,95	B	945,33
	56993551	180,33	199,62	10,70	A	0,90
	56995500	234,39	201,04	-14,23	A	1,17
	56997000	213,38	232,61	9,01	A	0,92

* Caso A (Ca = Qobs/Qest, adimensional); Caso B (q = Qobs/Area. L.s⁻¹km⁻²).