



HEITOR SOARES MOREIRA

**CENÁRIOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA
PARA CONCESSÃO DE OUTORGA: ESTUDO
DE CASO DA BACIA VERTENTES DO RIO
GRANDE**

**LAVRAS - MG
2018**

HEITOR SOARES MOREIRA

**CENÁRIOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONCESSÃO DE
OUTORGA: ESTUDO DE CASO DA BACIA VERTENTES DO RIO
GRANDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Moreira, Heitor Soares.

Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga:
estudo de caso da bacia vertentes do Rio Grande / Heitor Soares
Moreira. - 2018.

95 p.

Orientador(a): Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Disponibilidade hídrica. 2. Gestão de recursos hídricos. 3. Vazão
de referência. I. de Oliveira, Luiz Fernando Coutinho. II. Título.

HEITOR SOARES MOREIRA

**CENÁRIOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA CONCESSÃO DE
OUTORGA: ESTUDO DE CASO DA BACIA VERTENTES DO RIO
GRANDE**

**WATER AVAILABILITY SCENARIOS FOR GRANTING AWARD:
CASE STUDY OF RIO GRANDE VERTENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de março de 2018.

Dra. Marília Carvalho de Melo

IGAM

Dra. Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

UNINCOR

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

Havia um homem que costumava ter em cima de sua cama uma placa escrita:

ISSO TAMBÉM PASSA...

Então perguntaram a ele o porquê disso...

Ele disse que era para se lembrar que, quando estivesse passando por momentos ruins, poder se lembrar de que eles iriam embora, e que ele teria que passar por aquilo por algum motivo.

Mas essa placa também era pra lembrá-lo que quando estivesse muito feliz, que não deixasse tudo pra trás, porque esses momentos também iriam passar e momentos difíceis viriam de novo...

E é exatamente disso que a vida é feita:

MOMENTOS!

Momentos os quais temos que passar, sendo bons ou não, pro nosso próprio aprendizado. Por algum motivo...

Nunca esqueça do mais importante:

NADA É POR ACASO! Absolutamente nada.

Por isso temos que nos preocupar em fazer a nossa parte da melhor forma possível. (Chico Xavier)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais da Universidade Federal de Lavras, sob orientação do professor Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

Muitas pessoas contribuíram para a sua realização. Entretanto, primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão ao professor Coutinho, pela orientação no desenvolvimento deste estudo e conselhos para a conclusão do curso.

À UFLA, por meio do Programa de Pós-Graduação Tecnologias e Inovações Ambientais, que me possibilitou adquirir o título de mestre com capacitação e a oportunidade da mudança de vida.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), pela oportunidade, sem a qual este trabalho não seria possível.

À minha mãe, Flora, que tanto me auxiliou, com carinho e compreensão, durante a elaboração desta dissertação.

As minhas irmãs, Kétia e Kátia, que são os meus exemplos de pessoas e profissionais. Mesmo de longe souberam me incentivar e não deixaram que o desânimo se sobrepusesse.

À minha sobrinha, Helena, que, mesmo sem saber dos desafios da vida, alegrava os meus dias com vídeos e fotos das suas brincadeiras.

À minha família, incluindo avó, tios, cunhados e primos, pela torcida e carinho para que eu finalizasse esta etapa.

Aos amigos de Belo Horizonte que souberam compreender as ausências nas “resenhas”.

Aos colegas do Mestrado, companheiros nessa etapa importante da nossa vida profissional.

Aos amigos do Igam que tanto me apoiaram e incentivaram, principalmente nos momentos mais difíceis.

A minha amiga e líder Marília Carvalho de Melo, pessoa e profissional em quem tanto me espelho, admiro e com a qual me orgulho de trabalhar.

Aos amigos do Cruzeiro Esporte Clube, que proporcionaram momentos de diversão e relaxamento, tão importantes para me manter firme nos estudos.

As profissionais de apoio do mestrado, Nina Rivera e Gisele Valério que, com tanta dedicação e carinho, me atenderam em minhas necessidades e demandas.

Muito obrigado!

RESUMO

A Política Estadual de Recursos Hídricos visa assegurar o controle, para usuários atuais e futuros, do uso da água e de sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios. A legislação vigente prevê, como um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, a outorga de direito de uso das águas. A outorga garante ao seu detentor, por um período pré-estabelecido e de forma pessoal e intransferível, o direito de uso de determinada quantidade de água, condicionado à sua disponibilidade, assegurando ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo desse uso. Como apenas parte das vazões mínimas de referência é outorgável, há a limitação do uso da água, principalmente nos períodos de maior disponibilidade hídrica, afetando diferentes usuários e suas atividades econômicas. Dessa forma, há a necessidade de analisar a influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água. Assim, é necessário buscar alternativas para a gestão de recursos hídricos, adequando os critérios às condições de disponibilidade hídrica local, sem que se ultrapasse a capacidade dos corpos hídricos e mantendo-se fluxos residuais mínimos nos cursos de água. Atualmente, os usos de recursos hídricos na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Vertentes do Rio Grande (UPGRH-GD2) são, em sua maioria, para atender às necessidades das atividades como pecuária, agricultura, indústria e para o abastecimento público. Diante das relevantes atividades econômicas citadas, é necessária a adoção de critérios que retratem a sazonalidade de água na bacia hidrográfica, para análise dos pedidos de outorga na UPGRH-GD2. Neste contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a regionalização de vazão sazonal, nas mais diversas vazões de referências, verificando a possibilidade do aumento na disponibilidade hídrica para os diferentes usuários da UPGRH-GD2. Para a realização do trabalho, foram utilizados os *softwares* SisCah 1.0 e SisCorv 1.0, selecionadas as estações fluviométricas da região que apresentavam dados relativos ao período de 1967 a 2002, além da análise da base de dados de outorga do Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Os resultados obtidos permitiram concluir que o uso dos critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propicia flexibilização nas vazões outorgáveis no período chuvoso do ano, para as vazões de referência $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ e restrição no uso, no período de estiagem, para as vazões de referência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Gestão de recursos hídricos. Vazão de referência.

ABSTRACT

The State Water Resources Policy aims to ensure the control, for current and future users, of water use and its use in quantity, quality and satisfactory regime. The current legislation provides, as one of the instruments for water resources management, the granting of water use rights. The granting guarantees to the holder, for a pre-established period and in a personal and non-transferable manner, the right to use a certain amount of water, subject to its availability, assuring the managing institution the quantitative and qualitative control of that use. As only part of the minimum reference flows are granted, there is a limitation of water use, especially in periods of greater water availability, affecting different users and their economic activities. Thus, it is necessary to analyze the influence of the seasonality of the flows in the criteria of granting water use. Therefore, searching for alternatives for the management of water resources, adapting the criteria to the local conditions of water availability, without exceeding the capacity of the water bodies and maintaining minimum residual flows in the watercourses. Nowadays, the uses of water resources in the Rio Grande Water Resources Planning and Management Unit (UPGRH-GD2) are mostly to meet the needs of activities such as livestock, agriculture, industry and for public supply. In light of the relevant economic activities mentioned, it is necessary to adopt criteria that portray the water seasonality in the river basin, to analyze the applications for granting in the UPGRH-GD2. In this context, the present study was carried out with the objective of evaluating the regionalization of seasonal flow, in the most diverse reference flows, verifying the possibility of the increase in water availability for the different UPGRH-GD2 users. In order to carry out this study, the software SisCah 1.0 and SisCorv 1.0 were used, selecting the fluviometric stations of the region that presented data related to the period from 1967 to 2002, as well as the analysis of the granting database of the Minas Gerais Institute of Management Waters - IGAM. The results obtained allowed to conclude that the use of the criteria based on the seasonal water behavior facilitates flexibility in the flow rates in the rainy season of the year, for the reference flows Q7,10, Q90% and Q95% and restriction on the use, during the dry season, for the reference flows Q90% and Q95%.

Keywords: Water availability. Water resource management. Reference flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Limite máximo outorgável nas UPGRHs em Minas Gerais.	22
Figura 2 -	Representação de uma bacia hidrográfica.	23
Figura 3 -	Mapa de Minas Gerais contendo as 36 UPGRH.	40
Figura 4 -	UPGRH GD2 com os principais cursos hídricos e respectivos municípios.	41
Figura 5 -	Mapas de anomalias dos últimos seis anos hidrológicos.	43
Figura 6 -	Área empregada no estudo de regionalização de vazões.	45
Figura 7 -	Disponibilidade de dados das 25 estações.	47
Figura 8 -	Área da regionalização de vazões com as estações fluviométricas e UPGRH.	49
Figura 9 -	Regiões hidrologicamente homogêneas na bacia do rio Grande, em Minas Gerais.	51
Figura 10 -	Regiões hidrologicamente homogêneas para as vazões mínimas de sete dias de duração, e localização da sub-bacia do rio Grande, em Minas Gerais.	52
Figura 11 -	Tela do SisCorV 1.0 com $Q_{7,10}$ observada para cada uma das estações.	57
Figura 12 -	Tela do SisCorV 1.0 com as $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial do método tradicional.	59
Figura 13 -	Tela do SisCorV 1.0 com resultados dos testes estatísticos obtidos pelo método tradicional.	61
Figura 14 -	Tela do SisCorV 1.0 com informações para um trecho no rio das Mortes.	62
Figura 15 -	Distribuição das portarias de outorga na UPGRH GD2.	64
Figura 16 -	Diagrama <i>boxplot</i> da vazão específica $Q_{7,10}$	70
Figura 17 -	Diagrama <i>boxplot</i> da vazão específica $Q_{90\%}$	71
Figura 18 -	Diagrama <i>boxplot</i> da vazão específica $Q_{95\%}$	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Critérios para o uso das águas superficiais.....	20
Tabela 2 -	Relação das estações fluviométricas utilizadas no estudo de regionalização.....	48
Tabela 3 -	Vazão $Q_{7,10}$ sazonal e vazão específica por estação.....	67
Tabela 4 -	Vazão $Q_{90\%}$ sazonal e vazão específica por estação.	68
Tabela 5 -	Vazão $Q_{95\%}$ sazonal e vazão específica por estação.....	69
Tabela 6 -	Estatística de regressão.	73
Tabela 7 -	Resultados de resíduos.	73
Tabela 8 -	Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.	75
Tabela 9 -	Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.	77
Tabela 10 -	Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.	79
Tabela 11 -	Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{7,10}$. 81	
Tabela 12 -	Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{90\%}$. 81	
Tabela 13 -	Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{95\%}$. 82	

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Copasa	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
HIDROWEB	Sistema de Informações Hidrológicas
Igam	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
OMM	Organização Meteorológica Mundial
Siam	Sistema Integrado de Informação Ambiental
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Simge	Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UPGRH-GD2	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Vertentes do Rio Grande

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Gestão de recursos hídricos	17
2.2	Vazões em curso d'água	22
2.3	Processos e variáveis hidrológicas	25
2.4	Vazões mínimas de referência	26
2.4.1	Vazão de referência $Q_{7,10}$	26
2.4.2	Vazão de referência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$	28
2.4.3	Vazões sazonais	28
2.5	Regionalização de vazões	31
2.6	Variáveis explicativas utilizadas na regionalização de vazões	33
2.6.1	Características físicas	34
2.6.2	Características climáticas	35
2.7	Métodos de regionalização de vazões	36
2.8	Sistema computacional para regionalização de vazões	37
2.8.1	Siscah 1.0	37
2.8.2	Siscorv 1.0	38
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	39
3.1	Descrição da área de estudo	39
3.1.1	Anomalia de precipitação	42
3.2	Seleção, coleta dos dados e definição da área de regionalização de vazões	44
3.3	Definição das áreas homogêneas	49
3.4	Determinação das vazões mínimas	54
3.5	Metodologia de regionalização de vazões	55
3.6	Usuários de recursos hídricos na UPGRH GD2	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	Vazões mínimas de referência	66
4.2	Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas	70
4.3	Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica	74
4.3.1	$Q_{7,10}$	74
4.3.2	$Q_{90\%}$	76
4.3.3	$Q_{95\%}$	78
4.4	Regionalização de vazões mínimas de referência	80
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXOS	93

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a vida, estando distribuída amplamente no globo terrestre. Contudo, nem toda água está disponível ou é de fácil acesso para o uso humano. Outro fato preponderante é a distribuição da parcela de água superficial doce no planeta, existindo regiões privilegiadas e nas quais ela está presente em uma fração significativa.

Os estudos apontam que, no Brasil, estão, aproximadamente, 13,0% da água superficial doce do mundo (TUCCI, 2007). A região norte do país é a área onde existe a maior quantidade de água, mas, em contrapartida, na região nordeste encontra-se a menor quantidade. Essa distribuição natural da quantidade de água e a sazonalidade dos eventos pluviais são responsáveis por problemas de escassez hídrica, a qual é considerada um problema, quando analisada do ponto de vista econômico. Nesse sentido, a água passa ser considerada insumo de produção e tratada como recurso hídrico.

Entre as consequências mais amplamente previstas e aceitas das mudanças climáticas globais está o aumento na frequência e na gravidade de uma variedade de eventos climáticos extremos. Tais eventos meteorológicos incluem fortes chuvas e inundações, ciclones, secas, ondas de calor, frio extremo e incêndios florestais, e cada um deles pode impactar a qualidade da água potável, afetando as bacias hidrográficas, os reservatórios de armazenamento, o desempenho de processos de tratamento de água ou a integridade dos sistemas de distribuição (KHAN et al., 2015).

Segundo Zhou et al. (2015a), devido às características de adaptação, às dinâmicas e aos multiobjetivos do sistema de recursos hídricos, gerenciar esses recursos de forma eficiente, equitativa e sustentável torna-se um desafio considerável.

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, inseriu no cenário jurídico brasileiro a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (MOREIRA; LUZ, 2011). Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) é o órgão responsável pela gestão de recursos hídricos, sendo a concessão de direito de uso dos recursos hídricos estaduais, denominada de outorga, um dos instrumentos de gestão mais importantes.

A outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. Esse controle é necessário para evitar conflitos entre os usuários desses recursos e para assegurar-lhes o efetivo direito de acesso à água.

Os problemas de conflito pelo uso da água têm se agravado, nos últimos anos, seja por uso mais intensivo do recurso, por alterações no ciclo hidrológico como um todo ou pelos procedimentos para a regularização do uso adotado pelos órgãos gestores.

Na falta de dados observados, os estudos hidrológicos devem ser realizados para conduzir as estimativas de disponibilidade hídrica. Dentre os métodos, o de proporção de áreas, os interpolativos e os de regionalização constituem técnicas expeditas com ampla utilização e que merecem ser avaliados quanto à aplicabilidade, para suprir a deficiência de dados e estimar a disponibilidade hídrica para a outorga de uso desses recursos (SILVA et al., 2006).

O estado de Minas Gerais, por meio do Igam, adota como informação oficial o estudo de regionalização de vazões intitulado Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993), o qual foi desenvolvido pela Hidrossistemas – Engenharia de Recursos Hídricos Ltda., com o apoio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), na base anual.

As vazões mínimas de referência adotadas para fins de outorga, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, influenciam diretamente o total disponível para outorga. Os critérios para análise dos pedidos de outorga utilizados pelos órgãos gestores se baseiam em diferentes vazões mínimas de referência, bem como em percentuais considerados outorgáveis (SILVA; SILVA; MOREIRA, 2015b).

Ao se utilizar, no processo de outorga, um valor fixo de $Q_{7,10}$ em todos os meses do ano, desconsideram-se as variações sazonais da disponibilidade hídrica, implicando na concessão de vazões bastante restritivas em períodos de maior disponibilidade (BOF et al., 2012; EUCLYDES; FERREIRA; FARIA FILHO, 2006).

De acordo com Oliveira (2011), para a bacia hidrográfica do ribeirão Entre Ribeiros, situada na região noroeste de Minas Gerais, a substituição da $Q_{7,10}$ calculada em base anual pela obtida na base mensal resultou em um aumento da disponibilidade hídrica na bacia ao longo do ano, sendo maior que 50% nos meses de dezembro a junho. O uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável.

A Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Vertentes do Rio Grande (UPGRH-GD2), que contempla as bacias hidrográficas dos rios das Mortes e Jacaré, é uma bacia essencialmente de população urbana. Dos usuários regularizados junto ao Igam, aproximadamente 23% fazem jus à outorga; os restantes estão cadastrados como usos insignificantes (MINAS GERAIS, 2010a).

As atividades econômicas ao longo da bacia são bastante diversificadas, predominando a pecuária, a produção de derivados de leite e a agricultura. A indústria mineral ainda contribui de maneira expressiva para a economia regional. Considerável também é a participação do turismo histórico, rural e

ambiental, além da prestação de serviços (MINAS GERAIS, 2010b). Entretanto, existe uma demanda de água para irrigação, abastecimento público e uso industrial, atividades que concorrem por um recurso hídrico que, a cada dia, fica mais disputado.

Nesse sentido, o cálculo da vazão de referência contemplando a sazonalidade flexibiliza o uso dos recursos hídricos em determinados meses ou estações do ano. Essa flexibilização permite o aumento do uso desses recursos, evitando o conflito e que gestores públicos possam planejar o desenvolvimento econômico da região.

No presente estudo foi constatado que, na UPGRH-GD2, o procedimento adotado para a regularização do uso utilizado pelo Igam pode restringir, em até quatro vezes, o uso em determinados meses do ano, dependendo do trecho da hidrografia. Portanto, a avaliação do uso das vazões de referência sazonal para a concessão de outorga nesta Unidade é de suma importância para o aprimoramento do processo de gestão de seus recursos hídricos.

Com base neste contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de simular os diversos cenários de uso de recursos hídricos, com as mais diversas vazões de referência na base anual e sazonal, na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos Vertentes do Rio Grande, UPGRH-GD2, no intuito de dar suporte às autoridades gestoras nas emissões da outorga de direito dos usos das águas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão de recursos hídricos

O homem utiliza os recursos hídricos para múltiplas finalidades, dentre as quais estão o abastecimento público, o abastecimento industrial, as atividades agrossilvipastoris, incluindo a irrigação e a dessedentação animal, a preservação da fauna e da flora aquática, além de recreação, geração de energia elétrica, navegação, lazer, diluição e transporte de efluentes.

De acordo com Zhou et al. (2015b), as mudanças climáticas, o desenvolvimento econômico rápido e o aumento da população humana são considerados os principais fatores desencadeantes de desafios crescentes para a gestão de recursos hídricos.

Visto que a água é recurso natural indispensável à vida, é de fundamental importância a adoção de um gerenciamento adequado desse elemento, de forma que a relação entre a utilização desse recurso e o desenvolvimento da sociedade possa ser sustentável (OLIVEIRA, 2013).

Segundo Silva, Silva e Moreira (2015b), o gerenciamento integrado dos recursos hídricos é um processo que promove a gestão coordenada do uso da água, do solo e dos recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social resultante de uma forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas.

O conhecimento das leis e das normas nacionais e estaduais que regulamentam a gestão das águas é imprescindível para o embasamento da gestão dos recursos hídricos. Portanto, descrever e analisar a fundo cada instrumento de gestão são fundamentais para garantir uma boa gestão dos recursos hídricos.

O Brasil tem uma das mais modernas leis de gerenciamento de recursos hídricos do mundo. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 1997, é o dispositivo legal que regulamenta a gestão dos recursos hídricos, estabelecendo, como instrumento de gestão, entre outros cinco instrumentos, a outorga de direito de uso desses recursos (MOREIRA; LUZ, 2011).

A decisão sobre a outorga cabe a um órgão do governo federal ou estadual. No caso de rios de dominialidade federal (rios que passam por mais de um estado ou de um país), a decisão cabe à Agência Nacional de Águas (ANA). No caso de um rio de dominialidade estadual, a decisão cabe a órgão do governo estadual, como a Secretaria Estadual de Recursos Hídricos ou ao Departamento de Recursos Hídricos, subordinado a alguma outra secretaria (PEREIRA; KAYSER; COLLISCHONN, 2012).

No âmbito do estado de Minas Gerais, a Lei nº 13.199/1999 (MINAS GERAIS, 1999) prevê, como um dos instrumentos de gestão, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Tal instrumento visa assegurar o controle dos usos dos recursos hídricos, de modo a garantir os direitos de acesso à água (MOREIRA, 2009). Consta na referida lei que estão sujeitos à outorga pelo poder público, independentemente da natureza pública ou privada dos usuários, os seguintes direitos de uso de recursos hídricos:

Art. 18. [...]

I - as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III - o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

IV - o aproveitamento de potenciais hidrelétricos;

V - outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Os órgãos gestores de recursos hídricos utilizam as vazões mínimas de referência, que influenciam diretamente o total disponível para outorga. Os critérios para análise dos pedidos de outorga empregados pelos órgãos gestores utilizam diferentes vazões mínimas de referência, bem como percentuais considerados outorgáveis.

Atualmente, os órgãos ambientais, como o Igam, em Minas Gerais, utilizam a $Q_{7,10}$ como vazão mínima de referência, que pode ser considerada mais restritiva, e outros utilizam a $Q_{90\%}$ ou a $Q_{95\%}$, como, por exemplo, a Agência Nacional das Águas (BRASIL, 2018b).

A vazão $Q_{7,10}$ é obtida pela análise da série histórica das vazões mínimas médias com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, enquanto a $Q_{95\%}$ utiliza valores da curva de permanência para estabelecer fluxos de referência em uma base diária, mensal ou anual (BELICO et al., 2013).

Na Tabela 1 apresentam-se alguns critérios para a outorga do uso de água superficiais, estabelecidos por diferentes órgãos gestores no Brasil. Foram selecionados os estados da Federação em que Minas Gerais é fornecedor de água e a regra adotada pela ANA.

Tabela 1 - Critérios para o uso das águas superficiais.

Órgão gestor	Máxima vazão outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável
ANA	70% da $Q_{95\%}$ ¹	Não existe, em função das peculiaridades do país, podendo variar o critério
AGERH - ES	50% da $Q_{90\%}$	Instrução Normativa IEMA n°. 019, de 4 de outubro de 2005
INEMA - BA	90% da $Q_{90\%}$ ²	Decreto 6.296, de 1997,
DAEE - SP	50% da $Q_{7,10\%}$ ³	Lei Estadual n° 9.034, de 1994
SECIMA - GO	50% da $Q_{95\%}$	Instrução Normativa n° 04 de 2015
INEA - RJ	50% da $Q_{7,10}$	Portaria SERLA n° 307 de 2002
IGAM - MG	30% ou 50% da $Q_{7,10}$ dependendo da UPGRH	Resolução Conjunta SEMAD/IGAM n° 1.548, de 29 de março de 2012 e Portaria IGAM n° 49 de 2010

Fonte: Do autor (2018).

Em Minas Gerais, a vazão mínima de referência $Q_{7,10}$ e os percentuais outorgáveis para cada porção hidrográfica estão definidos na Resolução Conjunta SEMAD/IGAM n° 1.548, de 29 de março de 2012 (MINAS GERAIS, 2012), que dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do estado.

No âmbito da União, a ANA adota a vazão $Q_{95\%}$ como vazão de referência para a concessão de outorgas nos rios de domínio federal, entre os quais está o rio Grande. É importante ressaltar que ambos os critérios são baseados em valores de referência de vazões características dos períodos de estiagem e que, portanto, dependem da disponibilidade de uma série de dados consistente. Em termos de valores, estatisticamente, a vazão $Q_{7,10}$ é da ordem de 80% da vazão $Q_{95\%}$. Assim, a vazão de referência adotada pela ANA, em geral, é superior àquela adotada pelo Igam (MINAS GERAIS, 2010c).

¹ Sempre que possível, a ANA procura adotar vazões sazonais, como a $Q_{95\%}$ de cada mês, como vazão de referência, e compará-las com a demanda acumulada outorgada mês a mês.

² Até 20% para cada usuário.

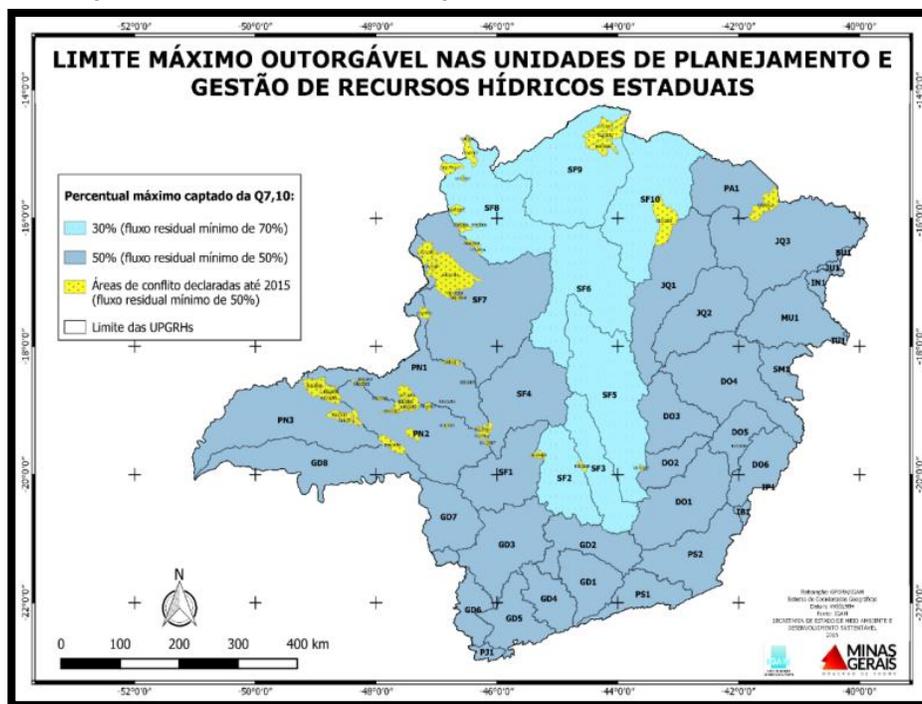
³ Até 20% para cada usuário

Para a captação direta no curso de água, a vazão máxima outorgável na UPGRH-GD2 é de 50%, devendo-se, em qualquer situação, garantir o fluxo residual de, no mínimo, 50% da $Q_{7,10}$. Quando houver regularização, vazão maior pode ser retirada, desde que garantido o fluxo residual mínimo de 50% da $Q_{7,10}$ (MELLO; SILVA, 2013).

Quando existem demandas cujo somatório supere os 30% ou 50% de $Q_{7,10}$ outorgável, sem regularização de vazão, dependendo da Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), a área de drenagem ao ponto é considerada em conflito. Nesses casos, o Igam convoca os usuários da bacia a se regularizem em um processo único de outorga, no qual será feita a alocação negociada das vazões outorgáveis.

Na Figura 1 apresentam-se as UPGRH do estado de Minas Gerais, com o máximo de vazão outorgável e as áreas declaradas em conflito pelo uso das águas.

Figura 1 - Limite máximo outorgável nas UPGRHs em Minas Gerais.



Fonte: Portal Infohidro (2018).

2.2 Vazões em curso d'água

A bacia hidrográfica é uma área de captação de água de precipitação demarcada por divisores topográficos, em que toda a água captada é drenada por uma rede de rios e/ou riachos, de modo que todo o escoamento (deflúvio) converge para um único ponto de saída, o exutório (Figura 2) (MOREIRA; LUZ, 2011).

A rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é formada pelo rio principal e pelos seus tributários, constituindo um sistema de transporte de água e sedimentos. O volume de água drenada por esta rede e que passa pelo exutório por unidade de tempo é a vazão ou descarga da bacia.

Figura 2 - Representação de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Brasil (2018a).

As vazões de saída de uma bacia hidrográfica são respostas às precipitações ocorridas e à capacidade do aquífero subterrâneo de manter o escoamento em que está envolvida sua capacidade de realimentação. A observação de um hidrograma típico permite perceber que, iniciada a precipitação e vencidas as abstrações iniciais, ocorre a elevação da vazão. Cessada a precipitação e atingido um valor máximo de vazão, inicia-se a recessão do hidrograma em que, normalmente, há um ponto de inflexão. Este ponto marca o fim do escoamento superficial, que é a resposta direta da bacia hidrográfica à precipitação. A partir daí, somente o escoamento subterrâneo, influenciado pela capacidade do aquífero, as características físicas do solo, o relevo e a cobertura vegetal, contribui para a vazão total do curso de água (TUCCI, 2007).

Durante a estação da seca, os cursos d'água apresentam uma redução considerável da profundidade e da velocidade média do escoamento na calha dos rios, conduzindo, portanto, a condições de vazões mínimas. Nessas condições, podem surgir problemas relacionados ao abastecimento humano e industrial, à capacidade de autodepuração dos cursos d'água e à navegação, entre outros, gerando conflitos de uso.

Moreira e Luz (2011) afirmam que a utilização de cursos d'água em longos períodos de estiagem pode sofrer restrições ou, até mesmo, ser inviabilizada, dependendo da severidade e da frequência de ocorrência dessas vazões mínimas. Portanto, a utilização dessas vazões de estiagem passa a ser de suma importância para a gestão dos recursos hídricos.

IWMI (2006 apud BRASIL, 2013) considera dois tipos de escassez de água, a saber, escassez econômica e escassez física. A escassez econômica ocorre devido à falta de investimentos e se caracteriza por pouca infraestrutura, baixa qualidade da água disponível e distribuição desigual. A escassez física ocorre quando os recursos hídricos não conseguem atender à demanda da população, sendo as regiões áridas e semiáridas as mais associadas com a escassez física de água.

Na análise técnica dos processos de outorga, existem dois tipos de escassez de água, a escassez teórica e a escassez real. A escassez teórica ocorre quando os pedidos consuntivos de outorga superam a fração máxima da vazão de referência outorgável. Neste caso, não existe uma escassez física e somente a regra estabelecida em legislação não atende à demanda na bacia. A escassez real é quando o curso hídrico não tem água suficiente para atender às demandas na bacia.

2.3 Processos e variáveis hidrológicas

Os fenômenos hidrológicos podem ser caracterizados como aleatórios, podendo-se associar a eles um caráter probabilístico e estocástico envolvendo esses fenômenos. Em termos de seu comportamento, há de se ressaltar que sempre haverá a possibilidade de um dado evento hidrológico ser superior ou inferior a um valor histórico já registrado. Isso é essencial para o entendimento das variáveis hidrológicas, uma vez que uma das principais funções da hidrologia consiste em observar os eventos e modelar as frequências de suas ocorrências, possibilitando que sejam feitas estimativas assumindo determinado risco. Daí a grande importância de dados extremos para a hidrologia (MELLO; SILVA, 2013).

Em geral, um conjunto de observações de uma variável hidrológica encontra-se disponível em forma tabular, a qual, muitas vezes, não consegue demonstrar, com facilidades e nitidez, a essência do padrão de distribuição da variável em questão. Essa nitidez é mais facilmente conseguida com o emprego de representações gráficas da variável hidrológica c.

Existe uma grande variedade de banco de dados hidrológicos geralmente adaptados a sistemas informáticos de grande porte. Começaram a aparecer, há alguns anos, programas computacionais adaptados aos microcomputadores, como, por exemplo, os softwares propostos pelo ORSTOM (França), *Hydrom* para hidrometria e *Pluviom* para pluviometria (TUCCI, 2007).

Em 2009, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), em parceria com a Agência Nacional das Águas (ANA), publicou o sistema computacional SisCAH 1.0, que permite o tratamento de séries históricas de dados hidrológicos consistidos. Segundo Souza et al. (2009), o SisCAH 1.0 também dispõe de um módulo para a estimativa de vazões máximas, médias e mínimas.

2.4 Vazões mínimas de referência

A distribuição temporal das vazões de estiagem é importante para projetos como abastecimento de água, irrigação e energia elétrica. As vazões mínimas que ocorrem em época de estiagem são utilizadas nesses estudos dentro de uma das seguintes finalidades: análise, projeto, previsão ou estimativa, regularização legal, operação e planejamento (TUCCI, 2002).

Normalmente, as análises estatísticas de vazões mínimas são realizadas sobre as vazões mínimas de sete dias, 15 dias ou 30 dias de duração. Neste caso, para cada ano do registro histórico encontra-se vazão mínima média de D dias, médias móveis de D dias. Uma vazão mínima obtida por análise estatística muito utilizada como vazão de referência mínima, é a $Q_{7,10}$, que vem a ser a vazão média de sete dias de duração com tempo de retorno de 10 anos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

No estudo de Bof (2010), realizado para a bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, foi evidenciado que a utilização de critérios baseados em vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

2.4.1 Vazão de referência $Q_{7,10}$

A vazão $Q_{7,10}$ é a vazão mínima obtida pela média dos sete menores valores diários consecutivos de vazão para cada ano da série de dados, e com um período de retorno de 10 anos. Para vazões mínimas, o período de retorno é o tempo médio, em anos, necessário para que ocorram vazões menores ou iguais, a um certo valor, em um ano qualquer.

Segunda Arai (2014), a $Q_{7,10}$ corresponde à vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de 10 anos, ou seja, a cada 10 anos, em média, há o risco de ocorrerem sete dias seguidos com esta vazão mínima. Isso reflete uma situação crítica de escassez e, por isso, é normalmente adotada como referência em projetos de captação para abastecimento público e projetos baseados neste valor de referência praticamente eliminariam o risco de suspensão de desabastecimento.

A $Q_{7,10}$ apresenta uma série de usos, tais como proteção/regularização da qualidade da água contra descargas de águas residuais, situação crítica de escoamento na modelagem da qualidade da água, quantidade mínima de vazão necessária para a proteção de espécies aquáticas e indicador de condições de estiagem, entre outros. Porém, esse índice tem sido bastante utilizado em estudos de abastecimento de água e concessão de outorga pelo uso da água (OLIVEIRA, 2013).

Para se obter os valores da $Q_{7,10}$ deve-se determinar a vazão mínima de sete dias de duração de cada ano e determinar o período de retorno (10 anos), pela análise de frequência ou por intermédio de distribuição probabilística. A análise de frequência pode ser utilizada quando o número de anos da série é bem maior que o período de retorno, já que, neste caso, a frequência fornece uma boa ideia do valor real da probabilidade. Caso contrário, podem-se ajustar os valores da $Q_{7,10}$ a algumas das distribuições probabilísticas, sendo as mais usuais a de Weibull, a Gumbel, a Log-Normal a 2 e 3 parâmetros, a Pearson tipo III e a Log-Person III.

2.4.2 Vazão de referência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$

As vazões de referência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ podem ser entendidas como as vazões em que em 90% ou 95% do tempo se têm vazões iguais ou superiores a ela, nos corpos de água.

Segundo Tucci (2002), a curva de permanência é utilizada quando se deseja conhecer a permanência no tempo de determinado valores. A curva de permanência é uma função hidrológica obtida da frequência de ocorrência das vazões em determinado curso d'água, retratando a porcentagem de tempo em que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante um período de observações. Sua utilização é indicada quando se deseja conhecer a permanência no tempo de determinados valores de vazão. Recomenda-se que seja utilizada toda a série histórica dos dados, compreendendo todas as medições diárias.

2.4.3 Vazões sazonais

A outorga de direito de uso das águas é emitida com base em um cenário pré-estabelecido pelo órgão outorgante. Existe a expectativa de que ocorra o evento em um determinado período e frequência, mas, durante boa parte do tempo, espera-se que se tenha uma quantidade de água superior na calha do curso hídrico, tanto no período de cheia quanto no período de estiagem.

Esse procedimento se justifica para garantir ao outorgado acesso ao recurso hídrico na maioria do tempo, mesmo que aconteça o evento estabelecido em cenário. Quanto maior o período de retorno estabelecido na vazão de referência, maior a garantia para o outorgado, mas também maior a restrição para os usos múltiplos na bacia.

O conflito pelo uso da água pode se dar de várias maneiras, como evento mínimo com período de retorno superior ao estabelecido como procedimento de outorga; uso intensivo, principalmente os irregulares, na bacia hidrográfica e devido à fração outorgável estar comprometida com autorizações anteriores e, ainda, existir interesse por novos usuários.

O conflito pelo uso das águas por comprometimento da fração outorgável pode ser entendido como um conflito teórico, pois existe recurso hídrico na calha do curso hídrico, mas existe um impedimento legal do uso. Os demais conflitos citados são conflitos reais, pois não existem recursos hídricos para satisfazer à demanda em toda bacia hidrográfica.

A vazão de referência adotada para os procedimentos de outorga também pode influenciar a quantidade de água a ser autorizada. Os estudos da Watershed Science Centre (WSC, 2004) mostraram que a vazão $Q_{7,10}$ corresponde à vazão $Q_{98,85\%}$ a $Q_{99,85\%}$. Assim, pode-se considerar que a $Q_{7,10}$ equivale a, aproximadamente, $Q_{98\%}$ na curva de permanência. Portanto, comparando-se $Q_{7,10}$ com $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, pode-se concluir que as vazões de $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ são comumente mais permissivas, desde que as frações outorgáveis sejam as mesmas.

O uso de critérios baseados em fluxos mensais baixos, em vez do fluxo anual baixo, tem um ótimo potencial para aumentar o uso de recursos hídricos. O uso de $Q_{7,10}$ mensalmente, substituindo o $Q_{7,10}$ anual, implica aumentos nos recursos hídricos uso potencial, que variam de valores de cerca de 10% (meses com menor disponibilidade de água) para valores superiores a 200% (meses com maior disponibilidade de água); o uso do $Q_{95\%}$ mensal, que substitui o valor anual de $Q_{95\%}$, implica mudanças nos recursos hídricos uso potencial desse intervalo, indo desde reduções de 37% (meses com menor disponibilidade de água) até aumento de mais de 100% (meses com maior disponibilidade) (PRUSKI et al., 2014).

Estas vazões de referência para o processo de outorga poderão se tornar restritivas em bacias onde há maior demanda de água, ou poderão ser eventualmente insuficientes para a manutenção do meio biótico. Existe a necessidade de se evoluir nos critérios de emissão de outorga, com estudos mais aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização ou a adoção de novas vazões de referência (MARQUES, 2006). Para que a implantação do instrumento da outorga possa ser realizada de maneira mais efetiva, é necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões de referência ao processo decisório (FIOREZE; OLIVEIRA, 2010).

É essencial, portanto, o desenvolvimento de ações voltadas para o melhor conhecimento da disponibilidade dos recursos hídricos e da melhor forma de utilização deles. Alguns dos conflitos já existentes poderiam ser minorados e, até mesmo, resolvidos, a partir de um melhor conhecimento do processo de circulação da água na bacia hidrográfica (BOF, 2010). É importante observar, ainda, a variação sazonal do regime hidrológico natural dos rios, que ocorre de acordo com a distribuição da pluviosidade (OLIVEIRA; FIOREZE, 2011).

Para determinar estas vazões de referência utiliza-se uma série de dados de vazões, medidas em estações fluviométricas. Assim, é possível calcular as vazões de referência na base anual ou sazonal (em todas as escalas temporais, mensal, trimestral, quadrimestral e semestral).

Segundo Arai (2014), para a determinação das curvas de permanência nos períodos sazonais, o procedimento é o mesmo da estimativa anual, porém, restringindo-se o conjunto de dados à escala temporal em que se obtêm as variáveis $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, realizando-se este procedimento para todas as escalas temporais.

No cálculo da $Q_{7,10}$ dos períodos sazonais, os eventos de Q_7 são obtidos por uma restrição do conjunto de dados apenas para o período sazonal em questão, ou seja, geram-se séries anuais de eventos de Q_7 observados especificamente para cada período sazonal analisado e, com estes eventos, aplica-se a análise das distribuições de densidade de probabilidade, resultando na $Q_{7,10}$ do período analisado (ARAI, 2014).

De acordo com Oliveira, Pruski e Nunes (2013), o uso das vazões mínimas mensais como índices de referência para a definição de critérios para a concessão de outorga, em substituição às calculadas em base anual, pode representar um expressivo aumento da quantidade de água permissível para outorga, sem que isso signifique um aumento no risco de ocorrência de vazões que possam causar um comprometimento ambiental.

2.5 Regionalização de vazões

A inexistência de registros fluviométricos em muitas áreas onde são solicitadas outorgas não permite a determinação das vazões mínimas de referência pelos métodos descritos anteriormente. Para contornar este problema, a regionalização de vazões apresenta-se como um método alternativo para a determinação dessas vazões. Entretanto, segundo Pruski et al. (2015), a extrapolação das equações de regionalização para além dos limites dos dados utilizados para estimar os parâmetros do modelo de regressão não é recomendada.

De acordo com Tucci (2002), a regionalização hidrológica pode ser realizada para:

- a) **variáveis:** quando uma variável, como precipitação média e vazão de enchente, entre outras, pode ser determinada numa região com

base em relações estabelecidas por meio dos dados pontuais existentes;

- b) **funções:** da mesma forma que na definição anterior, quando uma função hidrológica, como a curva de intensidade *versus* duração *versus* frequência, curva de duração, curva de regularização, entre outras, pode ser determinada numa região com base em dados hidrológicos existentes;
- c) **indicadores regionais:** são definidos aqui como valores médios de variáveis ou proporções que permitam uma rápida estimativa de uma variável ou entendimento do seu comportamento. Por exemplo, a vazão específica média e a relação entre vazão mínima e média.

A regionalização de vazões é um método utilizado para conhecer a disponibilidade hídrica para todos os cursos de água presentes em uma bacia hidrográfica por meio da interpolação dos dados da rede fluviométrica existente. É uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente no que concerne à concessão de outorgas. Esta técnica permite estimar as vazões mínimas para locais onde não se tem medição a partir de informações espacializadas obtidas de bacias com características similares às da área em estudo.

Segundo Pereira (2012), a regionalização de vazões utiliza regiões hidrologicamente homogêneas, obtendo equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas por meio de análise de regressão.

De acordo com Souza (2009), o software SisCorv 1.0 regionaliza vazões pelos três principais métodos de regionalização, a saber, tradicional, da curva adimensional e da conservação de massa.

O método tradicional é aplicável às vazões mínimas, máximas e médias, bem como às curvas de permanência e regularização. O método da curva adimensional somente pode ser aplicado às vazões mínimas e máximas; o método da conservação de massas, às vazões mínimas e médias e à curva de permanência.

O método tradicional consiste na definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas e, em um segundo momento, na obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis topológicas e climáticas (PRUSKI et al., 2011).

Segundo Souza (2009), o método tradicional emprega a análise de regressão múltipla para investigar como as variações nas variáveis independentes afetam a variação da variável dependente (Equação 1).

$$Q = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

em que Q é a vazão estimada; X é a variável independente e n é o número de variáveis independentes. Utilizando-se o artifício de transformação algébrica, aplicam-se os seguintes modelos de regressão à série de dados: modelo linear, modelo potencial, modelo exponencial, modelo logarítmico e modelo recíproco.

2.6 Variáveis explicativas utilizadas na regionalização de vazões

As variáveis explicativas são entendidas como as utilizadas para estimar o valor de variáveis regionalizadas (TUCCI, 2002). De maneira geral, os modelos hidrológicos descrevem os processos em escala menor do que os modelos de previsão de tempo e clima. Para a utilização combinada de modelos climáticos e hidrológicos, é grande o esforço de ajuste e verificação de um

modelo hidrológico de grande escala, devido à discretização e ao número de locais de ajuste e verificação (COLLISCHONN; TUCCI, 2005).

De acordo com Oliveira (2013), geralmente, são utilizadas características físicas e climáticas da bacia hidrográfica. Em estudos de regionalização de vazões é importante conhecer as características físicas e climáticas que influenciam e explicam o comportamento e a distribuição das vazões a serem regionalizadas, priorizando aquela que seja de fácil determinação.

2.6.1 Características físicas

As características físicas de uma bacia hidrográfica interferem no comportamento hidrológico de uma região. A área da bacia hidrográfica, a amplitude altimétrica, o comprimento da drenagem principal da bacia hidrográfica, a declividade da drenagem e a densidade de drenagem são as características físicas mais comuns em estudos de regionalização.

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), a área de drenagem é a característica mais importante de uma bacia hidrográfica. De acordo com o autor, a área de drenagem é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma bacia, uma vez que a bacia é a região de captação de água da chuva. Assim, a área da bacia multiplicada pela lâmina precipitada ao longo de um intervalo de tempo define o volume de água recebido ao longo desse intervalo de tempo.

Oliveira (2013) adotou a área de drenagem, o comprimento do curso d'água e a declividade média na regionalização de vazões médias e mínimas nas UPGRH GD1 e GD2, e concluiu que a área de drenagem é a variável mais expressiva para estimar as vazões estudadas. Segundo o autor, a utilização apenas da área de drenagem nas equações de regressão facilita a utilização do

modelo pelo usuário, o que otimiza o processo para a estimativa das vazões em estudo.

No estudo de regionalização hidrológica, na bacia hidrográfica do Ivinhema, localizada no centro-sul do estado de Mato Grosso do Sul, conduzido por Arai (2014), foi adotada a área de drenagem relativa a cada seção fluviométrica como única característica física da bacia, por ser esta a característica física que mais interfere no processo de formação das vazões médias e mínimas.

2.6.2 Características climáticas

A precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. A chuva é a causa mais importante dos processos hidrológicos de interesse da engenharia e é caracterizada por uma grande aleatoriedade no tempo e no espaço. Assim sendo, considera-se que a inclusão da precipitação como variável explicativa das vazões pode representar uma melhoria do modelo de regionalização.

De acordo com Souza (2009), a lâmina precipitada anual, a precipitação média e a evaporação são os fenômenos climáticos que influenciam diretamente os deflúvios superficiais e, por este motivo, utilizados nos estudos de regionalização de vazões.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2012) conduziu o estudo denominado “Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no estado de Minas Gerais” e utilizou, em vez de área de drenagem e da precipitação, uma única variável, denominada precipitação equivalente, que nada mais é que a precipitação média anual na área de drenagem considerada, multiplicada pela área de drenagem e dividida por um fator de conversão (Equação 2).

$$Peq = \frac{PA}{K} \quad (2)$$

em que

Peq - vazão equivalente ao volume precipitado, m³s⁻¹;

P - precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm;

A - área de drenagem, km²;

K - fator de conversão, o qual é igual a 31.536.

Segundo o mencionado estudo, o uso de uma única variável, além de permitir uma representação bidimensional da relação entre as variáveis dependentes e independentes, também permitiu o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

2.7 Métodos de regionalização de vazões

Os métodos de regionalização determinam os procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados aos dados de entrada. Os métodos de regionalização mais utilizados são o tradicional, o da curva adimensional e o da conservação de massa.

O método tradicional envolve a definição prévia das regiões hidrologicamente homogêneas e, em um segundo momento, a obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis físicas e climáticas. A análise de regressão permite estabelecer como as variações em uma ou mais variáveis independentes afetam a variação da variável dependente.

Os modelos de regressão utilizados no SisCORV 1.0, desenvolvido pela UFV, são o linear, o potencial, o exponencial, o logarítmico e o recíproco.

O IGAM (2012) utilizou a metodologia de regionalização de vazões denominada método tradicional e fundamentada na análise do ajuste de diferentes modelos de regressão, na execução do seu estudo.

A título de informação, são encontrados, na literatura, outros métodos de regionalização, mas que não serão tratados neste trabalho, a exemplo do método *Index Flood* ou método da vazão específica, e a metodologia proposta por Chaves et al. (2002).

2.8 Sistema computacional para regionalização de vazões

2.8.1 Siscah 1.0

O software Siscah 1.0 foi desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), composta pela Universidade Federal de Viçosa (instituição coordenadora), Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, e supervisionada pela ANA.

O Siscah 1.0 utiliza, como base de dados, os arquivos nos formatos TXT e MDB, disponibilizados na internet pela Agência Nacional de Águas, por meio de Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) e tem um sistema de importação desses arquivos, denominado Webservice, que possibilita a obtenção dos dados diretamente no programa. O SisCAH 1.0 é estruturado em módulos, sendo eles importação de arquivos de séries históricas de vazão, pré-processamento de séries, preenchimento e extensão de séries, obtenção da curva de permanência de vazões, obtenção da curva de regularização de vazões e estimativa de vazões mínimas, médias e máximas.

2.8.2 Siscorv 1.0

O Sistema Computacional para Regionalização de Vazões SisCoRV 1.0 (BRASIL, 2013) é um modelo computacional desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do SNIRH, para a regionalização de vazões mínimas, máximas e médias e das curvas de regularização e de permanência. Ele utiliza, como base de dados, valores de vazões associados a características físicas e climáticas das bacias disponíveis na base hidrográfica, acessível por meio de um sistema de informações geográficas (SIG).

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

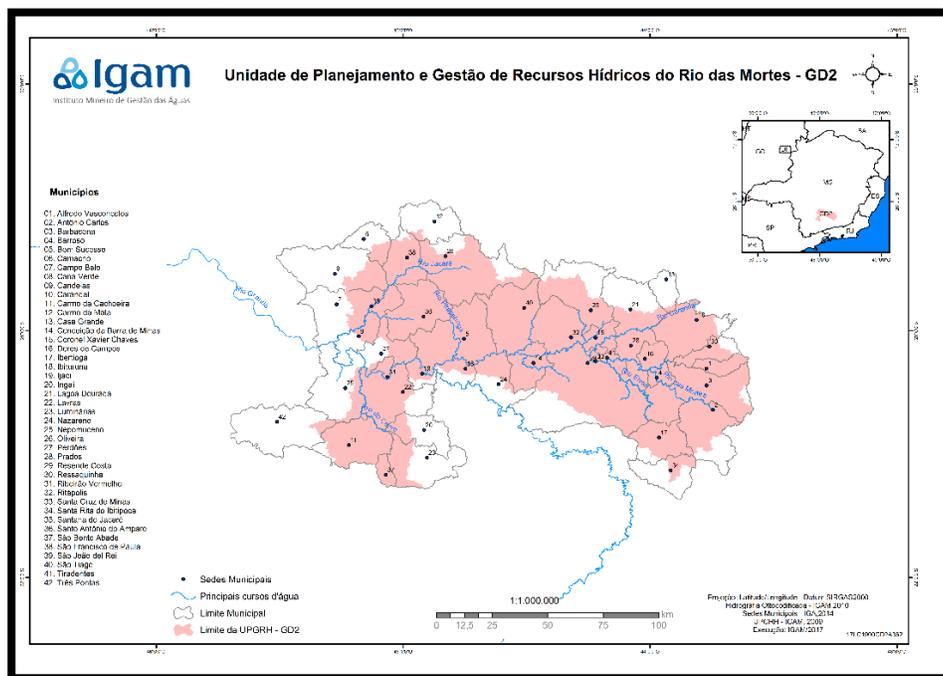
A fim de avaliar a potencialidade permitida aos critérios de outorga e, ainda, visando subsidiar as políticas de gestão dos recursos hídricos, além do tradicional período anual utilizado pelos órgãos gestores, os períodos sazonais foram utilizados na determinação das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$). Com relação ao comportamento hidrológico nas estações, o período chuvoso na área de estudo se inicia no mês de outubro e finaliza no mês de março.

O estudo de regionalização da vazão de referência mínima $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ foi realizado utilizando-se o *software* Siscorv 1.0, no qual foi regionalizada a vazão na base anual e sazonal (mensal). Nos capítulos seguintes aborda-se a metodologia adotada no presente estudo.

3.1 Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio das Mortes integra a bacia hidrográfica do rio Grande, que engloba territórios dos estados de Minas Gerais e São Paulo, perfazendo 143.437,79 km², dos quais 60,2% estão em território mineiro e 39,8%, em terras paulistas (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 2008). A bacia hidrográfica do rio Grande subdivide-se em 14 unidades de gestão de recursos hídricos, sendo seis em território paulista e oito em território mineiro. As 36 UPGRH de Minas Gerais, dentre as quais destacam-se, em rosa, as Unidades da fração mineira do rio Grande, podem ser observadas na Figura 3.

Figura 4 - UPGRH GD2 com os principais cursos hídricos e respectivos municípios.



Fonte: Minas Gerais (2018a).

A nascente do rio das Mortes localiza-se na divisa entre os municípios de Barbacena e Senhora dos Remédios, a, aproximadamente, 1.200 m de altitude, a partir da qual o rio percorre, aproximadamente, 280 km até desaguar no rio Grande, no município de Ibituruna. Ao longo do seu percurso, o rio das Mortes recebe importantes afluentes, como o rio Elvas e o ribeirão Barba Lobo, na margem esquerda, e o rio do Peixe, na sua margem direita (MINAS GERAIS, 2010a).

O nome oficial da UPGRH GD2 é Vertentes do Rio Grande. Entretanto, é comum encontrar publicações, inclusive do órgão gestor de recursos hídricos do estado, nas quais é denominada Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos do Rio das Mortes.

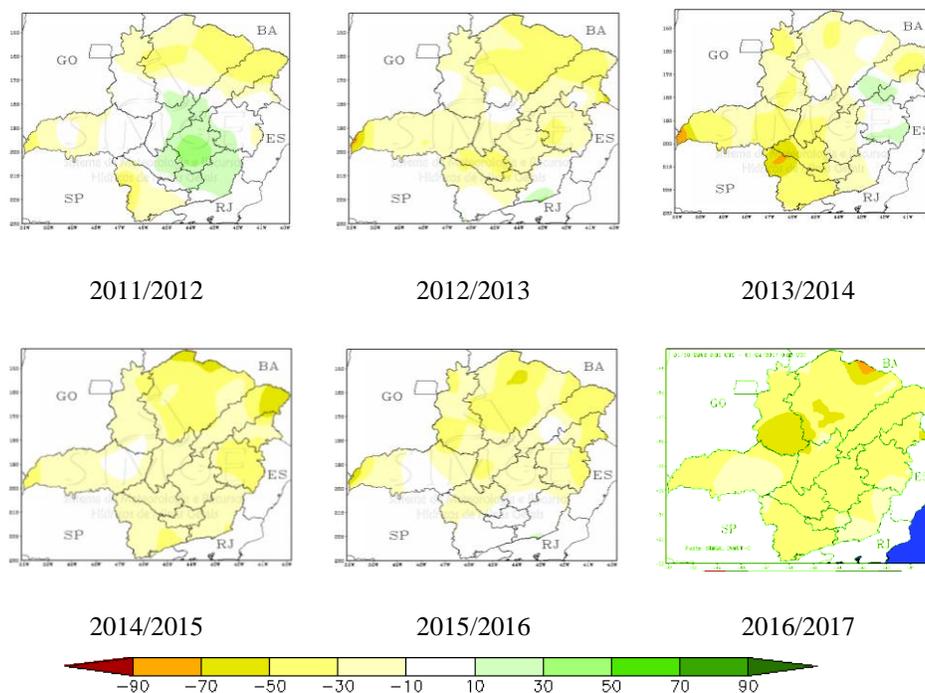
A UPGRH GD2 apresenta precipitação média anual de, aproximadamente, 1.382 mm e temperatura média anual de 18 °C (OLIVEIRA, 2013). O clima da região é caracterizado como úmido (B3), segundo classificação climática de Thornthwaite, apresentando regiões com precipitações médias anuais acima de 1.600 mm e temperaturas médias inferiores a 18 °C (MINAS GERAIS, 2008). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima na região é considerado Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22 °C.

3.1.1 Anomalia de precipitação

O Igam, por meio do Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais (Simge), publicou os mapas de anomalia dos últimos seis anos hidrológicos (Figura 5). O mapa de anomalia representa o cruzamento dos dados de precipitação anual, ano hidrológico, com a normal climatológica no Brasil (1961-1990), publicado pelo INMET (MINAS GERAIS, 2018a).

As normais climatológicas são obtidas por meio do cálculo das médias das variáveis meteorológicas, obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Essas médias referem-se a períodos padronizados de 30 anos, sucessivamente, de 1901 a 1930, de 1931 a 1960 e de 1961 a 1990. Como, no Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960 (CORREA, 2011).

Figura 5 - Mapas de anomalias dos últimos seis anos hidrológicos.



Fonte: Minas Gerais (2018b).

De acordo com o Igam, nos anos hidrológicos de 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015 e 2016/2017, choveu, em média, 10% a 30% menos que o esperado na região da UPGRH GD2. No ano hidrológico de 2015/2016, choveu dentro da média e, no ano 2011/2012, houve uma anomalia positiva entre 10% a 30%. Com a recorrência de anos menos chuvosos, esperam-se uma diminuição dos deflúvios superficiais e possíveis problemas com volumes de reservatórios e conflitos pelo uso da água.

O Igam, por meio da Nota Técnica DPRE/GMHEC/038/2017 (IGAM, 2017), declarou a área de montante da estação Usina Couro do Cervo (61173000), no ribeirão Couro do Cervo, localizada nas coordenadas geográficas latitude 21°20'32"S e longitude 45°10'17"W, em estado de alerta.

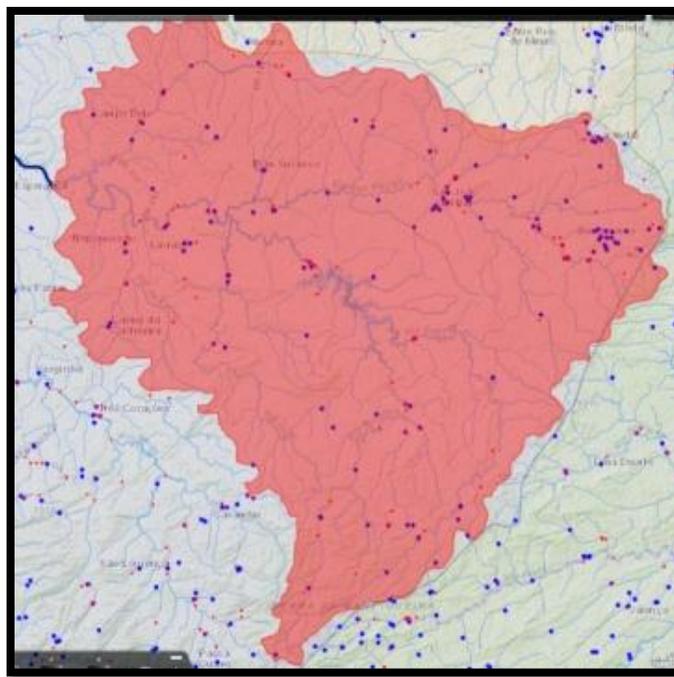
A Deliberação Normativa do CERH-MG nº 49, de 2015 (MINAS GERAIS, 2015a), alterada pela Deliberação Normativa CERH-MG Nº 50/2015 (MINAS GERAIS, 2015b), é o dispositivo legal que estabelece os critérios para a determinação dos estados de vazão em atenção, alerta e restrição. A título de informação e de acordo com o Art. 10 da DN 49, de 2015 (MINAS GERAIS, 2015a), o estado de alerta é quando a média diária de sete dias consecutivos, no curso hídrico, iguala-se ou fica entre 70% e 100% da $Q_{7,10}$.

3.2 Seleção, coleta dos dados e definição da área de regionalização de vazões

Devido à limitação do *software* Siscorv 1.0, que proporciona a regionalização de vazão em área a montante a uma coordenada geográfica na hidrografia e o fato de a UPGRH-GD2 ter duas saídas, nas coordenadas geográficas 21°00'05"S, 45°12'41"W, no rio Jacaré, em Campo Belo, MG, e 21°08'41"S, 45°09'21"W, no rio Grande, em Lavras, MG, a área selecionada para regionalização foi a área a montante à coordenada geográfica 21°02'46"S, 45°16'52"W, que se refere ao deságue do rio Jacaré no rio Grande, no município de Nepomuceno, MG (Figura 6).

A área selecionada para a elaboração do estudo de regionalização abrange a UPGRH-GD1, a UPGRH-GD2 e parte da UPGRH-GD3. Ressalta-se que as avaliações comparativas entre as vazões mínimas sazonais na base anual e mensal e os usos de recursos hídricos foram feitos restritamente à UPGRH-GD2.

Figura 6 - Área empregada no estudo de regionalização de vazões.



Fonte: Brasil (2018b).

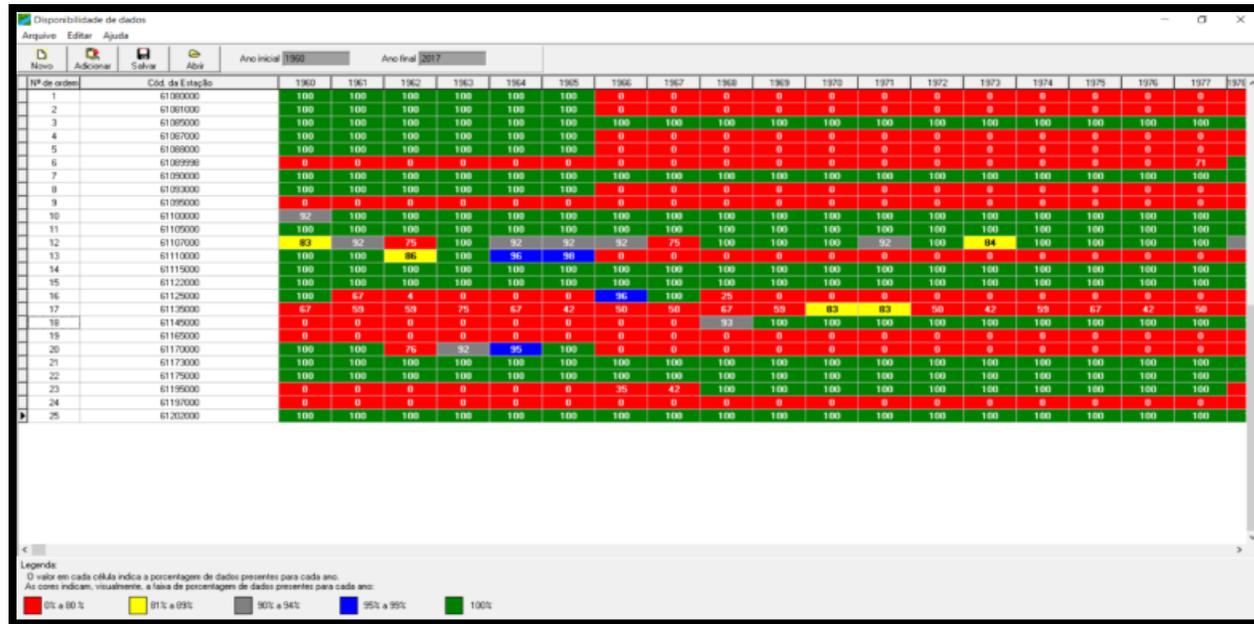
Para o estudo de regionalização de vazões, foram utilizados dados fluviométricos obtidos do inventário das estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA/SNIRH). Inicialmente, foram identificadas 69 estações fluviométricas (Anexo A), na área de estudo. Após a identificação no inventário de estações da ANA, avaliou-se quais dessas estações tinham dados médios diários de vazão em sua série histórica, sendo pré-selecionadas 31 delas.

Das 31 estações pré-selecionadas, 25 foram utilizadas para a definição do período base, pois somente estas continham dados consistentes, formato interpretado pelos sistemas computacionais Siscah 1.0 e Siscorv 1.0, empregados neste estudo. Outra avaliação realizada foi quanto ao período mínimo de dados da série histórica. Estabeleceram-se como critério as estações com, no mínimo, 25 anos de observações diárias.

Com objetivo de estabelecer o período base a ser trabalhado na regionalização de vazão, foi feita a análise de consistência dos dados. Para tal, foi utilizada a ferramenta Disponibilidade de dados, do *software* SisCAH 1.0, que permite realizar a análise e a manipulação preliminar dos dados por meio das ferramentas módulo de pré-processamento, módulo de gerenciamento de dados e ferramenta de disponibilidade de dados. A ferramenta disponibilidade de dados permite a utilização de diferentes cores para representar a situação de cada ano em cada estação. A cor verde indica que o ano não contém falhas, o azul corresponde ao percentual de falhas de 1% a 5%, o cinza de 6% a 10%, o amarelo de 11% a 20% e o vermelho indica mais de 20% de falhas (SOUZA, 2009). Assim como no estudo elaborado pelo IGAM (2012), foi estabelecido, ainda, que a porcentagem máxima de falha aceita na série histórica seria de 5% e que essas falhas não estivessem no período de estiagem.

Primeiramente, buscou-se trabalhar com os últimos 35 anos de coleta de dados, ou seja, de 1983 a 2017. Entretanto, durante a análise de disponibilidade de dados, verificou-se que nenhuma das 25 estações selecionadas continha série histórica dos últimos 35 anos consistidas (Figura 7).

Figura 7 - Disponibilidade de dados das 25 estações.



Fonte: Do autor (2018).

No intuito de selecionar o maior número de estações possíveis, com, no mínimo, 25 anos de série histórica, foi selecionado o período base de 1967 a 2002, o período com dados em que se conseguiu o maior número de estações. Assim, foram identificadas, para o estudo de regionalização, 12 estações fluviométricas (Tabela 2 e Figura 8).

Tabela 2 - Relação das estações fluviométricas utilizadas no estudo de regionalização.

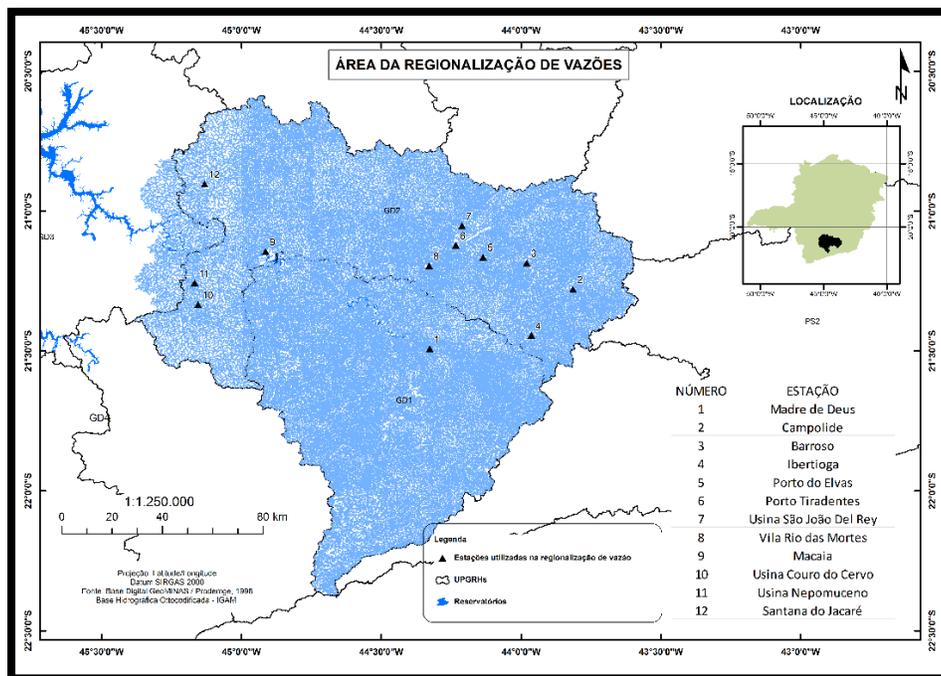
Id	Código	Nome	Rio	Município	Área de drenagem (km ²)
1	61012000	Madre de Deus de Minas	Grande	Madre de Deus de Minas	2070
2	61085000	Campolide	Mortes	Antônio Carlos	569
3	61090000	Barroso	Mortes	Barroso	1040
4	61100000	Ibertioga	Elvas	Ibertioga	186
5	61105000	Porto do Elvas	Elvas	Tiradentes	828
6	61107000	Porto Tiradentes	Mortes	São João Del Rei	2720
7	61115000	Usina São João Del Rei	Carandaí	Coronel Xavier Chaves	643
8	61122000	Vila Rio das Mortes	Mortes pequeno	São João Del Rei	272
9	61145000	Macaia	Grande	Bom sucesso	15400
10	61173000	Usina Couro do Cervo	Couro do cervo	Lavras	390
11	61175000	Usina Nepomuceno	Cervo	Nepomuceno	1020
12	61202000	Santana do Jacaré	Jacaré	Santana do Jacaré	1620

Fonte : Do autor (2018).

Embora o *software* SisCAH 1.0 disponha de uma ferramenta que possibilita o preenchimento de séries, no presente estudo não se utilizou esta técnica para preencher as falhas, de até 5%, da série histórica das estações selecionadas, uma vez que foram adotadas estações com até 5% de falhas

mensais, mas em situações em que as falhas não se encontravam nos meses de estiagem.

Figura 8 - Área da regionalização de vazões com as estações fluviométricas e UPRGH.



Fonte: Do autor (2018).

3.3 Definição das áreas homogêneas

De acordo com Cruz (2001), as regiões hidrologicamente homogêneas são aquelas em que a variável regionalizada apresenta tendências hidrológicas semelhantes. Identificada a semelhança, a partir de relações extraídas de dados reais medidos em bacias da região de estudo, ela é sintetizada em funções, que podem ser equações de regressão e/ou curvas de probabilidade obtidas a partir de ajustes de distribuição estatística a variáveis, parâmetros ou funções

hidrológicas, combinadas com a regressão destes próprios ou de parâmetros de suas distribuições estatísticas com características físicas das bacias.

Os métodos mais comuns para a identificação de áreas homogêneas são os descritos por Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS, 1985), ou seja,

a) critério baseado na análise da distribuição de frequência das vazões adimensionalizadas de cada estação: o princípio em que se baseia esse critério é que as distribuições de frequência das vazões médias, máximas e mínimas das estações localizadas em uma região hidrologicamente homogênea seguem uma mesma tendência, sendo as diferenças proporcionais à média das séries de vazões consideradas. Essa característica permite que, ao se obterem séries transformadas de vazões, por meio da divisão dos seus valores pelas respectivas médias, as distribuições de frequência dessas séries transformadas sejam idênticas;

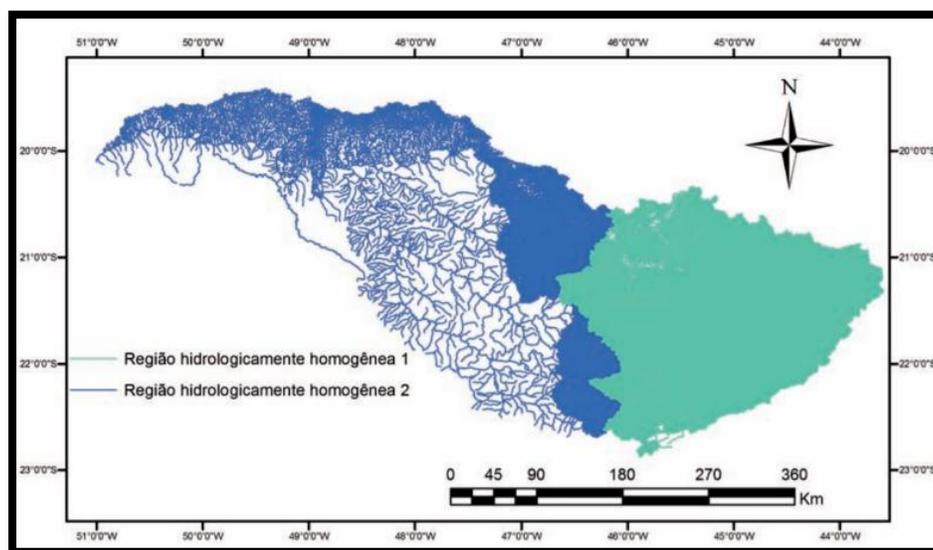
b) critério estatístico baseado na análise do ajuste de modelo de regressão múltipla: nesse critério, são estabelecidas regressões múltiplas entre as séries de vazões (média, máxima e mínima) e as diferentes características físicas e climáticas das bacias. As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresenta o melhor ajuste, avaliado por intermédio do teste estatístico da função F, do coeficiente de determinação ajustado, do desvio padrão dos erros do ajustamento e dos erros percentuais entre os valores das vazões observadas e estimadas pelos modelos de regressão, obtidos para cada uma das regiões homogêneas.

Segundo Baena et al. (2004), quando os dois critérios apresentam bons resultados, ou seja, quando as estações de uma mesma região apresentam valores do coeficiente de regressão " β_1 " próximos (critério 1) e quando os valores do teste estatístico da função F, do coeficiente de determinação ajustado, do desvio padrão dos erros do ajustamento e dos erros percentuais entre os valores das

vazões observadas e estimadas pelos modelos de regressão obtidos para cada uma das regiões homogêneas são aceitáveis (critério 2), a região é definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas. Entretanto, nos casos em que isso não ocorre, há a necessidade de subdividir a região ou reorganizar as estações dentro das regiões e reiniciar o processo.

No estudo realizado pelo IGAM (2012) foram identificadas duas regiões hidrologicamente homogêneas. O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Grande adotou as mesmas regiões no documento intitulado Diagnóstico preliminar – disponibilidade hídrica (Figura 9).

Figura 9 - Regiões hidrologicamente homogêneas na bacia do rio Grande, em Minas Gerais.



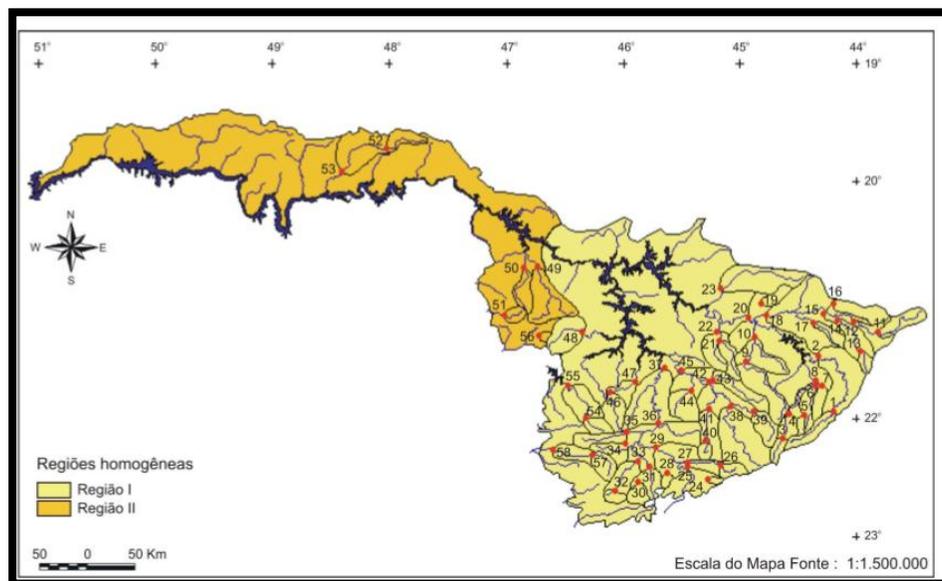
Fonte: IGAM (2012).

Oliveira (2013), utilizando o *software* RH 4.1 Regionalização Hidrológica, desenvolvido por Euclides, Sousa e Ferreira (1999), conduziu um estudo de regionalização para as UPGRH GD1 e GD2 e identificou quatro áreas

hidrológicamente homogêneas, as quais são compreendidas pelas regiões dos rios Igaí/Capivari e parte dos rios Grande, das Mortes e Aiuruoca.

Euclides, Ferreira e Faria Filho (2006) conduziram estudo de regionalização para a fração da bacia do rio Grande, em Minas Gerais. Os resultados da aplicação da metodologia de identificação das regiões hidrológicamente homogêneas indicaram uma tendência para subdividir a região hidrográfica em duas. Na Figura 10 observa-se a delimitação das duas regiões hidrológicamente homogêneas identificadas para as vazões mínimas de sete dias de duração e a localização das estações/sub-bacias selecionadas na região hidrográfica do rio Grande, em Minas Gerais.

Figura 10 - Regiões hidrológicamente homogêneas para as vazões mínimas de sete dias de duração, e localização da sub-bacia do rio Grande, em Minas Gerais.



Fonte: Euclides, Ferreira e Faria Filho (2006).

No Plano Diretor de Recursos Hídricos, Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes, Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD2,

analisando-se o comportamento das vazões de referência das estações fluviométricas, constatou-se que os desvios padrões dos indicadores regionais $Q_{7,10}/Q_{MLT}$, Q_{95}/Q_{MLT} e $Q_{7,10}/Q_{95}$ equivalem, respectivamente, a 9%, 8% e 12%, confirmando a homogeneidade hidrológica da bacia.

No intuito de avaliar a existência de *outliers* entre as 12 estações, foi plotado o diagrama *boxplot* das estações selecionadas para o estudo. Para tal foi utilizado o *software* Minitab 18. O diagrama do tipo *boxplot* é muito útil por permitir uma visão geral do valor central, da dispersão, da assimetria, das caudas e de eventuais pontos amostrais discordantes. O valor central é dado pela mediana e a dispersão pela amplitude interquartis. A simetria ou a assimetria da distribuição podem ser visualizadas pelas posições relativas de Q_1 , Q_2 e Q_3 . Pode-se ter uma ideia da cauda superior e inferior por meio dos comprimentos das linhas verticais que saem do retângulo dos quartis. Os diagramas do tipo *boxplot* são particularmente úteis para comparar as características de duas ou mais amostras diferentes (NEGHETTINI; PINTO, 2007).

A vazão por unidade de área da bacia hidrográfica, denominada de vazão específica (Re), é uma forma de se expressar a capacidade de uma bacia em produzir escoamento superficial e serve como elemento comparativo entre bacias hidrográficas. Portanto, para se plotar o gráfico, foi calculada a vazão específica (Re), que é expressa pela vazão de referência anual na estação (Q_r) dividida pela área de drenagem da estação (A).

$$Re = \frac{Q_r}{A} \quad (3)$$

em que

Re - vazão específica da estação ($m^3s^{-1}km^{-2}$);

Q_r - vazão de referência ($Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) (m^3s^{-1});

A - área de drenagem da estação (km^2).

No presente trabalho, para a identificação das áreas homogêneas, foi gerado o gráfico *boxplot* das estações a partir das vazões específicas, avaliados o coeficiente de determinação, o coeficiente de determinação ajustado e o Teste F, e verificada a similaridade das características geográficas das regiões.

Para as avaliações estatísticas utilizaram-se os softwares Minitab, para gerar os gráficos *boxplot* e análise de regressão; Análises de Dados, do Excel 2016 para análise de regressão e teste de F, e SisCorV 1.0, para análise de regressão e testes F e P.

3.4 Determinação das vazões mínimas

Neste trabalho foram calculadas as vazões mínimas de referência na base sazonal mensal e anual, a saber, $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$. Para o cálculo das vazões de referência foi utilizado o software SisCah 1.0 (SOUZA et al., 2009). Antes do cálculo destas vazões foram descartados os meses da série histórica que apresentaram mais de 5% de falhas.

Para a obtenção da $Q_{7,10}$, foi inicialmente calculado, para cada estação, o valor da vazão Q_7 para cada ano, o qual corresponde à menor média dos valores de vazão de sete dias consecutivos. Como a vazão mínima $Q_{7,10}$ está associada a um determinado nível de risco, ou seja, associada a um período de retorno específico ($T = 10$ anos), as séries anuais de Q_7 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 Log-Normal com dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou a cada uma das séries anuais de Q_7 foi realizada com base na amplitude do intervalo de confiança, com 95% de probabilidade e no erro padrão.

Os valores das vazões $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ foram obtidos a partir da curva de permanência de cada estação fluviométrica, com base em dados diários, retratando a parcela de tempo em que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado. Para tanto, as séries de dados de vazões foram organizadas em ordem decrescente e determinou-se a frequência associada a cada valor de vazão.

A partir das estimativas das vazões mínimas de referência foram comparadas as vazões do período mensal e a do período anual. Nessa comparação foi verificada a diferença relativa da disponibilidade hídrica na vazão outorgável, considerando a adoção das vazões mínimas de referência do período mensal com o período anual, conforme a Equação 4.

$$Dp = \left(\frac{Q_{\text{sazonal}} - Q_{\text{anual}}}{Q_{\text{anual}}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

em que

Dp - diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica;

Q_{sazonal} - vazão estimada em base sazonal (m^3s^{-1});

Q_{anual} - vazão estimada em base anual (m^3s^{-1}).

3.5 Metodologia de regionalização de vazões

Para a realização do estudo de regionalização de vazões foi utilizado o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões SisCoRV 1.0. O método adotado para o estudo de regionalização foi o método tradicional, por ser aplicável às vazões mínimas, bem como à curva de permanência.

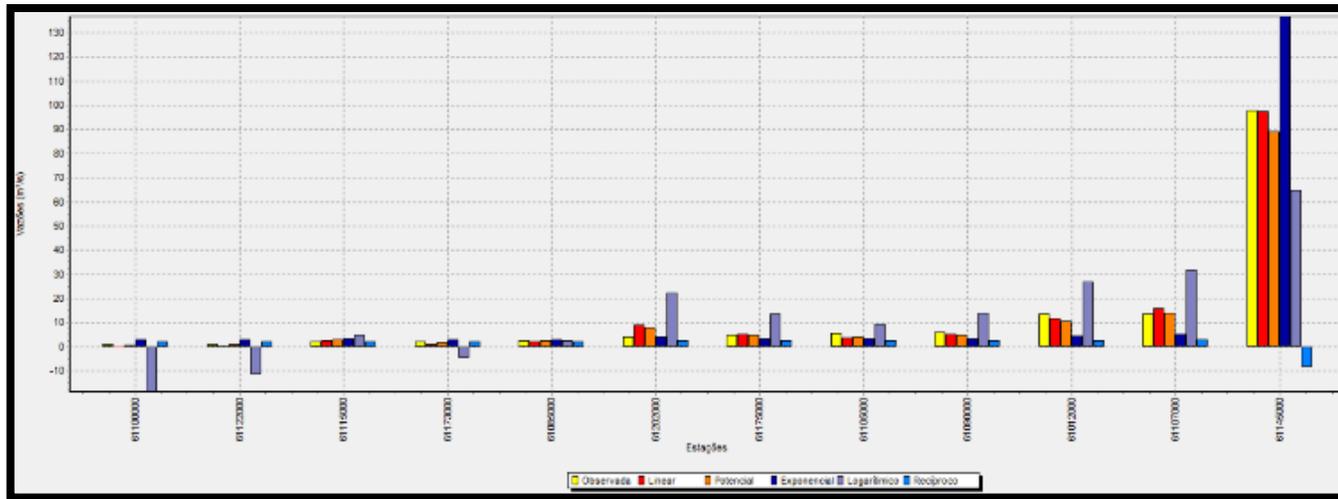
Avaliaram-se os mais diversos modelos de regressão à série de dados no intuito de identificar comportamentos anômalos, como vazões negativas, estimativas superiores ao dobro da vazão observada ou inferiores à metade do

valor observado em mais de 50% das estações fluviométricas presentes no estudo. Ademais, foram levados em consideração os resultados obtidos pela aplicação de testes estatísticos, tais como coeficiente de determinação da regressão linear múltipla (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), erro padrão, teste F (Valor-P), teste t e o erro padrão para cada variável explicativa.

O método tradicional foi aplicado a toda área de drenagem, localizada a montante das coordenadas geográficas $21^{\circ}02'46''S$ e $45^{\circ}16'52''W$, uma vez que a área possui uma única região hidrologicamente homogênea.

O SisCorv 1.0 permitiu uma avaliação por meio de gráficos de barra, das vazões de referência observadas e as estimadas pelo método tradicional com base nos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco, para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo (Figura 11).

Figura 11 - Tela do SisCorV 1.0 com $Q_{7,10}$ observada para cada uma das estações.

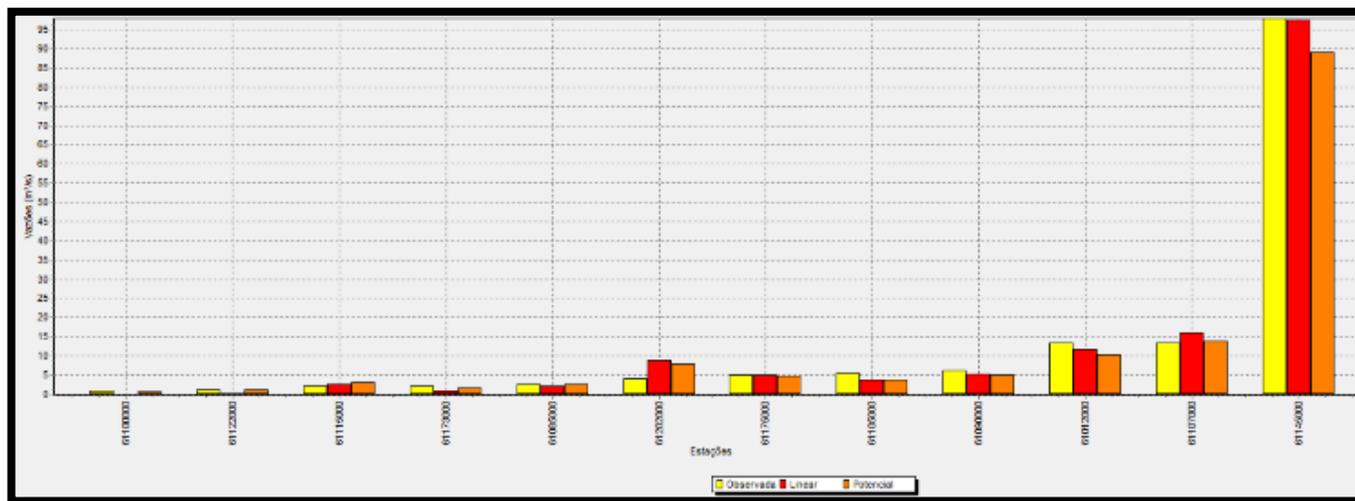


Fonte: Do autor (2018).

Utilizando-se esse procedimento foi possível avaliar, por exemplo, se a vazão mínima de referência calculada pelos mais diversos modelos apresenta anomalias, como vazões negativas ou se estão superestimando ou subestimando, em comparação com a vazão observada e em qual condição que estes fatos acontecem, em termos de magnitude, além da condição em que acontecem as anomalias, em termos de área de drenagem, para pequenas ou grandes áreas de drenagem.

O software SisCorv 1.0 possibilitou, ainda, selecionar os modelos que melhor se ajustaram e compará-los com a vazão observada. Na Figura 12 observa-se a tela com os modelos linear e potencial selecionados.

Figura 12 - Tela do SisCorV 1.0 com as $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial do método tradicional.



Fonte: Do autor (2018).

Para a decisão da adequabilidade dos modelos para a representação da vazão mínima de referência em estudo, foram considerados os resultados obtidos pela aplicação de testes estatísticos.

O software SisCorv 1.0 tem uma ferramenta para o cálculo das análises de variância da regressão, erro padrão, coeficiente de determinação, coeficiente de determinação ajustado, resíduos e testes t e F (Figura 13).

Figura 13 - Tela do SisCorV 1.0 com resultados dos testes estatísticos obtidos pelo método tradicional.

Região	Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
0	G. L.(Regressão)	1	1	1	1	1
0	G. L.(Resíduo)	7	7	7	7	7
0	G. L.(Total)	8	8	8	8	8
0	Nº de observações	9	9	9	9	9
0	Soma de quadrados total(SQ)	32073580,8432	62,3048	62,3048	32073580,8432	1,35394
0	Soma de quadrados (regress)	14752029,29036	34,42754	19,2965	21254513,83239	0,27562
0	Soma de quadrados (residuo)	17321551,55284	27,67727	43,0083	10019067,01081	1,07832
0	Quadrado médio (residuos) (2474507,36469	3,98247	6,14404	1545581,00154	0,15405
0	Quadrado médio (regressão)	14752029,29036	34,42754	19,2965	21254513,83239	0,27562
0	R²	0,45994	0,55257	0,30971	0,66268	0,20357
0	R² ajustado	0,30279	0,40065	0,2111	0,61448	0,08979
0	Erro padrão	1573,05669	1,99561	2,47872	1243,21398	0,39249
0	Teste F(Calculado)	5,9616	8,64478	3,14068	13,7518	1,78918
0	Teste F(Valor-F)	0,04465	0,02171	0,11965	0,00757	0,22285
0	Teste T(Calculado): Intercept	0,00452	-1,64007	2,7952	-2,94487	1,69524
0	Teste T (calculado): Área	2,44164	2,9402	1,7722	3,70834	-1,3376
0	Teste T(Valor-F): Intercepto	0,44755	0,10833	0,02671	0,02156	0,13581
0	Teste T (Valor-F): Área	0,04465	0,02171	0,11965	0,00757	0,22285
0	Erro padrão: Intercepto	1039,29937	6,52946	1,63766	4067,60059	0,25931
0	Erro padrão: Área	1,22959103815149	1,01508997077475	0,00193750774126978	632,362048345349	0,000306790069539445

Fonte: Do autor (2018).

Após as análises estatísticas foi selecionado o modelo (linear, potencial, exponencial, logarítmico ou recíproco) que melhor representou as vazões observadas e posteriormente gerada a equação de regionalização. Por último, a equação foi inserida na base hidrográfica Ottocodificada da ANA (Figura 14). A área de montante refere-se à área de drenagem do ponto mais a jusante do trecho selecionado.

Figura 14 - Tela do SisCorV 1.0 com informações para um trecho no rio das Mortes.

Os valores apresentados referem-se à extremidade do trecho

Atributo	Valor
Código de Ottobacia:	84896321
Área de contribuição	221.06
Área montante:	493.46
Nome do rio:	Rio das Mortes Pequeno
Vazão sincronizada:	2,22745
Equação:	0,00288235141799517 * (NUARE.
Tipo de ajuste:	ModeloPotencial
Vazão/Volume:	2,2274
▶ Tipo de vazão/volume	Vazão mínima

Fonte: Do autor (2018).

3.6 Usuários de recursos hídricos na UPGRH GD2

O conhecimento da disponibilidade hídrica comprometida pelas outorgas, bem como da distribuição espacial dos usos da água na bacia, torna-se indispensável para a condução de uma adequada gestão de recursos hídricos (SILVA; SILVA; MOREIRA, 2015a).

De acordo com o relatório do Sistema SIAM⁴, emitido em setembro de 2017, pelo IGAM, existem, atualmente, na UPGRH GD2, 5.222 usuários/interventores de recursos hídricos, nos mais diversos modos de uso e para as mais diversas finalidades. Deste montante, 4.296 usuários são cadastrados como usos insignificantes e 926 as outorgas emitidas. Na Figura 15 apresenta-se a distribuição de outorgas na UPGRH GD2, na qual existem 541 portarias de outorgas subterrâneas e 416 outorgas superficiais emitidas.

Os modos de uso das outorgas superficiais são os seguintes: aproveitamento de potencial hidrelétrico; barramento em curso de água, sem captação; barramento em curso de água, sem captação, para fins de regularização de vazão, canalização e/ou retificação de curso de água; captação em barramento em curso de água, com regularização de vazão; captação em barramento em curso de água, sem regularização de vazão; captação em corpo de água, desvio total ou parcial de curso hídrico; dragagem de curso de água para fins minerários; dragagem, limpeza ou desassoreamento de curso de água e travessia rodoferroviária.

⁴ O Sistema Integrado de Informações Ambientais (Siam) foi criado visando à integração e à descentralização dos sistemas autorizativo e fiscalizatório por meio de ferramentas de tecnologias modernas, com objetivo de implantar o sistema integrado de informações ambientais.

Ressalta-se que, pelo motivo de não se ter implantado o instrumento de gestão cobrança na UPGRH GD2, existe uma prática dos usuários de recursos hídricos em solicitar outorga referente ao valor do mês de maior consumo. Em outras palavras, não se tem a cultura de solicitar vazões pertinentes à demanda sazonal de um empreendimento.

Atualmente estão autorizados, por meio de portarias de outorgas em águas de dominialidade estadual, a captação de, aproximadamente $7,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de águas superficiais e $4.657 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ de águas subterrâneas para os mais diversos fins.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vazões mínimas de referência

Nas Tabelas 3, 4 e 5 apresentam-se os valores das vazões de referências $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, sazonal e anual, e vazão específica por estação fluviométrica. Ressalta-se que, em todas as vazões mínimas de referência, o maior valor foi verificado no período chuvoso, quando comparado à vazão calculada na base anual.

As vazões $Q_{7,10}$ mensais apresentaram valores superiores à $Q_{7,10}$ anual em todos os meses e estações, caracterizando o potencial do aumento da vazão permissível para outorga, fato ainda mais acentuado no período de dezembro a abril, em que os aumentos foram sempre superiores a 40%.

No caso das vazões da curva de permanência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, no período de julho a novembro, observaram-se valores negativos de diferença relativa (valores de vazões em que a $Q_{90\%}$ e a $Q_{95\%}$ anuais são maiores que a $Q_{90\%}$ e a $Q_{95\%}$ mensais do período de estiagem). Embora impliquem em uma redução da vazão máxima permissível para outorga nestes meses, isso traz como benefício maior segurança ambiental, à medida que o uso das vazões da curva de permanência conduz a valores que se aproximam da própria $Q_{7,10}$ mensal.

Tabela 3 - Vazão $Q_{7,10}$ sazonal e vazão específica por estação.

Estações	Vazão $Q_{7,10}$ (m^3s^{-1})													Variável independente	
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual (m^3/s)	Área de drenagem (km^2)	Vazão específica ($m^3/s.km^2$)
61085000	6,70	5,94	6,22	5,32	4,64	4,39	3,94	3,38	3,36	3,13	4,35	6,43	2,68	569	0,004715
61090000	11,94	11,66	11,45	10,15	8,55	7,77	7,29	6,62	6,28	7,06	8,66	10,63	6,12	1040	0,005888
61100000	1,75	1,43	1,59	1,38	1,25	1,14	1,09	0,97	0,91	0,99	1,15	1,71	0,87	186	0,004651
61105000	9,41	9,54	9,61	8,23	7,10	6,71	6,48	5,81	5,60	5,86	6,44	9,54	5,41	828	0,006529
61107000	31,36	30,19	30,82	25,79	22,51	19,81	18,04	15,53	14,58	15,21	20,15	29,88	13,48	2720	0,004955
61115000	6,43	5,17	5,63	4,50	3,88	3,51	2,95	2,44	2,29	2,65	4,04	6,28	2,05	643	0,003188
61122000	2,82	2,77	2,56	2,17	1,89	1,59	1,44	1,22	1,19	1,15	1,44	2,40	1,04	272	0,003827
61145000	211,62	209,53	179,15	154,68	143,17	124,95	129,11	107,68	103,84	111,70	129,02	180,27	97,94	15400	0,006360
61173000	3,57	4,64	4,41	3,82	3,47	3,08	2,97	2,59	2,31	2,26	2,23	2,74	2,05	390	0,005267
61175000	9,32	10,94	11,07	9,41	7,93	7,08	6,45	5,57	5,22	5,19	5,37	7,02	4,88	1020	0,004788
61202000	16,68	19,79	17,10	13,00	9,37	7,59	7,27	5,75	5,08	5,93	6,95	11,68	4,01	1620	0,002474
61012000	33,04	34,56	36,65	29,19	23,21	20,03	18,84	15,91	14,45	14,89	17,61	25,52	13,41	2070	0,006478

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 4 - Vazão Q_{90%} sazonal e vazão específica por estação.

Estações	Vazão				Variável Dependente						Variável Independente				Re
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual (m³/s)	Área de Drenagem (km²)	
61085000	8,4	7,725	7,5	6,44	5,25	4,7325	4,26	3,52	3,82	4,06	5,034	7,548	4,798	569	0,008432
61090000	14,86	14,1	13,5	12,1	10,048	9,2	8,572	7,7551	7,804	8,39	10,73	13,7367	9,148	1040	0,008796
61100000	2,236	1,934	1,8209	1,638	1,378	1,25	1,175	1,1139	1,15	1,16	1,4684	1,9907	1,325	186	0,007124
61105000	12,2	11,5482	11	8,88	7,78	7,12	6,46	6,02	5,8	6,24	7,68	10,95	7,24	828	0,008744
61107000	39,18	36,3	35,24	29,2	24,64	21,85	20,2	17,4	16,2	17,8778	20,7544	36,22	20,76	2720	0,007632
61115000	8,22	7,58	6,9606	5,23	4,5	3,78	2,9744	2,3	2,66	3,42	5,087	7,74	3,943	643	0,006132
61122000	3,2	3,26	3,184	2,64	2,127	1,8	1,61	1,325	1,35	1,325	1,8	2,672	1,705	272	0,006268
61145000	254,6	211,1364	214,3	170	146,6333	132,6	132,4	113,2	107,2	125,0222	152,1	212,5	142,2	15400	0,009234
61173000	4,5308	4,9944	5,312	4,482	4,0672	3,595	3,303	2,88	2,61	2,52	2,61	3,0799	3,068	390	0,007867
61175000	11,5342	11,6913	12,992	10,1854	9,0617	7,371	6,7561	5,8565	5,806	6,1751	6,5587	8,245	6,365	1020	0,00624
61202000	20,4	22,71	21,2444	14,68	11,34	9,24	8,67	6,75	5,93	7,23	8,91	15,62	8,98	1620	0,005543
61012000	44,3222	42,1	43,7	32,9	25,3	21,7	19,3	16,9	16,1	17,7	19,3	30,9	20,5	2070	0,009903

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 5 - Vazão Q_{95%} sazonal e vazão específica por estação.

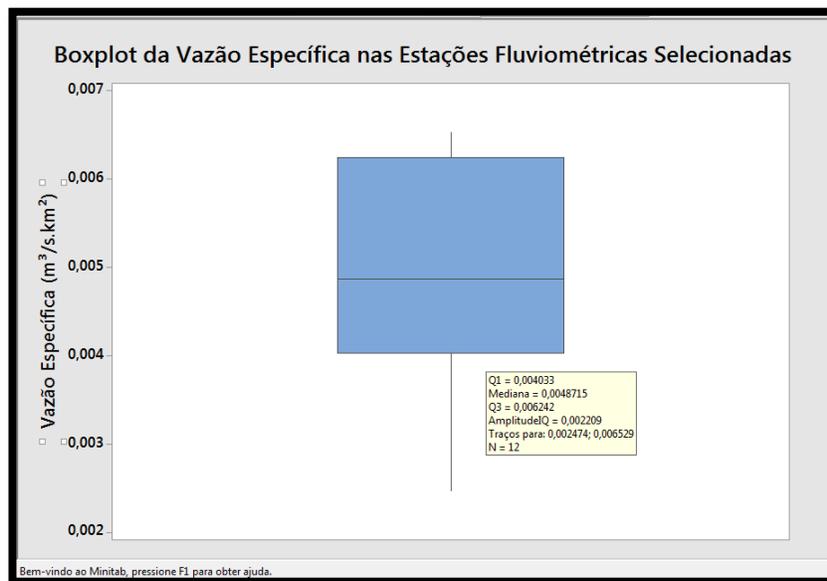
Estações	Vazão Q _{95%}										Variável independente				
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual (m ³ /s)	Área de drenagem (km ²)	Vazão específica (m ³ /skm ²)
61085000	7,20	6,49	6,72	5,40	4,46	4,35	3,64	3,25	3,22	2,99	4,64	6,48	4,00	569	0,007170
61090000	13,19	12,77	11,83	10,85	8,70	8,38	8,03	7,19	7,08	7,62	9,44	12,10	8,25	1040	0,007935
61100000	1,96	1,71	1,56	1,35	1,10	1,12	0,97	0,87	0,99	1,10	1,21	1,79	1,15	186	0,006183
61105000	10,85	9,98	9,43	7,84	6,56	6,24	5,76	5,58	5,30	5,58	6,88	9,32	6,24	828	0,007536
61107000	32,98	31,48	31,14	26,36	22,40	20,76	17,02	15,10	14,46	16,20	24,12	30,90	18,4	2720	0,006765
61115000	6,64	6,21	5,04	3,69	2,50	2,66	2,28	1,80	1,86	2,20	4,50	6,53	2,56	643	0,003981
61122000	2,80	2,67	2,89	2,236	1,80	1,42	1,36	1,14	1,20	1,11	1,52	2,16	1,51	272	0,005544
61145000	220,00	179,80	169,50	145,00	126,77	113,58	109,80	97,60	94,00	110,80	136,50	182,65	123,20	15400	0,008000
61173000	3,89	3,95	4,10	2,97	2,33	3,03	2,01	1,93	2,14	2,20	2,26	2,80	2,52	390	0,006462
61175000	10,18	9,43	9,93	7,95	6,81	6,56	4,78	4,30	4,63	5,81	6,17	7,58	5,45	1020	0,005345
61202000	15,79	19,78	19,24	12,20	9,52	8,43	7,71	5,72	4,70	6,12	8,19	12,07	7,71	1620	0,004759
61012000	38,81	32,02	35,61	27,99	23,61	20,10	17,30	14,50	14,10	15,30	17,30	26,50	17,86	2070	0,008626

Fonte: Do autor (2018).

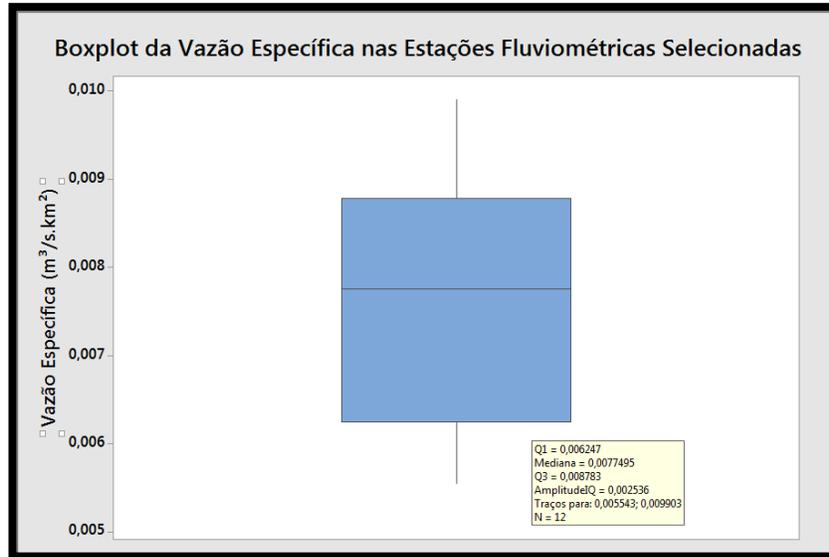
4.2 Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas

Houve uma tentativa para considerar a área de estudo como sendo uma região homogênea. Nas Figuras 16, 17 e 18 apresentam-se os gráficos *boxplot* para as vazões específicas de referência $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, respectivamente.

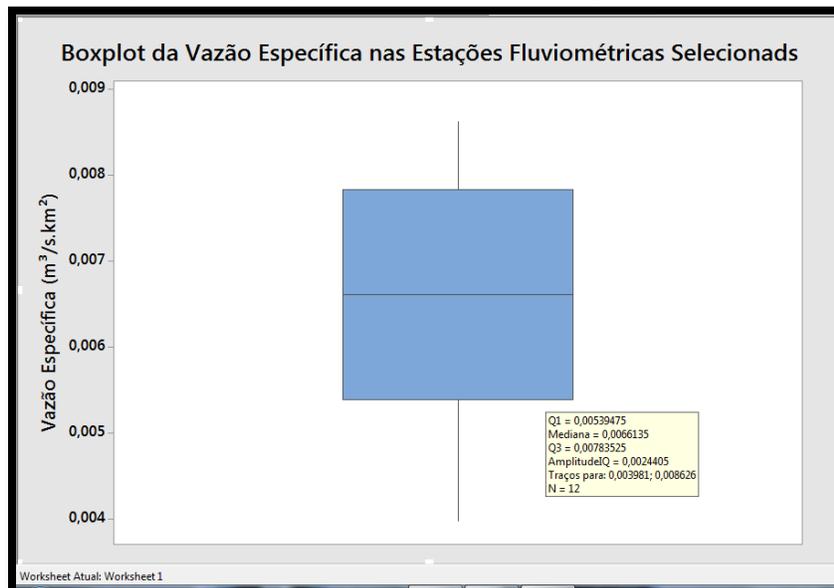
Figura 16 - Diagrama *boxplot* da vazão específica $Q_{7,10}$.



Fonte: Do autor (2018).

Figura 17 - Diagrama *boxplot* da vazão específica $Q_{90\%}$.

Fonte: Do autor (2018).

Figura 18 - Diagrama *boxplot* da vazão específica $Q_{95\%}$.

Fonte: Do autor (2018).

Pela análise dos gráficos de *boxplot*, constatou-se que não houve *outliers* para as vazões específicas $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$. Assim, todas as 12 estações compuseram o estudo de regionalização.

Nas Tabelas 6 e 7 apresentam-se, respectivamente, a análise estatística de regressão e os resíduos. Destacam-se o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de determinação ajustado, ambos superiores a 0,99, para as vazões de referência $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$. O desvio padrão dos indicadores $Q_{7,10}/Q_{95\%}$, $Q_{7,10}/Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}/Q_{90\%}$ foram inferiores a 10%. Assim, como constatado nos estudos realizados por Euclides, Ferreira e Faria Filho (2006), IGAM (2012) e Minas Gerais (2010a), a área de estudo foi considerada como uma única área homogênea.

Tabela 6 - Estatística de regressão.

Desvio Padrão (S ²)		Coeficiente de determinação (R ²)		Teste de F		Coeficiente de determinação ajustado		Erro padrão	
Q _{7,10} /Q _{90%}	0,0911	Q _{7,10} x Ad ⁵	0,995035	Q _{7,10} x Ad	3,77E-22	Q _{7,10} x Ad	0,994538	Q _{7,10} x Ad	2,005777
Q _{7,10} /Q _{95%}	0,0911	Q _{90%} x Ad	0,997261	Q _{90%} x Ad	3,77E-22	Q _{90%} x Ad	0,996987	Q _{90%} x Ad	2,155980
Q _{95%} /Q _{90%}	0,0658	Q _{95%} x Ad	0,997192	Q _{95%} x Ad	3,77E-22	Q _{95%} x Ad	0,996910	Q _{95%} x Ad	1,893548

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 7 - Resultados de resíduos.

Estação	Q7,10		Q90%		Q95%	
	Y previsto	Resíduos	Y previsto	Resíduos	Y previsto	Resíduos
61085000	2,165628486	0,517371514	3,720000036	1,077999964	3,178323218	0,901676782
61090000	5,189445134	0,934554866	8,101316232	1,046683768	6,978180622	1,273819378
61100000	-0,293228789	1,158228789	0,157273702	1,167726298	0,08841794	1,06158206
61105000	3,828406643	1,577593357	6,129258836	1,110741164	5,267841408	0,972158592
61107000	15,97503318	-2,498033178	23,72894088	-2,968940883	20,53181213	-2,131812129
61115000	2,640707959	-0,590707959	4,408359693	-0,465359693	3,775328415	-1,215328415
61122000	0,258890599	0,782109401	0,95725925	0,74774075	0,782234791	0,725765209
61145000	97,38054294	0,556457057	141,6802984	0,51970164	122,8294595	0,370540547
61173000	1,01644976	1,03755024	2,054913838	1,013086162	1,734216051	0,785783949
61175000	5,061045276	-0,177045276	7,915273082	-1,550273082	6,816827866	-1,365427866
61202000	8,913041006	-4,905041006	13,4965676	-4,5165676	11,65741055	-3,947410547
61012000	11,8020378	1,606962196	17,68253849	2,817461512	15,28784756	2,568652442

Fonte: Do autor (2018).

⁵ Ad é a área de drenagem das estações consideradas.

4.3 Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica

4.3.1 $Q_{7,10}$

Na Tabela 8 apresenta-se a diferença percentual das vazões sazonais em relação à vazão anual correspondente às estações fluviométricas utilizadas no estudo. Verifica-se, pela análise dos valores da referida tabela, que houve flexibilidade do uso das vazões com a adoção dos períodos sazonais. Na análise da $Q_{7,10}$ verifica-se que os meses chuvosos apresentaram flexibilidade média mínima, em novembro, de 41,25% e máxima, em fevereiro, de 142,57%. Não houve flexibilização significativa das vazões nos meses secos, uma vez que, em poucos casos, as ocorrências de Q_7 anual ocorreram fora deste período. Desse modo, a $Q_{7,10}$ em base anual tem valor próximo aos correspondentes aos valores de $Q_{7,10}$ dos meses secos. Contudo, o mês mais seco, setembro, teve incremento de 10,94% na vazão de referência na base mensal.

O uso das vazões mínimas, estimadas em base anual, representa restrições para vários meses no ano, sobretudo para o período chuvoso. Considerando que o período de maior demanda pelos recursos hídricos nem sempre coincide com o período de menor disponibilidade hídrica, a modificação do critério de outorga de base anual para base mensal resulta em alto potencial para aumento da vazão máxima outorgável e propicia a compatibilidade das demandas pelo uso dos recursos hídricos com as necessidades de manutenção do ecossistema em cada trecho dos cursos hídricos da bacia hidrográfica.

Tabela 8 - Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.

Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica (%)												
Estações	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
61085000	149,72	121,36	131,94	98,36	73,02	62,80	46,78	25,98	25,08	16,81	62,28	139,55
61090000	94,91	90,33	87,02	65,79	39,68	26,85	19,09	8,05	2,56	15,37	41,38	73,56
61100000	102,66	65,09	83,93	59,65	44,97	31,79	25,90	13,99	5,66	14,45	32,95	98,15
61105000	74,03	76,47	77,82	52,31	31,35	24,07	19,81	7,40	3,53	8,32	19,13	76,56
61107000	132,68	123,98	128,68	91,40	67,02	47,00	33,83	15,27	8,22	12,84	49,54	121,54
61115000	213,90	152,00	174,88	119,46	89,07	71,41	43,85	19,02	11,71	29,17	96,93	206,39
61122000	170,80	166,38	146,21	108,74	81,17	53,12	38,42	17,10	14,41	10,37	37,94	130,93
61145000	116,08	113,95	82,93	57,94	46,19	27,59	31,83	9,95	6,03	14,06	31,74	84,07
61173000	74,00	125,85	114,65	86,22	68,89	49,85	44,69	26,19	12,71	10,03	8,37	33,30
61175000	90,77	124,02	126,72	92,77	62,47	45,00	32,08	14,07	6,96	6,24	10,03	43,80
61202000	316,09	393,66	326,70	224,33	133,91	89,27	81,36	43,46	26,70	47,93	73,35	191,42
61012000	146,42	157,72	173,35	117,68	73,11	49,39	40,53	18,64	7,73	11,07	31,33	90,32
Média	140,17	142,57	137,90	97,89	67,57	48,18	38,18	18,26	10,94	16,39	41,25	107,47

Fonte: Do autor (2018).

4.3.2 $Q_{90\%}$

Na Tabela 9 apresenta-se a diferença percentual das vazões sazonais em relação à vazão anual correspondente às estações fluviométricas utilizadas no estudo. Verifica-se, pela análise dos valores apresentados na referida tabela, que houve flexibilidade, no período chuvoso, do uso das vazões com a adoção dos períodos sazonais. Na análise da $Q_{90\%}$ verifica-se que os meses chuvosos apresentaram flexibilidade média mínima, em novembro, de 5,18% e máxima, em janeiro, de 84,25%. Nos meses mais secos, a vazão de referência na base sazonal restringe em até 20,6% a disponibilidade hídrica para outorga, quando se compara com o cálculo na base anual.

Tabela 9 - Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.

Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica (%)												
Estações	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
61085000	75,07	61,00	56,32	34,22	9,42	-1,37	-11,21	-26,64	-20,38	-15,38	4,92	57,32
61090000	62,44	54,13	47,57	32,27	9,84	0,57	-6,30	-15,23	-14,69	-8,29	17,29	50,16
61100000	68,75	45,96	37,43	23,62	4,00	-5,66	-11,32	-15,93	-13,21	-12,45	10,82	50,24
61105000	68,51	59,51	51,93	22,65	7,46	-1,66	-10,77	-16,85	-19,89	-13,81	6,08	51,24
61107000	88,73	74,86	69,75	40,66	18,69	5,25	-2,70	-16,18	-21,97	-13,88	-0,03	74,47
61115000	108,47	92,24	76,53	32,64	14,13	-4,13	-24,57	-41,67	-32,54	-13,26	29,01	96,30
61122000	87,68	91,20	86,74	54,84	24,75	5,57	-5,57	-22,29	-20,82	-22,29	5,57	56,72
61145000	79,04	48,48	50,70	19,55	3,12	-6,75	-6,89	-20,39	-24,61	-12,08	6,96	49,44
61173000	47,68	62,79	73,14	46,09	32,57	17,18	7,66	-6,13	-14,93	-17,86	-14,93	0,39
61175000	81,21	83,68	104,12	60,02	42,37	15,81	6,14	-7,99	-8,78	-2,98	3,04	29,54
61202000	127,17	152,90	136,57	63,47	26,28	2,90	-3,45	-24,83	-33,96	-19,49	-0,78	73,94
61012000	116,21	105,37	113,17	60,49	23,41	5,85	-5,85	-17,56	-21,46	-13,66	-5,85	50,73
média	84,25	77,68	75,33	40,88	18,00	2,80	-6,24	-19,31	-20,60	-13,79	5,18	53,37

Fonte: Do autor (2018).

4.3.3 $Q_{95\%}$

Na Tabela 10 apresenta-se a diferença percentual das vazões sazonais em relação à vazão anual correspondente às estações fluviométricas utilizadas no estudo. Analisando-se os resultados obtidos, verificou-se que houve flexibilidade, no período chuvoso, do uso das vazões com a adoção dos períodos sazonais. Na análise da $Q_{95\%}$ verifica-se que os meses chuvosos apresentaram flexibilidade média mínima, em novembro, de 14,06% e máxima, em janeiro, de 87,20%. Entretanto, nos meses mais secos do ano, a $Q_{95\%}$ na base sazonal implica restrição média de 20,83%, no mês de agosto, na disponibilidade hídrica para outorga, quando comparada com o cálculo na base anual.

O fato de, no período de estiagem, as vazões da curva de permanência implicarem em valores inferiores, quando comparadas à calculada na base anual, proporciona à gestão de recursos hídricos assegurar aos usos prioritários o efetivo exercício do direito de acesso à água, bem como o controle qualitativo das coleções hídricas.

Tabela 10 - Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica.

Diferença relativa percentual da disponibilidade hídrica (%)												
Estações	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
61085000	76,47	59,07	64,73	32,35	9,36	6,62	-10,78	-20,34	-21,08	-26,72	13,83	58,90
61090000	59,85	54,73	43,45	31,43	5,43	1,55	-2,71	-12,92	-14,20	-7,62	14,40	46,63
61100000	70,43	48,38	35,76	17,39	-4,79	-2,17	-15,65	-24,37	-14,35	-4,35	5,53	56,09
61105000	73,97	59,94	51,16	25,64	5,13	0,00	-7,69	-10,58	-15,06	-10,51	10,26	49,36
61107000	79,24	71,09	69,26	43,26	21,74	12,83	-7,50	-17,93	-21,41	-11,96	31,09	67,93
61115000	159,26	142,56	96,88	44,14	-2,34	3,91	-10,94	-29,69	-27,34	-14,06	75,78	155,29
61122000	85,40	77,19	91,64	48,28	19,36	-5,84	-9,81	-24,40	-20,42	-26,39	0,80	43,24
61145000	78,57	45,94	37,58	17,69	2,90	-7,81	-10,88	-20,78	-23,70	-10,06	10,80	48,25
61173000	54,20	56,94	62,62	18,02	-7,42	20,32	-20,24	-23,41	-15,16	-12,87	-10,24	10,99
61175000	86,84	72,93	82,13	45,79	24,96	20,31	-12,23	-21,05	-15,13	6,50	13,28	39,11
61202000	104,84	156,55	149,60	58,24	23,48	9,34	0,00	-25,75	-39,04	-20,62	6,28	56,55
61012000	117,35	79,32	99,43	56,75	32,23	12,56	-3,12	-18,80	-21,04	-14,32	-3,12	48,41
média	87,20	77,05	73,69	36,58	10,84	5,97	-9,30	-20,83	-20,66	-12,75	14,06	56,73

Fonte: Do autor (2018).

4.4 Regionalização de vazões mínimas de referência

Considerando os modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco, foi realizada a regionalização de vazões anual e sazonal. Os modelos exponencial, logarítmico e recíproco apresentaram comportamento anômalo com vazões negativas, estimativas superiores ao dobro da vazão observada ou inferiores à metade do valor observado em mais de 50% das estações fluviométricas presentes no estudo. Assim, não foram selecionados em nenhuma situação.

Os modelos linear e potencial tiveram comportamento semelhante ao da vazão observada. Contudo, para selecionar o modelo mais adequado para a representação da $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ na área em estudo, foram considerados os resultados obtidos pela aplicação de testes estatísticos. Assim, selecionou-se o modelo potencial para a representação das vazões na região hidrologicamente homogênea, por ser o modelo que melhor se ajustou, devido ao fato de a dispersão dos resíduos do modelo linear caracterizar valores superiores a 50% em mais de 30% das estações fluviométricas consideradas. E, pela análise dos resultados da aplicação dos testes estatísticos, verificou-se que o modelo linear é rejeitado para o intercepto, a 95% de significância (teste t).

Nas Tabelas 11, 12 e 13 apresentam-se as equações de regionalização na base anual e sazonal (mensal) das vazões de referência mínima $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$.

Tabela 11 - Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{7,10}$.

Período	Equação	Coefficiente de determinação (R^2)
Anual	$Q_{7,10} = 0,002882351418A^{1,07233219}$	0,95138
Janeiro	$Q_{7,10} = 0,00584890192064906 A^{1,09206719931787}$	0,99030
Fevereiro	$Q_{7,10} = 0,00501951920122214 A^{1,11437105372683}$	0,98518
Março	$Q_{7,10} = 0,00625329243135336A^{1,08070908233456}$	0,98424
Abril	$Q_{7,10} = 0,0054712989439529A^{1,07457684176439}$	0,98387
Mai	$Q_{7,10} = 0,0048439401531696A^{1,06927568506015}$	0,98185
Junho	$Q_{7,10} = 0,00450914184806337A^{1,06164310819098}$	0,97768
Julho	$Q_{7,10} = 0,00370670199505295 A^{1,08051250319006}$	0,97418
Agosto	$Q_{7,10} = 0,00349668130985493A^{1,06691720587567}$	0,96621
Setembro	$Q_{7,10} = 0,00321524588051199A^{1,06919810972178}$	0,96453
Outubro	$Q_{7,10} = 0,00312786037892518A^{1,08129609589579}$	0,97270
Novembro	$Q_{7,10} = 0,00357838940386901A^{1,08632419267012}$	0,97676
Dezembro	$Q_{7,10} = 0,00549279434980362A^{1,07760836397886}$	0,97676

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 12 - Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{90\%}$.

Período	Equação	Coefficiente de determinação (R^2)
Anual	$Q_{90\%} = 0,00497769826617877 A^{1,06018551091885}$	0,98099
Janeiro	$Q_{90\%} = 0,00732348023890002A^{1,09177180115659}$	0,98706
Fevereiro	$Q_{90\%} = 0,00827045903652115A^{1,06815705775594}$	0,98715
Março	$Q_{90\%} = 0,00764579045472567A^{1,07751479765357}$	0,98458
Abril	$Q_{90\%} = 0,00743580659260564A^{1,05085053288233}$	0,98322
Mai	$Q_{90\%} = 0,00637732742618776A^{1,04757164397481}$	0,98391
Junho	$Q_{90\%} = 0,00551602678121465A^{1,04893391044661}$	0,97944
Julho	$Q_{90\%} = 0,00438808999893264A^{1,06857894143035}$	0,97634
Agosto	$Q_{90\%} = 0,00396301196458446A^{1,0611721269524}$	0,96305
Setembro	$Q_{90\%} = 0,00470492897554516A^{1,03431138755518}$	0,96489
Outubro	$Q_{90\%} = 0,00393451804707189A^{1,07255198853012}$	0,97799
Novembro	$Q_{90\%} = 0,00543544816654206A^{1,05402137331505}$	0,97820
Dezembro	$Q_{90\%} = 0,0063330773119054A^{1,08554449929693}$	0,97822

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 13 - Equações da regionalização da vazão de referência mínima $Q_{95\%}$.

Período	Equação	Coefficiente de determinação (R^2)
Anual	$Q_{95\%} = 0,00387751976742885A^{1,07203324559747}$	0,97130
Janeiro	$Q_{95\%} = 0,0064810264689855A^{1,08706940452937}$	0,98355
Fevereiro	$Q_{95\%} = 0,00685427400762271A^{1,06993667335452}$	0,98981
Março	$Q_{95\%} = 0,00677544750745082A^{1,06895714488506}$	0,98036
Abril	$Q_{95\%} = 0,00501924218500127A^{1,07901936131262}$	0,97659
Mai	$Q_{95\%} = 0,00344553327310549A^{1,10314292879916}$	0,96728
Junho	$Q_{95\%} = 0,00423355022684571A^{1,06718223964965}$	0,96903
Julho	$Q_{95\%} = 0,00301799335595929A^{1,09395747483755}$	0,97090
Agosto	$Q_{95\%} = 0,00276872855651406A^{1,08669049430556}$	0,95739
Setembro	$Q_{95\%} = 0,00368985048357063A^{1,0450720025532}$	0,94793
Outubro	$Q_{95\%} = 0,00306422900762033A^{1,08565480564081}$	0,96538
Novembro	$Q_{95\%} = 0,00391143807467177A^{1,08776386864402}$	0,98051
Dezembro	$Q_{95\%} = 0,00569288597421025A^{1,07892139050493}$	0,97784

Fonte: Do autor (2018).

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As vazões mínimas de referência sazonais possibilitaram comparar a flexibilidade obtida nas outorgas de uso da água com a adoção de cada período, em substituição ao tradicional período anual. Os resultados da simulação, realizados na vazão mínima $Q_{7,10}$, demonstraram que, na região hidrográfica UPGRH GD2, utilizando-se o critério da outorga sazonal com captação a fio d'água, foi possível aumentar a vazão outorgável, em determinado período do ano, em até 393%.

O uso de critérios baseados em vazões mensais baixas, em vez da anual baixa, tem grande potencial para aumentar o uso de recursos hídricos. O uso de $Q_{7,10}$ mensais, que substitui o $Q_{7,10}$ anual, implica aumentos no uso potencial de recursos hídricos que variam de valores de cerca de 10% (meses com menor disponibilidade de água) a valores superiores a 393% (meses com maior disponibilidade de água). Entretanto, não houve diferença significativa da $Q_{7,10}$, nos meses secos em relação à base anual.

Os usos das vazões $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ mensais, que substituem o valor anual de $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, implica em alterações no uso potencial de recursos hídricos, desde reduções de 33% (meses com menor disponibilidade de água) até aumentos superiores a 100% (meses com maior disponibilidade). O fato de os valores mensais de $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ serem menores do que o valor anual de $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ não deve ser considerado como uma restrição à disponibilidade de uso da água, mas sim como um aumento na garantia ambiental e para suprir a demanda por recursos hídricos.

Fato importante que pode ser ressaltado neste estudo é que a utilização do critério baseado nas vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite o seu uso no período em que há

disponibilidade hídrica e o restringe no período de escassez hídrica, uma vez que a base mensal apresenta as características intrínsecas das vazões de cada mês.

A disponibilidade de água representada pelas vazões da curva de permanência $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ mensal apresenta algumas vantagens adicionais sobre as evidenciadas pela vazão $Q_{7,10}$. Em comparação com DH% para $Q_{7,10}$, os valores de DH% relacionados com $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ apresentaram-se menores, mas, mesmo para essa variável, há um aumento significativo na disponibilidade de água quando se compara a vazão sazonal com a vazão na base anual.

Considerando o critério de concessão de outorga de 50% da $Q_{7,10}$ anual, verifica-se que este critério limita o uso dos recursos hídricos durante todo o ano, tanto nos períodos em que há grande disponibilidade, quanto naqueles em que há baixa disponibilidade hídrica. A alternativa da mudança para o critério de 50% da $Q_{7,10}$ mensal permite que sejam concedidas maiores vazões de outorga nos períodos em que há excedente hídrico, e menores valores nos meses em que há menor disponibilidade hídrica.

O uso dos critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propiciou um incremento nas vazões outorgáveis na UPGRH GD2, no período chuvoso, em todas as vazões de referência estudada. No entanto, a fim de garantir os usos múltiplos da água de forma racional, é necessário contemplar a análise qualitativa da água, pois certas características em empreendimentos fazem com que suas atividades se deem também de forma sazonal, quando haverá, então, maior consumo e aporte de efluentes despejados no corpo receptor, mesmo que este fato não coincida com o período de maior escassez de água na bacia.

É de vital importância o correto levantamento dos usos de água na bacia, ou, em outras palavras, que haja uma base de dados das outorgas emitidas consistente e de fácil acesso para qualquer cidadão. Assim, por meio das

outorgas, os órgãos gestores de recursos hídricos detêm a informação a ser analisada na estimativa da disponibilidade hídrica.

Tendo em vista os resultados encontrados, recomenda-se a aplicação desta metodologia empregada na UPGRH GD2 em regiões onde já existem conflitos instalados de uso de água em função da escassez econômica de recursos hídricos em épocas de estiagens ou em regiões que não sejam consideradas em conflitos, mas que planejam a ampliação das atividades econômicas. Desse modo, o usuário pode se planejar quanto ao consumo em cada mês, com possibilidade de projetar o armazenamento da água excedente de meses mais úmidos, para utilização em meses mais críticos.

Recomenda-se, ainda, para trabalhos futuros, simular, nas áreas declaradas em conflito pelo recursos hídricos pelo IGAM, a regionalização sazonal, no intuito de avaliar se a escassez teórica deixará de existir.

REFERÊNCIAS

- ARAI, F. K. **Crerios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídricos pela irrigação**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal Grande Dourados. Dourados, 2014.
- BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 612-624, 2004.
- BELICO, J. C. B. et al. Comparação entre vazões mínimas de referência para o rio Formoso-MG. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, p. 718-733, 2013.
- BOF, L. H. N. **Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BOF, L. H. N. et al. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 1, p. 1-11, 2012.
- BRASIL. **Hidroweb**. Versão 1.0.0.16. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas. Superintendência de Gestão e Informação. **SISCORV 1.0 - Sistema Computacional para Regionalização de Vazões**. Brasília, DF, 2013. 104 p.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985. 2 v.
- CHAVES, H. M. L. et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolador em sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Previsão sazonal de vazão na bacia do Rio Uruguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 43-59, out./dez. 2005.

CORREA, W. S. C. **Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no município de Vitória-ES no período de 1978 a 2007**. 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação dos aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais: estudo de caso. **Revista Item: Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 71/72, p. 42-50, 2006.

EUCLYDES, H. P.; SOUSA, E. F.; FERREIRA, P. A. **Regionalização hidrológica, manual do programa RH**. Versão 3.0a. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1999. 149 p.

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Uso dos recursos hídricos da Bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 28-35, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia hidrográfica do Rio Grande: anexo 2 e 3**. São Paulo, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/6020-outorga>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Nota técnica**. Disponível em:

<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2017/Escassez_Hidrica/Esta%C3%A7%C3%A3o_Usina_Couro_do_Cervo/NT_GMHEC_n_038_-_Alerta_-Esta%C3%A7%C3%A3o_Usina_Couro_do_Cervo.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2018.

KHAN, S. J. et al. Extreme weather events: should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? **Water Research**, New York, v. 85, p. 124-136, 2015.

MARQUES, F. de A. **Sistema multiusuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455 p.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH/MG nº 49**, de 25 de março de 2015. Estabelece diretriz e critérios gerais para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso de recursos hídricos superficiais nas porções hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015a. Disponível em:

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37775>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH/MG nº 50**, de 9 de outubro de 2015. Altera a Deliberação Normativa CERH nº 49, de 25 de março de 2015. Belo Horizonte, 2015b. Disponível em:

<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2017/Escassez_Hidrica/Delibera%C3%A7%C3%B5es/Delibera%C3%A7%C3%A3o_Normativa_CERH_n_050.2015.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199**, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte, 1999. Disponível em:

<<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=13199&ano=1999>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MINAS GERAIS. **Mapoteca do IGAM**. Belo Horizonte, 2018a. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas>>. Acesso em: 25 dez. 2017.

MINAS GERAIS. **Plano diretor de recursos hídricos:** bacia hidrográfica do rio das Mortes: unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos GD2: consórcio ECOPLAN - LUME - SKILL. Belo Horizonte, 2010a. v. 1.

MINAS GERAIS. **Plano diretor de recursos hídricos:** bacia hidrográfica do rio das Mortes: unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos GD2: consórcio ECOPLAN - LUME - SKILL. Belo Horizonte, 2010b. v. 2.

MINAS GERAIS. **Plano diretor de recursos hídricos:** bacia hidrográfica do rio das Mortes: unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos GD2: consórcio ECOPLAN - LUME - SKILL. Belo Horizonte, 2010c. v. 3.

MINAS GERAIS. **Relatórios.** Belo Horizonte, 2018b. Disponível em: <<http://www.simge.mg.gov.br/produtos/relatorios>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548**, de 29 de março de 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MINAS GERAIS. Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais.** Belo Horizonte: ZEE-MG, 2008. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br/pdf/componentes_geofisico_biotico/5recursos_hidricos.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.

MOREIRA, S. M. **Identificação das possíveis dificuldades que os usuários de recursos hídricos, em Minas Gerais, registrados na Campanha: “Água: Faça o uso Legal” terão, quando da regularização formal do uso da água.** 2009. 53 p. Monografia (Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais)-Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2009.

MOREIRA, S. M.; LUZ, W. V. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos:** uma questão de sustentabilidade. Ouro Preto: Ed. UFOP, 2011. Apostila.

NEGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

OLIVEIRA, J. R. de. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros**. 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

OLIVEIRA, J. R. de; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. de A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 157-172, out./dez. 2013.

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA, V. A. de. **Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2**. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PEREIRA, E. M. **Análise de conflitos pelo uso da água relacionados à oferta e à demanda**: bacia do Rio Piracicaba - MG. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais)-Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **REGA**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 21-33, jul./dez. 2012.

PORTAL INFOHIDRO. **Mapoteca**. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

PRUSKI, F. F. et al. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 67-77, 2011.

PRUSKI, F. F. et al. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 496-509, 2014.

PRUSKI, F. F. et al. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 5, p. 808-816, 2015.

SILVA, A. M. da et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

SILVA, B. M. B. da; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C. Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 685-697, 2015a.

SILVA, B. M. B. da; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Ambiente e Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 1-12, 2015b.

SOUZA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SOUZA, H. T. et al. **SisCAH 1.0: sistema computacional para análises hidrológicas**. Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009.

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrossistemas, 1993. 264 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2007. 943 p.

WATERSHED SCIENCE CENTRE. **Hydrological low flow and their uses: WSC repor 04-2004**. 2004. Disponível em: <<http://www.trentu.ca/ws>>. Acesso em: 10 out. 2017.

ZHOU, Y. et al. Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): methodologies. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 531, p. 964-976, 2015a.

ZHOU, Y. et al. Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (II): case study. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 531, p. 977-991, 2015b.

ANEXOS

ANEXO A - Relação das estações fluviométricas na área de regionalização. (Continua)

Código	Estação	Dados	Responsável
61146080	UHE FUNIL BARRAMENTO	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	ALIANÇA
61146050	UHE FUNIL RESERVATÓRIO	NÃO	ALIANÇA
61106800	UHE FUNIL PORTO TIRADENTES	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	ALIANÇA
61150001	UHE FUNIL RIBEIRÃO VERMELHO	NÃO	ALIANÇA
61114500	PCH CARANDAÍ JUSANTE 1	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	CIF
61116000	PCH CARANDAÍ JUSANTE 2	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	CIF
61112000	PCH CARANDAÍ MONTANTE	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	CIF
61114000	PCH CARANDAÍ BARRAMENTO	NÃO	CIF
61115000	USINA SÃO JOÃO DEL REI	SIM – HIDROWEB (DADOS ATÉ 2010)	ANA
61202000	SANTANA DO JACARÉ	SIM – HIDROWEB (DADOS ATÉ 2015)	FURNAS
61106900	UHE PORTO COLÔMBIA RIO DAS MORTES	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	FURNAS
61095000	FAZENDA BOM JARDIM	SIM – HIDROWEB (DADOS ATÉ 1950)	ANA
61176000	UHE MARECHAL MASCARENHAS DE MORAES RIO DO CERVO	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	FURNAS
61108000	SÃO JOÃO DEL REI	NÃO	CEMIG
61198000	USINA DO ANIL	NÃO	CEMIG
61197900	PCH ANIL MONTANTE	NÃO	CEMIG
61198100	PCH ANIL JUSANTE	NÃO	CEMIG
61198080	PCH ANIL BARRAMENTO	NÃO	CEMIG
61195700	PCH OLIVEIRA BARRAMENTO	NÃO	LUZBOA
61196000	PCH OLIVEIRA JUSANTE	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	LUZBOA
61105000	PORTO DO ELVAS	SIM– HIDROWEB (DADOS ATÉ 2002)	ANA
61145000	MACAIA	SIM– HIDROWEB (DADOS ATÉ 2002)	ANA
61135005	BOM SUCESSO	NÃO	IGAM
61150000	RIBEIRÃO VERMELHO	SIM– HIDROWEB (DADOS ATÉ 1995)	ANA

ANEXO A - Relação das estações fluviométricas na área de regionalização. (Continua)

Código	Estação	Dados	Responsável
093000	ALFREDO VASCONCELOS	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA
61085000	CAMPOLIDE	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2010)	ANA
61118000	PENEDO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1940)	ANA
61195000	PONTE FERNÃO DIAS	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1977)	ANA
61197000	FAZENDA DA LAGOA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1956)	ANA
61147000	LAVRAS	NÃO	IGAM
61145006	MACAIA	NÃO	CEMIG
61175005	PONTE DONA MARIANA	NÃO	CEMIG
61066080	SÃO MIGUEL	NÃO	CEMIG
61136080	INFERNO	NÃO	CEMIG
61135001	IBITURUNA	NÃO	CEMIG
61426080	SAPUCAÍ	NÃO	CEMIG
61089100	PCH ILHÉUS BARRAMENTO	NÃO	IGUAÇU MINAS
61089200	PCH ILHÉUS JUSANTE	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATÉ 02/17)	IGUAÇU MINAS
61088800	PCH ILHÉUS MONTANTE 2	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATÉ 02/17)	IGUAÇU MINAS
61089400	PCH LAVRAS BARRAMENTO	NÃO	IGUAÇU MINAS
61089000	PCH ILHÉUS MONTANTE 1	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATÉ 2016)	IGUAÇU MINAS
61089500	PCH LAVRAS JUSANTE	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATÉ 02/17)	IGUAÇU MINAS
61125000	PONTE DO RIO DO PEIXE	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1968)	ANA
61088050	BARBACENA	NÃO	IGAM
61065200	RIBEIRÃO CAIEIRO	NÃO	IGAM
61088000	USINA BARBACENA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA

ANEXO A - Relação das estações fluviométricas na área de regionalização. (Conclusão)

Código	Estação	Dados	Responsável
61135000	IBITURUNA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2010)	ANA
61088100	BARBACENA	NÃO	IGAM
61089600	BARBACENA	NÃO	IGAM
61080000	VARGEM DO ENGENHO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA
61100000	IBERTIOGA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2010)	ANA
61087000	FAZENDA DA CONQUISTA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA
61107000	PORTO TIRADENTES	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2002)	ANA
61108001	SÃO JOÃO DEL REI	NÃO	IGAM
61107500	PONTE DO ROSÁRIO	NÃO	ANA
61173000	USINA COURO DO CERVO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 04/17)	ANA
61198060	SANTANA DO JACARÉ	NÃO	IGAM
61135002	UHE FUNIL IBITURUNA JUSANTE	SIM – ANA TELEMETRIA (DADOS ATUAIS)	ALIANÇA
61165000	CERVO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1945)	ANA
61170000	CARMO DA CACHOEIRA	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA
61140000	BOM SUCESSO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2002)	ANA
61175000	USINA NEPOMUCENO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2012)	ANA
61122000	VILA RIO DAS MORTES	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2010)	ANA
61089700	RIO DAS MORTES	NÃO	IGAM
61089998	BARROSO-MONTANTE	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1983)	ANA
61090000	BARROSO	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 2002)	ANA
61090001	BARROSO	NÃO	IGAM
61081000	FAZENDA LOSCHI	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA
61110000	CARANDAÍ	SIM- HIDROWEB (DADOS ATÉ 1965)	ANA

Fonte: Do autor (2018).