

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Regionalização de vazões de permanência para bacias
hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul**

Kássia Regina Bazzo

Pelotas, 2015

KÁSSIA REGINA BAZZO

Regionalização de vazões de permanência para bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Souza Castro
Co-Orientador: Prof. Dr. Hugo Alexandre Soares Guedes

Pelotas, 2015

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a Andréa Souza Castro

Prof^a. Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra - Centro de
Engenharias/UFPEl

Prof^a. Dr^a Tirzah Moreira de Melo - Centro de Engenharias/UFPEl

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Clarinei e Alfeu pelo constante estímulo, pelos ótimos exemplos como profissionais e como pessoas, por acreditarem em mim e por sempre priorizarem o estudo para mim e para minhas irmãs, Kamila e Karen, na qual agradeço também por fazerem parte da minha vida.

Aos meus orientadores Andréa Souza Castro e Hugo Alexandre Soares Guedes, por estarem sempre presentes, tranquilos e compreensíveis, auxiliando nas dúvidas e indagando questionamentos visando à contínua melhora do trabalho realizado e do aprendizado.

A professora Luciara Corrêa, na qual admiro muito pelo seu coração enorme e atenção a todos ao seu redor. Considerada a mãe adotiva dos formandos!

Aos meus amigos queridos, Káren, Camila, Bianca, Anderson, Ethiéne e Tuane, pela amizade mais do que verdadeira, sinceridade sempre presente, apoio, compreensão e crescimento pessoal que todos me proporcionaram. Vocês são parte de mim.

A minha querida “Turma 2010”, pela parceria, presença constante e todos os momentos incríveis passados juntos. Cada um com as suas diferenças tornaram-se parte da minha vida. Davi, Mateus, Gustavo Bittencourt, Alana, Anita e Matheus S. vocês são únicos!

A todas as pessoas queridas que se fizeram presentes em algum momento da minha graduação, meu muito obrigada!

*“A vida virtuosa é aquela inspirada pelo
amor e guiada pelo conhecimento”*

Bertrand Russell

RESUMO

BAZZO, Kássia Regina. **Regionalização de vazões de permanência para bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul** 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Para dar subsídio a gestão de recursos hídricos faz-se necessário o conhecimento da disponibilidade e da demanda hídrica. Entretanto a escassez de informações fluviométricas, associada à inconsistência temporal e espacial das séries históricas disponíveis, tem resultado em grande limitação para a representação do comportamento dos recursos hídricos. Dessa forma, a regionalização de vazões surge como uma alternativa para melhor explorar os dados já existentes, transferindo informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Diversas metodologias vêm sendo empregadas para regionalizar as vazões, e, nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar as estimativas das vazões com permanência de 90% do tempo (Q_{90}) obtidas por dois métodos de regionalização de vazões - método Tradicional (MT) e método da Conservação de Massas (MCM) - em 4 bacias hidrográficas contidas na bacia hidrográfica do Atlântico Sul, pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul, codificadas como 85, 86, 87 e 88. Para tanto, foram utilizadas as estações fluviométricas disponíveis no sistema Hidroweb pela Agência Nacional de Águas - ANA, considerando apenas aquelas que apresentaram mais de cinco anos de dados. A metodologia considerou o método da série completa de dados disponíveis, obtendo-se uma Q_{90} para cada estação fluviométrica, considerando um período de dados não homogêneo. As duas metodologias testadas utilizam regressões matemáticas para regionalizar as vazões com variáveis independentes, que no presente estudo optou-se pela utilização da área de drenagem. Foram identificadas regiões com comportamento hidrológico homogêneo através do ajuste de estatísticas objetivas, como o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão fatorial (σF). A escolha do melhor método foi determinada pelo Erro Percentual Relativo (ER), pelo Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (C_{NS}) e pela maior área abrangida pela regionalização. Como resultados, foram obtidos os modelos matemáticos para as sub-bacias hidrográficas pelo MT e MCM, e as vazões estimadas para cada estação fluviométrica, na qual foi calculado o ER em comparação com a vazão observada. Os erros relativos médios variaram de -3,27 a -61,55% pelo MT e de -6,46 a -21,05% pelo MCM. Para as sub-bacias 85 e 87, o MCM apresentou-se mais adequado, já para a 86 e 88, o MT apresentou melhores resultados. Consideradas as peculiaridades deste trabalho, concluiu-se que as metodologias testadas apresentaram resultados satisfatórios, entretanto confirma-se que a regionalização não substitui uma densa rede hidrometeorológica.

Palavras-Chaves: Disponibilidade hídrica, outorga, gestão de recursos hídricos

ABSTRACT

BAZZO, Kássia Regina. 2015. **Regionalization of flow duration curves for watersheds in Rio Grande do Sul region**. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

To subsidize water management it is necessary to know the water availability and demand. However, the shortage of fluviometric information associated with the spatial and temporal inconsistency of the available historical series are resulting in a great limitation to represent the behavior of water resources. Therefore, the flows regionalization appears as an alternative to better exploit existing data, transferring information from one location to another within an area with similar hydrological behavior. Several methodologies have been used to regionalize flows, hence, the aim of this study is to estimate and compare the performance of the Traditional method and Mass Conservation method for regionalization of the permanent flow in 90% of the time (Q_{90}) for the four South Atlantic sub-basins, located in the state of Rio Grande do Sul - coded as 85, 86, 87 and 88. To do this, it was used the available fluviometric stations from the HIDROWEB system by the National Water Agency, considering only those who had more than five years of data. The methodology considered the method of any number of available data, giving a fluviometric Q_{90} for each station considering a non-homogeneous set of data. The two tested methodologies used mathematical regressions to regionalize the flows with independent variables, which in this study was chosen to use the drainage area. Regions were identified with homogeneous hydrological behavior by adjusting objective statistics, the coefficient of determination (R^2) and the standard error factor (σF). The best methodology was determined by the Relative Percentage Error (ER), Nash efficiency coefficient and Sutcliffe (C_{NS}) and the largest area covered by regionalization. As a result, it was obtained the mathematical models for the sub-basins by MT and MCM, and the flows estimated for each fluviometric season, in which it was calculated the ER compared with the observed flow. The average relative errors ranged from -3.27 to -61.55% for MT and -6.46 to -21.054% for MCM. For sub-basins 85 and 87, the MCM model showed the better results and for 86 and 88, the MT model had the best performance. Considering the peculiarities of this work, it is concluded that the tested methodologies presented satisfactory results, however it is confirmed that regionalization does not replace a dense hydrometeorological network.

Keywords: water availability, water rights, water resource management

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. OUTORGA DE USO DE ÁGUA	16
2.2. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES	19
2.2.1. Correlações estatísticas	19
2.2.2. Regiões Hidrologicamente Homogêneas	21
2.2.3. Determinação do modelo de regressão e das Regiões Hidrologicamente Homogêneas.....	22
2.2.4. Metodologias de Regionalização	23
2.3. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES E SIGS.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.2. SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	30
3.3. DETERMINAÇÃO DA VARIÁVEL EXPLICATIVA.....	34
3.4. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO.....	36
3.4.1. Método Tradicional.....	37
3.4.2. Método de Conservação de Massas.....	37
3.5. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1. VAZÕES DE PERMANÊNCIA.....	40
4.2. MÉTODO TRADICIONAL - MT	42
4.3. MÉTODO DA CONSERVAÇÃO DE MASSAS - MCM.....	45
4.4. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS TRADICIONAL E DA CONSERVAÇÃO DE MASSAS.....	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.: Localização da Bacia do Atlântico Sul.....	28
Figura 2.: Área de estudo - Sub bacias hidrográficas 85, 86, 87 e 88.....	30
Figura 3.: Localização das Estações fluviométricas nas sub-bacias hidrográficas....	34
Figura 4.: Fluxograma utilizado no processamento e condicionamento do MDE por meio da extensão ArcHydro.	36
Figura 5.: Regiões hidrologicamente Homogêneas – RHH das sub-bacias hidrográficas 85, 86, 87 e 88.....	44
Figura 6.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 85.....	53
Figura 7.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 86.....	53
Figura 8.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 87.....	54
Figura 9.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 88.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.: Descrição das sub-bacias hidrográficas estudadas.....	29
Tabela 2: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 85.	32
Tabela 3.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 86.	32
Tabela 4.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 87.	33
Tabela 5.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 87.	33
Tabela 6.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 85.....	40
Tabela 7.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 86.....	41
Tabela 8.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 87.....	41
Tabela 9.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 88.....	42
Tabela 10.: Equações de regionalização pelo método Tradicional.....	42
Tabela 11.: Equações de regionalização pelo método da Conservação de Massas.....	45
Tabela 12.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q_{90} observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 85.....	48
Tabela 13.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q_{90} observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 86.....	49
Tabela 14.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q_{90} observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 87.....	50
Tabela 15.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q_{90} observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 88.....	52
Tabela 16.: Comparação dos MT e MCM pelo Raiz do Erro Médio Quadrático e Coeficiente de Nash-Sutcliffe.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA – Agência Nacional das Águas

DRH – Departamento de Recursos Hídricos

MCM – Método da Conservação de Massas

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado

MT – Método Tradicional

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

RHH – Região Hidrologicamente Homogênea

SEMA – Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SisCAH – Sistema Computacional de Análises Hidrológicas

SisCoRV – Sistema Computacional de Regionalização de Vazões

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

ER – Erro padrão relativo

C_{NS} – Coeficiente de Nash e Sutcliffe

R^2 - Coeficiente de Determinação

σ_F – Erro padrão Fatorial

$Q_{7,10}$ – Vazão com duração de 7 dias com tempo de retorno de 10 anos

Q_{90} – Vazão que permanece 90% do tempo

Q_{95} – Vazão que permanece 95% do tempo

Q_{obs} – Vazão observada

Q_{est} – Vazão estimada

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de recursos hídricos tem como objetivo solucionar os conflitos resultantes do uso intensivo da água, resultado do crescimento econômico e populacional, assim como garantir que este recurso se mantenha com oferta adequada e preserve as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas (CRUZ, 2001).

A Lei nº 9.443 de 1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) é considerada a etapa inicial para o gerenciamento de tais recursos no Brasil (BRASIL, 1997). Dentre os instrumentos apresentados no Art. 5º, destaca-se para questões relacionadas à gestão e aos múltiplos usos da água, o inciso III referente à outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos.

De acordo com Silveira et al. (1998), a outorga é o principal instrumento para a administração da oferta da água, que se constitui na base do processo de gerenciamento de recursos hídricos. Dessa forma, para dar subsídio a esse instrumento, faz-se necessário o perfeito conhecimento de duas variáveis: a disponibilidade hídrica e sua demanda.

A disponibilidade hídrica normalmente é estimada através de vazões mínimas de referência, que estimam as menores vazões das séries históricas (CHAVES et al., 2002). Esta pode ser representada através da $Q_{7,10}$, que é a vazão mínima durante 7 dias consecutivos, em um período de retorno de 10 anos. Alguns estados como Minas Gerais, Paraná e Rio de Janeiro utilizam a $Q_{7,10}$ como vazão de referência para cálculo da estimativa de água e das vazões outorgáveis (ANA, 2005).

Para fins de estimativa de oferta de água são utilizadas, também, as vazões de permanência, obtidas a partir das curvas de permanência. A curva de permanência de um curso d'água, segundo Reis et al. (2006), é a relação através de uma função hidrológica da vazão ou nível do rio com a probabilidade de que esses mesmos sejam superados; dentre outros, a curva de permanência permite a avaliação quanto às vazões de referência para processos de outorga de uso da água. Para vazões outorgáveis, é utilizado normalmente as vazões $Q_{90\%}$ ou $Q_{95\%}$,

que representam a vazão de permanência em 90% ou 95% do tempo, respectivamente. Essas vazões têm sido utilizadas pela maior parte dos estados do Brasil que já estabeleceram critérios de outorga, como Espírito Santo, Distrito Federal, Bahia e outros (ANA, 2005).

No Rio Grande do Sul, a Lei 10.350 de dezembro de 1994 estabelece que a outorga de uso dos recursos hídricos está condicionada às propriedades de uso estabelecidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos (RIO GRANDE DO SUL, 1996) e nos Planos de Bacia Hidrográfica. Isso indica que as vazões de referência para outorga podem variar de uma bacia para outra, conforme as peculiaridades da mesma.

As vazões de referência relacionadas ao conhecimento da disponibilidade hídrica para outorga são fundamentais na gestão dos recursos hídricos para evitar que a demanda supere a disponibilidade (SOUSA, 2009). Esses valores são extraídos a partir das séries históricas de vazões, medidas pela Agência Nacional das Águas (ANA).

As séries históricas de vazões são medidas em locais específicos por postos fluviométricos que, juntamente com os postos pluviométricos, formam a rede hidrometeorológica. Para ser efetiva a estimativa da disponibilidade de água, faz-se necessário uma rede de postos fluviométricos que atenda todos os locais de interesse.

Devido à preocupação do poder público com os recursos hídricos ser recente, e aliado aos altos custos para implantação de postos fluviométricos, a escassez de dados de vazões e a inconsistência espacial e temporal das séries históricas disponíveis dificultam na estimativa da disponibilidade de água superficial das bacias hidrográficas. Desta maneira, preliminarmente, deve-se desenvolver os estudos hidrológicos que maximizem as informações fluviométricas existentes e, em paralelo ao procedimento de outorga, devendo-se desenvolver ações técnicas que mitiguem o efeito da carência de dados, ou, na situação ideal, que as eliminem (SILVEIRA et al., 1998).

Dada essa necessidade, a *regionalização* tem sido utilizada em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante; sendo estabelecida com o objetivo de se obter a informação hidrológica em locais sem dados ou com poucos dados, baseando-se na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem essa transferência (TUCCI, 2002).

Os estudos de regionalização de vazões envolvem procedimentos matemáticos e estatísticos aplicados às séries de dados históricos de vazões e as características físicas e climáticas das bacias hidrográficas, tornando indispensável a utilização de sistemas computacionais (SOUSA, 2009). Também, a espacialização das variáveis hidrológicas através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) pode facilitar a máxima exploração das informações hidrológicas existentes, sendo ainda mais vantajosa quando os procedimentos são automatizados (CHAVES et al., 2002). Dessa forma, a ANA disponibiliza um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica em um portal online, o *Hidroweb*, pelo Serviço de Informações Hidrológicas.

Dessa forma, diversos softwares vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de encenar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, com a utilização da estatística e modelos matemáticos. Dentre os softwares existentes, pode-se citar o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões – SisCORV, o qual foi desenvolvido com fins de auxiliar na regionalização de vazões, obtendo-se bons resultados conforme diversos estudos já realizados.

No Rio Grande do Sul, a má distribuição espacial da rede hidrometeorológica, a escassa disponibilidade de base de dados consistentes, assim como a grande variabilidade das características físicas e hidrológicas de cada bacia hidrográfica, traz consigo um grande desafio para estabelecer as vazões de referência nos diferentes mananciais hídricos, para dar subsídio à gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, a comparação entre as diferentes metodologias de regionalização de vazões torna-se imperativo, a fim de definir qual o melhor método se ajusta às características específicas de cada bacia hidrográfica.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar as estimativas das vazões com permanência de 90% no tempo ($Q_{90\%}$) obtidas por dois métodos de regionalização de vazões em 4 sub bacias hidrográficas contidas na Bacia Hidrográfica do Atlântico Sul, pertencentes ao estado do Rio Grande do Sul.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as possíveis fontes de erros dos modelos gerados por cada método de regionalização aplicado – método Tradicional (MT) e método da Conservação de Massas (MCM).
- Comparar os resultados obtidos com cada método, em cada bacia hidrográfica, a fim de estabelecer o mais adequado para regionalizar a Q_{90} nas 4 sub bacias hidrográficas estudadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. OUTORGA DE USO DE ÁGUA

O Brasil possui quase 12% de toda a reserva de água doce do planeta, porém essa oferta não é distribuída uniformemente pelo território nacional. A região norte, por exemplo, onde se concentra 5% da população, tem a disposição 71%, enquanto apenas 29% da disponibilidade hídrica está disponível para os 95% da população restante (TUCCI, 2000).

Com essa grande oferta de água em algumas regiões, os múltiplos usos das águas, quando não há risco de escassez, permitem que todos os diferentes usuários tenham igualdade ao acesso desse recurso. Entretanto, o aumento da demanda pela água devido ao crescimento populacional e econômico nos diferentes setores, sendo ela um recurso limitado, vem acompanhado do aumento de conflitos de interesse. Assim, sendo a água um bem de domínio público, como estabelecido no Art. 20º da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), é grande o desafio para o poder público garantir às gerações futuras, as mesmas ou melhores condições dos recursos hídricos vigentes para as gerações presentes.

Tucci (2004) levando em conta os avanços tecnológicos e o contexto socioeconômico do país, identificou os principais desafios a serem vencidos para a área de recursos hídricos, sendo destacados: questão institucional; disponibilidade *versus* demanda; desenvolvimento urbano e rural; e eventos extremos (estiagens e cheias). É imprescindível, portanto, uma gestão adequada deste recurso.

A outorga do direito de uso da água, instrumento da Lei Federal nº 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso (BRASIL, 1997). O instrumento de outorga é a autorização concedida pelo poder público para o usuário da água (outorgado) realizar o aproveitamento, no qual a vazão, o prazo e o tipo de uso são previamente definidos.

A Agência Nacional das Águas (ANA), criada a partir da Lei Federal nº 9.984/2000, é o órgão nacional que tem a competência para emitir as outorgas nos

corpos hídricos de domínio da União (BRASIL, 2000). Em relação aos recursos hídricos de domínio estadual, a maioria dos Estados possui órgãos próprios com competência legal para emitir as outorgas de direito de usos das águas.

No Rio Grande do Sul, o órgão da administração direta que tem competência de emissão de outorga é o Departamento de Recursos Hídricos (DRH), pertencente à Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMA), conforme Decreto nº 37.033/1996 (RIO GRANDE DO SUL, 1996). Este decreto estabelece em seu Art. 7º que os valores referentes aos parâmetros técnicos necessários para orientar as outorgas deverão ser estabelecidos pelos Planos de Bacias Hidrográficas, sendo específicos para cada bacia.

A disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso dos recursos hídricos (CRUZ, 2001), e seu estabelecimento depende do conhecimento das vazões dos mananciais das bacias hidrográficas. A vazão dos mananciais de uma bacia hidrográfica, como resposta da precipitação que ocorre sobre a mesma, representa a integração dos efeitos da precipitação, área da bacia, tipo e uso do solo, geologia e morfologia da bacia (CRUZ e TUCCI, 2008).

Cada estado fixa um percentual de vazão para ser a máxima outorgável para os múltiplos usos da água, sendo essa vazão chamada de *Vazão de Referência*. A parcela remanescente desse valor máximo outorgável desempenha a função de *vazão ecológica*, que é destinada a conservação ambiental (MENDES, 2007). Em geral, conforme o mesmo autor, são utilizadas como vazões de referência as vazões mínimas, como a $Q_{7,10}$, ou as vazões de permanência. A ANA utiliza como vazão de referência a Q_{95} , na qual representa as vazões que podem ser superadas ou igualadas em 95% do tempo.

Segundo Ludmilson (2007), a utilização da $Q_{7,10}$ como critério para fins de alocação de água não leva em conta os aspectos ambientais, refletindo as necessidades dos organismos do ecossistema aquático, tampouco os aspectos socioeconômicos da bacia hidrográfica. As vazões relacionadas à curva de permanência também apresentam inconvenientes por não levar em conta a

sazonalidade, fator importante para a avaliação da disponibilidade hídrica em bacias com conflitos.

Independente dos usos existentes em uma bacia hidrográfica, a curva de permanência é utilizada para estimativa de disponibilidade hídrica da vazão atualmente escoada pelo rio (CRUZ e TUCCI, 2008). Ela é o complemento da função de distribuição de vazões em um intervalo de tempo, que representa de modo gráfico a relação entre a magnitude e a frequência com que essas vazões são igualadas ou superadas em um dado período de tempo (VOGEL e FENNESSEY, 1994). Segundo Tucci (2002), o intervalo de tempo usual é o diário, e o período da amostra geralmente é o dos anos disponíveis, devendo ser de pelo menos 5 anos.

Embora nem todas as bacias contidas no Rio Grande do Sul tenham o Plano de Bacias Hidrográficas já em vigor, dentre os já existentes, tem sido comum definir como vazão de referência as vazões com 90% (Q_{90}) ou 95% (Q_{95}) de permanência no tempo, considerando a série histórica disponível (SEMA, 2007). Isso pode ser observado nos planos das bacias do rio dos Sinos, rio Caí, dentre outros (COMITÊ SINOS, 2014; COMITÊ CAÍ, 2007).

Distribuído espacialmente ao longo das bacias hidrográficas, encontra-se a rede hidrometeorológica, no qual possui 9.986 estações fluviométricas cadastradas no Sistema de Informações Hidrológicas – HIDRO da ANA em território nacional, sendo aproximadamente 750 contidas no estado do Rio Grande do Sul, segundo o Inventário das Estações Fluviométricas (ANA, 2009). A vazão, assim como todas as outras variáveis utilizadas para caracterização de processos hidrológicos, possui comportamento aleatório, exigindo, para sua adequada avaliação, séries históricas, obtidas nos postos fluviométricos, representativas e confiáveis (COSTA, 2012), para a estimativa da oferta de água superficial.

Devido aos altos custos de implantação, dificilmente uma rede hidrometeorológica, conforme Tucci (2002), cobrirá todos os locais necessários para o gerenciamento de recursos hídricos. Além disso, na determinação das vazões mínimas de referência a serem utilizadas no processo de outorga de uso da água, uma das principais limitações é a inconsistência na base de dados fluviométricos (NOVAES, 2009). Segundo afirmação de Tucci (2002), sempre existirão lacunas

temporais e espaciais que necessitam ser preenchidas com base em metodologias robustas.

2.2. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

Visando suprir as deficiências das redes hidrometeorológicas, a regionalização de vazões é uma técnica importante e tem sido utilizada com resultados satisfatórios (ELETROBRÁS, 2000). É denominada por Tucci (2002, p.14) como a “*transferência de informação de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante*”, tendo como objetivos a obtenção de informações em locais sem dados ou com poucos dados, explorando as informações já existentes. Essas informações podem ocorrer na forma de uma variável, função hidrológica ou parâmetro.

A função hidrológica representa a relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis explicativas ou estatísticas, como exemplo a curva de permanência (TUCCI, 2002). As variáveis explicativas são usadas para estimar o valor da variável regionalizada – a vazão – e devem ser facilmente determinadas para não tornar a metodologia de regionalização complicada, sendo os dados físicos e climatológicos as principais variáveis das bacias hidrográficas utilizadas na regionalização de vazões (SOUSA, 2009). Além disso, muitas variáveis explicativas possuem correlação entre si, de modo que a introdução de uma nova, pode não aumentar a informação e tornar o processo mais difícil. Grande parte dos estudos usam somente a área a montante como variável explicativa, como os realizados por Chaves et al (2002), Moreira e Silva (2014) e Novaes et al. (2009), sendo que alguns utilizam conjuntamente a precipitação média anual, comprimento do rio, densidade de drenagem, dentre outros (NOVAES et al., 2007; WOLFF et al., 2014).

2.2.1. Correlações estatísticas

Para correlacionar matematicamente a variável dependente a ser regionalizada com as variáveis independentes, normalmente são empregadas

técnicas estatísticas, sendo os métodos de regressão e correlação os mais difundidos (NAGHETTINI, 2007). Quando duas variáveis são relacionadas, a relação é dita simples, e quando é realizada entre mais de duas variáveis, é chamado de regressão múltipla, como é indicado na Equação 1.

$$Q_{est} = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_p) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: Q_{est} é a vazão calculada; x_i são as variáveis independentes e; p o número de variáveis independentes.

Os modelos de regressão podem ser lineares ou não lineares, podendo ser do tipo potencial, exponencial, logarítmica, dentre outros, conforme apresentado nas Equações 2, 3, 4 e 5.

Modelo Linear

$$Q_{est} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_px_p \quad \text{Equação 2}$$

Modelo Potencial

$$Q_{est} = a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}x_3^{a_3} \dots x_p^{a_p} \quad \text{Equação 3}$$

Modelo Exponencial

$$Q_{est} = e^{a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}x_3^{a_3} \dots x_p^{a_p}} \quad \text{Equação 4}$$

Modelo Logarítmico

$$Q_{est} = a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + a_3 \ln x_3 + \dots + a_p \ln x_p \quad \text{Equação 5}$$

Onde: Q_{est} é a vazão estimada; x são as variáveis independentes; p o número de variáveis independentes; a os parâmetros de ajuste e; \ln o logaritmo natural.

Quando a função matemática é não-linear, procura-se transformar essa equação numa expressão linear (TUCCI, 2002). Porém, como o processo de linearização pode envolver a transformação da variável dependente – vazão, em alguns casos as hipóteses da regressão podem não ser atendidas após a

modificação, prejudicando a aplicação dos testes estatísticos para avaliar a correlação (NAGHETTINI, 2007).

Nas regressões, inicialmente não são conhecidas as variáveis independentes que melhor explicam a vazão estudada, nem o melhor modelo de regressão, sendo, portanto, necessário procurar a melhor correlação. Segundo Tucci (2002, p.42), o modelo mais eficiente será aquele que: “a) *permite estimar com pequeno erro os valores da variável dependente; e b) inclua o menor número possível de variáveis independentes para reduzir o custo e o tempo de obtenção desses valores no processo de predição*”. Conforme o mesmo autor, o número de variáveis independentes quando se trata de regionalização normalmente é pequeno, e é possível examinar todas as regressões possíveis.

2.2.2. Regiões Hidrologicamente Homogêneas

Em algumas metodologias de regionalização faz-se necessário definir uma região que apresente comportamento homólogo quanto aos processos hidrológicos, conhecida como Regiões Hidrologicamente Homogêneas (RHH). Os critérios para defini-las não são rigidamente estabelecidos, entretanto é comum considerar a similaridade das características geológicas, climáticas, hidrológicas, e geográficas das sub-bacias (SOUSA, 2009).

Naghattini (2007) categoriza os diversos métodos e técnicas de agrupamento de locais similares em regiões homogêneas, conforme resumido abaixo:

- *Conveniência Geográfica*: agrupamento subjetivo e/ou conveniente dos postos de observação, geralmente contíguos em áreas administrativas ou em zonas previamente definidas segundo limites arbitrários;
- *Agrupamento Subjetivo*: executado em conformidade à similaridade de algumas características locais, como classificação climática, relevo ou conformação das isoietas anuais;
- *Agrupamento Objetivo*: regiões formadas por postos de observação em um ou mais conjuntos em que uma dada estatística não exceda um valor limiar

previamente selecionado. Os grupos são divididos até que se satisfaça tal condição de homogeneidade proposta;

- *Análise de Aglomerados*: método de análise estatística multivariada, no qual associa-se a cada posto um vetor de dados contendo as características e/ou estatísticas locais. Os postos são agrupados e reagrupados de forma que seja possível identificar a maior ou menor similaridade entre os seus vetores de dados.

Na prática, segundo Silva et al. (2009), a homogeneidade na regionalização é traduzida por um alto coeficiente de determinação (R^2), obtido da aplicação da regressão múltipla das vazões com as variáveis independentes, ou seja, as características físicas e climáticas das bacias.

Quando verificados bons resultados do R^2 , a região é definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas. Nos casos em que isso não ocorre, torna-se necessário subdividir novamente a região ou acrescentar novas estações fluviométricas e reiniciar o processo (SOUSA, 2009).

Existem metodologias que consideram cada rio pertencente à bacia hidrográfica como uma região hidrologicamente homogênea, realizando-se a regressão com as estações fluviométricas presentes nesse rio.

2.2.3. Determinação do modelo de regressão e das Regiões Hidrologicamente Homogêneas.

Segundo Tucci (2009), a adequação do ajuste da função matemática aos dados pode ser verificada por uma série de índices estatísticos. Dentre essas, as mais adotadas são o coeficiente de determinação (R^2), o desvio padrão de estimativa, também chamado de erro padrão de estimativa, e o erro padrão fatorial.

O R^2 representa a proporção com que o modelo consegue explicar a variabilidade da função hidrológica. Quanto mais próximo de 1 melhor a região é explicada (TUCCI, 2002). Este coeficiente não tendencioso é calculado conforme Equação 6.

$$R^2 = 1 - \frac{s^2}{s_y^2} \quad \text{Equação 6}$$

em que:

$$s^2 = \frac{\sum(\ln Q_{obs} - \ln Q_{est})^2}{n - p - 1} e s_y^2 = \frac{\sum(\ln Q_{obs} - \overline{\ln Q_{est}})^2}{n - 1}$$

sendo s o desvio padrão dos logaritmos da vazão; s^2 a variância; n o tamanho da amostra; p o número de variáveis independentes; Q_{obs} a vazão observada e Q_{est} a vazão estimada pelo modelo.

O erro padrão de estimativa quantifica a dispersão dos valores observados da variável independente em torno da função ajustada, sendo que valores baixos indicam um bom ajuste. O erro padrão fatorial (σF) é o erro padrão calculado para a expressão linearizada, referente aos logarítmicos da vazão, sendo necessário estabelecer uma expressão para o intervalo de variação da estimativa de vazões, e não para o seu logaritmo (TUCCI, 2002). Assim, o Erro Padrão Fatorial é dado pela Equação 7:

$$\sigma F = e^s \quad \text{Equação 7}$$

onde o σF é o erro padrão fatorial, s o desvio padrão e; e é a base do logaritmo neperiano.

2.2.4. Metodologias de Regionalização

Diversos métodos têm sido desenvolvidos com a finalidade de melhor estimar as vazões mínimas de referência a partir da regionalização. Wolff et al. (2014) agrupam em 2 categorias as metodologias mais utilizadas para regionalizar vazões: a) metodologias que têm como princípio básico a utilização de equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas (ELETROBRÁS, 1985a; ELETROBRÁS, 1985b; NOVAES et al., 2005; NOVAES et al., 2009; COSTA, 2012) e; b) metodologias que utilizam técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistema de informações geográficas (CHAVES, 2002).

O *Método Tradicional* (ELETROBRÁS, 1985a; TUCCI, 2002) é um dos métodos mais difundidos para regionalização de vazões, e consiste no ajuste das

regressões entre a vazão e as características físicas e climáticas – variáveis independentes – das bacias de drenagem para cada região hidrologicamente homogênea, previamente determinada, a partir da avaliação dos coeficientes estatísticos.

Diversos estudos aplicaram o método tradicional para regionalização, como o realizado por Silva Junior et al. (2003), no qual regionalizaram as vazões médias, mínimas, máximas e da curva de permanência na bacia do rio Grande, no estado do Paraná. Nesse estudo, utilizando mais do que uma variável explicativa, os autores evidenciaram que a área de drenagem foi a variável que melhor correlacionou as vazões.

Reis et al. (2006), regionalizaram as vazões de permanência a 50% e 95% para alguns rios do Estado do Espírito Santo, a partir do método Tradicional, encontrando erros percentuais que variam de 1,94% a 152,81% ao comparar a vazão estimada pelas equações com a vazão observada nos postos fluviométricos. Nesse estudo foi concluído que os erros encontrados são semelhantes aos observados em outros estudos realizados no mesmo Estado.

Para Sousa (2009), o método Tradicional pode ser aplicável às vazões mínimas, máximas e médias, bem como às curvas de regularização e de permanência. Entretanto, quando as bases de dados disponíveis são reduzidas em uma bacia hidrográfica, o método Tradicional apresenta grandes restrições na regionalização (NOVAES et al., 2007).

As inconsistências na base de dados fluviométricos e a inexistência de metodologias disponíveis que garantam a continuidade das vazões na hidrografia da bacia são algumas das principais limitações encontradas na determinação de vazões (NOVAES, 2005). Assim, para suprir essas limitações, têm sido investigadas outras metodologias, como a desenvolvida por Pereira (2004), aperfeiçoada por Novaes (2005), e chamada de *Método da Conservação de Massas*, por Sousa (2009).

Essa metodologia, segundo Novaes (2005), “*consiste em ajustar os modelos de regressão para as vazões médias, mínimas e de permanência em função da área*

de drenagem do rio principal, e a partir deste modelo obter as vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal”. É fundamentada na teoria de que a vazão obtida pela equação de ajuste do rio principal é mais representativa do que a vazão obtida pontualmente para a seção de interesse.

Novaes (2005) realizou um estudo de comparação de métodos de regionalização, concluindo que o método da Conservação de Massas, aperfeiçoado por ele, garantiu a continuidade das vazões $Q_{7,10}$, $Q_{95\%}$ e Q_{mld} (vazão média de longa duração) ao longo de toda a rede hidrográfica para a bacia do Paracatu, diferentemente dos demais métodos.

Também, com o objetivo de propor um método mais condizente com a realidade brasileira, Chaves et al. (2002) propuseram uma metodologia simples e robusta, como definido por ele, para regionalização de vazões mínimas em bacias hidrográficas com dados limitados, utilizando técnicas de interpolação em Sistemas de Informação Geográficas (SIGs). Este método apresenta basicamente quatro situações distintas, conforme localização do posto de observação e do ponto de interesse, sendo que utiliza a área de drenagem e a distância entre as seções analisadas como variáveis independentes.

Para validar a metodologia proposta, Chaves (2002) comparou sua aplicação com a aplicação do método Tradicional na bacia do rio Itapicuru/BA, por apresentar baixa densidade de postos fluviométricos, encontrando erros significativamente inferiores pelo método proposto em comparação com o método Tradicional.

Devido às peculiaridades de cada bacia hidrográfica, é imperativo o estudo comparativo de metodologias de regionalização de vazões a fim de se obter qual a que melhor se ajusta às características regionais de cada bacia hidrográfica (MOREIRA e SILVA, 2014). Assim, pode-se destacar os trabalhos realizados por Silva, Marques e Lemos (2009), Moreira et al. (2010), e Moreira e Silva (2014).

Moreira et al. (2010), ao analisarem os métodos Tradicional, da Conservação de Massas e da Proporcionalidade de Vazões, para regionalizar a $Q_{7,10}$, da bacia do Rio Paracatu, encontraram diferenças expressivas nas diferentes metodologias,

apontando a necessidade de um maior critério na escolha do método de regionalização a ser utilizado na gestão de recursos hídricos.

Silva, Marques e Lemos (2009) compararam três metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco e testaram diversas variáveis independentes. Os autores concluíram que, para esta bacia a montante do reservatório Três Marias, a melhor metodologia de regionalização foi a Tradicional, com erro relativo médio de 26,8%. Também, dentre as variáveis independentes utilizadas, a que melhor explicou o comportamento das vazões de permanência foi a área de drenagem, excluindo as outras da técnica de regionalização.

Moreira e Silva (2014) compararam as mesmas três metodologias analisadas por Moreira et al. (2010). Os autores encontraram erros bastante expressivos. Para a $Q_{7,10}$, verificaram-se erros relativos máximos de: 50,6% para o método Tradicional; 76,6% para o método da Proporcionalidade de Vazões e; 80,4% para o de Conservação de Massas, sendo que os maiores erros ocorreram nas regiões de cabeceira da bacia. O melhor método para regionalizar a $Q_{7,10}$ e a Q_{mld} , para a bacia do rio Paraopeba foi o método Tradicional, por apresentar as melhores estimativas.

O estabelecimento do melhor método de regionalização depende das características específicas da bacia hidrográfica e da disponibilidade de dados históricos das estações fluviométricas. Sendo assim, o estudo comparativo entre as diversas metodologias é de grande importância para garantir que a regionalização das vazões obtenha resultados de qualidade.

2.3. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES E SIGS

As informações computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (FELGUEIRAS, 1998). Entretanto, a utilização somente do SIG não é suficiente para atender a complexidade dos usos da água em bacias hidrográficas, fazendo-se necessário o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de coletar,

armazenar e processar os dados associados aos eventos hidrológicos, permitindo a obtenção de informações úteis, confiáveis e adequadas à gestão dos recursos hídricos (SOUSA, 2009).

Assim, o Sistema Computacional de Regionalização de Vazões (SisCORV) é um software desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade de Viçosa (UFV), e permite a regionalização de vazões mínimas, máximas e médias, e das curvas de regularização e de permanência (SOUSA, 2009). O sistema foi desenvolvido integrando a base hidrográfica da Agência Nacional das Águas (ANA,) e tem disponível três métodos de regionalização: Tradicional, da Curva Adimensional e da Conservação de Massas.

No estudo de caso realizado por Sousa (2009) utilizando o software SisCORV, para comparar as metodologias de regionalização, foi concluído que o mesmo apresentou facilidade para delimitação de regiões homogêneas, eficiência na aplicação das metodologias disponíveis e uma excelente interatividade com a internet.

Pruski et al. (2011) utilizaram o SisCORV para avaliar o efeito do uso das vazões obtidas pela regionalização em relação as vazões observadas na bacia do rio Paracatu. Para a Q_{mdl} foram encontradas diferenças inexpressivas, com erros inferiores a 1%, entretanto para as vazões mínimas foram encontrados erros de até 23%, sendo razoavelmente expressivos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Brasil está dividido em 12 regiões hidrográficas, conforme a divisão hidrográfica nacional, estabelecida pela Resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003 (CNRH, 2003), sendo o Rio Grande do Sul contido em 2 delas: Região hidrográfica do Uruguai e Região Hidrográfica do Atlântico Sul. A Região hidrográfica do Atlântico Sul, apresentada na Figura 1, corresponde à porção mais meridional do Brasil no que concerne à vertente litorânea, pertencendo 76,4% do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo 2,2% do território nacional e 6,8% da população, detendo 2,6% da disponibilidade hídrica nacional e exercendo 14,6% da demanda total por recursos hídricos (MMA, 2006).

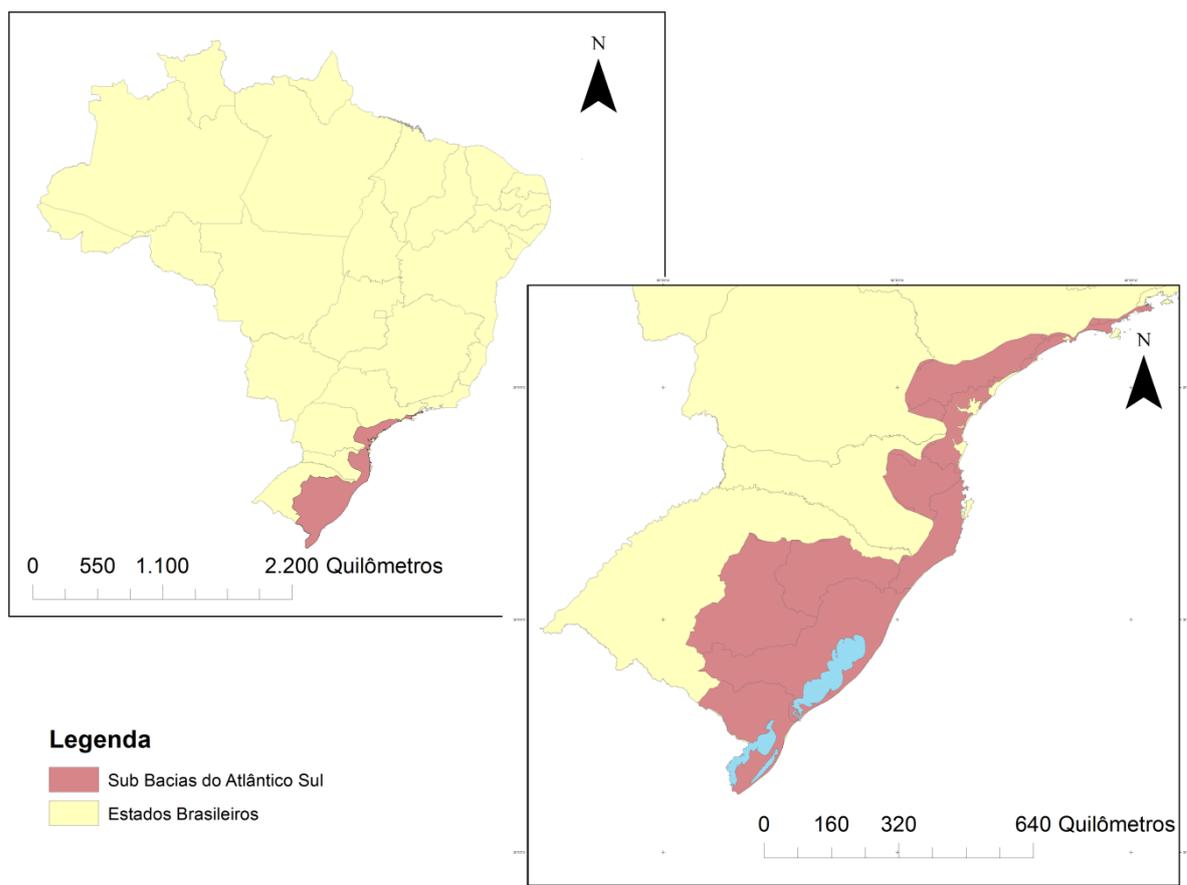


Figura 1.: Localização da Bacia do Atlântico Sul

O Rio Grande do Sul possui 4 grandes bacias hidrográficas contidas na bacia do Atlântico Sul, objeto de estudo do presente trabalho, sendo as principais, conforme MMA (2006), as que compõem o sistema Jacuí-Guaíba, que tem como formadores os Rios Alto Jacuí, Vacacaí, Taquari-Antas, Caí, Sinos, e Gravataí; o Camaquã, desaguando na Laguna dos Patos; o Piratini, desaguando no canal São Gonçalo, que une as lagoas Mirim e dos Patos, e o rio Jaguarão, fronteiro com o Uruguai, que tem a foz na lagoa Mirim.

As bacias hidrográficas são codificadas pela ANA para facilitar o acesso das informações disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Sendo assim, a bacia do Atlântico Sul é codificada como bacia 8. As sub-bacias inteiramente contidas no Rio Grande do Sul são codificadas como 85, 86, 87 e 88. Na Tabela 1 estão apresentadas as informações sobre cada uma das sub-bacias e na Figura 2 estão apresentadas as respectivas localizações dentro dos limites geográficos do Estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 1.: Descrição das sub-bacias hidrográficas estudadas

Sub-Bacia	Nome Principal	Descrição
85	Bacia do Alto Jacuí	Bacia do rio Jacuí, até a foz do rio Taquari, exclusive.
86	Bacia do Taquari	Bacia do rio Taquari
87	Bacia do Camaquã, Jacuí, Lagoa dos Patos e outros	Área de drenagem dos rios que drenam para a lagoa dos Patos e Oceano Atlântico, compreendida entre a foz do Mampituba, exclusive, e a saída da lagoa dos Patos. Inclui o rio Jacuí a jusante da confluência com o rio Taquari.
88	Bacia do Jaguarão e Lagoa Mirim no Brasil	Corresponde à área de drenagem situada em território nacional, que drena para a lagoa Mirim e para o canal São Gonçalo. Inclui a bacia do rio Jaguarão e as áreas que drenam para o Atlântico, entre a saída da lagoa dos Patos e arroio Chuí, exclusive.

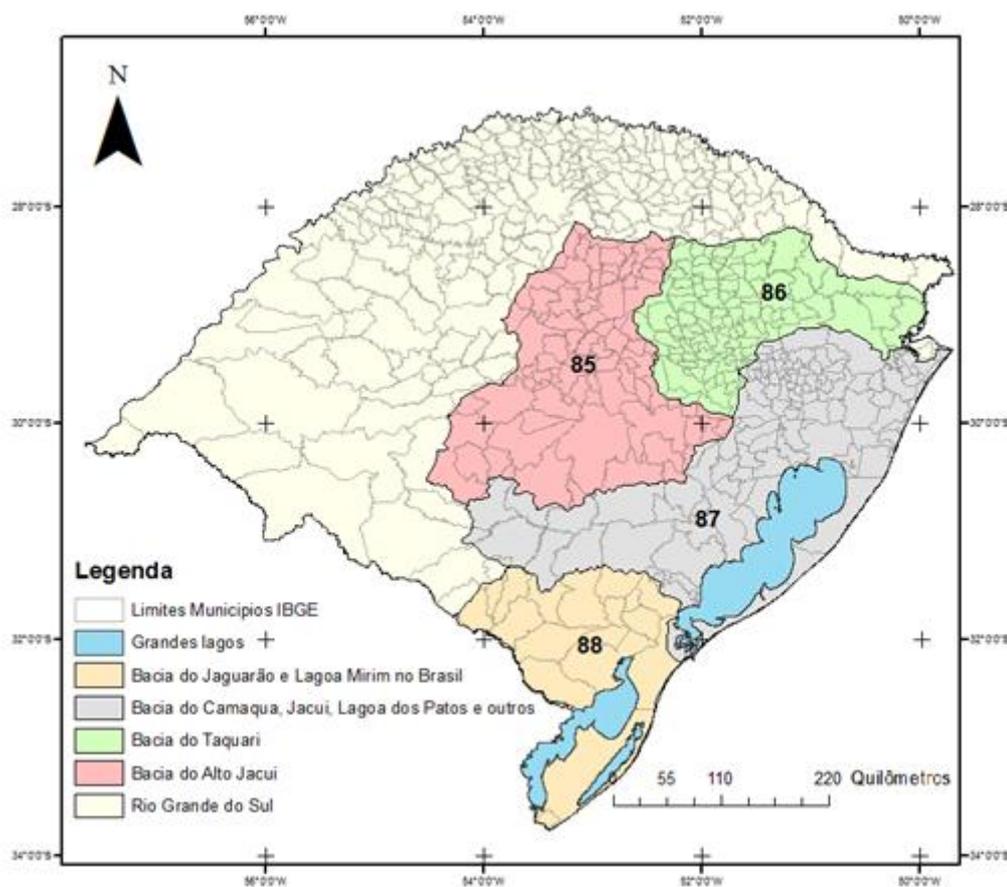


Figura 2.: Área de estudo - Sub bacias hidrográficas 85, 86, 87 e 88

3.2. SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

As informações das estações fluviométricas e de toda rede hidrometeorológica no Brasil foram obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH da Agência Nacional de Águas (ANA).

Primeiramente, foram pré-selecionadas todas as estações com dados consistidos disponíveis contidas nas sub-bacias em estudo. Em seguida, foi realizada uma triagem e pré-processamento dos dados no software SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas, desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH), da Universidade Federal de Viçosa. Com a importação das séries hidrológicas diretamente do Hidroweb, foi possível manipular os dados, limitar as falhas e obter a curva de permanência para cada estação fluviométrica.

Para o pré-processamento dos dados foi necessário determinar o ano hidrológico da região em estudo. O ano hidrológico corresponde ao período de 12 meses, começando com o início do período mais chuvoso e final da estação mais seca (TUCCI, 2002). Em parte da região Sul (sul de Santa Catarina e Rio Grande do Sul), segundo o mesmo autor, o ano hidrológico inicia em maio e termina em abril.

Também, ao existir falhas na série, é preferível não preenchê-las por regressão para evitar que sejam introduzidas tendenciosidades (TUCCI, 2002). Dessa forma, para a definição das estações fluviométricas e das curvas de permanência, foi estipulado um limite de falhas de 10% para cada ano hidrológico das séries históricas de dados, sendo os anos com falhas superiores excluídos da análise.

Buscando abranger a maior extensão territorial possível para as regiões estudadas, optou-se por utilizar estações fluviométricas com no mínimo 5 anos de dados históricos, conforme indicado por Tucci (2002) para a regionalização de curvas de permanência.

Após a triagem, foram selecionadas um total de 65 estações fluviométricas cujas localizações espaciais em cada sub-bacia hidrográfica estão apresentadas na Figura 3 e as informações nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Assim, após o pré-processamento, foi calculada a curva de permanência, também por meio do SisCAH. A curva foi calculada pelo *método da série completa de dados*, na qual utiliza todos os anos disponíveis na série de dados, que segundo Cruz (2001), possibilita a obtenção da curva de permanência, chamada de *curva de permanência empírica total*.

A curva de permanência é construída, primeiramente, dividindo-se a faixa total das vazões utilizadas na análise em classes decrescentes, e em seguida é contado e acumulado o número de observações em cada classe, a partir da vazão máxima. Este valor acumulado é transformado em porcentagem, e lança-se um gráfico com os valores das vazões versus as contagens percentuais acumuladas correspondentes, traçando-se a linha através dos pontos plotados. A partir da curva, foram obtidas as vazões Q_{90} para cada estação fluviométrica.

Tabela 2: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 85.

Est. Fluviométricas	Nome	Latitude	Longitude
85080000	Espumoso	-28,7000	-52,8333
85438000	Restinga Seca	-29,7994	-53,3683
85440000	Ponte Jacui	-29,9167	-53,1166
85460000	Santa Brigida	-30,3833	-54,3667
85470000	Ponte São Gabriel	-30,3600	-54,3119
85480000	Passo do Rocha	-30,2314	-53,9853
85580000	Passo do Verde	-29,9333	-53,7167
85600000	Passo das Tunas	-29,9258	-53,4156
85610000	Passo dos Freires	-30,4353	-53,7133
85620000	Pulqueira	-30,2167	-53,6833
85623000	São Sepe - Montante	-30,1933	-53,5631
85630000	Passo São Sepé	-30,1500	-53,5500
85642000	Passo São Lourenço	-30,0086	-53,0161
85730000	Passo Linha do Rio	-29,6000	-52,7833
85740000	Candelária	-29,6733	-52,7694
85830000	Santa Cruz - Montante	-29,7056	-52,4689
85850000	Santa Cruz	-29,7333	-52,4667
85900000	Rio Pardo	-29,9961	-52,3744
85615000	Passo do Lajeado	-30,3778	-53,7406
85780000	Passo do Meio	-29,8167	-52,5500

Tabela 3.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 86.

Est. Fluviométricas	Nome	Latitude	Longitude
86100000	Passo do Gabriel	-28,8056	-50,4950
86160000	Passo Tainhas	-28,8681	-50,4561
86250000	Passo São Bernardo	-28,8667	-51,1167
86300000	Nova Roma	-28,9667	-51,3500
86340000	Ponte Santa Rita	-28,2833	-51,2833
86410000	Passo Barra do Guaiaveira	-28,7392	-51,4250
86420000	Ponte do Prata	-28,6776	-51,6081
86440000	Passo do Prata	-28,8676	-51,4456
86470000	Ponte do Rio das Antas	-29,0456	-51,5669
86480000	Passo Migliavaca	-28,6189	-51,8558
86500000	Passo Carreiro	-28,8488	-51,8325
86510000	Muçum	-29,1672	-51,8686
86560000	Linha Colombo	-28,9122	-51,9531
86580000	Santa Lúcia	-29,1197	-51,9119
86700000	Ponte Jacaré	-29,1886	-51,9219
86720000	Encantado	-29,2344	-51,8550
86745000	Passo do Coimbra	-29,2161	-52,1456
86360000	Rincão do Castelhana	-28,5000	-51,3500

Tabela 4.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 87.

Est.Fluviométricas	Nome	Latitude	Longitude
87160000	Nova Palmira	-29,3356	-51,1906
87170000	Barca do Caí	-29,5892	-51,3828
87250000	Costa do Rio Cadeia	-29,6072	-51,3511
87270000	Passo Montenegro	-29,7006	-51,4406
87317030	Maquiné	-29,6519	-50,2092
87317060	Barra do João Pedro - Montante	-29,7708	-50,0844
87366000	Passo do Louro	-29,4000	-50,7500
87380000	Campo Bom	-29,6919	-51,0450
87382000	São Leopoldo	-29,7581	-51,1511
87450100	Ipiranga	-30,0489	-51,1967
87865000	Dom Feliciano	-30,7000	-52,0667
87905000	Passo do Mendonça	-31,0100	-52,0528
87372000	Igrejinha	-29,5666	-50,8000
87374000	Taquara - Montante	-29,7167	-50,7333
87590000	Passo do Caçõ	-30,9611	-53,4886
87750000	Cerro da Árvore	-30,8167	-52,7666
87780000	Passo Pantanoso	-30,9833	-52,6333
87810000	Passo Maria Santa	-30,8833	-52,5167
87850000	Passo dos Ladrões	-30,8666	-52,2500
87880000	Passo do Sapato	-30,9833	-52,0833
87900000	Passo do Mendonça	-31,0167	-52,0500

Tabela 5.: Estações fluviométricas selecionadas para a sub-bacia 87.

Estações Fluviométricas	Nome	Latitude	Longitude
88550000	Ponte do Império	-31,7167	-52,9000
88680000	Passo do Ricarco	-31,9000	-52,6500
88750000	Passo dos Carros	-31,7125	-52,4753
88850000	Ponte Cordeiro de Farias	-31,5731	-52,4619
88560000	Picada Nova	-31,7500	-52,8833
88575000	Cerro Chato	-31,8644	-53,2689

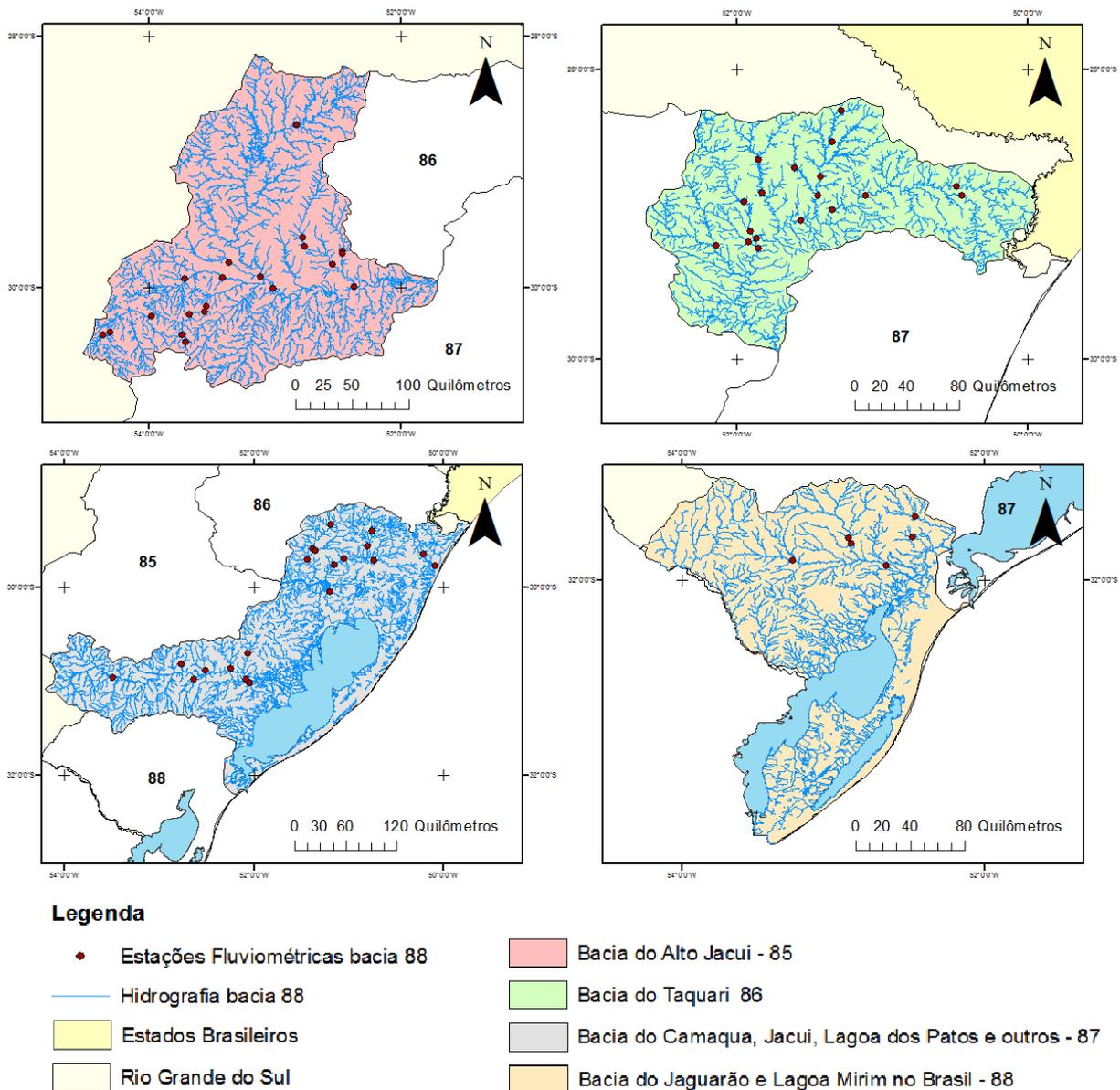


Figura 3.: Localização das Estações fluviométricas nas sub-bacias hidrográficas

3.3. DETERMINAÇÃO DA VARIÁVEL EXPLICATIVA

Neste estudo optou-se por utilizar somente a área de drenagem (A) das estações fluviométricas como variável explicativa. Estudos como o realizado por Silva et al. (2006), concluiu que para as vazões mínimas associadas as curvas de permanência, a área de drenagem foi o parâmetro que melhor se ajustou aos modelos de regressão para a regionalização.

Para a determinação da área de drenagem de cada estação fluviométrica foi utilizado o Modelo Digital de Elevação – MDE - da Missão Topográfica Radar Shuttle - SRTM com resolução espacial de 90 m. Para todos os processamentos realizados na imagem foi utilizado o software ArcGIS Desktop 10.0 do ESRI, e sua extensão denominada ArcHydro.

O MDE deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica (BAENA et al., 2004). Tem-se, portanto, a necessidade de utilizar um Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado – MDEHC (ELESBON et al., 2011). Dessa forma, o MDE bruto passou pelos procedimentos apresentados na Figura 4 para torná-lo hidrograficamente condicionado e, assim, permitir o cálculo da área de drenagem de cada estação fluviométrica com mais confiabilidade.

As depressões espúrias são falhas advindas do MDE, sendo células cercadas por outras com maiores valores de elevação. O preenchimento das depressões espúrias é executado na função “*fill sink*”, e consiste na correção dos valores conforme os encontrados na vizinhança. O recondicionamento do MDE, na função “*DEM Reconditioning*”, garante a coincidência espacial da drenagem da imagem de satélite com a drenagem vetorial digitalizada das bases cartográficas, na qual foi utilizada a da cartas dos exército na escala 1:50000.

A direção do escoamento de água na rede de drenagem é obtida pela função “*Flow Direction*”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tendo como base a linha de maior declividade do terreno. O escoamento acumulado, obtido pela função “*Flow Accumulation*” indica o grau de confluência do escoamento, e, de acordo com Mendes e Cirilo (2001), representa a rede hidrográfica da bacia. A partir deste, é obtida a drenagem numérica, com a função “*Stream Definition*”.

Dessa forma, com a drenagem numérica, a direção do escoamento e os postos fluviométricos, na função “*Batch Subwatershed Delineation*” do ArcHydro, foram delimitadas as áreas de drenagem de cada estação fluviométrica.

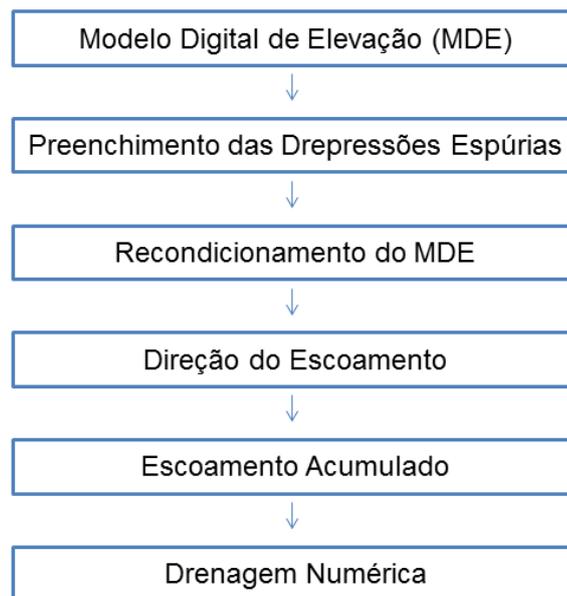


Figura 4.: Fluxograma utilizado no processamento e condicionamento do MDE por meio da extensão ArcHydro.

Cabe ressaltar que foi optado por utilizar o MDE com resolução de 90 metros devido a fácil obtenção da imagem e, sendo a área de estudo de grande extensão, a utilização de uma imagem com maior resolução tornaria os procedimentos mais lentos, ou seja, difíceis de processar. Assim, salienta-se que as áreas foram encontradas para uma escala de trabalho pequena – aproximadamente 1:100.000 – sendo que ao trabalhar com áreas menores, indica-se utilizar escalas maiores.

3.4. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO

Com as vazões Q_{90} e as áreas de drenagem de cada uma das estações fluviométricas estabelecidas, foi utilizado o software SisCoRV 1.0, disponibilizado pelo GPRH da UFV, para realizar a regionalização pelos métodos Tradicional e Conservação de Massas.

Ao iniciar um novo projeto no software utilizado, é necessário escolher primeiramente o método que será utilizado na regionalização, as variáveis explicativas e a variável aleatória a ser regionalizada. A partir do SisCoRV foi possível importar as estações fluviométricas diretamente do SisCAH 1.0, sendo em

seguida ajustado o valor da área de drenagem e inserido a vazão Q_{90} de cada estação manualmente.

3.4.1. Método Tradicional

Para o método Tradicional é necessário determinar as regiões hidrologicamente homogêneas. Estas foram definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentou o melhor ajuste nos modelos de regressão, avaliado a partir de: valores do coeficiente de determinação (R^2) maiores que 0,85 e; valores do erro padrão fatorial (σF) menores que 1.

Esse processo foi realizado de forma iterativa, sendo que quando os ajustes do conjunto de estações fluviométricas não se enquadraram nos padrões estatísticos exigidos, fez-se necessário refazer a combinação até chegar o mais próximo do definido. O software usado apresenta, em cada interação, os ajustes estatísticos encontrados para cada modelo de regressão – linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco, sendo o usuário responsável por determinar o modelo mais adequado.

Determinadas as regiões hidrologicamente homogêneas e os melhores modelos de regressão para cada região, conforme os ajustes estatísticos, foi definida, assim, a equação de regionalização para essa região específica.

3.4.2. Método de Conservação de Massas

O método da Conservação de Massas trabalha com ajustes de regressões de equações não lineares – potencial e exponencial – que representam as vazões em função das variáveis explicativas para o rio principal (R_p) e para cada afluente do rio principal. Este método se diferencia do método Tradicional por forçar as equações a passarem pelo ponto de origem e pelo valor da vazão no ponto de deságue dos afluentes no rio principal (SOUSA, 2009), fundamentada na ideia de que essa vazão, obtida pela equação de ajuste que considera as informações de todas as estações

fluviométricas situadas no rio, sendo mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada (NOVAES, 2005).

Nesse método, é definida uma região hidrologicamente homogênea para cada afluente e uma para o rio principal, sendo que no contexto do software SisCorv são denominadas de “trechos”, para diferenciá-las do método Tradicional. A regressão deve começar pelos trechos dos rios principais, seguindo para os afluentes de maior ordem para os de menos ordem. A partir da equação de regressão do rio principal, que tem maior ordem, foi calculada a vazão no ponto de deságue de cada afluente que contenha ao menos uma estação fluviométrica. Em seguida, foi determinada a equação de regressão para cada afluente levando em consideração as vazões da estação fluviométrica e a calculada no ponto de deságue.

3.5. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

Com os valores das vazões Q_{90} obtidas a partir da curva de permanência de cada uma das 65 estações fluviométricas utilizadas no estudo, e das vazões estimadas com o método Tradicional e o método da Conservação de Massas, foi avaliada a precisão das metodologias por meio da aplicação do Erro Relativo (ER) entre o valor obtido a partir da análise da série histórica (Q_{obs}) e o estimado (Q_{est}), conforme Equação 8, pelo Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NASH e SUTCLIFFE, 1970), determinado pela Equação 9 e pela Raiz do Erro médio quadrático, Equação 10.

$$ER = 100 \times \left(\frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right) \quad \text{Equação 8}$$

$$C_{NS} = \frac{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2 - \sum(Q_{obs} - Q_{est})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad \text{Equação 9}$$

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}} \quad \text{Equação 10}$$

Onde: ER é o erro relativo (%); Q_{obs} é a vazão obtida a partir da análise da série histórica do posto fluviométrico pelo SisCAH (m^3s^{-1}); $\overline{Q_{obs}}$ é a vazão média obtida nos postos fluviométricos; Q_{est} é a vazão estimada com base nas metodologias de regionalização (m^3s^{-1}); C_{NS} é o Coeficiente de Nash; $REMQ$ é a raiz do erro quadrático médio; d_i é a diferença entre a Q_{est} e a Q_{obs} e; n é o número de estações fluviométricas consideradas.

A estatística do coeficiente de Nash Sutcliffe, que varia de 0 a 1, compara a redução do desvio quadrático do erro do modelo com o desvio quadrático do modelo alternativo de prever sempre a média dos valores (NASH e SUTCLIFFE, 1970). Moriasi et al. (2007) apresentaram uma classificação para este coeficiente, sendo: $C_{NS} > 0,65$ o modelo é considerado muito bom; $0,54 < C_{NS} < 0,65$ o modelo é considerado bom e; $0,5 < C_{NS} < 0,54$, satisfatório.

Valores negativos (-) do ER representam superestimativa das vazões, enquanto valores positivos (+) representam vazões subestimadas pelos modelos. Considerou-se como a melhor metodologia de regionalização para cada bacia em estudo aquela que apresentou o menor valor do REMQ e valores de coeficiente de Nash e Sutcliffe considerados muito bons. Quando os valores obtidos por esses dois índices foram muito próximos, foi considerado o Erro relativo médio para a tomada da decisão da melhor representação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. VAZÕES DE PERMANÊNCIA

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 estão apresentadas as vazões Q_{90} observadas nas sub-bacias de código 85, 86, 87 e 88, respectivamente, totalizando 65 estações fluviométricas selecionadas no estudo. O software SisCAH 1.0 utilizado no presente estudo possibilitou de forma rápida a determinação das vazões com permanência em 90% do tempo (Q_{90}).

Tabela 6.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 85.

Código	Nome	Q_{90} ($m^3.s^{-1}$)
85080000	Espumoso	17,50
85438000	Restinga Seca	0,96
85440000	Ponte Jacui	95,17
85460000	Santa Brigida	0,18
85470000	Ponte São Gabriel	2,03
85480000	Passo do Rocha	3,81
85580000	Passo do Verde	4,11
85600000	Passo das Tunas	0,99
85610000	Passo dos Freires	0,07
85620000	Pulqueira	0,56
85623000	São Sepe - Montante	1,86
85630000	Passo São Sepé	0,46
85642000	Passo São Lourenço	205,52
85730000	Passo Linha do Rio	1,90
85740000	Candelária	4,17
85830000	Santa Cruz - Montante	1,03
85850000	Santa Cruz	1,35
85900000	Rio Pardo	120,38
85615000	Passo do Lajeado	0,05
85780000	Passo do Meio	2,14

Tabela 7.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 86.

Código	Nome	Q ₉₀ (m ³ .s ⁻¹)
86100000	Passo do Gabriel	7,35
86160000	Passo Tainhas	2,87
86250000	Passo São Bernardo	9,70
86300000	Nova Roma	13,80
86340000	Ponte Santa Rita	1,01
86410000	Passo Barra do Guaiaveira	9,04
86420000	Ponte do Prata	1,35
86440000	Passo do Prata	10,62
86470000	Ponte do Rio das Antas	49,66
86480000	Passo Migliavaca	3,08
86500000	Passo Carreiro	4,28
86510000	Muçum	44,74
86560000	Linha Colombo	5,94
86580000	Santa Lúcia	9,16
86700000	Ponte Jacaré	0,79
86720000	Encantado	48,80
86745000	Passo do Coimbra	2,77
86360000	Rincão do Castelhana	1,86

Tabela 8.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 87.

Código	Nome	Q ₉₀ (m ³ .s ⁻¹)
87160000	Nova Palmira	4,68
87170000	Barca do Caí	7,90
87250000	Costa do Rio Cadeia	2,39
87270000	Passo Montenegro	14,84
87317030	Maquiné	1,74
87317060	Barra do João Pedro - Montante	20,76
87366000	Passo do Louro	0,19
87380000	Campo Bom	10,58
87382000	São Leopoldo	18,85
87450100	Ipiranga	0,27
87865000	Dom Feliciano	2,51
87905000	Passo do Mendonça	37,60
87372000	Igrejinha	0,83
87374000	Taquara - Montante	5,60
87590000	Passo do Caçõ	3,63
87750000	Cerro da Árvore	0,12
87780000	Passo Pantanoso	0,03
87810000	Passo Maria Santa	0,58
87850000	Passo dos Ladrões	1,56

87880000	Passo do Sapato	0,23
87900000	Passo do Mendonça	15,10

Tabela 9.: Valores observados das vazões com permanência de 90% do tempo para as Estações Fluviométricas da sub-bacia 88.

Código	Nome	Q_{90} ($m^3.s^{-1}$)
88550000	Ponte do Império	3,05
88680000	Passo do Ricarco	8,00
88750000	Passo dos Carros	0,17
88850000	Ponte Cordeiro de Farias	1,38
88560000	Picada Nova	3,19
88575000	Cerro Chato	1,55

4.2. MÉTODO TRADICIONAL - MT

Foram obtidos modelos de regressão que relacionam a vazão de permanência em 90% do tempo com a área de drenagem para cada uma das Regiões Hidrológicamente Homogêneas (RHH), identificadas pelo método Tradicional, referente às quatro sub-bacias hidrográficas estudadas (Figura 5). A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para cada RHH, os modelos de regressão, os índices estatísticos e a equação obtida.

Tabela 10.: Equações de regionalização pelo método Tradicional

Sub-bacia	RHH	Modelo de regressão	R^2	Erro Padrão (σF)	Equação de Regionalização
85	1	Exponencial	0,93	0,50	$Q_{90} = 1,593 \times e^{A \times 0,000116}$
	2	Potencial	0,96	0,67	$Q_{90} = 0,0001977 \times A^{1,3310}$
	3	Logarítmica	0,87	0,91	$Q_{90} = -14,4977 + (2,3259 \times \ln A)$
86	1	Potencial	0,92	0,34	$Q_{90} = 0,91438 \times A^{0,8068}$
	2	Potencial	0,98	0,20	$Q_{90} = 0,001522 \times A^{1,0762}$
87	1	Linear	0,97	0,31	$Q_{90} = -0,048 + (A \times 0,000955)$
	2	Potencial	0,99	0,05	$Q_{90} = 147,83 \times A^{-0,6824}$
	3	Exponencial	0,99	0,05	$Q_{90} = 1,5722 \times e^{A \times 0,000562}$
88	4	Potencial	0,98	0,27	$Q_{90} = 0,000339 \times A^{1,3432}$
	1	Linear	0,98	0,34	$Q_{90} = 0,5377 + (A \times 0,00146)$

Conforme a Tabela 10, não foi encontrado um padrão para os modelos de regressão, sendo que os modelos exponencial, potencial e linear foram os que melhor descreveram a maioria das RHH. Unicamente, a RHH 3 da sub-bacia 85 apresentou como melhor regressão o modelo logarítmico, apresentando também o menor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,87$) em comparação com as outras RHH.

Os valores de R^2 das equações de regionalização variaram de 0,87 a 0,99, indicando a adequação desses modelos à representação da vazão de permanência em 90% do tempo. Todos os erros padrões foram menores do que 1, variando de 0,2 a 0,91 e num total de 65 estações fluviométricas contidas na área de estudo, apenas 10 não se enquadraram em nenhuma RHH.

O trabalho realizado por Lisboa et al. (2008) ao regionalizar a Q_{90} pelo método Tradicional para a sub-bacia do rio Paracatu encontraram erros padrões com valores que variaram de 1,10 a 1,21, e R^2 de 0,9845 a 0,9939. Já Baena et al. (2004) obtiveram erros padrões variando de 1,08 a 1,79, a cima do estipulado como adequado no presente estudo, e R^2 de 0,96 a 0,99. Assim, os valores obtidos no presente estudo estão em concordância e/ou mais adequados com os encontrados na bibliografia.

Para a sub-bacia 85 – Alto Jacuí – foram encontradas três RHH compostas por 15 das 20 estações fluviométricas nela contida. Determinado um valor mínimo para o coeficiente de determinação e para o erro padrão, as estações 85080000, 85438000, 85440000, 85580000, 85600000 não se enquadraram em nenhuma RHH, não sendo, portanto, regionalizadas. A sub-bacia 86 – Taquari – foi regionalizada a partir de duas RHH encontradas com modelos de regressão potencial. Todas as estações fluviométricas da sub-bacia foram inseridas em alguma das RHH e, portanto, regionalizadas.

Já na sub-bacia 87 – Camaquã, Jacuí, lagoa dos Patos e outros – foram encontradas quatro RHH contendo 16 estações fluviométricas, não contendo as estações 8790000, 87905000, 87317030, 87317060 e 87450100, enquanto a sub-bacia 88 – Jaguarão e Lagoa Mirim no Brasil – foi definida apenas uma RHH contendo as 6 estações fluviométricas da sub-bacia.

Observa-se na Figura 5 que em muitas áreas não foram identificadas RHH devido à escassez de estações fluviométricas, tendo como consequência áreas não regionalizáveis pelo método Tradicional. No contexto do SisCoRV, é necessária a junção de no mínimo 3 estações fluviométricas para a obtenção de uma RHH, sendo essa uma das causas de algumas estações não estarem enquadradas em nenhuma região.

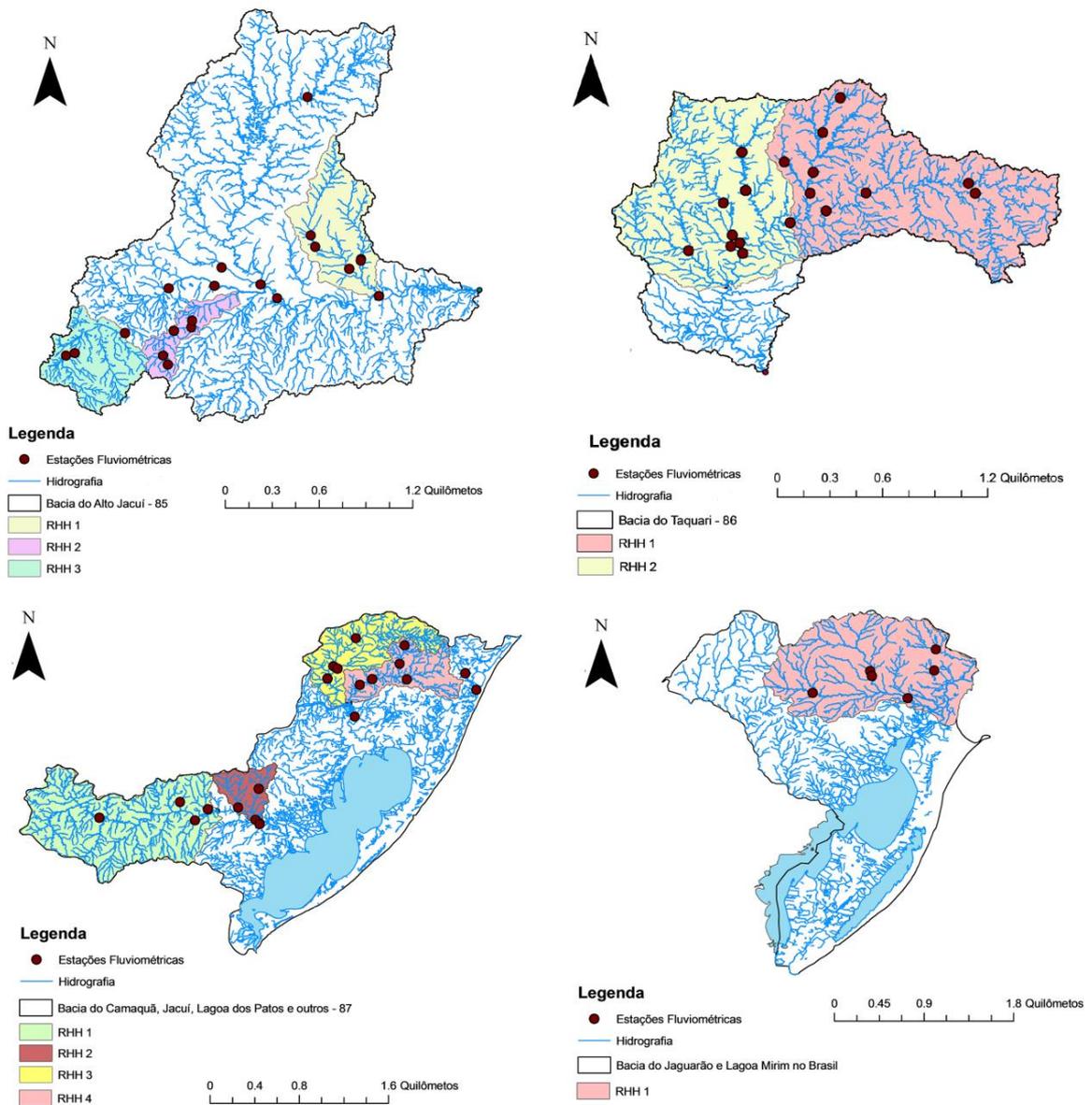


Figura 5.: Regiões hidrologicamente Homogêneas – RHH das sub-bacias hidrográficas 85, 86, 87 e 88.

4.3. MÉTODO DA CONSERVAÇÃO DE MASSAS - MCM

Neste método foi encontrada uma equação de regionalização para cada um dos principais rios contido nas sub-bacias que continham ao menos uma estação fluviométrica. A Tabela 11 apresenta as equações de regionalização resultantes para cada rio analisado, assim como o número de estações fluviométricas utilizadas para a regressão, o melhor modelo, e o coeficiente de determinação.

Tabela 11.: Equações de regionalização pelo método da Conservação de Massas

Sub-bacia	Nome do Rio	Tipo de regressão	R ²	Equação de Regionalização
85	Rio Jacuí	Potencial	0,98	$Q_{90} = 0,0004 \times A^{1,2965}$
	Rio Vacacaí	Exponencial	0,99	$Q_{90} = 0,0004 \times e^{A \times 0,001244}$
	Rio São Sepé	Exponencial	0,97	$Q_{90} = 0,0964 \times e^{A \times 0,00358}$
	Rio Pardo	Exponencial	0,96	$Q_{90} = 0,0004 \times e^{A \times 0,003239}$
	Rio Pardinho	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,99 \times A^{0,04496}$
	Rio Vacací-Mirim	Exponencial	1,00	$Q_{90} = 0,8028 \times e^{A \times 0,002319}$
86	Rio Taquari	Potencial	0,82	$Q_{90} = 0,0024 \times A^{1,01434}$
	Rio Tainhas	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,9644 \times A^{0,1919}$
	Rio Turvo	Potencial	0,8	$Q_{90} = 1 \times A^{0,2845}$
	Rio Carreiro	Potencial	0,99	$Q_{90} = 0,0004 \times A^{1,2466}$
	Rio Guaporé	Potencial	0,29	$Q_{90} = 1 \times A^{0,2425}$
	Rio Jacaré	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,998 \times A^{0,08302}$
	Rio Forqueta	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,9548 \times A^{0,2682}$
	Rio Santa Rita	Potencial	0,54	$Q_{90} = 1 \times A^{0,04764}$
87	Rio Caí	Potencial	0,99	$Q_{90} = 0,0004 \times A^{1,2666}$
	Rio Cadera	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,9104 \times A^{0,2130}$
	Rio Rolante	Exponencial	0,99	$Q_{90} = 0,0008 \times e^{A \times 0,003575}$
	Rio Paranhama	Exponencial	0,99	$Q_{90} = 0,0004 \times e^{A \times 0,017168}$
	Rio Camaquã	Exponencial	1,00	$Q_{90} = 0,9472 \times e^{A \times 0,000264}$
	Arroio do Ladrão	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,946 \times A^{0,28588}$
88	Arroio Sutil	Potencial	1,00	$Q_{90} = 0,9776 \times A^{0,3198}$
	Rio Piratini	Potencial	0,99	$Q_{90} = 0,9996 \times A^{0,24216}$

A vazão no ponto de deságue dos afluentes foi calculada a partir da equação obtida para o rio principal. Quanto mais distante o coeficiente de determinação desta equação for do valor unitário, menor a qualidade do modelo de representação e maiores serão os erros envolvidos ao calcular-se a vazão nos pontos de deságue, podendo estas apresentar menores vazões do que as estações fluviométricas a

montante. Se o afluente possui somente uma estação fluviométrica a montante, isso acarreta na inviabilidade da ocorrência de regionalização; se possui mais que uma estação e estas apresentam vazões crescentes em direção a jusante, porém no ponto de deságue vazão menor, a regionalização pode ser executada, porém o modelo obtido tende a apresentar valores baixos de R^2 , sendo pouco representativos.

Acredita-se que os valores das vazões menores a jusante podem ser justificados pela imprecisão das vazões observadas pelas estações fluviométricas, utilização de diferentes períodos base para cada estação, presença de barragens na área de estudo, dentre outros.

Em relação às equações de regionalização pelo método da Conservação de Massas, verifica-se que na maioria das equações o modelo que melhor se ajustou foi o potencial, assim como no trabalho realizado por Moreira e Silva (2014). Dos 21 rios regionalizados, a maior parte obteve o valor de R^2 próximo à unidade, com exceção de alguns rios contidos na sub-bacia 86. Nesta sub-bacia, o Rio Taquari, Rio Turvo, Rio Guaporé e Rio Santa Rita obtiveram o valor do coeficiente menor ou igual a 0,8, deixando a desejar quanto à qualidade do modelo. Para o Rio Guaporé e Rio Santa Rita foram encontrados valores de R^2 significativamente baixos – 0,29 e 0,54 respectivamente. Isso ocorreu devido à vazão no ponto de deságue, calculada a partir da equação do rio Taquari, apresentar valor inferior às vazões nas estações fluviométricas a montante, gerando uma equação com baixa representatividade.

A dependência da equação de regressão do rio principal – R_p - para o cálculo das equações nos afluentes é um fator limitante do MCM quando a qualidade da equação do R_p for duvidosa. Isso diminui a representatividade dos modelos a medida que a ordem dos afluentes vai aumentando, conforme pode ter ocorrido na regionalização do Rio Guaporé e Santa Rita, que apresentaram os menores valores de R^2 - 0,29 e 0,54 respectivamente.

Trabalhos como o realizado por Moreira e Silva (2014), na regionalização de vazões mínimas, encontraram valores de R^2 que variaram de 0,8274 a 0,9999 ao utilizar o método da Conservação de Massas para a bacia do Rio Paraopeba. Com as exceções encontradas nos rios Guaporé e Santa Rita, e sendo uma quantidade

maior de estações fluviométricas analisadas neste estudo, os valores de R^2 obtidos ficam próximos aos encontrados no referido trabalho.

4.4. COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS TRADICIONAL E DA CONSERVAÇÃO DE MASSAS

Nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 estão apresentados os erros relativos percentuais e os valores da Q_{90} observados e estimados para o método Tradicional e o método da Conservação de Massas, para as sub-bacias hidrográficas 85, 86, 87 e 88 respectivamente.

Na Tabela 12 pode-se observar os resultados encontrados para a sub-bacia 85. Cinco estações fluviométricas não foram utilizadas nos modelos de regressão por não se enquadrarem em nenhuma região hidrologicamente homogênea no método Tradicional, não sendo possível, portanto, estimar a Q_{90} nem o erro relativo. No método da Conservação de Massas, duas estações não foram regionalizadas. O curso d'água da estação 85615000 apresentou menor vazão no ponto de deságue do que a observada na estação, não sendo possível gerar o modelo de regressão.

Foram encontrados erros relativos – ER -bastante altos para os dois métodos analisados. Pelo método Tradicional, verificou-se que os valores variaram de -0,565 a -324,178%. Estudo realizado por Novaes et al (2007), ao regionalizar a vazão de permanência Q_{95} na bacia do rio Paracatu com a área de drenagem e precipitação média como variáveis explicativas, encontrou erros relativos bastante altos, variando de 0,6 a -175,6%, indicando algumas limitações na utilização deste método. O ER médio encontrado foi de -29,74%, indicando a tendência deste método em superestimar os valores da Q_{90} .

Já para o método da conservação de massas – MCM, os ER variaram de 0 a -526,26% nas estações 85850000 e 85438000, respectivamente. Assim como o MT, o ER médio foi de -21,05%, indicando a tendência de estimação de valores de Q_{90} maiores que os observados.

Em ambos os métodos foi observado maiores erros relativos na estimativa das vazões na proximidade da cabeceira dos rios, também evidenciado no trabalho de Moreira e Silva (2014). Cruz e Tucci (2008) justificam que este comportamento

está associado a regularização natural das bacias de maior drenagem, tendo, portanto, a tendência das maiores variações de vazões para as pequenas bacias. Também, o MCM faz com que a equação de regressão passe pelo ponto de deságue dos rios com a vazão calculada a partir da equação dos rios principais, aumentando a tendência de melhorar os erros a jusante.

Tabela 12.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q_{90} observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 85.

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Q_{90} Obs. (m ³ .s ⁻¹)	Método Tradicional		Mét. da Conservação de Massas	
			Q_{90} Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER (%)	Q_{90} Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER(%)
85080000	2462,3	17,500	-	-	9,956	43,111
85438000	867,4	0,958	-	-	6,000	-526,284
85440000	15900,7	95,166	-	-	111,718	-17,393
85460000	703,36	0,177	0,751	-324,178	0,001	99,458
85470000	901,86	2,030	1,329	34,532	0,001	99,940
85480000	2767,82	3,810	3,937	-3,339	0,012	99,672
85580000	4540,3	4,110	-	-	0,113	97,242
85600000	6370,55	0,985	-	-	1,104	-12,078
85610000	58,72	0,073	0,045	38,742	0,119	-62,962
85615000	64,14	0,053	0,050	5,104	-	-
85620000	559,29	0,562	0,898	-59,840	0,715	-27,176
85623000	647,85	1,864	1,092	41,406	0,982	47,343
85630000	689,65	0,455	1,187	-160,932	1,140	-150,623
85642000	25447,21	205,517	144,666	29,609	205,517	0,000
85730000	1103,6	1,900	1,812	4,642	0,014	99,249
85740000	1245,64	4,170	1,842	55,827	0,023	99,458
85780000	3025,32	2,140	2,266	-5,892	7,209	-236,874
85830000	857,07	1,030	1,761	-70,926	1,350	-31,060
85850000	858,22	1,350	1,761	-30,427	1,350	0,000
85900000	37195,11	120,379	121,059	-0,565	-	-
Erro Relativo Médio (%)				-29,749		-21,054

A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para a sub-bacia 86. As vazões estimadas pelo método Tradicional apresentaram bons resultados em relação a bibliografia consultada, tendo erros relativos que variaram de -0,022% a -65,56%. Este método permitiu regionalizar todas as estações fluviométricas e por apresentar melhor distribuição espacial das estações fluviométricas, apresentou menores

valores de ER. Também, os modelos de regressão apresentaram, em geral, maiores R² e menores erros relativos que as equações da sub-bacia 85.

Tabela 13.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q₉₀ observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 86.

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Q ₉₀ Obs. (m ³ .s ⁻¹)	Método Tradicional		Mét. da Conservação de massas	
			Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER (%)	Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER(%)
86100000	1652,6	7,350	5,682	22,697	4,411	39,988
86160000	1030,55	2,870	3,882	-35,247	3,653	-27,287
86250000	5990,51	9,700	16,059	-65,562	16,287	-67,909
86300000	7118,43	13,800	18,458	-33,752	19,402	-40,592
86340000	147,86	1,010	0,810	19,764	1,000	0,990
86360000	482,75	1,860	2,105	-13,181	1,000	46,237
86410000	2563,23	9,040	8,096	10,441	9,329	-3,194
86420000	287,83	1,346	1,387	-3,049	-	-
86440000	3317,44	10,620	9,969	6,130	10,039	5,470
86470000	11544,38	49,660	27,265	45,098	31,684	36,199
86480000	1180,08	3,080	3,081	-0,022	2,702	12,274
86500000	1676,52	4,280	4,495	-5,033	4,186	2,200
86510000	14824,93	44,740	46,940	-4,918	40,834	8,732
86560000	1853,32	5,945	5,008	15,766	6,201	-4,312
86580000	2266,86	9,160	6,220	32,099	6,512	28,912
86700000	403,55	0,794	0,971	-22,257	1,642	-106,849
86720000	17672,63	48,800	56,712	-16,213	48,800	0,000
86745000	1184,3	2,770	3,093	-11,644	6,373	-130,090
Erro Relativo Médio (%)				-3,271		-11,719

O erro relativo médio para regionalização da Q₉₀ da sub-bacia 86 a partir do MT foi de -3,27%, sendo considerado um bom resultado comparando com outros estudos realizados. Silva et al. (2009) encontraram erro médio de 26,8% utilizando o mesmo método para regionalizar a Q₉₀ da sub-bacia do Rio São Francisco. O MCM apresentou erros relativos que variaram de 0 a -130,09% nas estações 86720000 e 86745000, respectivamente. A estação 86745000, que apresentou maior erro, se localiza no rio Forqueta, afluente a jusante da última estação fluviométrica utilizada na regressão do rio Taquari-Antas – principal rio da bacia hidrográfica. Assim, ao regionalizar o rio principal, o modelo de regressão não passou pelo ponto de

deságue do rio Forqueta, justificando o alto ER encontrado para a referente estação. O ER médio encontrado foi de -11,71%.

A Tabela 14 apresenta os resultados da sub-bacia 87. Optou-se pela utilização de séries com no mínimo 5 anos de dados com a finalidade de abranger maiores áreas regionalizadas, visto a pequena disponibilidade de estações com mais de 10 anos de séries. Das 21 estações fluviométricas analisadas no estudo da sub-bacia 87, 9 delas apresentam séries históricas com menos de 10 anos de dados. Entretanto, no MCM foi observado que 5 dessas 9 estações não puderam ser regionalizadas, demonstrando que a tentativa de utilizar estações com menos anos de série de dados não acarreta necessariamente em uma maior área regionalizada.

Tabela 14.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q90 observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 87.

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Q ₉₀ Obs. (m ³ .s ⁻¹)	Método Tradicional		Mét. da Conservação de Massas	
			Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER (%)	Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER(%)
87160000	1879,66	4,676	4,528	3,155	5,611	-20,149
87170000	2797,8	7,903	7,593	3,931	9,286	-17,544
87250000	809,88	2,390	2,480	-3,768	3,792	-58,648
87270000	4051,03	14,840	15,371	-3,581	14,840	0,000
87317030	410,62	1,740	-	-	-	-
87317060	1632,79	20,760	-	-	-	-
87366000	96,21	0,191	0,156	18,151	0,002	98,908
87372000	438,36	0,833	1,199	-43,910	0,741	10,991
87374000	1349,95	5,595	5,431	2,931	0,100	98,214
87380000	2545,971	10,580	11,410	-7,842	7,183	32,109
87382000	2915,651	18,840	15,279	18,900	18,840	0,000
87450100	0,03	0,272	-	-	-	-
87590000	3846,27	3,634	3,624	0,287	2,613	28,013
87750000	132,36	0,116	0,078	32,503	-	-
87780000	437,69	0,032	0,370	-1055,418	-	-
87810000	354,5	0,580	0,290	49,930	-	-
87850000	741,77	1,560	1,626	-4,217	6,258	-301,164
87865000	412,76	2,510	2,425	3,370	6,787	-170,340
87880000	12963,83	0,232	0,231	0,700	-	-
87900000	336,62	15,100	-	-	-	-
87905000	13952,5	37,600	-	-	37,600	0,000
Erro Relativo Médio (%)				-61,555	-10,773	

A escala de trabalho do Siscorv segue a da base hidrográfica ottocodificada da ANA (SOUSA, 2009), que por ser muito pequena – 1:1.000.000 – pode deixar de representar alguns cursos d'água menores. Quando a vazão no ponto de deságue é maior que a vazão na estação fluviométrica e nenhum afluente é representado na base georreferenciada, a regionalização pelo MCM é inviabilizada. Isso ocorreu em algumas das estações fluviométricas da sub-bacia 87, que não puderam ser regionalizadas por esse método.

A estação fluviométrica 87780000 ao ser regionalizada pelo MT apresentou um altíssimo valor do erro relativo devido ao valor Q_{90} observado ser bastante baixo ($0,032 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). Além disso, esta estação apresenta somente 5 anos de dados históricos, o que pode justificar a não proporcionalidade entre o valor da Q_{90} e a área de drenagem da mesma.

O erro relativo médio da regionalização pelo MT foi de -61,55% enquanto pelo MCM de -10,73%. Pode-se observar, no entanto, que enquanto 16 das 21 estações fluviométricas foram utilizadas na regionalização pelo MT, 13 estações puderam ser utilizadas pelo MCM, o que justifica parcialmente os erros envolvidos.

A Tabela 15 apresenta os resultados da sub-bacia 88. Segundo Tucci (2002), não é possível definir uma região sem considerar os limites da bacia hidrográfica, ou seja, a regionalização deve englobar toda a área da bacia. A sub-bacia 88 apresenta sua área de drenagem no Brasil e no Uruguai, entretanto as estações fluviométricas contidas no Uruguai não apresentam os dados consistidos, inviabilizando a sua utilização. Desta forma, apenas 6 estações que abrangem uma pequena área puderam ser utilizadas, regionalizando apenas uma porção da sub-bacia. A escassez de dados consistidos e a má distribuição espacial nesta sub-bacia é o maior limitante para a regionalização das vazões.

Como pode ser observado na Tabela 15, o maior erro relativo encontrado pelo MT foi para a menor vazão observada, na estação fluviométrica 88750000. O erro relativo médio por este método foi de -47,988%. Já pelo MCM, somente 3 estações, contidas no mesmo curso d'água, puderam ser regionalizadas, obtendo-se erro médio de -6,46%.

Tabela 15.: Erros relativos percentuais (ER) e valores da Q90 observados e estimados pelo Método Tradicional e Método da Conservação de Massas para sub-bacia 88.

Estação	Área de Drenagem (km ²)	Q ₉₀ Obs. (m ³ .s ⁻¹)	Método Tradicional		Mét. da Conservação de Massas	
			Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER (%)	Q ₉₀ Estim. (m ³ .s ⁻¹)	ER(%)
88550000	1744	3,050	3,087	-1,207	6,093	-9,304
88560001	508,5	3,190	3,158	0,989	6,134	-4,819
88575000	1793	1,546	1,281	17,142	-	-
88680000	124,13	8,000	8,034	-0,421	7,911	-5,257
88750000	5128,55	0,168	0,719	-328,053	-	-
88850000	351,14	1,376	1,051	23,625	-	-
Erro Relativo Médio (%)				-47,988		-6,460

As barragens presentes nas bacias hidrográficas podem influenciar nos valores das vazões observadas para cada estação fluviométrica. Segundo Tucci (1993), um dos efeitos sobre o regime de vazões naturais é o aumento das vazões mínimas e médias, ou seja, alteração na frequência e magnitude das vazões. Todas as sub-bacias estudadas apresentam barragens ao longo dos seus cursos d'água. Mesmo com esta constatação, o presente estudo considerou a utilização das séries históricas dessas regiões nas equações de regressão realizadas. Esta escolha foi feita devido à carência de estações fluviométricas apresentadas na área de estudo, sendo que caso fossem excluídas não haveria possibilidade de realizar a regionalização.

Para cada estação fluviométrica foram utilizados todos os anos disponíveis com menos de 10% de falhas na série histórica de dados, não sendo determinado um período homogêneo de tempo para todas. A utilização de diferentes períodos base, conforme disponibilidade, para cada estação pode acarretar na obtenção de vazões observadas a jusante com menores valores que as de montante, tornando o modelo com valores de R² mais distantes da unidade.

As variáveis explicativas utilizadas nos estudos de regionalização trazem influências nos resultados obtidos. A área de drenagem, utilizada neste estudo, foi obtida a partir do processamento do modelo digital de elevação com resolução espacial de 90 m, devido à área de estudo ser grande e as limitações para processar dados de maior qualidade. Para a obtenção dessa variável com maior precisão,

indica-se a utilização de imagens com resolução espacial de maior qualidade, principalmente para áreas planas, devido a diferença de elevação ser baixa.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os gráficos de dispersão da vazão observada e da vazão estimada para cada estação fluviométrica para as sub-bacias 85, 86, 87 e 88 respectivamente.

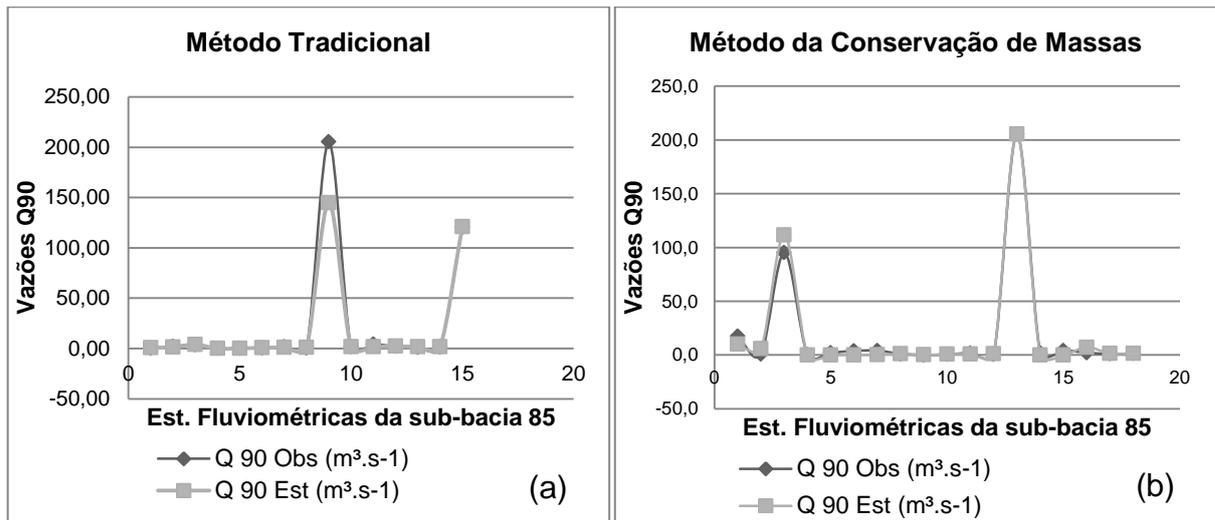


Figura 6: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 85.

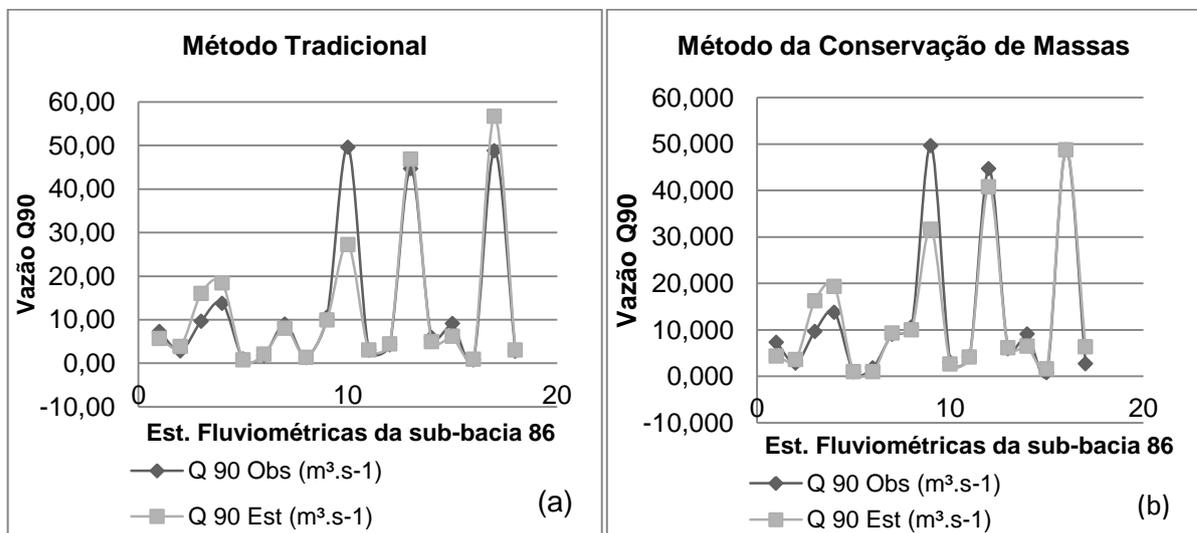


Figura 7.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 86.

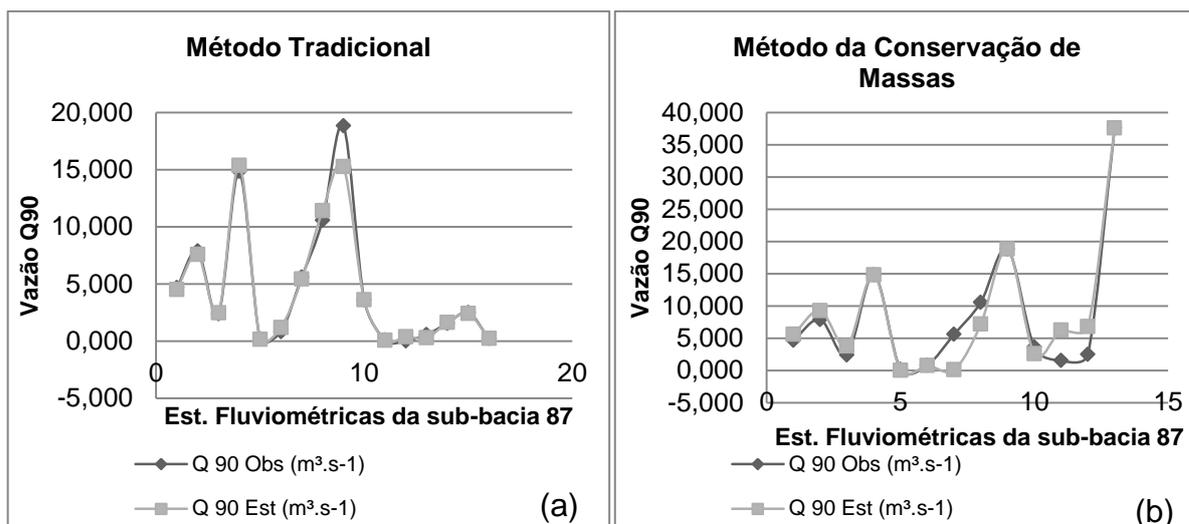


Figura 8.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 87.

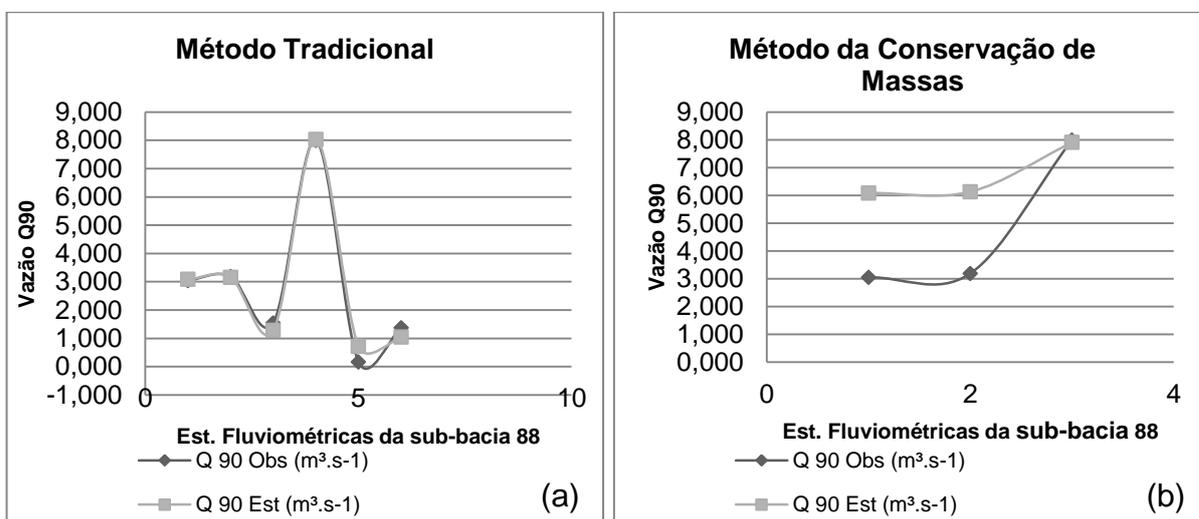


Figura 9.: Gráficos de dispersão das vazões observadas (Q_{obs}) e vazão estimada (Q_{est}) pelo (a) Método Tradicional e (b) Método da Conservação de Massas para a sub-bacia 88.

Embora os erros relativos encontrados para as estações fluviométricas apresentem valores altos, pode-se observar que o método Tradicional e o método da Conservação de Massas tendem a representar de forma fidedigna as vazões observadas, demonstrando que os modelos de regressão obtidos apresentam qualidade para representar esta bacia hidrográfica.

A Tabela 16 apresenta a Raiz do Erro Médio Quadrático (REM_Q) obtidos a partir da comparação entre a Q_{90} observada e estimada e os coeficientes de Nash e Sutcliffe (C_{NS}). Os valores do Coeficiente de Nash e Sutcliffe encontrados variaram de 0,77 a 0,99, ambos para o método da Conservação de Massas para as sub-

bacias 88 e 85 respectivamente. Todos os C_{NS} encontrados apresentam valores a cima de 0,65 e, segundo a classificação de Moriasi et al (2007), são considerados como muito bons para representação das vazões. Para a regionalização da Q_{90} de bacias hidrográficas de Minas Gerais pelo método Tradicional, Oliveira (2013) encontrou e C_{NS} de 0,78 a 0,99. Isso indica que os valores encontrados no presente estudo corroboram com outras pesquisas realizadas na área.

Tabela 16.: Comparação dos MT e MCM pelo Raiz do Erro Médio Quadrático e Coeficiente de Nash-Sutcliffe.

Sub-bacia	Método Tradicional		Método da Conservação de massas	
	REMQ	C_{NS}	REMQ	C_{NS}
85	15,73	0,92	4,94	0,99
86	5,99	0,86	5,11	0,90
87	0,94	0,97	2,60	0,93
88	0,28	0,99	5,98	0,77

O REMQ tem objetivo de mostrar a dimensão do erro da estimativa, sendo o valor nulo indicando uma previsão perfeita. Os REMQ apresentaram valores que variaram de 0,28 a 15,73 pelo método Tradicional, para as sub-bacias 88 e 85 respectivamente e 2,60 a 5,98 pelo método da Conservação de Massas para as sub-bacias 87 e 88.

Analisando os resultados apresentados, pode-se observar que não é possível concluir o melhor método para regionalizar as 4 sub-bacias hidrográficas estudadas. Para a sub-bacia 85, o Método da Conservação de Massas apresentou menor REMQ e maior coeficiente de Nash, 4,94 e 0,99 respectivamente, sendo considerado, conforme essas análises, o método mais adequado para a sub-bacia.

Para a sub-bacia 86, considerando que ambos C_{NS} são acima de 0,65, e a proximidade dos valores da REMQ, para definir o melhor método que representa esta sub-bacia considerou-se o menor erro relativo médio, apresentado na Tabela 13. Assim, o método Tradicional, com ER de -3,27%, foi considerado mais adequado que o método da Conservação de Massas, que apresentou ER de -11,71%, para

modelar a sub-bacia 86. As bacias 87 e 88, por apresentarem menores REMQ e maiores C_{NS} , também foram melhor representadas pelo Método Tradicional.

Chaves et al. (2002), ao comparar a metodologia proposta por eles para regionalização de vazões com o método Tradicional para a bacia do rio Itapicuru, na Bahia, encontraram erro relativo médio de 289,7% e Coeficiente de Nash e Sutcliffe de 0,725, demonstrando que os valores de ER relativamente altos e C_{NS} encontrados no presente estudo, apresentam resultados satisfatórios em comparação com a bibliografia.

Silva et al. (2009) ao comparar a regionalização de vazões de referência com diferentes metodologias para o rio São Francisco encontraram, para os maiores erros relativos, valores de C_{NS} mais próximos a unidade, demonstrando que estas formas de validação dos métodos não estão necessariamente correlacionadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escassez de estações fluviométricas trouxe como consequência muitas áreas indefinidas pelo método Tradicional e rios que não foram passíveis de serem aplicadas as equações de regressão pelo método da Conservação de Massas, certificando que a regionalização de vazões explora melhor as informações já existentes porém não substitui uma densa rede hidrometeorológica.

Os modelos de regressão encontrados pelo método Tradicional para as sete regiões hidrologicamente homogêneas obtiveram valores de coeficiente de determinação (R^2) que variaram de 0,87 a 0,99, e erro padrão fatorial (σF) de 0,05 a 0,91. Esses valores mostraram-se satisfatórios em comparação com outros trabalhos realizados na área, indicando que os modelos de representação apresentam boa qualidade.

Para o método da Conservação de Massas foi encontrado uma equação de regressão para cada rio que continha ao menos uma estação fluviométrica, sendo num total de 22 rios regionalizados, o modelo potencial, no geral, foi o que melhor representou as regressões. Os valores de R^2 variaram de 0,29 a 1.

Conforme afirma Cruz (2001), a obtenção de vazões de permanência como a Q_{90} utilizando o método da série completa de dados apresenta-se como mais conservador pois no ramo inferior da curva de permanência encontram-se os menores valores de toda a série histórica disponível, agrupando todas as ocorrências de estiagens em um mesmo conjunto, o que resulta na indicação de vazões menores. Indica-se, portanto, a continuação deste estudo comparando os resultados aqui obtidos com os resultados encontrados ao utilizar-se a curva de permanência anual para cada estação fluviométrica.

Os altos erros relativos encontrados para algumas estações fluviométricas podem ter sido influenciados pela presença de barragens nas bacias estudadas, pela não homogeneidade no período de tempo utilizado para determinação da Q_{90} em cada estação fluviométrica, pelos erros envolvidos na definição da variável independente, pelo período mínimo das séries de dados estabelecido para cada

estação fluviométrica, dentre outros, que devem ser rigorosamente cuidado nos estudos de regionalização de vazões.

Os modelos obtidos para as 4 sub-bacias apresentaram coeficiente de Nash e Sutcliffe maiores que 0,75, sendo considerados como muito bons por Moriasi et al. (2007). Os erros relativos médios variaram de -3,27 a -61,55% pelo MT, para as sub-bacias 86 e 87 respectivamente e, pelo MCM, de -6,46 a -21,054% para as sub-bacias 88 e 85 respectivamente. De uma maneira geral, não foi possível determinar um melhor método para regionalizar as quatro sub-bacias estudadas, sendo que cada uma apresenta um método mais apropriado.

Levando em consideração a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), o Coeficiente de Nash e Sutcliffe, e o Erro relativo médio, para a sub-bacias 85 concluiu-se que, dentre os métodos analisados, o método da Conservação de Massas apresentou-se mais adequado para modelar matematicamente a vazão Q_{90} regionalizada. Já para as sub-bacias 86, 87 e 88, o método Tradicional demonstrou melhores resultados para a regionalização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Inventário das Estações Fluviométricas**. Brasília. 2009 2ed.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos – diretrizes e propriedades**. Brasília: ANA, 2005. 153 p.

BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em Modelos Digitais de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 24, n.3, p.612-624, 2004

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil 1988**. Salvador: Empresa gráfica da Bahia. 292p.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em < <http://www2.planalto.gov.br/> >. Acesso em: abr. 2015

BRASIL. Lei no 9.984 de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Disponível em < <http://www2.planalto.gov.br/> >. Acesso em: abr. 2015

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul, v. 7, n. 3, p.43-51, jul./set. 2002

CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica. 2002**. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COMITE CAÍ – **1 Etapa do Plano de bacia do Rio Caí** – Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Maio, 2007

COMITE SINOS - Relatório Final RT4 Fase C – **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. Julho, 2014

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2001. Brasília, 17 dez. 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.27, n.4, p. 413 – 422, 2012

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

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

ELESBON, A. A. E.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. DA; OLIVEIRA, I. DE C. e. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. REM. **Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 281-288, 2011.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985. 2 v.

ELETROBRAS. **Diretrizes para projetos de implantação de pequenas centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, RJ: ELETROBRAS, 2000.

FELGUEIRAS, C. M. B. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2 ed. São José dos Campos – SP: INPE, 1998.

LISBOA, L.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Estimativa e Regionalização das vazões mínimas e média na bacia do rio Paracatu. Nota Técnica. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 16, n.4, 471-479. Out./Dez., 2008.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre. ABRH, 2001. 536 p.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direitos de usos consultivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de referências**. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Ed.rev. São Paulo, 2007. 187 p.

MMA. Caderno da região hidrográfica do Atlântico Sul. **Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos** – Brasília: MMA, 2006

MOREIRA, M. C.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D.D.; SILVA, J. M. A. Comparação dos valores da $Q_{7,10}$ estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões. **Revista Engenharia na Agricultura**. NOTA TÉCNICA. Viçosa, MG. v.18, n.6, nov/dez 2010

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise de Métodos para estimativa das vazões da boca do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n.2, abr/jun 2014, p. 313-324

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. V.; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v.50, p.885-900.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J.de A. **Hidrologia Estatística**. – Belo Horizonte: CPRM: 2007 552 p.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, vol. 10, p.282-290, 1970.

NOVAES, L. F de; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. G. Gestão de Recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa de vazões mínimas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.17, n.1, pag.62-74, jan/fev., 2009

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. G.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 12, n. 2, abr/jun, 2007, p. 51-61

NOVAES, L.F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, V. A. de. **Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2**. Dissertação (mestrado) Minas Gerais – Lavras. UFLA, 2013. 99p.

PINTO, J. A. de O. **Avaliação de métodos para a regionalização de curvas de permanência de vazões para a bacia do Rio das Velhas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 219 f. 2006

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. G.; SOUZA, J. F.; SILVA, B. M. B.; SARAIVA, I. S. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. **Revista Eng. Agrícola Jaboticabal**. v.31, n.1, p.67-77, jan/fev. 2011.

REIS, J. A. T. dos; CRISTO, J. N.; ELESBON, A. A. A.; MENDONÇA, A. S. F. Regionalização de curvas de permanência de vazão para rios do estado do Espírito Santo. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**. Vitória, n. 1, p.28-35, 2 sem. 2006

RIO GRANDE DO SUL. Decreto no 37.033, de 21 de novembro de 1996, Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos arts. 29, 30 e 31 da Lei n o 10.350, de 30 de dezembro de 1994. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, em 22 de novembro de 1996. Disponível em: < <http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/>> Acesso em: abr. 2015

SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul**. 2007.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 21-37, jan/mar, 2003.

SILVA, D. D. da; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referencia para bacia do Rio São Francisco. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa. v. 17, n.5, set/out 2009. p. 392-403

SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E. Outorga para uso de recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul, v. 3, n. 3, p.5-16, jul./set. 1998.

SOUSA, Heber Tormentino de. **SISTEMA COMPUTACIONAL PARA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES**. 99f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009.

_____. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 256p., 2002.

TUCCI, C. E. M.; CORDEIRO, O. M. Diretrizes estratégicas para ciência e tecnologia em recursos hídricos no Brasil. **Revista REGA**. v. 1, n. 1, p. 21-35, jan/jun. 2004.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O.M. **A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2015**. 2000

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow duration curves I: new interpretation and confidence intervals. **Water Resources Planning Management**, 120 (4), p. 485-504, 1994.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 9, n. 4, out/dez, 2014, p. 21-33