UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

PROCEDIMENTOS PARA APRIMORAR A REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO GRANDE

Fernanda Abreu Oliveira

Magister Scientiae

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2008

FERNANDA ABREU OLIVEIRA

PROCEDIMENTOS PARA APRIMORAR A REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO GRANDE

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

VIÇOSA

MINAS GERAIS – BRASIL

2008

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

FERNANDA ABREU OLIVEIRA

PROCEDIMENTOS PARA APRIMORAR A REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO GRANDE

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

APROVADA: 22 de abril de 2008.

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Co- orientador)

Prof[a]. Maria Lúcia Calijuri

Pesq. Lineu Neiva Rodrigues

Dr. Bolivar Antunes Matos

Prof. Fernando Falco Pruski
(Orientador)

Àqueles que tiveram a capacidade de tocar meu coração e de transformar meus sentimentos em ações

"Transforma-me conforme a Tua palavra

E enche-me até que em mim

se ache só a Ti, usa-me...

Como um farol que brilha à noite

Como ponte sobre as águas

Como abrigo no deserto

Como flecha que acerta o alvo..."

Letra de Aline Barros, Edson Feitosa e Ana Feitosa

DEDICO

AGRADEÇO

Á Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pelo investimento e oportunidade concedidos para a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãs pelo apoio incondicional.

A Leonardo de Oliveira Neves pelo amor, carinho, companheirismo e paciência.

Ao orientador Fernando Falco Pruski, pelo tempo dedicado, pelos ensinamentos e pelas experiências compartilhadas.

À amiga Renata Rodriguez pela atenção, pelos conselhos pessoais e profissionais e pelas conversas descontraídas.

Aos meus professores conselheiros que me guiaram para a busca de melhores resultados.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação profissional.

Ao Operador Nacional de Energia Elétrica, em especial ao doutor Rogério, pela concessão de dados relevantes para o trabalho.

À amiga Hewlley Imbuzeiro por sua alegria e energia que sempre me motivaram a seguir adiante.

Aos amigos de Brasília por sempre acreditarem no meu sucesso.

Aos amigos de Viçosa pelas festas e pela boa convivência.

BIOGRAFIA

Fernanda Abreu Oliveira, filha de Mauro Márcio Oliveira e Maria Nazaré Abreu Oliveira, nasceu em Brasília, Distrito Federal, em 10 de abril de 1981.

Em março de 1999, iniciou o curso de Agronomia na Universidade de Brasília (UnB), em Brasília, Distrito Federal, graduando-se em março de 2006.

Em maio de 2006, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de dissertação em abril de 2008.

ÍNDICE

RESUMO ..... **viii**

ABSTRACT ..... **x**

1. INTRODUÇÃO **1**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **3**

2.1. DISPONIBILIDADE HÍDRICA 3

2.2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS 5

2.3. A VARIÁVEL HIDROLÓGICA VAZÃO 6

2.4. REDE HIDROMETEOROLÓGICA BRASILEIRA 7

2.5. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES 10

2.5.1. Métodos de regionalização *11*

2.5.2. Variáveis explicativas utilizadas na regionalização de vazões *13*

2.5.3. Procedimentos para a avaliação e seleção dos modelos de regionalização de vazões *15*

2.5.4. Algumas dificuldades para a geração de equações de regionalização representativas *17*

2.6. O USO DO *BOX PLOT* NA IDENTIFICAÇÃO DE DADOS INCONSISTENTES 18

2.7. VAZÃO NATURAL 19

2.8. BACIA DO RIO GRANDE 21

2.8.1. Estudos de regionalização realizados para a bacia do Rio Grande *25*

3. MATERIAL E MÉTODOS **26**

3.1. CRITÉRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS INCONSISTENTES E OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO PARA A BACIA DO RIO GRANDE 26

3.1.1. Dados utilizados no estudo *26*

3.1.1.1. Vazões média, mínimas e máxima 27

3.1.1.2. Vazões naturais média, mínimas e máxima 31
3.1.1.3. Precipitação 31
3.1.2. Procedimento de aplicação do critério Box Plot ao estudo de regionalização de vazões 35
3.1.3. Regionalização de vazões 37
3.1.3.1. Regionalização de vazões para a bacia do Rio Grande, com exceção do Rio Grande e do Rio Pardo 37
3.1.3.1.1. Variáveis dependentes utilizadas no estudo 37
3.1.3.1.2. Variáveis independentes testadas no estudo 39
3.1.3.1.3. Critério de definição das regiões hidrologicamente homogêneas 42
3.1.3.1.4. Método tradicional 42
3.1.3.1.5. Ferramentas para a escolha do melhor ajuste na regionalização de vazões 43
3.1.3.1.6. Proposição de novos limites para a extrapolação das equações de regionalização 45
3.1.3.2. Regionalização de vazões para o Rio Grande e para o Rio Pardo 47
3.2. PROPOSTA PARA A ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DO EFEITO DE RESERVATÓRIOS EM ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES 47
3.2.1. Dados utilizados no estudo 47
3.2.2. Procedimentos para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões 48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
4.1. CRITÉRIO PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS COM DADOS INCONSISTENTES E OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO 55
4.1.1. Resultados para a bacia do Rio Grande, com exceção do Rio Grande e do Rio Pardo 55
4.1.1.1. Aplicação do *Box Plot* 55
4.1.1.1.1. Estudo da vazão média de longa duração e das vazões mínimas 55
4.1.1.1.2. Estudo da vazão máxima 62
4.1.1.2. Regionalização das vazões 65
4.1.1.2.1. Pré-seleção das variáveis independentes 65
4.1.1.2.2. Regionalização da vazão média de longa duração 66
4.1.1.2.3. Regionalização das vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95}; Q_{90}) 74
4.1.1.2.3.1. Regionalização da vazão mínima $Q_{7,10}$ 76
4.1.1.2.3.2. Regionalização das vazões mínimas Q_{95} e Q_{90} 83
4.1.1.2.4. Considerações sobre o uso do *Box Plot* no estudo de regionalização das vazões média e mínimas 91
4.1.1.2.5. Regionalização da vazão máxima (Q_{max}) 92
4.1.2. Resultados para o Rio Grande e o Rio Pardo 103
4.1.2.1. Aplicação do *Box Plot* 103
4.1.2.1.1. Estudo da vazão média de longa duração e das vazões mínimas 103
4.1.2.1.2. Estudo da vazão máxima 105
4.1.2.2. Regionalização das vazões naturais 106

4.1.2.2.1. Pré-seleção das variáveis independentes 106
4.1.2.2.2. Regionalização da vazão média de longa duração natural 106
4.1.2.2.3. Regionalização das vazões mínimas naturais ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) 110
4.1.2.2.4. Regionalização da vazão máxima natural 114
4.2. PROPOSTA PARA A ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DO EFEITO DE RESERVATÓRIOS EM ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES 116
4.2.1. Regionalização com base no índice do potencial de regularização (IPR) 116
4.2.1.1. Estações fluviométricas excluídas 116
4.2.1.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados 118
4.2.1.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões 119
4.2.1.3.1. Vazão média de longa duração 119
4.2.1.3.2. Vazão mínima 120
4.2.1.3.3. Vazão máxima 123
4.2.2. Regionalização com base no índice de contribuição (IC) 126
4.2.2.1. Estações fluviométricas excluídas 126
4.2.2.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados 128
4.2.2.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões 129
4.2.2.3.1. Vazão média de longa duração 129
4.2.2.3.2. Vazão mínima 130
4.2.2.3.3. Vazão máxima 132
4.2.3. Regionalização utilizando como critério a exclusão de todas as estações influenciadas por reservatórios 133
4.2.3.1. Estações fluviométricas excluídas 133
4.2.3.2. Equações obtidas e efeito da alteração na base de dados 133
4.2.3.3. Análise da propagação do efeito de reservatório na regionalização de vazões 135
4.2.3.3.1. Vazão média de longa duração 135
4.2.3.3.2. Vazão mínima 136
4.2.3.3.3. Vazão máxima 138
4.2.4. Constatações a respeito dos resultados obtidos 139
5. CONCLUSÕES 142
6. BIBLIOGRAFIA 143
APÊNDICES 149
APÊNDICE A 150
APÊNDICE B 158
APÊNDICE C 160
APÊNDICE D 171

RESUMO

OLIVEIRA, Fernanda Abreu, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2008. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande.** Orientador: Fernando Falco Pruski. Co-orientadores: Paulo Roberto Cecon, Demetrius David da Silva e Márcio Mota Ramos.

A regionalização de vazão constitui um instrumento eficaz em estudos de planejamento e administração de recursos hídricos, possibilitando a obtenção de variáveis hidrológicas, como vazões máximas, mínimas e médias de longo período, de maneira simples e rápida. Esta técnica consegue minimizar a carência de informação hidrológica em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados. No entanto, alguns problemas como a inconsistência da base de dados primários e a presença de reservatórios na bacia hidrográfica podem interferir no ajuste das equações de regionalização de vazões. Com base neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos: sugerir um critério para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes; e propor procedimentos para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões, sendo feito um estudo de caso da bacia do Rio Grande. Foi sugerido o uso da técnica do *Box Plot* para identificar possíveis discrepâncias no conjunto de dados de entrada da regionalização de vazões. A partir dos resultados obtidos no *Box Plot*, foi realizada a regionalização das vazões média de longa duração (Q_{mld}), da vazão mínima com sete

dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), das vazões associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) e da vazão máxima com período de retorno de 100 anos (Q_{max}) para a bacia do Rio Grande, sendo que para os Rios Grande e Pardo foram utilizados dados de vazão natural. Foi analisado o uso das variáveis independentes: área de drenagem, precipitação média anual, precipitação máxima mensal, vazão equivalente e inércia hídrica. A seleção do melhor modelo de regionalização foi baseada nos resíduos relativos e no comportamento físico da vazão. A análise da propagação do efeito do reservatório foi realizada a partir da exclusão das estações fluviométricas influenciadas pelo efeito da regularização do estudo de regionalização de vazões. O grau de influência foi medido por dois índices: o índice do potencial de regularização e o índice de contribuição. O efeito dos reservatórios foi avaliado a partir da variação relativa entre as estimativas das vazões mínima (Q_{95}) e máxima, sendo que a Q_{mld} serviu como testemunha da análise. Com base nos resultados obtidos constatou-se que: a) a aplicação da técnica estatística do *Box Plot* apresentou um bom potencial para a melhoria dos estudos de regionalização de vazões média e mínimas; no entanto, no estudo da vazão máxima ela apresentou restrições; b) o uso da variável vazão equivalente ou da área de drenagem produziu os melhores ajustes estatísticos, porém o uso da área de drenagem teve tendência a superestimar as vazões em relação ao uso da vazão equivalente; c) no estudo das vazões naturais, o uso da área de drenagem produziu resultados mais consistentes; d) os procedimentos propostos para analisar o efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazão apresentaram resultados similares e mostraram que a consideração deste efeito na bacia do Rio Grande foi pouco expressiva nas estimativas das vazões mínimas e máximas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Fernanda Abreu, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2008. **Procedures to improve the hydrologic regionalization: study of Rio Grande's basin.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Co-advivers: Paulo Roberto Cecon, Demetrius David da Silva and Márcio Mota Ramos.

The hydrologic regionalization constitutes an efficient instrument to plan and manage the water resources, and it can be used to obtain the hydrological variables, as the maximum, minimum and medium discharges, in a simple and fast way. This technique can minimize the absence of hydrologic information in sites with low or no data availability. However, some problems related with the inconsistence of the data and the presence of dams in the hydrographic network can interfere in the regionalization's equations adjustment. Considering this context, the objective of this work is to suggest a statistical criterion to identify the fluviometric stations with inconsistent data; and to propose procedures to analyze the spreading of the reservoir's effect in the hydrologic regionalization studies, conducing a specific study to the Rio Grande's basin. It was suggested to use the *Box Plot* technique to identify the presence of discrepancies in the regionalization dataset. Thus, adopting the results found in the *Box Plot* graphic, it was conduced the regionalization of the medium discharge of long term (Q_{mld}), the minimum discharge with a return period

of ten years ($Q_{7,10}$), the discharges associated with the permanence of 90% (Q_{90}) and 95% (Q_{95}) and the maximum discharge with a return period of 100 years (Q_{max}) to the Rio Grande's basin. In the case of the Grande and Pardo's rivers the regionalization utilized data of natural discharges. It was analyzed the use of the following independents variables: drainage area, annual total rain, equivalent rain and hydric inertia. The selection of the best regionalization model was based in the relative residues and in the physic behavior of the discharge. The analysis of the spreading of the reservoir's effect started with the exclusion of the fluviometric stations influenced by the regularization's effect of the hydrologic regionalization study. The influence was measured by two indexes: the potential of regularization index and the contribution index. The relative variation between the estimatives of the minimum (Q_{95}) and the maximum discharge was used to evaluate the reservoir's effect, where the medium discharge was considered the control of this analysis. The results showed that: a) the application of the *Box Plot* presented a good potential to improve the hydrologic regionalization of the medium and minimum discharges, in otherwise, in the maximum discharge study the use of this technique presented some restrictions; b) the use of the variables equivalent rain or drainage area produced the best statistical adjustments, however the use of the drainage area tended to overestimate the discharges compared to the use of the equivalent rain; c) in the natural discharges study, the use of the drainage area generated more consistent results; d) the procedures proposed to analyze the reservoir's effect in regionalization studies presented similar results and the consideration of this effect in the Rio Grande's basin had low expressivity in the estimatives of the minimum and maximum discharges.

1. INTRODUÇÃO

Enquanto a promulgação do Código de Águas, em 1934, ocorreu num contexto sócio-econômico voltado basicamente à produção de riquezas do país, sendo fortemente influenciada pelo setor hidroenergético, a nova Política Nacional dos Recursos Hídricos foi instituída num contexto mais amplo, dando enfoque ao uso múltiplo da água e procurando agregar bases para a sustentabilidade deste recurso.

A gestão dos recursos hídricos é uma ferramenta importante para o desenvolvimento sustentável do Brasil, uma vez que a geração de energia elétrica está basicamente apoiada em obras hidráulicas e a produção de bens agrícolas e industriais atrelada, muitas vezes, ao direito de uso dos recursos hídricos (outorgas), mostrando que o conhecimento do comportamento hidrológico ao longo da hidrografia é peça fundamental no gerenciamento de bacias hidrográficas.

As séries históricas da variável hidrológica são obtidas nos postos fluviométricos instalados na hidrografia, no entanto, a área de abrangência destes postos é restrita ao seu local de instalação, produzindo lacunas na hidrografia sem informações hidrológicas. A utilização da regionalização de vazões pode suprir a carência de informações nos locais sem dados ou com dados insuficientes, estimando as variáveis hidrológicas a partir de equações de regressão regionais.

No entanto, existem alguns problemas afetos à regionalização de vazões que podem alterar o ajuste das equações, interferindo diretamente nos seus resultados. A

hidrologia é uma ciência cercada por inconsistência. A medida de vazão está suscetível a uma série de erros, sendo que o principal deles está relacionado à medição indireta da vazão realizada pela curva-chave. Além disso, foi notificada a ocorrência de erros relativos à delimitação da área de drenagem das estações fluviométricas, os quais ocorrem, principalmente porque as coordenadas geográficas das estações não coincidem com seu local de instalação, estando muitas vezes, localizadas fora da hidrografia.

A consideração de dados hidrológicos provenientes de estações fluviométricas a jusante de reservatórios de regularização pode comprometer a estimativa das vazões para o restante da hidrografia, produzindo equações não representativas. Portanto, a concentração de reservatórios nas bacias hidrográficas é também outro problema, o qual pode proporcionar distorções nas equações de regionalização devido ao efeito de regularização de vazões.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico recomenda o uso da vazão natural para o planejamento de rios com a presença de reservatórios de regularização, em virtude de permitir representar as condições naturais existentes nestas seções.

A bacia do Rio Grande possui uma quantidade considerável de reservatórios de regularização, responsáveis por 12,3% da produção nacional de energia elétrica. Além disso, é uma região com industrialização crescente, principalmente do setor agro-industrial, intenso crescimento dos centros urbanos e aumento gradativo do consumo de água, principalmente da irrigação.

Considera-se que a realização de uma regionalização de vazões consistente e adequada às condições da bacia em estudo fornecerá conhecimento a respeito das disponibilidades hídricas locais e auxiliará nos possíveis projetos de obras hidráulicas, produzindo resultados de grande utilidade para os órgãos político-administrativos, responsáveis pelo planejamento dos recursos hídricos e pelo desenvolvimento sustentável da bacia.

Tendo em vista a presente necessidade, o trabalho teve como objetivos: sugerir um critério para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes para, posteriormente, obter as equações de regionalização para a bacia do Rio Grande; e propor procedimentos para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica sofre fortes variações ao longo do tempo e espaço, sendo influenciada pelas condições climáticas e pelas interferências do homem na bacia hidrográfica, tanto em termos de uso do solo como dos recursos hídricos.

Atualmente existe uma grande preocupação acerca da disponibilidade hídrica mundial. Em relatório elaborado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura, no qual foi apresentada uma ampla análise da disponibilidade dos recursos hídricos no mundo, foi estimado que mais de 1 bilhão de habitantes não possuem água em quantidade suficiente para garantir suas necessidades básicas (UNESCO, 2003).

De acordo com os padrões internacionais, é constituída uma situação de escassez hídrica potencial quando se tem disponibilidades da ordem de 1000 a 2000 m^3 per capita/ano e uma situação de escassez real quando a disponibilidade é inferior a 1000 m^3 per capita/ano (RIBEIRO, 2001). Enquanto nos países do Oriente Médio e norte da África, a disponibilidade hídrica *per capita* é abaixo de 200 $m^3hab^{-1}ano^{-1}$, podendo ser praticamente nula, como no Kuwait, outros países apresentam taxas muito superiores ao padrão mínimo. Os nove países com maior disponibilidade de água doce concentram 60% do total mundial, sendo o Brasil o líder da lista (REBOUÇAS, 2002).

Apesar de privilegiado, o Brasil apresenta acentuada distorção na distribuição de água. Enquanto a região Norte tem 68,5% dos recursos hídricos, com 7% da população nacional, o Sudeste tem apenas 6% do total das águas para abastecer 42,6% da população total (EUCLYDES et al., 2005).

No caso do Nordeste brasileiro, o problema da disponibilidade de água está relacionado à irregularidade climática, que faz com que 97% da disponibilidade hídrica anual (676 bilhões de m^3) seja consumida pela evaporação, que em média, apresenta um valor potencial de 2000 mm anuais e pelo escoamento superficial (REBOUÇAS e MARINHO, 1972).

O Brasil tem sofrido pressões crescentes sobre seus recursos hídricos devido à urbanização, industrialização e expansão agrícola, especialmente a partir de 1950. A bacia do Paraná, que abriga quase um terço da população brasileira, possui a segunda pior disponibilidade hídrica do país, perdendo apenas para a bacia do Atlântico Leste (LIMA, 2001). De acordo com Rebouças (2002), o fator dominante na distribuição da demanda de água no mundo está relacionado ao nível de desenvolvimento alcançado pela população e a importância das atividades de irrigação.

Outro exemplo é a bacia do Paracatu que impulsionada economicamente por incentivos governamentais no setor agrícola teve um aumento de 11 vezes no consumo de água nos últimos 27 anos do século passado (RODRIGUEZ, 2004). Moreira (2006) constatou, em diversas seções dessa bacia, condições em que a vazão outorgada supera não apenas a máxima vazão permissível para outorga (30% da $Q_{7,10}$), mas a própria $Q_{7,10}$, indicando que o rio se encontra em uma condição em que, provavelmente, vai secar pelo menos uma vez a cada 10 anos.

Do ponto de vista urbano, Demanboro e Mariotoni, 2001 citados por Francisco (2004), analisaram o quadro da escassez dos recursos hídricos para as principais cidades do Brasil e constataram que São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Fortaleza e Brasília apresentaram as situações mais críticas quanto à disponibilidade hídrica per capita. Já as regiões metropolitanas de Salvador, Curitiba e Goiânia estão no limite dito ‘sustentável’.

2.2. Gestão de recursos hídricos

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), um critério de avaliação do gerenciamento dos recursos hídricos é a razão entre a vazão de retirada de água e a disponibilidade hídrica anual. Se essa razão for menor que 10% indica pequenos problemas de gerenciamento de recurso hídricos. Já uma faixa entre 10 a 20% indica que a disponibilidade hídrica está se tornando um fator limitante, e investimentos significativos serão necessários no futuro. Por fim, uma razão superior a 20% indica que o gerenciamento, tanto do suprimento como da demanda, será necessário (ONU citado por DEMANBORO et al., 1999).

No Brasil, a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei 9.433, de 1997) foi o reflexo da projeção de cenários preocupantes em relação à disponibilidade de água doce suficiente para abastecer as futuras gerações. Esta lei tem como princípios básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

Um dos instrumentos adotados pela PNRH para dar suporte à gestão dos recursos hídricos é a outorga, a qual é o elemento central do controle para o uso racional dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A vazão outorgada é condicionada a uma percentagem da vazão mínima de referência, a qual varia de acordo com o regime e a jurisdição do rio. A autoridade pública outorga o uso da água de tal modo que permita seu emprego produtivo bem como assegure ao gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso. No entanto, poucos avanços têm sido evidenciados no intuito de integrar os diversos fatores requeridos no processo de outorga e facilitar a ação dos órgãos gestores e comitês de bacias.

A adoção do sistema de classificação e codificação das bacias hidrográficas desenvolvido pelo engenheiro Otto Pfafstetter (técnica de ottocodificação) é uma nova e importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos no Brasil. A utilização dessa base em Sistema de Informações Geográficas ajuda os gestores na tomada de decisão em recursos hídricos, principalmente no que diz respeito à divisão de

unidades de gestão, que se baseia na divisão por bacias e a determinação de dominialidade de cursos de água.

A técnica de ottocodificação identifica as unidades de gestão e os cursos de água por números, definindo a posição relativa e o ordenamento de tais elementos de acordo com a topografia da área drenada e a topologia (conectividade e direção) da rede de drenagem.

Cada bacia e interbacia passam a ser uma ottobacia devidamente codificada e discretizada conforme o nível de detalhe para o trecho. Essa codificação foi também adaptada para os cursos de água. Após cada trecho de curso de água receber sua codificação, pode-se armazenar este código em um banco de dados relacional e, por meio de consultas, selecionar todas as bacias e interbacias a montante e a jusante de um trecho. A codificação de bacias de Otto Pfafstetter e a sua adaptação para codificação de cursos de água atuam como índices espaciais específicos para regras de negócio nos sistemas de informação de gestão de recursos hídricos. Os princípios da codificação de Otto Pfafstetter estão descritos em Teixeira et al. (2007).

2.3. A variável hidrológica vazão

A avaliação do volume de água que escoa por unidade de tempo em uma ou mais seções de uma bacia hidrográfica é a principal variável utilizada na gestão dos recursos hídricos e no planejamento, projeto e operação de quaisquer obras hidráulicas.

Os dados brutos de vazão são coletados em estações fluviométricas espalhadas nas regiões hidrográficas. Eles são obtidos por meio de instrumentos (régua linimétrica e/ou linígrafos) que medem as variações do nível da água, ao longo do tempo, na seção de controle. As leituras em réguas linimétricas são realizadas uma ou duas vezes por dia em horas fixas; já os linígrafos fazem registros contínuos e são mais indicados para cursos de água que possuem variações rápidas nos níveis de água. A série de altura de água é transformada em série de vazão por meio do uso da curva-chave daquela seção.

O estabelecimento de uma boa rede hidrológica e a sua manutenção ininterrupta são peças fundamentais na condução de estudos hidrológicos, já que a

precisão das estimativas das variáveis hidrológicas depende da disponibilidade de dados primários confiáveis.

A vazão pode ser estudada em termos de sua probabilidade de ocorrência e de períodos de retorno devido à sua variação natural no decurso do tempo, sendo distinguida em vazões ditas máximas, médias e mínimas.

A vazão máxima é entendida como sendo um valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. Ela é utilizada no controle e na atenuação das cheias numa determinada área e no dimensionamento de obras hidráulicas. A estimativa dessa vazão tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia.

A vazão média de longa duração é a máxima vazão possível de ser regularizada, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração, sendo que ela permite quantificar a disponibilidade de água na bacia e o volume de regularização.

A vazão mínima, caracterizada pela magnitude, duração e freqüência, é utilizada na avaliação da disponibilidade hídrica, na elaboração de projetos de irrigação e de energia elétrica e concessão de uso da água para uma dada finalidade (PRUSKI et al., 2006). As vazões mínimas utilizadas para concessão de outorgas são: $Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}. A $Q_{7,10}$ é o menor valor da vazão média de 7 dias consecutivos em um período de retorno de 10 anos. A Q_{95} e a Q_{90} são os menores valores de vazão que ocorrem em 95% ou 90% do tempo, respectivamente.

Muitos estudos utilizam a vazão específica, que é a relação entre a vazão e a área de drenagem da estação fluviométrica em questão, e que constitui um importante índice comparativo entre bacias.

2.4. Rede hidrometeorológica brasileira

A rede hidrometeorológica brasileira é, atualmente, controlada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e é composta por estações de monitoramento de dados climatológicos, fluviométricos, de qualidade da água e de sedimentos.

Originalmente, essa rede foi implantada para atender aos interesses do setor elétrico, porém com o surgimento de conflitos, observou-se que havia uma carência de dados para subsidiar o gerenciamento dos usos da água. Dessa maneira, as

autoridades públicas sentiram a necessidade de investir na ampliação da rede hidrometeorológica brasileira (COSTA et al., 2003).

Atualmente, a rede pluviométrica e fluviométrica brasileira, cadastrada no banco de dados Hidroweb/ANA (2007), é composta por 8.102 estações pluviométricas e 5.283 estações fluviométricas. A região Sudeste possui a maior densidade de estações fluviométricas do Brasil, com uma estação a cada 484 km^2. Em contraste, a região Norte apresenta uma estação a cada 8.557 km^2.

A recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para a instalação de redes fluviométricas e pluviométricas está apresentada nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Como visto, a densidade varia conforme o relevo, a rede de drenagem e a precipitação da área (COSTA et al.,2003). Em termos de extensão da série histórica, a OMM recomenda a utilização de no mínimo 30 anos.

De acordo com LIMA (2001), a cobertura da rede hidrométrica mundial ainda não é adequada, principalmente em países em desenvolvimento. Condições de baixa densidade e má distribuição espacial das estações podem limitar a análise do comportamento hidrológico.

As bacias brasileiras costumam ter problemas com a disponibilidade temporal e espacial das informações hidrológicas. No caso da bacia do Rio Grande, muitas estações fluviométricas não estão mais em operação ou possuem série histórica interrompida; sendo que as estações efetivas estão concentradas, principalmente, na cabeceira da bacia, enquanto que no trecho médio da bacia até a foz do Rio Grande, há pouca ou nenhuma disponibilidade de dados.

Mesmo que haja uma alta densidade de estações, uma rede hidrológica não é capaz de cobrir todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, de forma que sempre existem lacunas temporais e espaciais que necessitam ser preenchidas com base em metodologias que busquem uma melhor estimativa dos dados de vazão em seções que não possuem medições (TUCCI, 2002). A regionalização hidrológica é uma técnica que tem apresentado resultados satisfatórios e surge para suprir a deficiência de dados hidrológicos em cursos de água.

Tabela 1. Densidade de estações fluviométricas recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1984)

Tipo de Região	Densidade de estações em condições normais de operação (estação/km^2)	Densidade de estações em condições difíceis de operação (estação/km^2)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	1.000 – 2.500	3.000 – 10.000
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	300 – 1.000	1.000 – 10.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa	140 – 300	-
Zona árida e polar	10.000 – 20.000	-

Tabela 2. Densidade de estações pluviométricas recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1984)

Tipo de Região	Densidade de estações em condições normais de operação (estação/km^2)	Densidade de estações em condições difíceis de operação (estação/km^2)
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	600 – 900	900 – 3.000
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais	100 – 250	250 – 2.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrográfica muito densa	25	-
Zona árida e polar	1.500 – 10.000	-

A Tabela 3 apresenta as densidades de estações pluviométricas e fluviométricas adotadas em diferentes estudos de regionalização de vazões realizados no Brasil.

Tabela 3. Densidade de estações pluviométricas e fluviométricas de alguns estudos de regionalização de vazões realizados no Brasil

Bacia	Fonte	Número de estações		Densidade (estação/km^2)	
		Pluvio	Fluvio	Pluvio	Fluvio
Rio do Carmo	Barbosa et al. (2005)	28	25	81,39	91,16
Ilha Grande	Francisco (2004)	24	6	25,71	102,83
Rio Araranguá	SDM/SDA (1997)	-	6	-	503,33
Rio Branco	Silva et al. (2001)	-	11	-	745,00
Lagoa Mirim	Pedrollo e Ferreira (2003)	-	23	-	1170,87
Rio Grande	Euclydes et al. (2005)	-	59	-	1440,68
Rio Doce	Ribeiro et al. (2005)	56	57	1489,29	1463,16
Paraíba do Sul	Catalunha (2004)	37	29	1332,78	1700,44
Alto São Francisco	Lemos (2006)	37	28	1351,35	1785,71
Rio Grande	Silva et al. (2003)	136	89	1183,82	1808,99
Paraíba do Sul	Baena (2002)	37	30	1540,54	1900,00
Alto Rio Grande	Silva et al. (2006)	-	7	-	2142,86
Rio Paracatu	Moreira (2006)	30	21	1520,00	2171,43
Rio Paracatu	Novaes (2005)	30	21	1520,00	2171,43
Paranaíba	Euclydes et al. (2003)	43	24	1534,88	2750,00
Rio Salitre	ANA/GEF/PNUMA/OEA (2003)	42	4	320,67	3367,00
Paranã	Azevedo (2004)	29	12	2068,97	5000,00
Ceará	Andrade et al. (2004)	-	16	-	5465,94

2.5. Regionalização de vazões

Fill (1987) define regionalização hidrológica como um processo de transferência de informações hidrológicas de uma seção com dados obtidos de uma estação fluviométrica para outras seções sem a presença de estação fluviométrica e, por conseguinte, sem dados hidrológicos.

A regionalização permite ajustar um modelo de regressão entre os dados de vazão obtidos nas estações fluviométricas e as características físicas e climáticas da

bacia, sendo o modelo gerado utilizado para prever a vazão em locais sem dados hidrológicos. A seleção de um número representativo de estações fluviométricas e de séries históricas não muito curtas e com poucas falhas é de grande importância para a obtenção de resultados mais fidedignos.

A regionalização é uma ferramenta de grande importância na previsão probabilística de riscos de enchentes e da disponibilidade hídrica de longo termo para usos como a geração hidráulica de energia ou irrigação (TUCCI, 2002). Ela é um instrumento eficaz em estudos de planejamento e administração de recursos hídricos, possibilitando a obtenção de variáveis hidrológicas, como vazões máximas, mínimas e médias de longo período, de maneira simples e rápida, de acordo com a agilidade que a administração dos recursos hídricos requer para suas decisões.

2.5.1. Métodos de regionalização

Diversos métodos têm sido testados e utilizados em inúmeros estudos hidrológicos realizados no Brasil. Azevedo (2004) comparou as metodologias da interpolação linear, tradicional e a proposta por Chaves et al. (2002) na bacia do rio Paranã, situada nos Estados do Tocantins e do Goiás, concluindo que a melhor metodologia para a regionalização de vazões mínimas para a bacia estudada foi a tradicional, com erro relativo médio de 13,6%, seguida pelas metodologias da interpolação linear e Chaves et al. (2002), com erros relativos médios de 55,2 e 59,6%, respectivamente.

Marques (2006) adotou o método tradicional para regionalizar as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) da bacia do Rio Doce. Baena (2002) também utilizou o método tradicional, regionalizando as vazões máxima, mínima e média de longo período para a bacia do Rio Paraíba do Sul, a montante da cidade de Volta Redonda.

Agra et al. (2003) compararam metodologias de regionalização para a bacia do Rio Carreiro (Rio Grande do Sul) e constataram que a interpolação linear apresentou a melhor correlação e o menor desvio padrão quando comparada com os dados observados, seguida pelo método tradicional.

Pinto e Alves (2003) utilizaram a metodologia de regionalização *Index Flood*, baseada no uso dos momentos-L e na utilização das estatísticas definidas por

Hosking e Wallis (1997), para estimar as vazões médias de longo termo, máximas e mínimas com diferentes durações para a bacia do alto São Francisco. Araújo e Tavares (2003) trabalharam com a mesma metodologia de regionalização para a bacia do Rio Paraíba do Sul.

Novaes (2005) tentou modificar os métodos de Chaves et al. (2002) e da interpolação linear inserindo a variável precipitação na sua análise. O autor considerou a vazão na seção de interesse proporcional aos volumes precipitados; no entanto, seu trabalho mostrou que não houve diferenças expressivas no desempenho quando da modificação desses métodos.

De maneira geral, o método tradicional é um dos mais empregados em estudos de regionalização de vazões no Brasil. No entanto, uma das deficiências deste método é a descontinuidade de vazões encontrada na transição de uma região homogênea para outra, onde ocorre uma mudança de equações ao longo do curso de água e, até mesmo, dentro de uma mesma região, quando a equação ajustada não for linear.

Rodriguez (2008) evidenciou que a maior descontinuidade encontrada na bacia do Rio São Francisco foi entre regiões homogêneas e mostrou que as descontinuidades dentro de uma mesma região são maiores nas cabeceiras de rios e nas situações em que a diferença entre as áreas de drenagem (ou vazão equivalente) dos trechos afluentes da confluência é pequena.

Visando superar os entraves da descontinuidade de vazões, Pereira (2004) propôs e Novaes (2005) aperfeiçoou um método de regionalização fundamentado na idéia de que a vazão obtida por uma equação de regressão que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio principal da bacia é mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada. Segundo Novaes, regionaliza-se, em primeiro lugar, a vazão do rio principal para posteriormente ajustar a vazão nos afluentes. No estudo realizado para a bacia do Paracatu, Novaes (2005) analisou as vazões médias e mínimas, evidenciando que estas vazões apresentaram continuidade ao longo de toda a bacia, ao contrário do que foi evidenciado quando da aplicação de outros métodos de regionalização de vazões. Essa metodologia foi denominada de conservação de massa ou continuidade de vazões. Por ter sido proposto recentemente, o método de conservação de massa

possui poucos resultados disponíveis na literatura que validem sua aplicação na regionalização de vazões.

2.5.2. Variáveis explicativas utilizadas na regionalização de vazões

As variáveis explicativas empregadas nos modelos de regressão são as características físicas e climáticas da bacia hidrográfica. Elas são determinadas para a área de drenagem a montante de cada uma das estações fluviométricas existentes na bacia.

Normalmente são utilizadas como características físicas: a área de drenagem, o comprimento do curso de água principal, a declividade e a densidade de drenagem. Por questões práticas, devem ser adotadas as variáveis facilmente mensuráveis e que melhor expliquem o comportamento da vazão.

A área de drenagem é considerada a principal variável explicativa em diversos estudos de regionalização de vazões, em função da sua influência na disponibilidade de água ao longo da hidrografia (AZEVEDO, 2004; BAENA, 2002; EUCLYDES et al., 2005; LEMOS, 2006; RIBEIRO et al., 2005). Pilgrim, 1983, citado por CATALUNHA (2004), salienta que a área de drenagem possui boa correlação com as outras características da bacia.

Silva et al. (2003) aplicaram o método tradicional para a regionalização das vazões médias, máximas e mínimas e da curva de permanência na bacia do Rio Grande, evidenciando que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das vazões.

Tucci (2002) afirma que a área de drenagem usualmente embute as informações referentes ao comprimento do rio. Baena (2002) estudou o efeito de escalas cartográficas na determinação de características físicas da bacia do Paraíba do Sul e constatou que a densidade de drenagem é uma variável que acarreta grandes incertezas na estimativa das vazões, motivo pelo qual recomenda que o uso desta variável em modelos de regionalização de vazões seja evitado.

Outras características físicas das bacias também podem ser utilizadas para serem correlacionadas com as variáveis hidrológicas. Deve-se considerar a representatividade das características dos processos que se deseja estudar, bem como

o fato da característica ser de fácil medição a partir dos mapas, já que em caso contrário dificultará o uso futuro dos resultados da regionalização.

Com relação às características climáticas, a precipitação é a principal variável utilizada. A precipitação máxima diária anual, por exemplo, é bastante utilizada como variável explicativa do comportamento das vazões máximas. Já a precipitação total anual é utilizada na regionalização tanto da vazão mínima quanto das vazões médias de longo período.

Em estudo de regionalização de vazões da bacia do rio Paraíba do Sul, Baena (2002) constatou que a precipitação total anual foi a variável climática que melhor explicou o comportamento da vazão mínima. Silva et al. (2002a) encontraram que a precipitação total anual foi a variável climática mais expressiva para a representação das vazões mínimas, média de longo período e das vazões correspondentes aos diferentes níveis de permanência.

Tucci (2002), Euclydes et al. (1998) e Silva et al. (2003) constataram que, para as bacias por eles estudadas, a inserção da variável precipitação não resultou melhora significativa nos modelos de regressão, uma vez que as variáveis físicas explicaram melhor o comportamento das vazões máxima, mínimas e médias.

Segundo Tucci (2004), o modelo mais eficiente é aquele que permite estimar com pequeno erro os valores de vazão e que inclui o menor número possível de variáveis independentes para reduzir o custo e o tempo de obtenção desses valores no processo de predição.

A Tabela 4 apresenta uma compilação das variáveis físicas e climáticas utilizadas em alguns estudos de regionalização realizados no Brasil. Ela mostra que a área de drenagem e a precipitação anual média são as características mais comumente utilizadas.

Tabela 4. Características físicas e climáticas utilizadas em alguns estudos de regionalização

Fonte	Bacia	Características físicas e climáticas utilizadas		
		Vazão máxima	Vazão média	Vazão Mínima
Eletrobrás (1985)	Alto Paraguai	AD P_{ch} -	AD P -	AD P Dd
Euclydes et al. (1994)	Verde Grande, Pardo e Jequitaí	AD -	AD -	Dd C
Silva et al. (2002a)	Paraguaçu	AD C	AD C	AD P
Baena (2002)	Paraíba do Sul	AD C I	AD C P	AD P -
Silva et al. (2006)	Alto Rio Grande	- -	- -	AD P
Azevedo (2004)	Paranã	- -	- -	AD P
Andrade et al. (2004)	Ceará	-	AD	-
Lemos, 2006	Alto São Francisco	- - -	- - -	AD P_{seco} Dd
Catalunha, 2004	Paraíba do Sul	- - -	- - -	AD P I
Silva et al. (2003)	Rio Grande	AD	AD	AD
Euclydes et al. (2005)	Rio Grande	AD	AD	AD
Liazi et al. (1988)	Estado de São Paulo	-	P	P
Marques (2006)	Rio Doce	-	-	AD

AD = área de drenagem; P = precipitação anual; P_{ch} = precipitação do semestre mais chuvoso; P_{seco} = precipitação do semestre mais seco; Dd = densidade de drenagem; C = comprimento do rio principal; I = declividade do rio principal

2.5.3. Procedimentos para a avaliação e seleção dos modelos de regionalização de vazões

A avaliação do modelo hidrológico tem como função verificar a sua representatividade frente às condições da bacia em estudo. Vários modelos de regressão podem ser aplicados ao conjunto de dados e o melhor pode ser selecionado utilizando como base os seguintes parâmetros: maior coeficiente de determinação,

significância do coeficiente de regressão (β_1), menor quantidade de variáveis independentes e menores valores de erros relativos (resíduo). Silva et al. (2006), em seu estudo de regionalização, selecionaram o melhor modelo matemático a partir da dispersão dos valores em torno da reta 1:1 e também dos parâmetros enumerados acima.

Novaes (2005) adotou como parâmetro de avaliação a continuidade de vazões. Ele verificou que o método de conservação de massas para o ajuste das vazões médias e mínimas ao longo da rede hidrográfica da bacia do Paracatu garantiu a continuidade destas vazões ao longo de toda a rede hidrográfica, ao contrário do que foi evidenciado quando da aplicação dos demais métodos de regionalização de vazões.

Rodriguez (2008) utilizou, respectivamente, o coeficiente de escoamento e a vazão específica como parâmetros para analisar a regionalização das vazões médias e das mínimas para a bacia do São Francisco. O coeficiente de escoamento é a quantidade de água precipitada que se transforma em vazão e, portanto, deve variar entre 0 e 1. A vazão específica é a razão entre a vazão e a área de drenagem da estação. A vantagem desses parâmetros é que se baseiam em processos físicos e não em estatísticas.

Azevedo (2004), em seu estudo sobre metodologias de regionalização de vazões, utilizou o erro relativo (equação 1), como forma de avaliar e comparar a precisão das metodologias.

$$ER = 100\left|\left[\frac{\left(Q_{est} - Q_{reg}\right)}{Q_{est}}\right]\right| \qquad (1)$$

em que

ER = erro relativo, %;

Q_{est} = vazão observada na estação fluviométrica, m^3/s; e

Q_{reg} = vazão estimada com base na metodologia de regionalização, m^3/s.

Lemos (2006) utilizou os parâmetros erro relativo e coeficiente de Nash Sutcliffe para comparar seus resultados com os de Euclydes et al. (2005), para a bacia do Alto do São Francisco. Ele elegeu como melhor metodologia de

regionalização para a bacia em estudo aquela que apresentou o menor valor de erro relativo e o maior valor de coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, que varia entre 0 e 1.

2.5.4. Algumas dificuldades para a geração de equações de regionalização representativas

A geração de equações de regionalização que representem a condição hidrológica da bacia depende primeiramente da obtenção de dados primários confiáveis, no entanto, em alguns casos, ocorre o que se chama de erro de observação, o qual é advindo de medições imperfeitas do dado primário observado, o qual acaba por se diferenciar do valor verdadeiro.

Os erros de observação classificam-se em três categorias: erros grosseiros, erros sistemáticos e erros fortuitos, sendo que os erros grosseiros resultam de erro humano e são em geral maiores que a precisão do aparelho e não obedecem a um padrão preestabelecido. Na manipulação dos dados observados também podem ocorrer alterações involuntárias do valor observado, sendo estas denominadas de erro de transcrição (PEREIRA et al., 2003).

Dessa forma, uma análise de consistência é de grande importância para a eliminação de valores oriundos de inconsistências, evitando a propagação de erros na regionalização e permitindo a obtenção de equações mais representativas do comportamento hidrológico da bacia em estudo.

A presença de reservatórios de regularização de vazões pode também interferir no ajuste das equações de regionalização, pois estes tendem a alterar expressivamente o regime hidrológico do rio. Portanto, a consideração de estações fluviométricas a jusante das seções dos reservatórios em estudos de regionalização pode vir a propagar o efeito dos reservatórios para rios que não estejam influenciados pelo efeito da regularização.

Outro fato de importância é a delimitação incorreta das áreas de drenagem das estações fluviométricas. Atualmente, com a utilização das técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) tem se conseguido grandes avanços nessas delimitações, no entanto, em alguns casos, as coordenadas geográficas das estações

não coincidem com seu local de instalação, estando muitas vezes fora da hidrografia, gerando valores de áreas de drenagem não representativos.

2.6. O uso do *Box Plot* na identificação de dados inconsistentes

O *Box Plot*, também chamado de *Box and Whisker Plot*, é um recurso da estatística descritiva que identifica *outliers* em uma distribuição de dados. Barnett e Lewis (1995) definiram *outlier* como uma observação que parece ser inconsistente com o conjunto de dados remanescentes. A técnica foi desenvolvida, em 1977, pelo doutor John Tukey, um químico graduado na Universidade de Princeton, que se tornou um estatístico interessado em questões práticas voltadas à análise exploratória de dados.

Convencionalmente, são calculados cinco valores a partir do conjunto de dados observados: o primeiro quartil, a mediana, o terceiro quartil e os extremos. Com isso gera-se um gráfico em formato de caixa, no qual os limites são o primeiro e o terceiro quartis. A caixa é dividida por uma linha, que representa a mediana e existem dois eixos, chamados de bigodes, que estão ligados à caixa e representam os valores máximo e mínimo do conjunto de dados aceitáveis pelo *Box Plot*, configurando o intervalo em que os dados observados não são considerados discrepantes (*outliers*). Velleman e Hoaglin, citado por FRIGGE et al. (1989) apresentam mais detalhes sobre a construção desses gráficos.

De acordo com Cunha et al. (2002), o *Box Plot* é uma excelente ferramenta, pois permite visualizar a locação, a dispersão, a simetria, os limites dos dados normais e os *outliers*, independentemente da forma da distribuição de um conjunto de dados.

Esta técnica tem sido utilizada com considerável sucesso em diversos tipos de pesquisas. Na área da saúde, Paolielo et al. (1997) identificou valores de referência para plumbemia em população urbana, utilizando como apoio a técnica do *Box Plot* para identificar discrepâncias nos valores de chumbo em amostras de sangue coletadas em 206 indivíduos. Na área social, Pagliarussi et al. (2005) avaliaram a influência do plano plurianual da prefeitura de Vitória nos indicadores de execução, utilizando o *Box Plot* para identificar os indicadores *outliers*.

Na área florestal, Cunha et al. (2002) aplicaram a técnica do *Box Plot* na análise e determinação do crescimento de espécies florestais na Amazônia. Já na área da computação, Frota et al. (2005) procuraram detectar e visualizar *outliers* por meio do *Box Plot*, o qual foi considerado uma importante ferramenta para avaliar redes neurais em tarefas de detecção de novidades (diagnóstico de falhas em máquinas elétricas, processamento de imagens, aprendizado de trajetória de robôs móveis, segurança em redes de computadores e monitoramento de falhas em sistemas de telecomunicação).

Partindo do pressuposto que a hidrologia é uma ciência cercada por incertezas, a técnica do *Box Plot* pode identificar estações fluviométricas que contenham informações hidrológicas discrepantes em relação ao conjunto de dados da bacia em que elas se encontram.

2.7. Vazão natural

A vazão natural representa a condição da bacia hidrográfica sem a interferência humana sobre seus recursos hídricos, já que a mesma afeta os cursos de água e modifica o regime hídrico dos cursos de água.

As principais ações antrópicas que influenciam as condições de escoamento natural de uma bacia hidrográfica são: desmatamentos, captações para usos consuntivos, implantação e operação de reservatórios e transposições de vazões (ONS, 2003b).

Os desmatamentos afetam tanto o comportamento das cheias, tornando seus picos mais altos e agudos, como a disponibilidade hídrica natural, prejudicando a recarga dos lençóis freáticos, principalmente quando a redução na cobertura vegetal é acompanhada pela impermeabilização das superfícies.

Os usos consuntivos (irrigação, criação animal e abastecimentos urbano, rural e industrial) representam o conjunto de atividades em que o uso da água provoca uma diminuição dos recursos hídricos disponíveis. O conhecimento das vazões consumidas pelos diversos usuários da água é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite quantificar a disponibilidade dos recursos hídricos no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso se encontra ou pode vir a se tornar escasso. Mais do que a

simples análise do comportamento hidrológico, o inventário das disponibilidades de água deve prever uma quantificação dinâmica e precisa do quanto, onde, quando e como utilizar os recursos hídricos.

As captações de uso consuntivo vêm sendo implantadas de forma gradativa, com impacto crescente nos regimes fluviais. Geralmente, por não se dispor de cadastros completos e atualizados, ficam incorporadas às séries de vazão observadas, sem distinção de sua origem e caracterização de sua evolução. Esse fato pode trazer duas conseqüências indesejáveis:

(a) As séries de vazões deixam de ser estacionárias, ou seja, as leis probabilísticas que governam o processo se alteram com o tempo, pelo efeito de evolução dos usos consuntivos, e comprometem a utilização de ferramentas usuais de planejamento;

(b) O planejamento da expansão e da operação do sistema de geração fica privado de considerar, de forma explícita, a evolução dos usos consuntivos e seus reflexos sobre a produção energética dos aproveitamentos existentes ou programados. Esse comportamento é considerado no planejamento do sistema de produção de energia, com o objetivo de otimizar a utilização desses recursos na geração de energia elétrica.

A implantação e operação de reservatórios e as transposições de vazões são as ações antrópicas mais facilmente identificadas. A regularização de vazões, realizada pelos reservatórios de acumulação, modifica a distribuição espacial e temporal das vazões naturais. A vazão a jusante de um reservatório, normalmente, não é mais aquela que ocorreria caso a bacia contribuinte permanecesse em suas condições naturais.

Esses reservatórios acumulam água nos períodos de maior disponibilidade e liberam o volume acumulado em períodos de menor disponibilidade hídrica, de forma a suavizar o hidrograma, reduzindo a vazão de pico sem alterar o volume total do hidrograma. Um dos principais objetivos é garantir uma capacidade de geração, ao longo de um período, necessária para atender à demanda de energia do sistema ao qual a usina está conectada.

Além da operação de acumulação e liberação de água, os reservatórios de acumulação apresentam outras possíveis alterações no regime natural, como as alterações na quantidade de água evaporada em função da implantação do reservatório. A área do reservatório, que anteriormente apresentava perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas, passa a apresentar uma evaporação de superfície líquida que, dependendo do tamanho do reservatório, das condições climáticas regionais e da cobertura vegetal original, pode representar uma perda significativa (ONS, 2003b).

O setor elétrico tem adotado o termo vazão natural para identificar a vazão que ocorreria em uma seção do rio se não houvesse as ações antrópicas na sua bacia contribuinte (ONS, 2003b). Ela pode ser obtida por meio de um processo de reconstituição que considera a vazão observada no local e as informações relativas ao consumo das ações antrópicas na bacia e ao efeito de regularização dos reservatórios. A estimativa da vazão natural deve ser igual ou superior à da vazão observada em qualquer situação, já que ela resulta de uma adição onde nenhum dos seus fatores pode adquirir valor negativo.

As vazões naturais são utilizadas para gerar modelos de previsão de vazões e controle de cheias, desempenhando funções de planejamento e programação da operação dos aproveitamentos hidrelétricos do Sistema Interligado Nacional (SIN). O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) considera fundamental a reconstituição das vazões naturais para resgatar as características de magnitude e variabilidade das séries históricas.

2.8. Bacia do Rio Grande

A bacia do Rio Grande se localiza na bacia do Paraná e está dividida entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais. Ela pode ser dividida em três regiões fisiográficas: alto, médio e baixo Rio Grande (SILVA et al., 2003) e caracteriza-se por um período chuvoso de seis a sete meses (outubro a março/abril), com uma concentração de mais de 80% das chuvas no verão. Os meses de setembro e maio são considerados de transição.

Na região do alto Rio Grande o relevo é marcado por escarpas e reversos planaltos da Serra da Mantiqueira, com altitudes variando entre 800 e 2700 m. Na

região do médio Rio Grande o relevo é constituído por planícies interioranas fluviais e/ou fluvilacustres e por patamares da bacia do Paraná que ocorrem na porção ocidental. Na região do baixo Rio Grande o relevo é constituído por planalto central e por planícies interioranas fluviais e/ou fluvilacustres. Nas duas últimas regiões da bacia as altitudes oscilam entre 200 e 750 m, alcançando 1600 m em alguns locais.

Na Figura 1 é apresentado mapa da declividade da bacia do Rio Grande, em que a declividade média da bacia é de 2,3% e os locais de maior declividade estão na cabeceira da bacia (alto Grande), próximos à nascente do Rio Grande, e alguns na faixa central. A máxima declividade encontrada é de 25%, um local no município de Baependi, sudoeste de Minas Gerais.

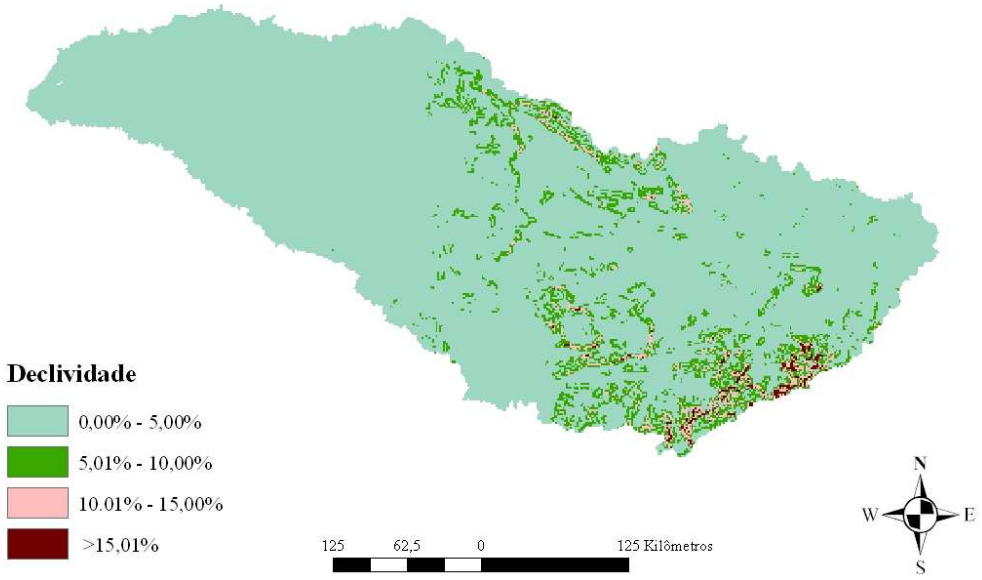


Figura 1. Mapa de declividade da bacia do Rio Grande.

O relevo exerce forte influência na distribuição das chuvas. Na região fisiográfica do alto do Rio Grande, próximo à cabeceira da bacia, são registrados os maiores índices pluviométricos e também as maiores variações. Isto ocorre devido ao efeito orográfico provocado pela Serra da Mantiqueira, localizada ao longo da divisa entre os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. O restante da bacia apresenta um relevo de baixas altitudes e com pequenas variações e as chuvas, por

conseqüência, também se distribuem com poucas modificações, alcançando precipitações médias anuais entre 1.300 e 1.700 mm.

A bacia do Rio Grande possui 7.728.951 habitantes distribuídos em 443 municípios. A região apresenta industrialização crescente, com destaque para a agroindústria de alta tecnologia.

As atividades agrícolas são mais intensas no médio e no baixo Rio Grande, sendo que a bacia possui um grande potencial para irrigação. De acordo com o estudo dos usos consuntivos da água na bacia do Rio Grande, realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2003a), a irrigação ocupa o posto de maior consumidora de água na região, variando entre 72% e 33%, dependendo do local, e com média de 53% de todo o consumo de água. Em seguida vêm os usos: dessedentação animal, abastecimento urbano, indústrias e, por último, abastecimento rural.

A bacia do Rio Grande responde hoje por 12,3% da produção de energia elétrica nacional. O potencial hidroenergético da bacia do Rio Grande começou a ser explorado na década de 50 do século passado, visando contornar um possível colapso energético no país. Itutinga foi a primeira grande usina implantada (1955) e Funil a última (2002). Atualmente, existem 15 grandes usinas hidrelétricas e ainda 12 pequenas centrais elétricas, sendo que os principais reservatórios estão distribuídos ao longo do Rio Grande e do Rio Pardo, com potências variando de 32 a 1.488 MW e vazões de regularização entre 30 e 1.366,6 $m^3 s^{-1}$.

Furnas é a usina com maior volume útil (17.217 hm^3), seguida pelas usinas de Marimbondo (5.260 hm^3) e Água Vermelha (5.169 hm^3), as quais estão localizadas no Rio Grande.

Os reservatórios da bacia do Rio Grande se encontram em série. Dessa forma, o efeito da regularização da vazão é acumulativo e a última usina da série (Água vermelha) é beneficiada pela vazão regularizada de cada um dos outros reservatórios a montante, ou seja, um percentual da sua energia gerada deve-se a vazão que foi regularizada em cada um dos outros reservatórios.

Nessa bacia existem nove reservatórios a fio de água (Euclides da Cunha, Armando Salles de Oliveira, Itutinga, Funil, Luís C. Barreto de Carvalho, Jaguará, Igarapava, Volta Grande e Porto Colômbia) e seis reservatórios de acumulação

(Caconde, Camargos, Furnas, Mascarenhas de Moraes, Marimbondo e Água Vermelha). Os reservatórios a fio de água, que são caracterizados pela baixa capacidade de seu reservatório, costumam ser instalados em locais de alta velocidade e possuem efeito de regularização desprezível. Os reservatórios de acumulação possuem grandes volumes úteis, havendo a inundação de grandes porções de terra. Estes reservatórios regularizam a vazão dos rios sendo responsáveis por parte da energia que será utilizada futuramente em caso de necessidade, pois suas reservas são, em geral, suficientes para vários meses (ELETROBRÁS, 1997).

Na bacia do Rio Grande encontram-se centros urbanos com crescimento expressivo, os quais exercem forte pressão sobre a utilização dos recursos hídricos. De acordo com Hernandes et al. (2006), a bacia do Rio Turvo, localizada próxima à foz do Rio Grande, está prestes a entrar em situação crítica de uso de água, devido às condições de baixa disponibilidade hídrica, às altas taxas de evapotranspiração, ao déficit hídrico prolongado, aos irrigantes sem o requerimento de outorga e ao possível crescimento no número de solicitações para a irrigação.

O reservatório de Furnas também vem passando por conflitos do uso da água. Segundo Santos et al. (2003), o rebaixamento prolongado do nível de água em Furnas e o intenso crescimento das atividades econômicas ocasionaram redução da atividade agrícola em 40% e o assoreamento do reservatório.

Silva et al. (2006), utilizando como referência a vazão outorgável 30% $Q_{7,10}$, constataram que o Alto do Rio Grande já apresenta sérias limitações à expansão da área irrigada, sinalizando para os responsáveis da gestão dos recursos hídricos que há necessidade de uma avaliação criteriosa nos processos de concessão de outorga, já que a agricultura irrigada demanda parcelas consideráveis de água.

A superação desses tipos de adversidades pode ser alcançada com uma boa gestão dos recursos hídricos. É importante ter certa atenção com a concessão de outorgas na bacia do Rio Grande, pois ela está inserida entre dois estados (Minas Gerais e São Paulo), que adotam diferentes percentuais para a máxima vazão permissível de outorga. Em Minas Gerais, a concessão de vazões é de apenas 30% da $Q_{7,10}$; em São Paulo, este percentual sobe para 50%; enquanto que em termos federais, são concedidas vazões de até 70% da Q_{95}. A escolha da Q_{95} para representar a disponibilidade hídrica é considerada pela ANA (2004) como conservadora em

relação às vazões média e às vazões com permanências de 80% ou 90%, que representam maior disponibilidade de água. Por outro lado, a Q_{95} não é tão restritiva como a vazão $Q_{7,10}$, utilizada em vários processos de outorga. A fim de amenizar os problemas associados à concessão de outorgas, seria de grande importância a unificação do índice de referência para fins de caracterização da vazão mínima, bem como do percentual desta vazão permissível para a outorga.

2.8.1. Estudos de regionalização realizados para a bacia do Rio Grande

Um trabalho referencial de regionalização de vazões para a bacia do Rio Grande foi o financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2002a). Nesse estudo, foi utilizado o método das curvas adimensionais para a regionalização das vazões e foi constatado que a área de drenagem foi a variável que possibilitou o melhor ajuste na estimativa das vazões máximas, médias, mínimas e curva de permanência. Foram identificadas algumas dificuldades no estudo, como: baixa densidade de estações fluviométricas na parte baixa do Rio Grande, definição de um período-base comum para toda a área de drenagem da bacia, consideração do efeito de regularização dos diversos reservatórios presentes na bacia e minimização das descontinuidades evidenciadas nas vazões estimadas entre duas regiões homogêneas.

Euclydes et al. (2005) realizaram a regionalização de vazões para parte mineira da bacia do Rio Grande. Os autores aplicaram o método tradicional, formulando modelos que permitem estimar a partir de área de drenagem as vazões máximas, médias, mínimas e as curvas de permanência e regularização. No entanto, o estudo foi limitado à porção mineira da bacia, o que representa 60% da sua extensão.

Estes dois trabalhos utilizaram como parâmetro de seleção do modelo de regionalização, a análise estatística, tendo como principal norteador os erros relativos calculados.

Liazi et al. (1988) aplicaram a técnica das curvas adimensionais para regionalizar as vazões da bacia do Rio Grande no Estado de São Paulo, representando 40% de toda a bacia. Eles utilizaram como variável explicativa a precipitação média anual para estimar as vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}) e a vazão média de longa duração.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Critério para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes e obtenção das equações de regionalização para a bacia do Rio Grande

3.1.1. Dados utilizados no estudo

O estudo foi realizado para a bacia do Rio Grande, a qual está inserida entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais (Figura 2). O Rio Grande drena uma área de, aproximadamente, 143.000 km^2, dos quais 85.000 km^2 se encontram em território mineiro e 58.000 km^2 em território paulista.

O período-base adotado no estudo de regionalização tanto para vazão como precipitação foi de 1968 a 2001, tendo este sido determinado utilizando o diagrama de barras das estações fluviométricas, escolhendo-se um período que abrangesse a menor quantidade de falhas nas séries históricas. No Apêndice A é apresentado o diagrama de barras das estações fluviométricas que apresentaram dados disponíveis no site da ANA.

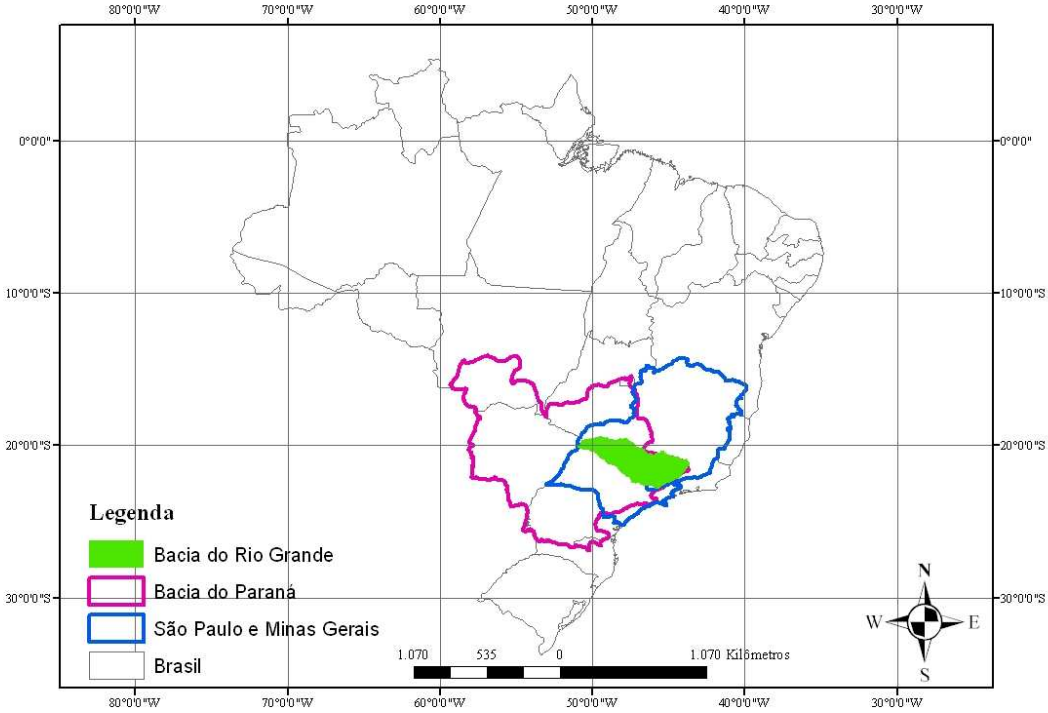


Figura 2. Localização da bacia do Rio Grande.

3.1.1.1. Vazões média, mínimas e máxima

Foram analisados, inicialmente, dados de 520 estações fluviométricas da bacia do Rio Grande disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA), tendo sido adquiridos em sete de março de 2007.

O número de estações fluviométricas presentes na bacia do Rio Grande (uma a cada 275 km^2) atende ao requisito mínimo estabelecido pela OMM (Tabela 1), porém como grande parte dessas estações está desativada e/ou com muitas falhas em suas séries históricas, foi necessário realizar uma seleção das estações.

Foram selecionadas para o estudo 74 estações fluviométricas (Tabela 5). A nova densidade verificada foi de uma estação a cada 1.932 km^2, estando ainda dentro do padrão recomendado pela OMM (1984) que é de uma estação a cada 1.000 a 2.500 km^2 para regiões planas. As ottobacias 8488 e 8489, próximas à cabeceira da bacia, apresentaram maior concentração de estações e as ottobacias 8481, 8482 e 8483, próximas à foz, não apresentaram estações fluviométricas disponíveis (Figura 3).

Tabela 5. Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Nome	Curso de água	Altitude (m)	Latitude (°)	Longitude (°)
61009000	Bom Jardim de Minas	Rio Grande	1075	-21,948	-44,196
61012000	Madre de Deus de Minas	Rio Grande	875	-21,492	-44,326
61012001	Madre de Deus de Minas	Rio Grande	-	-21,483	-44,333
61014000	Alagoa	Rio Aiuruoca	1036	-22,170	-44,637
61024000	Aiuruoca	Rio Aiuruoca	966	-21,977	-44,620
61031000	Carvalhos	Rio Francês	1087	-21,998	-44,464
61045000	Fazenda Paraíba	Rio Turvo Grande	940	-21,746	-44,355
61052000	Andrelândia	Rio Turvo Pequeno	897	-21,735	-44,313
61060000	Fazenda Laranjeiras	Rio Aiuruoca	905	-21,675	-44,341
61060001	Fazenda Laranjeiras	Rio Aiuruoca	-	-21,667	-44,350
61075000	Luminárias	Rio Ingaí	1050	-21,507	-44,916
61078000	Itumirim	Rio Capivari	807	-21,321	-44,873
61085000	Campolide	Rio das Mortes	997	-21,279	-43,820
61090000	Barroso	Rio das Mortes	900	-21,187	-43,980
61100000	Ibertioga	Rio Elvas	980	-21,427	-43,959
61105000	Porto das Elvas	Rio Elvas	880	-21,165	-44,136
61107000	Porto Tiradentes	Rio das Mortes	660	-21,123	-44,233
61115000	Usina São João del Rei	Rio Carandaí	842	-21,056	-44,209
61122000	Vila Rio das Mortes	Rio das Mortes Pequeno	870	-21,189	-44,329
61135000	Ibituruna	Rio das Mortes	799	-21,144	-44,739
61140000	Bom Sucesso	Rio Perapetinga	832	-21,034	-44,772
61145000	Macaia	Rio Grande	757	-21,144	-44,915
61173000	Usina Couro do Cervo	Rio do Cervo	813	-21,342	-45,171
61175000	Usina Nepomuceno	Rio do Cervo	728	-21,257	-45,168
61202000	Santana do Jacaré	Rio Jacaré	-	-20,903	-45,132
61250000	Fazenda da Guarda	Rio Sapucaí	1501	-22,689	-45,480
61267000	Delfim Moreira	Ribeirão do Taboão	1192	-22,510	-45,287
61271000	Itajubá	Rio Sapucaí	843	-22,443	-45,426
61280000	Bairro Santa Cruz	Rio Lourenço Velho	1083	-22,407	-45,215
61285000	São João de Itajubá	Rio Lourenço Velho	845	-22,375	-45,448
61295000	Brasópolis	Ribeirão Vargem Grande	846	-22,470	-45,622
61305000	Santa Rita do Sapucaí	Rio Sapucaí	814	-22,251	-45,709
61320000	São Bento do Sapucaí	Rio Sapucaí-Mirim	-	-22,686	-45,735
61343000	Bairro do Analdino	Rio Capivari	880	-22,565	-45,884
61350000	Conceição dos Ouros	Rio Sapucaí-Mirim	850	-22,414	-45,792
61360000	Cambuí	Rio Itaim	900	-22,607	-46,042
61370000	Ponte do Rodrigues	Rio Itaim	820	-22,354	-45,855
61410000	Careaçu	Rio Sapucaí	880	-22,054	-45,699
61425000	Paraguaçu (Ponte Baguari)	Rio Sapucaí	-	-21,582	-45,667
61429000	Itanhandu	Rio Verde	886	-22,294	-44,937
61460000	Conceição do Rio Verde	Rio Verde	843	-21,887	-45,079
61473000	Baependi	Rio Baependi	872	-21,952	-44,881

Continua...

Tabela 5. Continuação

Código	Nome	Curso de água	Altitude (m)	Latitude (°)	Longitude (°)
61500000	Fazenda Juca Casimiro	Rio Lambari	843	-21,870	-45,263
61510000	Três Corações	Rio Verde	832	-21,703	-45,248
61520000	Chácara Santana	Rio do Peixe	832	-21,678	-45,260
61530000	Palmela dos Coelhos	Rio Palmela	860	-21,788	-45,441
61537000	Porto dos Buenos	Rio Verde	781	-21,611	-45,489
61565000	Cachoeira Poço Fundo	Rio do Machado	820	-21,788	-46,122
61568000	Machado	Rio do Machado	795	-21,688	-45,905
61610000	Juréia	Rio Muzambo	859	-21,279	-46,361
61695000	Itaú de Minas	Rio São João	-	-20,739	-46,735
61700000	Usina Santana	Rio Santana	880	-20,810	-46,807
61770000	Fazenda Carvalhais	Ribeirão do Pinheirinho	873	-21,135	-47,013
61787500	Fazenda São Domingos	Rio Sapucaí Paulista	-	-20,203	-48,290
61794000	Uberaba	Rio Uberaba	-	-19,727	-47,979
61795000	Conceição das Alagoas	Rio Uberaba	436	-19,909	-48,391
61800500	Beira de Santa Rita	Rio Pardo	1048	-22,003	-46,306
61802502	Cachoeira do Carmo	Rio Pardo	-	-21,717	-46,450
61807002	Abaixo Cascata das Antas	Rio Lambari	909	-21,733	-46,600
61811000	Bom Jesus	Rio Bom Jesus	-	-21,533	-46,617
61815000	Guaxupé	Rio Guaxupé	828	-21,294	-46,704
61817004	São José do Rio Pardo	Rio Pardo	-	-21,583	-46,883
61818000	Fartura	Rio Fartura	-	-21,600	-46,900
61820000	Jusante Usina Limoeiro - ASJ	Rio Pardo	-	-21,633	-47,033
61826000	Ponte do Canoas	Rio Canoas	525	-21,420	-46,962
61830000	Fazenda Corredeira	Rio Pardo	-	-21,318	-47,477
61861000	Inconfidentes	Rio Mogi-Guaçu	875	-22,318	-46,322
61865000	Jacutinga	Rio Mogi-Guaçu	920	-22,270	-46,604
61879000	Lindóia	Rio do Peixe	610	-22,523	-46,646
61886000	Pádua Sales	Rio Mogi-Guaçu	569	-22,300	-47,134
61895000	São João da Boa Vista	Rio Jaguari-Mirim	633	-21,979	-46,806
61902000	Porto Ferreira	Rio Mogi-Guaçu	-	-21,845	-47,475
61912000	Ponte Guatapará	Rio Mogi-Guaçu	480	-21,502	-48,041
61925000	Ponte Joaquim Justino	Rio Pardo	-	-20,453	-48,451

Visando dar suporte aos objetivos do SNIRH, especificamente no que se refere à modelagem e ao tratamento dos dados geoespaciais da rede hidrográfica que irão compor o banco de dados desse sistema, a ANA desenvolveu para todo o Brasil uma base hidrográfica ottocodificada na escala de 1:1.000.000 em formato *shape* e passou a utilizá-la como suporte à gestão em seus processos internos.

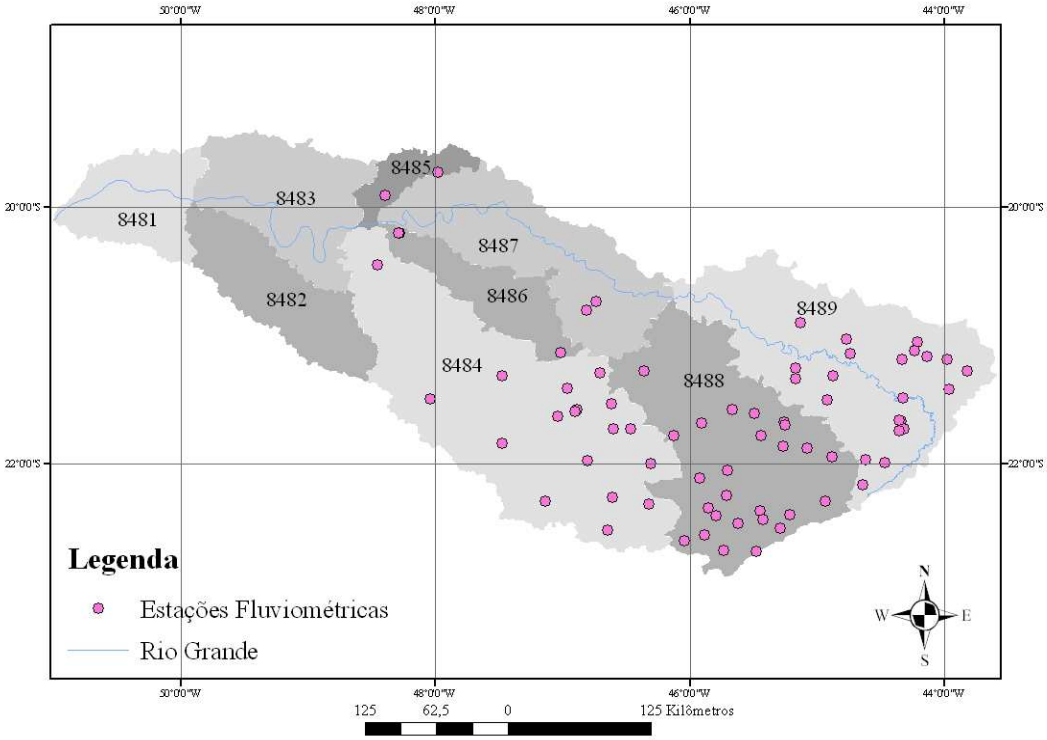


Figura 3. Localização das estações fluviométricas nas ottobacias da bacia do Rio Grande.

Esta base hidrográfica ottocodificada contém uma tabela de atributos com informações da chamada "Topologia Hídrica", definida pela ANA como um conjunto de informações agregadas e discretizadas por trecho de curso de água, ou seja, por segmento entre uma foz e sua confluência, ou por segmento entre confluências, ou por segmento entre uma confluência e sua nascente. Essas informações de topologia hídrica são importantes para os processos de gestão de recursos hídricos, podendo se destacar o código Otto Pfafstetter da ottobacia referente ao trecho; comprimento do trecho de curso de água; área da bacia a montante do trecho do curso de água de referência (incluindo a área de contribuição do próprio trecho); e nome do curso de água no trecho propriamente dito.

Devido às falhas nas séries históricas decidiu-se fazer o preenchimento mensal de falhas para o cálculo da vazão média de longa duração. O método utilizado foi a regressão linear simples.

A estação de apoio usada para fins de preenchimento foi escolhida pela sua proximidade ao posto com falhas e pela semelhança hidrológica, tendo nos

coeficientes de correlação a base para a tomada de decisão. Adotou-se como critério para o preenchimento de falhas um coeficiente de correlação mínimo de 0,84 (ou coeficiente de determinação igual a 0,70) e a existência de pelos menos oito pares de eventos entre as estações para a realização da regressão.

Apenas duas estações não tiveram falhas em suas séries históricas: 61012000 e 61500000 e seis estações fluviométricas não se encaixaram no critério mínimo do coeficiente de correlação (61267000; 61320000; 61360000; 61565000; 61787500; 61794000). O método e as equações utilizados no preenchimento de falhas estão disponíveis no Apêndice A.

3.1.1.2. Vazões naturais média, mínimas e máxima

Foram utilizados dados diários de vazão natural das seções que representam os doze principiais reservatórios da bacia do Rio Grande (Figura 4) e que foram obtidos no estudo realizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) – Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2003b). Os dados são referentes aos reservatórios com maior capacidade de geração de energia e que estão localizados no Rio Grande e no Rio Pardo. Os reservatórios Igarapava e Funil-Grande não foram inseridos no estudo, pois apresentaram séries históricas muito curtas, inferiores a cinco anos (Tabela 6).

Embora o período-base utilizado tenha sido 1968 a 2001, para algumas seções o período de análise foi alterado devido à indisponibilidade de dados ou à data de início de operação. Não foi necessário realizar o preenchimento de falhas para as vazões naturais, pois as séries históricas estavam completas.

3.1.1.3. Precipitação

Foram analisados dados de 917 estações pluviométricas obtidos no Hidroweb/ANA, em dez de abril de 2007. A densidade de estações pluviométricas da bacia do Rio Grande (uma a cada 156 km^2) atende ao requisito mínimo estabelecido pela OMM (Tabela 2). No entanto, muitas destas estações estão fora de operação ou apresentavam grande número de falhas em sua série histórica.

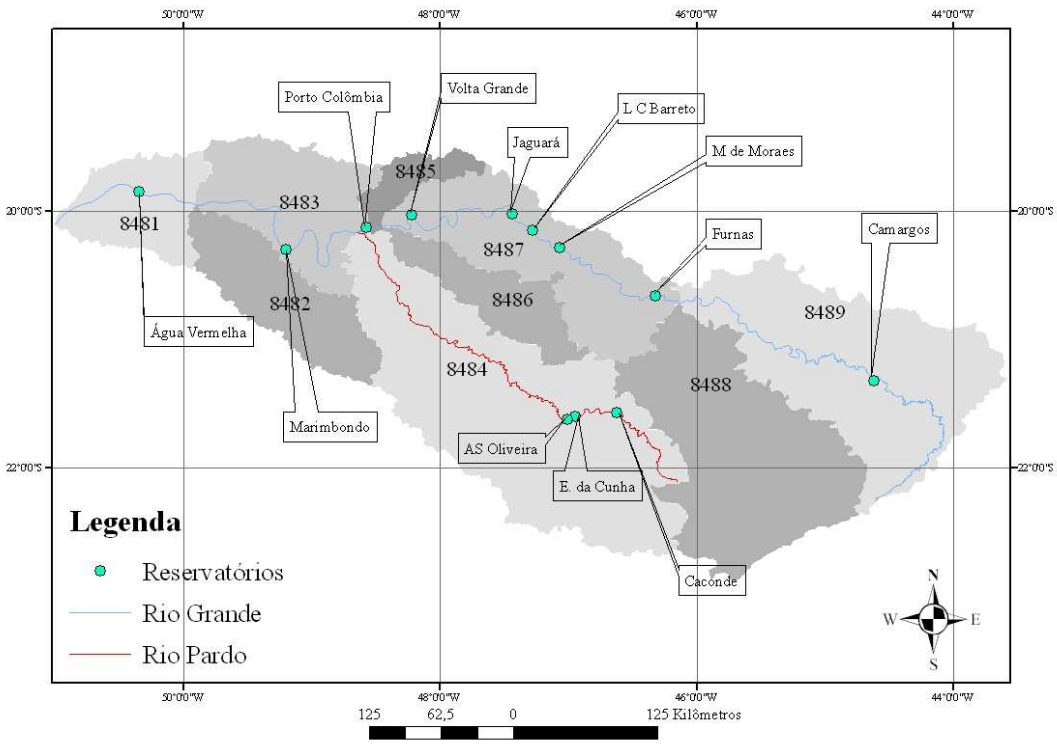


Figura 4. Localização das seções correspondentes aos reservatórios considerados no estudo.

Tabela 6. Informações a respeito dos reservatórios da bacia do Rio Grande

Rio	Nome	AD (km²)	Início de operação	Série diária	Potência (MW)
Grande	Camargos	6.279	1960	1976-2001	46
	Furnas	52.138	1963	1968-2201	1.312
	Mascarenhas de Moraes (Peixoto)	59.730	1958	1968-2001	478
	Luiz Carlos de Barreto Carvalho (Estreito)	61.252	1969	1969-2001	1.104
	Jaguará	61.871	1971	1976-2001	424
	Volta Grande	67.691	1974	1976-2001	380
	Porto Colômbia	77.427	1973	1974-2001	328
	Marimbondo	118.515	1975	1976-2001	1.488
	Água Vermelha	139.437	1978	1979-2001	1.396
Pardo	Caconde	2.588	1966	1968-2001	80
	Euclides da Cunha	4.392	1960	1968-2001	109
	Armando Salles de Oliveira (Limoeiro)	4.471	1958	1968-2001	32

Dessa forma, após a seleção dos dados, o estudo da precipitação pode contar com 70 estações pluviométricas, o que conferiu uma densidade de uma estação a cada 2.043 km^2, a qual não se enquadra no padrão recomendado pela OMM (1984), que é de uma estação a cada 600 – 900 km^2.

Foram consideradas também 20 estações localizadas fora da área de abrangência da bacia do Rio Grande visando aumentar a precisão na estimativa da precipitação na área de drenagem das diferentes estações fluviométricas usadas no estudo. Foram selecionadas estações próximas à fronteira da bacia do Rio Grande e que tiveram o menor número de falhas em séries históricas. Foram utilizadas estações das bacias do Paraná (6), do Atlântico Sul – trecho Leste (5) e do São Francisco (4). A espacialização das estações pluviométricas pode ser vista na Figura 5, enquanto que suas especificações podem ser encontradas no Apêndice A.

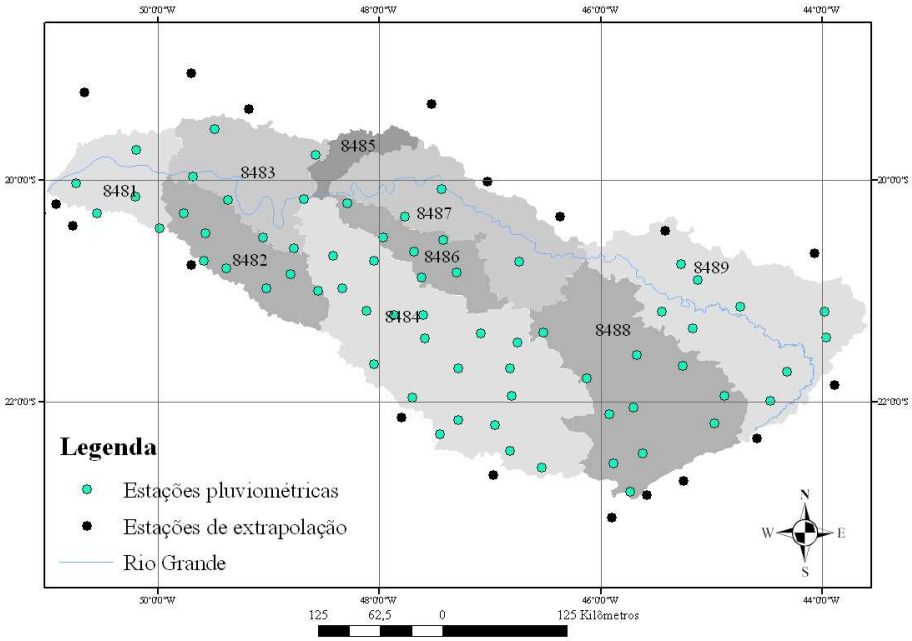


Figura 5. Localização das estações pluviométricas nas ottobacias da bacia do Rio Grande.

Devido à presença de falhas nas séries históricas pluviométricas, foi necessário realizar o preenchimento de falhas utilizando o método da ponderação regional com base em regressões lineares, que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com falhas (Y) e os postos vizinhos com dados (Z_1, Z_2, ... , Z_n).

Para a aplicação do método foi adotado como critério mínimo a obtenção de um coeficiente de correlação superior a 0,84 e a existência de pelos menos oito pares de eventos entre as estações para a realização da regressão. Nos casos em que a estação em análise apresentou boa correlação com apenas uma estação de apoio, foi utilizado o método da regressão linear simples.

Quando não foi atingido o coeficiente de correlação mínimo (r = 0,84) para o preenchimento, se procedeu ao cálculo da precipitação aceitando até 30% de falhas no conjunto de dados de uma estação, ou seja, uma exclusão de até 10 anos de uma série histórica com 34 anos. Para aquelas estações que excederam a quantidade de falhas determinada, decidiu-se por sua eliminação.

Precipitação média anual (P)

A precipitação média anual teve um preenchimento anual dos dados. Foram eliminadas do estudo da precipitação anual média três estações pluviométricas localizadas na bacia do Rio Grande (02045026, 02145042 e 02147031) e duas estações no seu contorno (01950011 e 02245043) por apresentarem mais de 30% de falhas em sua série anual.

Dessa forma, o estudo da precipitação média anual contou com 67 estações pluviométricas e mais 18 estações vizinhas para extrapolação de dados. O método e as equações utilizados no preenchimento de falhas estão disponíveis no Apêndice A.

Precipitação máxima mensal (P_{max})

A precipitação máxima mensal teve um preechimento mensal dos dados. Seguindo os critérios estabelecidos, foi eliminada uma estação pluviométrica da bacia do Rio Grande (02145042) e também uma estação pluviométrica no seu entorno (01950011). Dessa forma, o estudo da precipitação máxima mensal contou com 69 estações pluviométricas e mais 19 estações no contorno da bacia. O método e as equações utilizados no preenchimento de falhas estão disponíveis no Apêndice A.

3.1.2. Procedimento de aplicação do critério *Box Plot* ao estudo de regionalização de vazões

O *Box Plot* é uma técnica estatística que utiliza a mediana e a amplitude interquartílica para analisar a dispersão dos dados. A identificação dos valores discrepantes do conjunto de dados é feita por meio do cálculo dos limites inferior (LS_{inf}) e superior (LS_{sup}) especificados nas equações 2 e 3. Aqueles dados que se localizam fora do intervalo definido por esses limites, são chamados de *outliers* (MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

$$LS_{inf} = Q_1 - 1{,}5\ (Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

$$LS_{sup} = Q_3 + 1{,}5\ (Q_3 - Q_1) \quad (3)$$

em que

LS_{inf}	=	limite inferior do *Box Plot* para identificação de *outliers* suaves;
LS_{sup}	=	limite superior do *Box Plot* para identificação de *outliers* suaves;
Q_1	=	quartil 1;
Q_3	=	quartil 3; e
1,5	=	valor obtido por meio da comparação com uma distribuição normal.

Nos casos em que o dado apresenta uma discrepância ainda mais ressaltada, lhe é dado o nome de *outlier* extremo, sendo este identificado pelos seguintes limites:

$$LE_{inf} = Q_1 - 3{,}0\ (Q_3 - Q_1) \quad (4)$$

$$LE_{sup} = Q_3 + 3{,}0\ (Q_3 - Q_1) \quad (5)$$

em que

LE_{inf}	=	limite inferior do *Box Plot* para identificação de *outliers* extremos;
LE_{sup}	=	limite superior do *Box Plot* para identificação de *outliers* extremos; e
3,0	=	valor obtido por meio da comparação com uma distribuição normal.

A aplicação dessa técnica requer uma interpretação minuciosa dos resultados, pois os *outliers* podem indicar características importantes acerca de um modelo. Para

Draper e Smith (1981), a rejeição automática de *outliers* não é um procedimento correto e as regras propostas para rejeição de *outliers* devem incluir a reanálise sem essas observações, que, dependendo das circunstâncias, podem ser portadoras de informações vitais da amostra de dados.

O uso do *Box Plot* é proposto como ferramenta de refinamento dos dados de entrada para a regionalização de vazões, buscando identificar dados inconsistentes em relação ao comportamento hidrológico da bacia.

O motivo propulsor de sua utilização é o fato da hidrologia ser uma ciência que usa dados altamente suscetíveis a erros, como, por exemplo, os erros advindos da medida indireta da vazão ou erros relacionados à delimitação da área de drenagem das estações fluviométricas. Dessa forma, recorreu-se a essa técnica para verificar a possível presença de discrepâncias (*outliers*) nos dados de entrada da regionalização (variáveis dependentes e independentes), com vistas a eliminar comportamentos hidrológicos oriundos de erros.

A identificação de informações hidrológicas inconsistentes permite a exclusão de tais dados do estudo de regionalização de vazões, favorecendo a representação das condições reais da bacia hidrográfica por meio de melhores ajustes das equações de regressão. Por isso, a aplicação do *Box Plot* pode ser uma importante ferramenta para o aprimoramento da regionalização de vazões.

Para tanto, foram escolhidos como parâmetros dessa análise o coeficiente de escoamento e a vazão específica, os quais são indicadores do comportamento físico das vazões. A importância de observação desses parâmetros é que eles possuem uma faixa mais estreita de variação que o próprio dado de vazão, permitindo uma análise mais compreensiva do comportamento hidrológico da bacia.

O coeficiente de escoamento serviu de parâmetro para a análise da vazão média de longa duração, enquanto que as vazões específicas foram utilizadas para as vazões: mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}) e máxima. Foram calculados os valores dos indicadores para as 74 estações fluviométricas selecionadas para o estudo de regionalização e neles aplicado o *Box Plot*, para posterior análise dos resultados.

Com a aplicação do *Box Plot* estabeleceu-se os valores limites dos parâmetros de análise, criando um intervalo válido para que os dados fossem classificados como

aceitáveis. Quando um valor ficou fora desse intervalo ele foi classificado como *outlier* ou *outlier* extremo.

A vazão média e as vazões mínimas foram analisadas em conjunto, procurando-se adotar um procedimento padrão, o qual consistiu em tentar eliminar as mesmas estações destas vazões. Já a vazão máxima, por estar influenciada por processos físicos diferente das demais, foi analisada separadamente.

3.1.3. Regionalização de vazões

Após a aplicação do critério sugerido e a exclusão das estações que constituíram *outliers* foi realizada a regionalização de vazões para a bacia do Rio Grande pelo método tradicional, buscando-se adotar o melhor ajuste em relação aos dados calculados para as estações fluviométricas.

3.1.3.1. Regionalização de vazões para a bacia do Rio Grande, com exceção do Rio Grande e do Rio Pardo

Esta regionalização foi feita excluindo os Rios Grande e Pardo, por estes apresentarem um regime hídrico modificado devido à presença de reservatórios de regularização. A regionalização para esses rios foi feita com dados de vazão natural e é descrita no item 3.1.3.2.

3.1.3.1.1. Variáveis dependentes utilizadas no estudo

As variáveis dependentes utilizadas para a regionalização de vazões na bacia do Rio Grande foram a vazão média anual de longa duração (Q_{mld}), as vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95}; Q_{90}) e a vazão máxima com período de retorno de 100 anos (Q_{max}).

A determinação das variáveis dependentes foi feita pelo programa Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH), o qual constitui em um software desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do SNIRH, a qual é composta pelas seguintes instituições: Universidade Federal de Viçosa (instituição coordenadora), Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de

Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas e supervisionada pela ANA. O programa SisCAH está disponível para download no site http://www.ufv.br/dea/gprh/softwares.

O procedimento utilizado para a determinação das vazões associadas às permanências de 90% e 95% foi a obtenção de classes de freqüência, sendo que a freqüência de cada classe foi associada ao limite inferior de cada intervalo. A vazão mínima Q_7 e a vazão máxima diária anual foram ajustadas a uma função de densidade de probabilidade visando a obtenção da $Q_{7,10}$ e da vazão máxima associada ao período de retorno de 100 anos, respectivamente.

O início do ano hidrológico para as vazões mínimas e para a média foi o mês de janeiro (ano civil), enquanto que para a vazão máxima foi o mês de outubro (ano hidrológico).

O cálculo da vazão média de longa duração (Q_{mld}) foi realizado a partir do preenchimento de falhas descrito no item 3.1.1.1. Para as outras vazões, não foi realizado preenchimento e se definiu um procedimento de descarte dos anos com falhas. No caso das vazões mínimas obtidas da curva de permanência, se descartou anos com 5% ou mais de falhas; já na vazão mínima $Q_{7,10}$ e na vazão máxima (Q_{max}), foram descartados os anos com quaisquer falhas nos meses de maior freqüência de ocorrência dessas vazões. Para a vazão mínima esses meses foram de agosto a novembro e para a máxima foram de dezembro a março.

O critério adotado no SisCAH para a escolha da distribuição de probabilidade das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{max} foi o menor intervalo de confiança. Esse intervalo foi analisado para todas as estações fluviométricas e aquela distribuição que apresentou mais vezes o menor intervalo de confiança foi adotada para a estimativa dessas vazões.

A distribuição Logpearson 3 teve em 92% dos casos o menor intervalo de confiança, apresentando o melhor ajuste aos dados de vazão mínima, $Q_{7,10}$. Ela foi, assim, adotada de forma padrão para as estações fluviométricas.

A distribuição Lognormal 2 foi a que melhor se ajustou aos dados de Q_{max}; 60% das estações apresentaram o menor ou o segundo menor intervalo de confiança quando ajustadas à esta distribuição. Ela foi, assim, adotada de forma padrão para todas as estações fluviométricas.

3.1.3.1.2. Variáveis independentes testadas no estudo

As variáveis independentes utilizadas no estudo representam as características físicas e climáticas da bacia. Primeiramente, foi realizada uma pré-seleção das variáveis com base na matriz de correlação para, posteriormente, com os resultados da regionalização, escolher a de melhor ajuste. Os valores das variáveis independentes para cada estação fluviométrica foram apresentados no Apêndice B. Outros estudos de regionalização de vazões realizados para a bacia do Rio Grande recomendaram a utilização da área de drenagem e da precipitação média anual (LIAZI et al., 1988; EUCLYDES, 2005).

Área de drenagem (AD)

A área de drenagem das estações fluviométricas foi obtida na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), em sete de março de 2007.

Precipitação (P e P_{max})

Foram testadas no estudo da regionalização a precipitação média anual (P) e a precipitação máxima mensal (P_{max}), sendo que esta representou a média da precipitação máxima mensal de cada um dos anos considerados no estudo.

A precipitação ao longo da bacia do Rio Grande foi obtida por meio da interpolação dos seus dados, utilizando o método de krigagem. Caram (2007) comparou os métodos de krigagem e do inverso do quadrado da distância (IDW) para a interpolação de dados de precipitação no estado de Minas Gerais. A autora verificou que a média do erro médio para o IDW foi de 8,198 e para krigagem foi de 0,457, concluindo que o método geoestatístico de krigagem é mais eficiente do que o método de IDW, tendo em vista seu menor erro médio.

As Figuras 6 e 7 representam o resultado da interpolação para a precipitação média anual e para a precipitação máxima mensal, respectivamente.

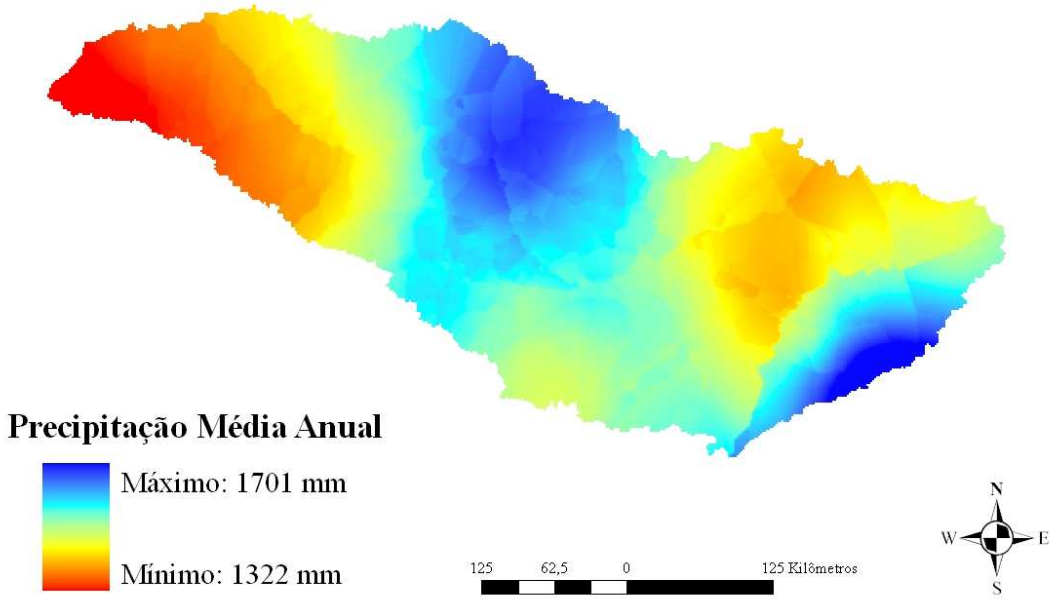


Figura 6. Mapa da precipitação média anual da bacia do Rio Grande (1968-2001).

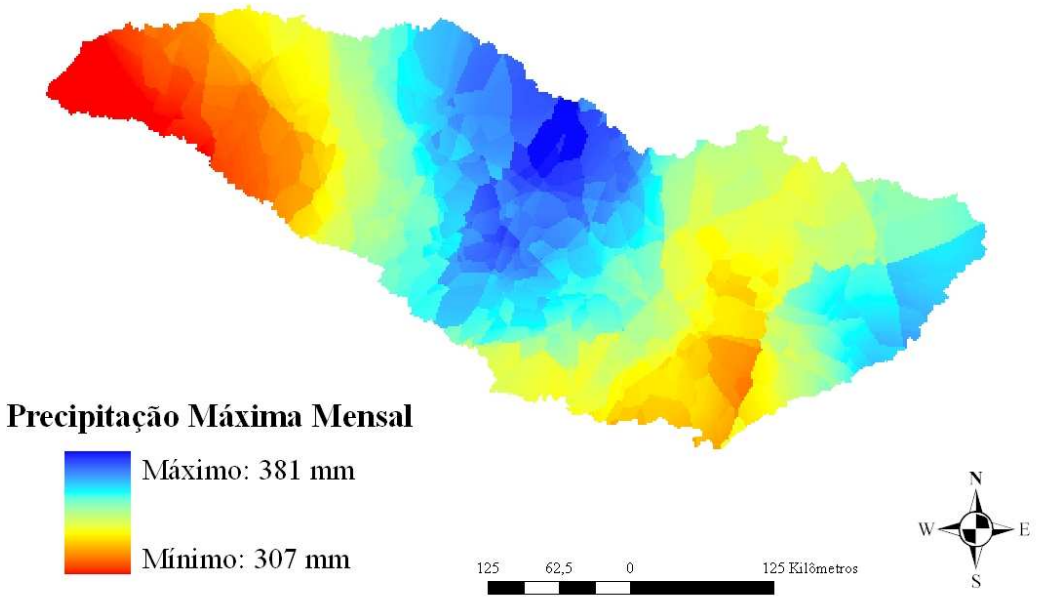


Figura 7. Mapa da precipitação máxima mensal da bacia do Rio Grande (1968-2001).

A variação da precipitação anual na bacia do Rio Grande foi relativamente pequena, sendo a maior diferença igual a 379 mm. Essa pequena variação pode ser um indício de que a precipitação não seja uma boa variável explicativa para a vazão. A precipitação média da bacia foi 1.479 mm, a máxima 1.701 mm, e a mínima 1.322 mm. As maiores precipitações se concentraram na cabeceira e numa faixa grande da parte central da bacia; enquanto que as menores ficaram mais próximas a sua foz.

A média da precipitação máxima mensal da bacia foi 346 mm; a máxima foi 381 mm; e a mínima foi 307 mm. Também não se observou grande variação dessa variável ao longo da bacia. Os maiores valores se concentraram numa faixa da parte central da bacia e os menores na sua foz.

Inércia Hídrica (IH)

Para que haja a ocorrência do escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea, é necessário que, primeiramente, a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende do processo de evapotranspiração e das características estruturais do solo, como a textura.

Dessa forma, Novaes (2005) propôs o conceito de inércia hídrica, que é a precipitação mínima necessária para garantir a recarga do lençol freático. O autor verificou que para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão. Para a consideração da inércia hídrica foi subtraído um valor correspondente a 750 mm para cada pixel do mapa da precipitação média anual, sendo atribuído o valor zero quando a inércia foi maior que a precipitação.

Vazão equivalente (P_{eq})

A vazão equivalente é uma variável que engloba a área de drenagem e a precipitação média anual, calculada conforme a equação

$$P_{eq} = \frac{P \ AD}{31.536} \qquad (6)$$

em que

P_{eq} = vazão equivalente, m^3/s;

P = precipitação média anual, mm; e

AD = área de drenagem, km^2.

O denominador da equação 6 representa a conversão de milímetro para metro e de ano para segundos. A utilização da vazão equivalente proporciona uma representação bidimensional da relação entre a variável dependente (vazão) e as independentes (área de drenagem e precipitação média anual) e permite o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

3.1.3.1.3. Critério de definição das regiões hidrologicamente homogêneas

Na regionalização hidrológica a homogeneidade é entendida como a semelhança na resposta das funções regionais obtidas, que neste estudo são as equações de regressão. A bacia foi subdividida em regiões de comportamento hidrologicamente homogêneo, sendo utilizados, para tanto, os seguintes critérios:

- variabilidade da precipitação e do relevo ao longo da bacia;

- bom ajuste à equação de regressão (baixos erros relativos);

- similaridade nos valores das vazões específicas; e

- número mínimo de cinco estações por região homogênea para aumentar a confiabilidade das estimativas.

3.1.3.1.4. Método tradicional

O procedimento utilizado neste método foi a obtenção de equações de regressão regionais que possibilitem associar a vazão obtida nas estações fluviométricas com as variáveis físicas e climáticas. Essa vazão é o resultado do ajuste das séries históricas de vazão às distribuições teóricas de probabilidade para diferentes períodos de retorno, como é o caso da vazão mínima $Q_{7,10}$ e da vazão máxima com período de retorno de 100 anos. A vazão média de longa duração é

expressa apenas pela média dos dados, e no caso das vazões provenientes da curva de permanência (Q_{95} e Q_{90}), elas são valores associados a uma freqüência de ocorrência.

Vários modelos de regressão podem ser aplicados ao conjunto de dados, sendo que foram analisados os modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico.

O modelo foi selecionado de acordo com os seguintes critérios:

- significância da regressão e dos coeficientes de regressão (teste t a 5%) para os modelos lineares;

- maior coeficiente de determinação; e

- menores erros relativos (resíduos).

Para a aplicação do método tradicional utilizou-se o *software* Sistema Computacional para a Regionalização de Vazões (SisCoRV), desenvolvido também pela rede de pesquisa 2 do SNIRH.

3.1.3.1.5. Ferramentas para a escolha do melhor ajuste na regionalização de vazões

Uma vez obtidas as equações de regionalização, procedeu-se a escolha do ajuste que melhor representou as condições hidrológicas da bacia do Rio Grande. Para tal, foram analisados os erros relativos e os indicadores do comportamento físico das vazões (coeficiente de escoamento e vazões específicas).

Erro relativo (ER)

O erro relativo ou resíduo relativo representa o quanto a vazão estimada se diferencia da vazão calculada na estação em termos relativos (equação 7).

$$ER(\%) = \frac{(Q_{EST} - Q_{REG})}{Q_{EST}} 100 \qquad (7)$$

em que

Q_{EST} = vazão calculada na estação fluviométrica, m^3/s; e

Q_{REG} = vazão estimada pela equação de regionalização, m^3/s.

Ele foi calculado para cada uma das estações fluviométricas, obtendo-se a média, o máximo e o mínimo (valores em módulo) para cada variável independente. Além disso, computou-se o número de estações cujo módulo do resíduo foi superior a 30%. Quanto menor o valor do resíduo, melhor é o ajuste da equação. Resíduos positivos significam a subestimativa da vazão; e os negativos, a superestimativa.

Indicadores do comportamento físico da vazão

Os indicadores do comportamento físico das vazões analisados foram: o coeficiente de escoamento superficial (CE) e a vazão específica (q). O coeficiente de escoamento caracteriza a relação entre o volume que escoa na seção de deságüe considerada e o volume total precipitado na área de drenagem, sendo este obtido pela equação

$$CE = \frac{V_{T\,(escoado)}}{V_{\mathrm{T(precipitado)}}} \tag{8}$$

em que

CE	=	coeficiente de escoamento superficial, adimensional;
$V_{T(escoado)}$	=	volume que escoa em um ano na seção de deságüe, m^3; e
$V_{T(precipitado)}$	=	volume total que precipita na área de drenagem em um ano, m^3.

O volume que escoa na seção de deságüe foi calculado pelo produto da vazão média de longa duração, em m^3/s, e do número de segundos existentes no ano.

A vazão específica é a relação entre a vazão e a área de drenagem da seção de estudo. Ela caracteriza o potencial hídrico de uma bacia. Esse indicador foi desmembrado em vazão específica mínima e vazão específica máxima, para analisar, respectivamente, as vazões mínimas e a vazão máxima estimadas.

Os indicadores de cada trecho da ottobacia hidrográfica foram estimados para verificar seu comportamento ao longo da hidrografia e a presença de dados discrepantes (*outliers*), tendo como parâmetro de identificação os limites dos

indicadores estabelecidos por meio da estatística *Box Plot*. Os indicadores estimados foram confrontados com os indicadores calculados nas estações fluviométricas.

A espacialização dos indicadores foi feita trecho a trecho na base hidrográfica ottocodificada para permitir uma visualização espacial do comportamento dos indicadores ao longo da bacia do Rio Grande, a qual possui 3.353 trechos

3.1.3.1.6. Proposição de novos limites para a extrapolação das equações de regionalização

Segundo Tucci (2002), a regionalização de vazões não é um método seguro para a extrapolação hidrológica. O autor ressalta que existe a tendência de utilização da regionalização de forma generalizada sem um questionamento maior da qualidade de seus resultados, o que pode comprometer o processo de tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos, gerando conflitos.

Normalmente, recomenda-se que as equações obtidas na regionalização sejam aplicadas apenas dentro do intervalo das áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo. O presente trabalho avalia a ampliação dos limites de extrapolação das equações, baseando-se na análise de consistência dos valores dos indicadores do comportamento físico da vazão e nas recomendações de Rodriguez (2008).

Rodriguez (2008) sugeriu uma alternativa para a estimativa das vazões média de longa duração e mínimas nas regiões de cabeceira, locais onde, normalmente, as equações de regionalização tendem a superestimar os valores dessas vazões. Essa proposição utilizou o maior valor calculado do indicador do comportamento físico da vazão como o valor limite para os indicadores estimados pelas equações, possibilitando uma extrapolação segura da regionalização.

Portanto, quando o coeficiente de escoamento estimado no trecho da base hidrográfica foi maior que o valor limite, a equação da vazão média de longa duração foi ajustada segundo a equação

$$Q_{mld_ajust} = CE_{est_máx}\, P_{eq} \qquad (9)$$

em que

Q_{mld_ajust} = vazão média de longa duração ajustada, m^3/s;

$CE_{est_máx}$ = o maior coeficiente de escoamento evidenciado nas estações fluviométricas em uma determinada região homogênea, adimensional; e

P_{eq} = vazão equivalente, m^3/s.

Procedimento similar foi utilizado para as vazões mínimas. Quando a vazão específica mínima estimada no trecho foi maior que a máxima vazão específica calculada nas estações fluviométricas, a vazão mínima foi ajustada pela seguinte equação

$$Q_{mín_ajust} = \frac{q_{mínima}\ AD}{1.000} \tag{10}$$

em que

$Q_{mín_ajust}$ = vazão mínima (Q_{95}, Q_{90} ou $Q_{7,10}$) ajustada, m^3/s;

$q_{mínima}$ = máxima vazão específica mínima (q_{95}, q_{90} ou $q_{7,10}$) das estações fluviométricas, $L/s/km^2$; e

AD = área de drenagem, km^2.

Após a adoção dessa alternativa proposta por Rodriguez (2008), foi avaliada a presença de inconsistência nos valores dos indicadores estimados pelas equações por meio dos limites estabelecidos pelo *Box Plot*. A equação de regionalização foi recomendada sem restrições para toda a hidrografia da bacia do Rio Grande, quando nenhum valor estimado do indicador superou o limite físico máximo e quando não se identificou a presença de *outliers*; do contrário, foi realizado o ajuste das equações e, posteriormente, a devida recomendação das equações. Portanto, a utilização da proposição de Rodriguez (2008) e dos limites do *Box Plot* pretende ampliar o uso das equações de regionalização de forma segura e consistente.

3.1.3.2. Regionalização de vazões para o Rio Grande e para o Rio Pardo

Esta regionalização utilizou dados de vazões naturais reconstituídas nas seções dos reservatórios e foi representativa apenas para o Rio Grande e o Rio Pardo. As variáveis dependentes utilizadas neste estudo foram: média de longa duração (Q_{mld}), as mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95}; Q_{90}) e a vazão máxima (Q_{max}) com período de retorno de 100 anos. Elas foram obtidas no programa SisCAH (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas) utilizando os mesmos procedimentos descritos no item 3.1.3.1.1.

As variáveis independentes testadas neste estudo foram: área de drenagem (AD), precipitação média anual (P), precipitação máxima mensal (P_{max}), vazão equivalente (P_{eq}) e inércia hídrica (IH). As áreas de drenagem dos reservatórios foram retiradas do estudo realizado pelo ONS (ONS, 2003b) e as características climáticas foram obtidas conforme descrito no item 3.1.3.1.2.2. Os valores das variáveis independentes para cada seção de reservatório são apresentados no Apêndice B.

Os Rios Grande e Pardo compuseram uma mesma região homogênea e a regionalização de vazões foi feita pelo programa SisCoRV, utilizando o método tradicional. A escolha do melhor ajuste foi orientada pelos valores dos erros relativos e pela comparação entre os valores calculados nas estações e os estimados pela regionalização dos indicadores do comportamento físico da vazão.

3.2. Proposta para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões

3.2.1. Dados utilizados no estudo

De acordo com a base de dados disponibilizada pela ANA, a bacia do Rio Grande possui um total de 40 usinas hidrelétricas, sobressaindo-se pela sua importância na produção de energia elétrica no cenário brasileiro. Muitas dessas usinas possuem reservatórios, que são classificados em reservatórios de regularização ou reservatórios a fio de água. Os reservatórios de regularização merecem atenção singular em estudos hidrológicos, pois eles podem alterar o regime hídrico local por meio da regularização de vazões, interferindo, conseqüentemente, na regionalização de vazões.

Portanto, foram analisados os dados referentes aos 40 reservatórios presentes na bacia do Rio Grande, sendo que suas informações foram obtidas na base de dados da Agência Nacional de Águas (Tabela 7). O valor zero hm^3 referente ao volume útil dos reservatórios significou um baixo valor de volume em relação ao número de casas decimais utilizado pela ANA ou a indisponibilidade de informação a respeito daquele reservatório.

3.2.2. Procedimentos para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões

A consideração de estações fluviométricas influenciadas por reservatórios no estudo de regionalização de vazões pode alterar o ajuste das equações de regressão, modificando, principalmente, as estimativas das vazões máximas e mínimas. Para tanto, foi feito um levantamento das estações fluviométricas que tiveram reservatórios em sua área de drenagem (Tabela 8). A análise da estacionariedade das séries históricas destas estações fluviométricas mostrou que os reservatórios não provocaram mudanças estatisticamente significativas (α = 5%) nas médias das vazões entre 1968 e 2001, período-base do estudo.

A simples presença do reservatório na área de drenagem da estação fluviométrica não implica dizer que este esteja exercendo influência expressiva no regime de variação da vazão. Portanto, foram sugeridos dois procedimentos para a avaliação do grau de influência dos reservatórios sobre as estações fluviométricas, sendo que se recomenda utilizar o primeiro quando se tiver informações referentes ao volume útil dos reservatórios e, caso esta informação não esteja disponível, utiliza-se o segundo procedimento, o qual depende apenas de informações referentes às vazões nas seções das estações e dos reservatórios. Neste trabalho foram aplicados os dois procedimentos para a avaliação e a comparação dos resultados.

A Figura 8 apresenta a espacialização das estações fluviométricas utilizadas no estudo, diferenciando as com reservatórios em sua área de drenagem, chamadas de influenciadas e as sem reservatórios em sua área de drenagem, chamadas de não influenciadas.

Tabela 7. Reservatórios presentes na bacia do Rio Grande segundo dados da ANA

Nome	Rio	Lat (°)	Long (°)	Volume útil (hm^3)
Furnas	Grande	-20,665	-46,320	17217,0
Marimbondo	Grande	-20,301	-49,197	5260,0
Água Vermelha	Grande	-19,851	-50,346	5170,0
Mascarenhas de Moraes	Grande	-20,288	-47,066	2500,0
Camargos	Grande	-21,326	-44,616	670,0
Caconde	Pardo	-21,577	-46,624	504,0
Volta Grande	Grande	-20,029	-48,221	268,0
Porto Colômbia	Grande	-20,124	-48,572	234,0
L.C.B. de Carvalho	Grande	-20,151	-47,279	178,0
Jaguará	Grande	-20,023	-47,434	90,0
Mogi-Guaçu	Mogi-Guaçu	-22,380	-46,901	23,5
Limoeiro	Pardo	-21,625	-47,009	16,4
Bortolan (José Togni)	Antas	-21,782	-46,631	10,5
Xicão	Santa Cruz	-21,919	-45,478	6,4
Euclides da Cunha	Pardo	-21,603	-46,949	4,7
Poço Fundo	Machado	-21,791	-46,124	3,7
Pinheirinho	Pinheirinho	-21,126	-47,047	1,9
São Sebastião	Canoas	-21,425	-46,923	1,1
Anil	Jacaré	-20,818	-45,085	0,0
Antas I Eng. Pedro A. J.	Antas	-21,750	-46,600	0,0
Antas II (Walther Rossi)	Antas	-21,747	-46,603	0,0
Buritis	Bandeira	-20,217	-47,717	0,0
Capao Preto	Quilombo 3	-21,883	-47,800	0,0
Dourados	Sapucaí Paulista	-20,650	-47,683	0,0
Emas Nova	Mogi-Guaçu	-21,925	-47,368	0,0
Eng. Ubirajara Machado Moraes	Antas	-21,776	-46,610	0,0
Esmeril	Esmeril	-20,833	-47,300	0,0
Fojo	Fojo	-22,713	-45,532	0,0
Itutinga	Grande	-21,292	-44,624	0,0
Jacutinga	Mogi-Guaçu	-22,259	-46,674	0,0
Luis Dias	Lourenco Velho	-22,370	-45,352	0,0
Pinhal	Mogi-Guaçu	-22,283	-46,767	0,0
Rio do Peixe (Casa de Força I)	Peixe	-21,622	-46,813	0,0
Rio do Peixe (Casa de Força II)	Peixe	-21,622	-46,813	0,0
Salto Pinhal	Mogi-Guaçu	-22,283	-46,767	0,0
Santa Alice	Fartura	-21,600	-46,903	0,0
São Bernardo	São Bernardo	-22,561	-45,538	0,0
São Joaquim	Sapucaí Paulista	-20,583	-47,783	0,0
Socorro	Peixe	-22,600	-46,500	0,0
Sodré	Piaguí	-22,664	-45,309	0,0

Tabela 8. Estações fluviométricas com reservatório em sua área de drenagem

Código	Estação fluviométrica	Código	Estação fluviométrica
61145000	Macaia	61787500	Fazenda São Domingos
61202000	Santana do Jacaré	61807002	Abaixo Cascata das Antas
61250000	Fazenda da Guarda	61817004	São José do Rio Pardo
61285000	São João de Itajubá	61820000	Jusante Usina Limoeiro - ASJ
61305000	Santa Rica do Sapucaí	61826000	Ponte do Canoas
61410000	Careaçu	61830000	Fazenda Corredeira
61425000	Paraguaçú (Ponte Baguari)	61879000	Lindóia
61530000	Palmela dos Coelhos	61886000	Pádua Sales
61537000	Porto dos Buenos	61902000	Porto Ferreira
61565000	Cachoeira Poço Fundo	61912000	Ponte Guarapará
61568000	Machado	61925000	Ponte Joaquim Justino

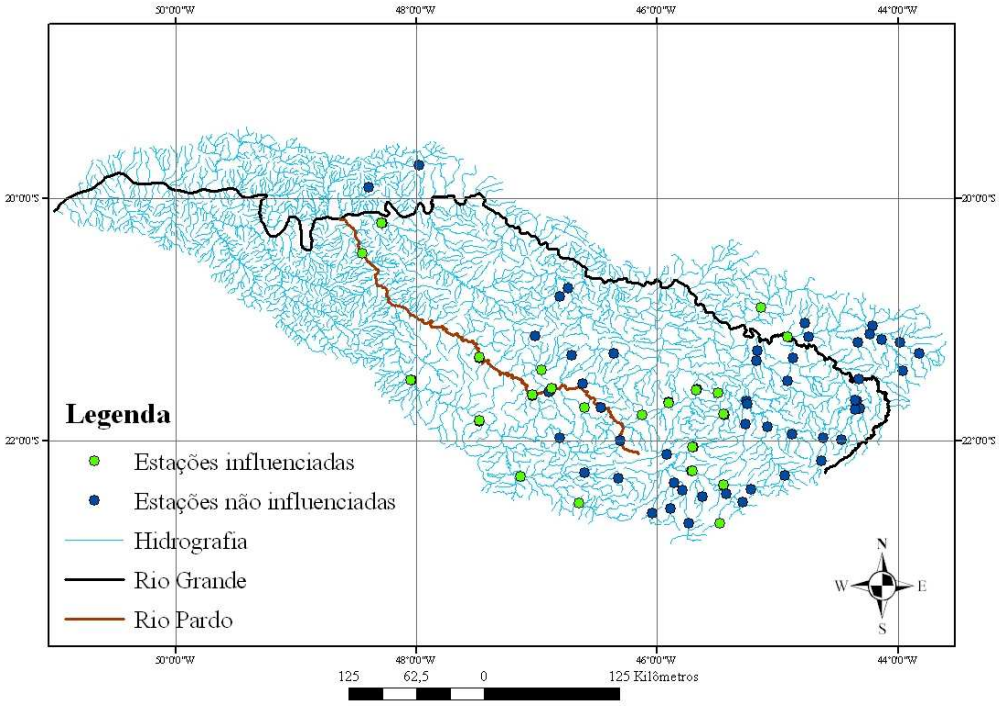


Figura 8. Localização das estações fluviométricas influenciadas e não influenciadas pelos reservatórios.

O primeiro procedimento foi representado pelo índice do potencial de regularização (IPR%), sendo que sua importância se remete à estreita relação com a capacidade de regularização dos reservatórios. Para cada estação fluviométrica foi obtido o volume útil acumulado dos reservatórios a montante, o qual foi obtido pela soma dos volumes de todos os reservatórios presentes na área de drenagem da estação em estudo.

A partir de então, foi gerada a curva de regularização com os dados históricos da estação fluviométrica, a qual relaciona dados de volume do reservatório, vazão regularizada e a porcentagem da vazão regularizada em relação à vazão média de longa duração (beta). Com esses dados, foi verificado, a partir de uma interpolação, a que valor de beta estaria associado o volume útil acumulado, sendo este beta caracterizado como IPR(%), que representa o potencial de regularização da vazão média da estação em relação ao volume útil acumulado dos reservatórios a montante.

O segundo procedimento foi representado por um índice caracterizado como índice de contribuição (IC%), o qual depende de informações relativas às vazões médias nas seções da estação e do reservatório, prescindindo, portanto, de informações relativas ao volume útil dos reservatórios. Este índice é expresso pela equação

$$IC(\%) = \frac{Q_{res(REG)}}{Q_{estação}} 100 \tag{11}$$

em que

IC = índice de contribuição do reservatório para a estação em estudo, %;

$Q_{res(REG)}$ = vazão média de longa duração estimada na seção do reservatório pela regionalização descrita no item 3.1.3.1, m^3/s; e

$Q_{estação}$ = vazão média de longa duração calculada para a estação fluviométrica influenciada pelo efeito de reservatório, m^3/s.

Quanto maior o valor dos índices, maior a influência potencial dos reservatórios sobre as estações e quanto menor o índice, menor a influência. Portanto, com os valores dos índices, puderam-se identificar os reservatórios com maior tendenciosidade a modificar o regime hídrico e, portanto, excluir as estações fluviométricas influenciadas por tais reservatórios do estudo de regionalização de vazões.

No caso do índice do potencial de regularização, considerou-se que deveriam ser excluídas as estações que apresentassem IPR(%) superior a 50%, e no caso do

índice de contribuição, deveriam ser excluídas as estações com IC(%) superior a 20%. Portanto, considerou-se que as estações com índices inferiores ao estabelecido provocariam nenhuma modificação ou modificações de pouca expressividade para a avaliação da propagação do efeito de reservatório em estudos de regionalização. Já aquelas estações com índices superiores ao estabelecido, foram consideradas com maior potencial de modificar o regime hídrico da bacia.

A análise da propagação do efeito dos reservatórios foi feita, portanto, por meio de regionalizações que excluíram as devidas estações fluviométricas de acordo com os procedimentos propostos.

Foram analisadas quatro regionalizações, as quais estão descritas na Tabela 9, sendo que a REG_{TOTAL} correspondeu à regionalização apresentada no item 3.1.3.1. e foi utilizada como base de comparação e a regionalização REG_{SER} (SER = sem efeito de reservatório) utilizou como critério de exclusão de estações a simples presença de reservatórios na área de drenagem da estação.

Tabela 9. Descrição das regionalizações realizadas para a análise da propagação do efeito de reservatório na bacia do Rio Grande

Regionalização	Descrição
REG_{TOTAL}	Regionalização que contempla o efeito de todos os reservatórios e que não excluiu nenhuma estação fluviométrica devido ao efeito de reservatório.
$REG_{IC(\%)}$	Regionalização que visa minimizar o efeito dos reservatórios utilizando como referência o índice de contribuição, sendo excluídas as estações fluviométricas com IC(%) $\geq$ 20%.
$REG_{IPR(\%)}$	Regionalização que visa minimizar o efeito dos reservatórios utilizando como referência o índice do potencial de regularização, sendo excluídas as estações fluviométricas com IPR(%) $\geq$ 50%.
REG_{SER}	Regionalização que visa minimizar o efeito dos reservatórios sem estabelecimento de critérios e, para tanto, foram excluídas todas as estações fluviométricas influenciadas pelos reservatórios.

As regionalizações foram feitas pelo método tradicional e utilizaram como dados de entrada as variáveis dependentes Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} , calculadas conforme descrito no item 3.1.3.1.1.; e apenas uma variável explicativa, a de melhor ajuste,

dentre as abordadas no item 3.1.3.1.2. O critério para definição das regiões homogêneas foi o mesmo apresentado no item 3.1.3.1.3.

Considerou-se que as diferenças nas regionalizações tiveram duas origens: o efeito da alteração na base de dados e o efeito de reservatório. O efeito da alteração na base de dados é explicado pelas variações nas estatísticas da base de dados. Para tanto, avaliadas as bases de dados utilizadas nas regionalizações da vazão média de longa duração, verificando se elas apresentaram diferença expressiva entre si a partir do desvio relativo entre as médias e os desvios-padrão das bases de dados (equação 12).

$$DR(\%) = \frac{\left(Est_{TOTAL} - Est_{Y}\right)}{Est_{TOTAL}} 100 \qquad (12)$$

em que

DR	=	Desvio relativo entre as estatísticas das bases de dados analisadas, %;
Est_{TOTAL}	=	Média ou desvio-padrão das Q_{mld} das estações utilizadas na REG_{TOTAL}; e
Est_{Y}	=	Média ou desvio-padrão da Q_{mld} das estações utilizadas na $REG_{IPR(\%)}$, $REG_{IC(\%)}$ ou REG_{SER}.

A exclusão de estações fluviométricas pode vir a alterar a tendência estatística da base de dados de uma regionalização, interferindo diretamente nas estimativas das vazões. O efeito dos reservatórios foi complementar ao efeito da alteração na base de dados.

As vazões foram estimadas para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande, gerando um mapa das vazões estimadas para cada regionalização, os quais foram sobrepostos para possibilitar o cálculo da variação entre as estimativas das vazões, de acordo com a equação

$$VR(\%) = \frac{\left(Q_{REG_{TOTAL}} - Q_{REGy}\right)}{Q_{REG_{TOTAL}}} 100 \qquad (13)$$

em que

$VR(\%)$ = variação relativa,%;

Q_{REGx} = vazão estimada pela REG_{TOTAL}, m^3/s; e

Q_{REGy} = vazão estimada pela $REG_{IPR(\%)}$, $REG_{IC(\%)}$ ou REG_{SER}, m^3/s.

Portanto, foi obtido um valor de variação relativa para cada um dos 3.353 trechos da hidrografia da bacia do Rio Grande. A hipótese que norteia este estudo é que a regularização de vazões não influencia os valores da vazão média de longa duração tanto quanto o faz com as vazões mínimas e máximas. O efeito da evaporação nos reservatórios não foi considerado e, portanto, as variações relativas encontradas para as Q_{mld} foram atribuídas, exclusivamente, ao efeito da alteração na base de dados, decorrente da quantidade de estações fluviométricas utilizadas em cada regionalização.

Em relação às vazões mínima e máxima, as variações relativas encontradas foram atribuídas à alteração na base de dados e ao efeito dos reservatórios, pois se acredita que a regularização promova variações expressivas nas estimativas dessas vazões. Portanto, as variações relativas encontradas na Q_{mld} foram usadas como referência para individualizar o efeito da alteração da base de dados na análise das vazões mínimas e máxima e, assim, poder avaliar a propagação do efeito de reservatório em estudos de regionalização.

Em suma, as análises realizadas visaram verificar a relevância das variações relativas encontradas em estudos hidrológicos para, então, recomendar o procedimento necessário para se realizar uma regionalização que não apresente interferência expressiva dos reservatórios e que utilize o maior número possível de estações fluviométricas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Critério para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes e obtenção das equações de regionalização

A estatística *Box Plot* foi aplicada aos dados referentes às vazões das estações fluviométricas da bacia do Rio Grande e aos dados referentes às vazões naturais obtidas nas seções dos reservatórios do Rio Grande e do Rio Pardo. Ela foi realizada para as vazões: média de longa duração, mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95} e Q_{90}) e máxima associada ao período de retorno de 100 anos.

4.1.1. Resultados para a bacia do Rio Grande, com exceção do Rio Grande e do Rio Pardo

4.1.1.1. Aplicação do *Box Plot*

4.1.1.1.1. Estudo da vazão média de longa duração e das vazões mínimas

O coeficiente de escoamento, parâmetro de análise da vazão média de longa duração, engloba informações a respeito da vazão e da vazão equivalente na área de drenagem em estudo. A Figura 9 apresenta a dispersão dos coeficientes calculados para as estações fluviométricas na bacia do Rio Grande.

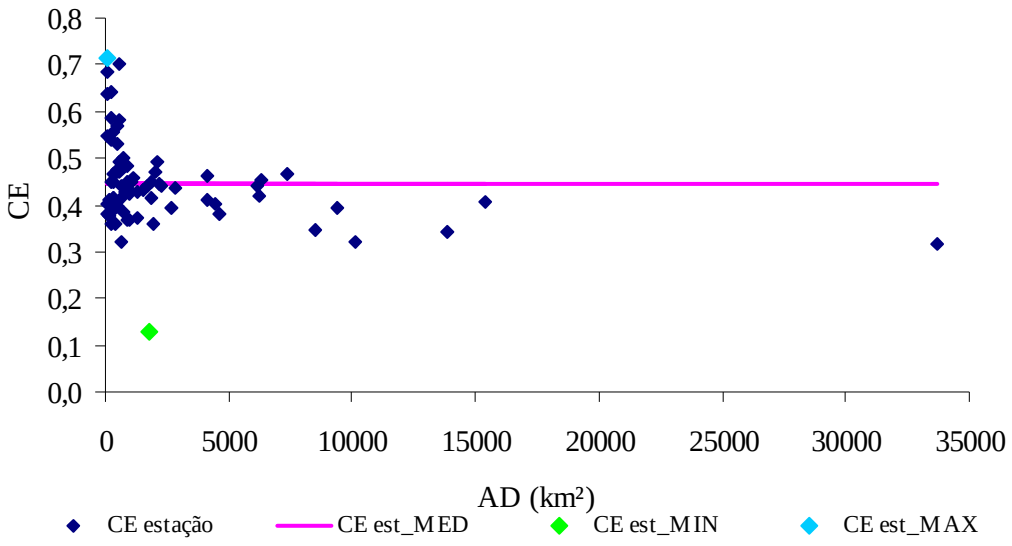


Figura 9. Coeficientes de escoamento calculados para as estações fluviométricas e valores médio, mínimo e máximo.

Os pontos destacados com as cores verde e azul claro na Figura 9 referem-se aos coeficientes com valores extremos na bacia do Rio Grande. A estação 61794000 apresentou o menor coeficiente de escoamento (0,13) e a estação 61429000, o maior valor (0,71). A média dos coeficientes de escoamento calculados para as estações foi de 0,45.

Aplicada a técnica do *Box Plot*, a amplitude de variação dos coeficientes de escoamento ficou entre 0,28 e 0,59 (Tabela 10). Portanto, aqueles coeficientes que ficaram fora desse intervalo foram classificados como *outliers*.

A Tabela 10 mostra que o *Box Plot* identificou na análise do coeficiente de escoamento seis estações com dados discrepantes, sendo que duas delas foram classificadas como *outliers* extremos (estações 61794000 e 61429000) devido à maior distância em relação ao conjunto de dados.

A localização dos *outliers* em relação às medidas de posição, os quartis, e aos coeficientes de escoamento máximo e mínimo obtidos nas estações e que foram considerados aceitáveis (0,32 a 0,59) podem ser vistas na Figura 10. Cinco estações apresentaram coeficientes acima do limite superior estabelecido, sendo consideradas *outliers* superiores; e uma estação teve o coeficiente abaixo do limite inferior, sendo chamada, portanto, de *outlier* inferior.

Tabela 10. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* para o coeficiente de escoamento e as estações apontadas como *outliers*

Box Plot	**Estação**	**CE**
Outlier extremo	61794000	0,13
Limite inferior		0,28
Limite superior		0,59
Outlier	61031000	0,64
Outlier	61014000	0,64
Outlier	61250000	0,68
Outlier	61024000	0,70
Outlier extremo	61429000	0,71

De acordo com os limites estabelecidos, coeficientes maiores que 0,59 foram considerados *outliers* superiores e aqueles menores que 0,28 *outliers* inferiores. Isso significa dizer que os coeficientes de escoamento *outliers* não são valores representativos do comportamento hidrológico da bacia em questão e, portanto, as estações fluviométricas associadas a tais coeficientes devem ser excluídas do estudo de regionalização da vazão média de longa duração.

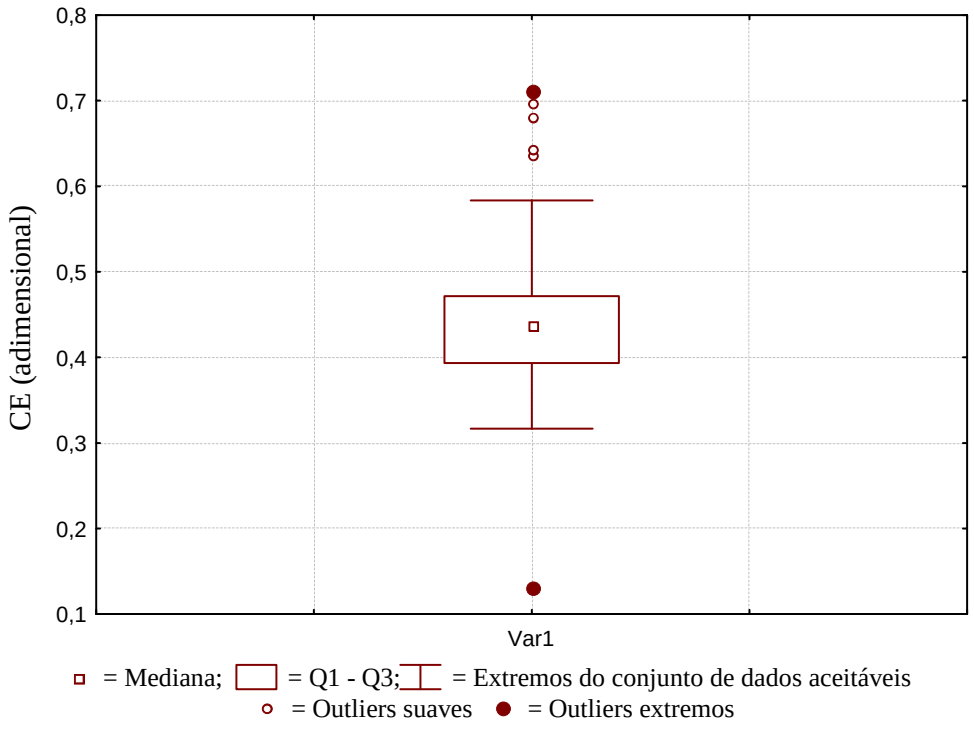


Figura 10. Gráfico *Box Plot* para o coeficiente de escoamento.

Passando à vazões mínimas, iniciou-se a análise com a vazão Q_{95} e a Figura 11 apresenta a distribuição das vazões específicas das estações para a bacia do Rio Grande. Foram destacados os valores extremos, sendo que a estação 61794000 obteve a menor vazão específica (0,70 L/s/km^2) e a estação 61250000 a maior (14,28 L/s/km^2). O valor médio da q_{95} foi de 7,19 L/s/km^2.

Nota-se que os dados de q_{95} apresentaram uma maior dispersão ao redor do valor médio quando se compara ao gráfico obtido para o coeficiente de escoamento. Essa maior dispersão dos dados promove uma maior amplitude no estabelecimento dos limites do *Box Plot*, a qual permitirá a inclusão de mais dados calculados para as estações dentro do intervalo dos dados aceitáveis.

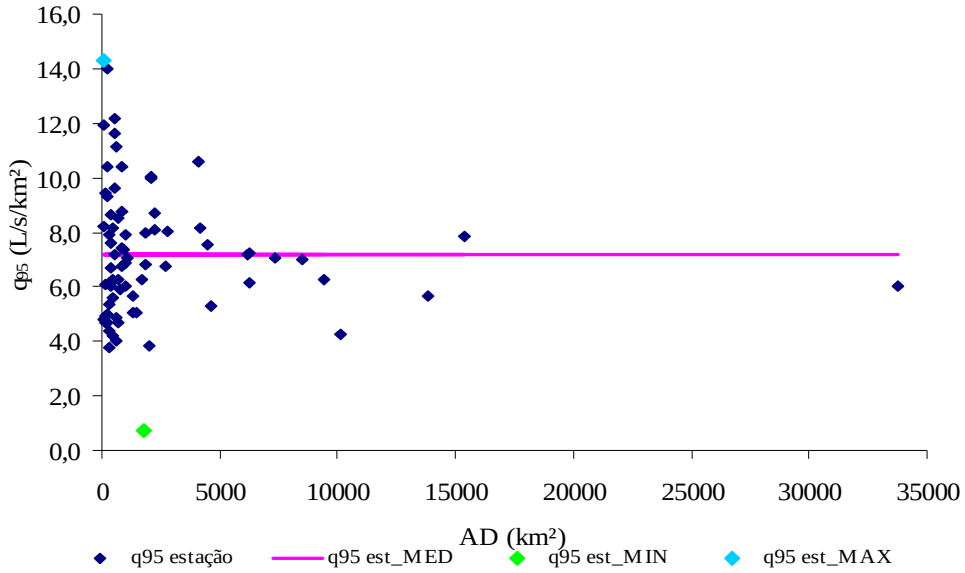


Figura 11. Vazões específicas q_{95} calculadas para as estações fluviométricas e valores médio, mínimo e máximo.

A Tabela 11 apresenta o resultado do *boxpot* para a q_{95}. De acordo com os limites estabelecidos foram aceitos valores de vazões específicas que variaram entre 1,73 e 12,04 L/s/km^2. Analisando os dados calculados da q_{95}, quatro estações fluviométricas ficaram fora desse intervalo, devendo ser excluídas do estudo de regionalização da vazão Q_{95}.

As estações identificadas como *outliers* nessa análise foram coincidentes com aquelas identificadas na análise do coeficiente de escoamento, sendo que a estação 61031000, apontada como *outlier* na análise do coeficiente de escoamento,

apresentou valor de vazão específica q_{95} limítrofe à posição de *outlier* superior (Tabela 11).

Tabela 11. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a q_{95} e as estações apontadas como *outliers*

Box Plot	**Estação**	**q_{95} (L/s/km^2)**
Outlier	61794000	0,70
Limite inferior		1,73
Aceitável	61429000	9,43
Aceitável	61031000	11,95
Limite superior		12,04
Outlier	61024000	12,18
Outlier	61014000	13,97
Outlier	61250000	14,28

Essa análise mostrou que vazões q_{95} superiores a 12,04 L/s/km^2 são *outliers* superiores e aquelas inferiores a 1,73 L/s/km^2 são *outliers* inferiores, para as condições analisadas da bacia do Rio Grande.

Duas evidências mostraram que a maior dispersão dos dados observados na Figura 11 conduziu à ampliação dos limites estabelecidos pelo *Box Plot* comparado aos resultados obtidos com o coeficiente de escoamento. A primeira delas foi a ausência de *outliers* extremos na análise da q_{95} e a segunda foi a redução de duas estações da condição de *outlier*.

Portanto, quanto maior for a dispersão do conjunto de dados ao longo do eixo das ordenadas, menores serão as chances de se encontrarem *outliers* na análise. É importante ressaltar que a maior dispersão de dados não está relacionada à amplitude dos dados. No primeiro caso, trata-se de uma análise da distribuição de todos os dados, ou seja, do espalhamento dos mesmos no gráfico; no segundo caso, trata-se simplesmente da subtração entre o máximo e o mínimo valor.

A análise da vazão específica mínima de permanência q_{90} acusou como *outliers* as mesmas estações da vazão q_{95}, sendo que as interpretações feitas para esta se adaptam à q_{90}, mudando apenas os valores calculados e os valores dos limites estabelecidos (Tabela 12).

Já a análise da vazão específica mínima $q_{7,10}$ requereu uma interpretação a parte, pois seus resultados foram diferentes das demais vazões mínimas.

Tabela 12. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a q_{90} e as estações apontadas como *outliers*

Box Plot	**Estação**	**q_{90} (L/s/km^2)**
Outlier	61794000	0,92
Limite inferior		2,60
Aceitável	61429000	11,94
Aceitável	61031000	13,36
Limite superior		13,81
Outlier	61024000	13,94
Outlier	61014000	15,58
Outlier	61250000	16,53

A distribuição dos dados calculados de $q_{7,10}$ para as estações é apresentada na Figura 12. Foram destacados os valores extremos, sendo que a estação 61794000 mais uma vez obteve a menor vazão específica (0,22 L/s/km^2) e a estação 61014000, a maior (11,60 L/s/km^2). O valor médio da $q_{7,10}$ foi de 5,25 L/s/km^2.

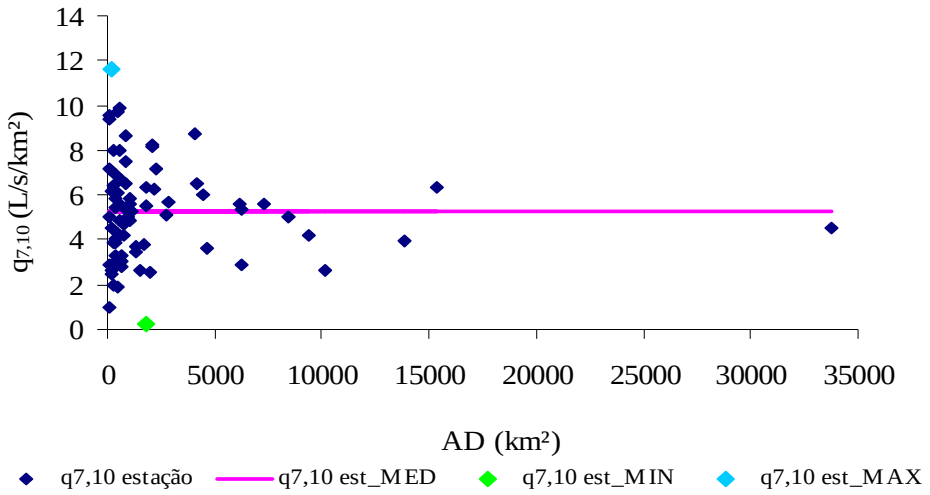


Figura 12. Vazões específicas $q_{7,10}$ calculadas para as estações fluviométricas, valores médio, mínimo e máximo.

A Tabela 13 apresenta os limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a análise da $q_{7,10}$. Os valores acima de 10,48 L/s/km^2 foram considerados *outliers* superiores e aqueles inferiores a -0,34 L/s/km^2, *outliers* inferiores. Apenas a estação 61014000 ficou fora do limite aceitável dos dados, sendo caracterizada como *outlier* superior.

Tabela 13. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a $q_{7,10}$ e as estações apontadas como *outliers*

Box Plot	**Estação**	**$q_{7,10}$ (L/s/km^2)**
Limite inferior		-0,34
Aceitável	61794000	0,28
Aceitável	61429000	7,17
Aceitável	61031000	9,37
Aceitável	61250000	9,52
Aceitável	61024000	9,89
Limite superior		10,48
Outlier	61014000	11,60

Como foi visto, o *Box Plot* determinou um valor negativo para o limite inferior da $q_{7,10}$, o qual, fisicamente, é impossível de ocorrer. A explicação pode estar relacionada à proximidade do menor valor calculado para as estações da origem do eixo das ordenadas e à dispersão entre os dados, fatores que influenciam diretamente nos valores dos quartis, os quais são a base de cálculo do gráfico *Box Plot*.

Dessa forma, para a caracterização de um valor fisicamente consistente do limite inferior da $q_{7,10}$ foi necessário intervir no resultado estatístico e redefinir esse limite estabelecido. Considerou-se o novo o limite como zero (0 L/s/km^2), aceitando-se, portanto, quaisquer valores abaixo de 10,48 L/s/km^2 para o estudo da vazão específica mínima $q_{7,10}$. Essa decisão foi baseada na segurança de projetos que tenham em seus objetivos a caracterização da disponibilidade hídrica local, evitando possíveis superestimativas de vazões mínimas.

Fazendo uma revisão dos resultados obtidos nas análises anteriores, as estações *outliers* coincidentes foram: a estação 61794000, que apresentou o menor valor nos parâmetros de análise, sendo classificada como *outlier* inferior, exceto no estudo da vazão mínima $Q_{7,10}$, o qual impossibilitou a acusação de quaisquer *outliers* inferiores devido ao valor do limite inferior estabelecido; e a estação 61014000, *outlier* superior em todas as análises. Portanto, essas duas estações não devem ser utilizadas no estudo de regionalização das vazões média e mínimas.

As estações 61024000 e 61250000 foram consideradas *outliers* em três de quatro análises do *Box Plot*; já a estação 61031000 foi considerada *outlier* na análise do coeficiente de escoamento e ficou no limite para ser *outlier* nas análises das vazões mínimas específicas de permanência.

Diante dos resultados e com o objetivo de se realizar uma eliminação padrão de estações, achou-se conveniente excluir as seguintes estações fluviométricas para o estudo de regionalização da vazão média e das vazões mínimas: 61014000, 61024000, 61031000, 61250000, 61429000 e 61794000.

A delimitação do limite inferior dos parâmetros de análise para as vazões média e mínimas é importante para evitar as subestimativas dessas vazões, o que conduziria a subutilização dos recursos hídricos, principalmente quando da concessão de outorgas de vazões. Já a determinação do limite superior evita a superestimativas das vazões, contornando problemas de disponibilidade hídrica nos cursos de água.

Devido ao fato da vazão média e das vazões mínimas estarem associadas, principalmente, à recarga do lençol freático e, portanto, não sofrerem grandes alterações instantâneas decorrentes de situações ou eventos críticos, os seus valores ao longo do ano não costumam apresentar variações bruscas tal como se verifica para os dados de vazão máxima. Dessa forma, a definição de uma máxima amplitude para os parâmetros de análise da vazão média e das mínimas não parece ser inconveniente para o estudo das vazões média e mínimas. A aplicação da técnica do *Box Plot* aos dados referentes às vazões média e mínimas pode ser bastante satisfatória para o aprimoramento do estudo de regionalização de vazões.

4.1.1.1.2. Estudo da vazão máxima

O estudo da vazão máxima utilizou como parâmetro de análise a vazão específica máxima (q_{max}) para identificar possíveis discrepâncias nos dados das estações fluviométricas a partir do *Box Plot*.

A distribuição dos dados calculados da q_{max} para as estações está apresentada na Figura 13. O máximo valor correspondeu à estação 61122000 (1465,60 L/s/km^2), o qual destoou claramente do conjunto de dados. Já o menor valor ficou com a estação 61925000 (77,05 L/s/km^2) e o valor médio foi de 291,56 L/s/km^2.

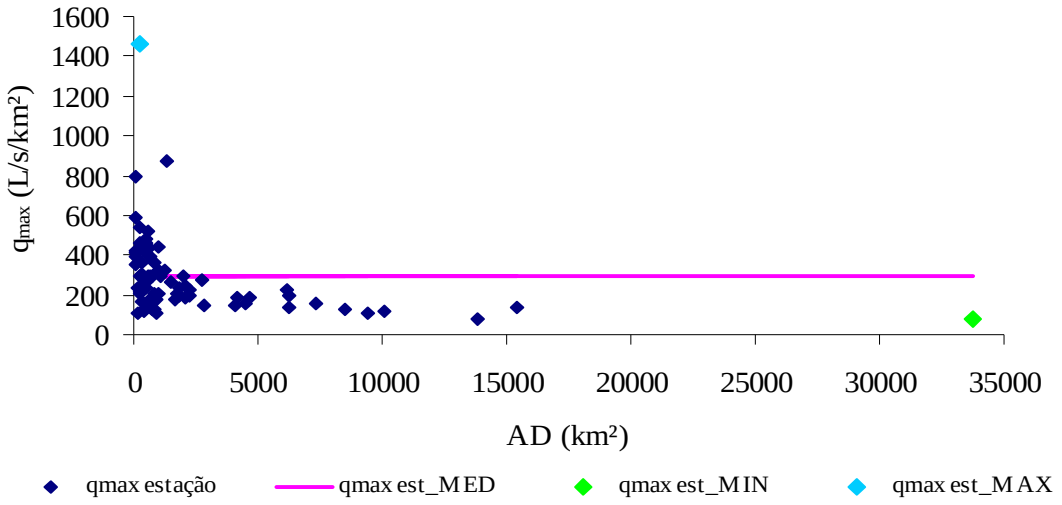


Figura 13. Vazões específicas q_{max} calculadas para as estações fluviométricas, valores médio, mínimo e máximo.

Aplicado o *Box Plot* foram identificadas três estações com dados inconsistentes, todas consideradas *outliers* superiores, sendo uma delas *outlier* extremo (Figura 14). Os bigodes do gráfico *Box Plot* representam o intervalo entre os valores máximo e mínimo calculados para as estações e que foram considerados aceitáveis (77,05 a 588,04 L/s/km^2).

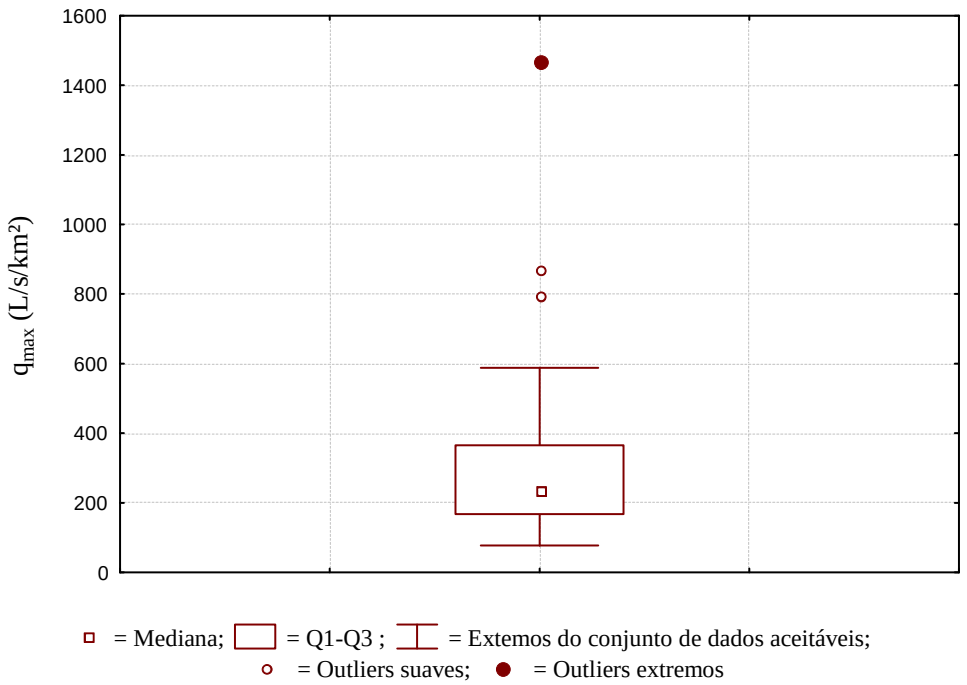


Figura 14. Gráfico *Box Plot* para a vazão específica máxima.

A Tabela 14 apresenta o resultado detalhado do *Box Plot* para a vazão máxima, mostrando que estações fluviométricas com vazões específicas máximas maiores que 656,70 L/s/km^2 foram consideradas *outliers* superiores e aquelas com vazões menores de -121,80 L/s/km^2, *outliers* inferiores.

Tabela 14. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a q_{max} e as estações apontadas como *outliers*

Box Plot	**Estação**	**q_{max} (L/s/km^2)**
Limite inferior		-121,80
Limite superior		656,67
Outlier	61429000	795,96
Outlier	61350000	870,75
Outlier extremo	61122000	1465,60

Portanto, seriam excluídas do estudo de regionalização as estações 61122000, 61350000 e 61429000 e haveria somente um limite para os valores de q_{max}, sendo aceitável qualquer q_{max} abaixo de 656,67 L/s/km^2, inclusive valores próximos a zero L/s/km^2, no entanto, este resultado não é coerente com o comportamento da vazão máxima. No caso da vazão mínima $Q_{7,10}$, onde também foi obtido um limite negativo, é compreensível a ocorrência de valores muito pequenos, por se tratar de uma vazão mínima, porém no caso da vazão máxima, este resultado mostra certa fragilidade da técnica do *Box Plot*.

Ademais, acredita-se que se executadas as exclusões recomendadas, a amplitude do intervalo dos dados aceitáveis poderia diminuir, a qual pode ser inconveniente para o estudo das vazões máximas, principalmente quando esta é advinda da exclusão de *outliers* superiores, os quais podem representar a ocorrência de eventos críticos máximos em determinada estação fluviométrica. A consideração de tais eventos na predição da vazão máxima pode ser de extrema importância para o dimensionamento de obras hidráulicas, evitando a subestimativa das vazões, o que é indesejável sob o ponto de vista da segurança do projeto.

Portanto, a identificação de estações *outliers* superiores na vazão máxima pode significar a presença de inconsistências na base de dados, mas também pode ser o reflexo da ocorrência de algum evento crítico importante para o cálculo da vazão.

Considerando tais constatações, decidiu-se fazer duas regionalizações para o estudo das vazões máximas. Uma utilizando a exclusão de estações indicadas pelo *Box Plot* e outra sem a exclusão dessas estações para, assim, comparar os resultados por meio da amplitude dos dados estimados e, a partir de então, recomendar o melhor procedimento para o estudo das vazões máximas.

4.1.1.2. Regionalização das vazões

Uma vez identificadas as inconsistências na base de dados, deu-se início à regionalização das vazões, realizando as devidas exclusões das estações fluviométricas.

A regionalização de vazões foi aplicada à bacia do Rio Grande, com exceção do Rio Grande e do Rio Pardo, para os quais foram utilizados dados de vazão natural.

4.1.1.2.1. Pré-seleção das variáveis independentes

Para a pré-seleção das variáveis independentes obteve-se a matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes, considerando os dados correspondentes às 74 estações fluviométricas utilizadas no estudo (Tabela 15). Quanto maior a correlação entre as variáveis, maior a capacidade de se explicar as variações na variável dependente.

Tabela 15. Matriz de correlação entre as vazões e as variáveis independentes

	$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}	Q_{mld}	Q_{max}	AD	P	P_{eq}	IH	P_{max}
$Q_{7,10}$	1									
Q_{95}	0,996	1								
Q_{90}	0,994	0,999	1							
Q_{mld}	0,980	0,992	0,994	1						
Q_{max}	0,904	0,910	0,912	0,925	1					
AD	0,972	0,985	0,986	0,989	0,896	1				
P	-0,081	-0,086	-0,091	-0,100	-0,148	-0,114	1			
P_{eq}	0,972	0,985	0,986	0,989	0,896	1,000	-0,107	1		
IH	-0,081	-0,086	-0,091	-0,100	-0,148	-0,114	1,000	-0,107	1	
P_{max}	0,037	0,033	0,029	0,017	0,001	0,020	0,393	0,024	0,393	1

AD = área de drenagem; P = precipitação média anual; P_{eq} = vazão equivalente; IH = inércia hídrica; P_{max} = precipitação máxima mensal

De acordo com os resultados, as variáveis P, IH e P_{max} apresentaram baixa correlação com as vazões, mostrando que a utilização isolada da variável precipitação não possui contribuição expressiva para o estudo da regionalização na bacia do Rio Grande. Esse comportamento já era esperado, devido à pequena variação da precipitação ao longo da drenagem da bacia observada nas Figuras 6 e 7.

As variáveis que apresentaram as maiores correlações com a vazão foram a área de drenagem e a vazão equivalente. Dessa forma, elas foram selecionadas para este estudo de regionalização de vazões. No entanto, por serem variáveis altamente dependentes entre si, elas não foram utilizadas numa mesma regressão, sendo estudadas separadamente.

A área de drenagem pode ser uma variável mais atrativa de utilização, devido à praticidade de sua obtenção, diferentemente do que ocorre com a vazão equivalente, a qual insere em seu cálculo a precipitação média anual, uma variável de difícil obtenção devido ao tratamento de preenchimento de falhas.

4.1.1.2.2. Regionalização da vazão média de longa duração

Para a regionalização da vazão média de longa duração (Q_{mld}) utilizaram-se dados de 68 estações fluviométricas, adotando-se o critério de exclusão proposto no item 4.1.1.1.1. Na Figura 15 apresenta-se a divisão de regiões proposta para a bacia, sendo que os pontos vermelhos e amarelos representam as estações fluviométricas de cada uma das duas regiões homogêneas. A região homogênea 1 possui trechos com áreas de drenagem que variam entre 3 e 24.852 km^2 e a região 2 trechos com áreas entre 1 e 17.950 km^2.

As linhas brancas de drenagem representam o Rio Grande e o Rio Pardo, os quais não foram inseridos neste estudo. A lista das estações fluviométricas ordenadas de acordo com a região homogênea está apresentada no Apêndice C.

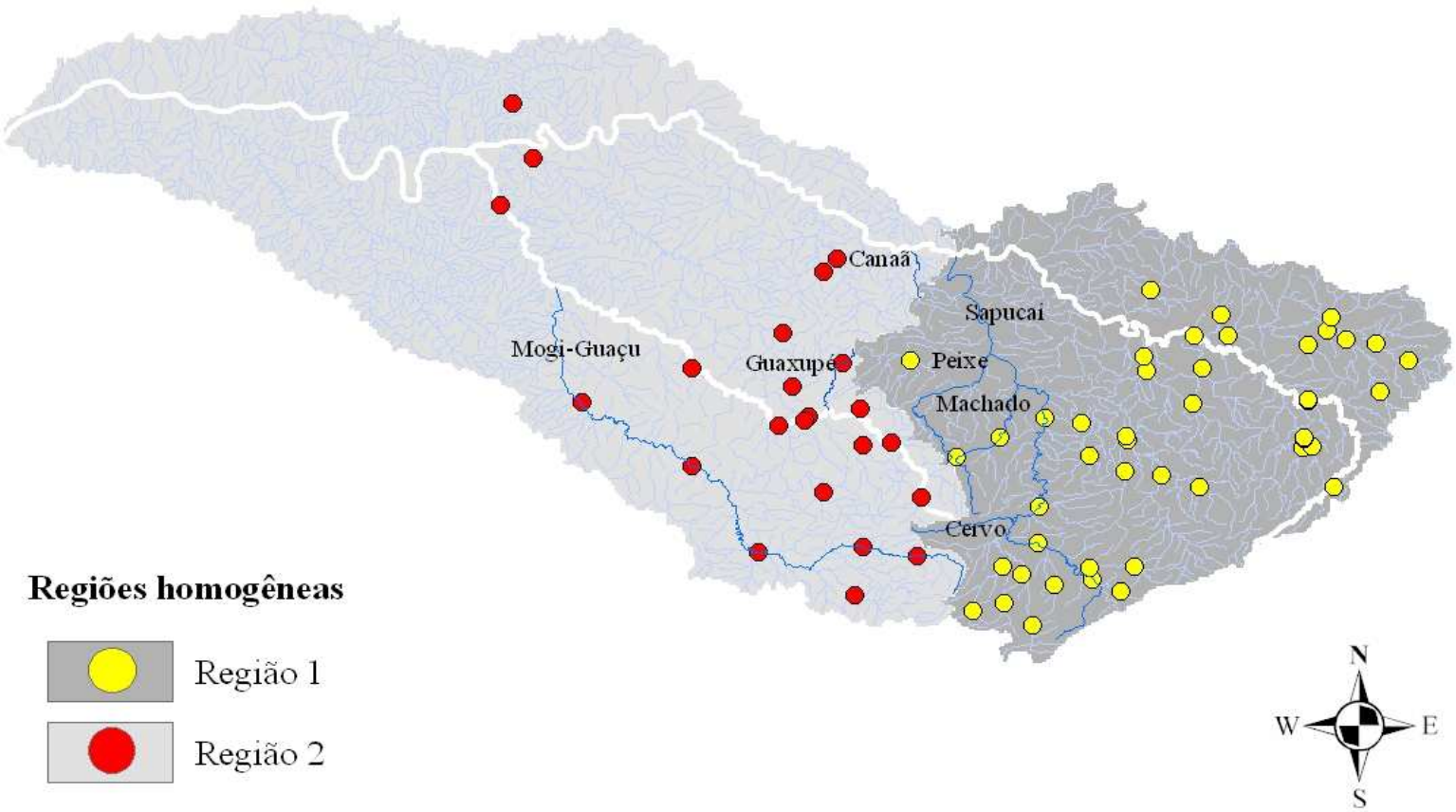


Figura 15. Regiões homogêneas propostas para a vazão média de longa duração, com as respectivas estações fluviométricas, ressaltando os rios que se situam nas proximidades do limite entre as regiões.

A Tabela 16 apresenta as equações ajustadas para cada região homogênea e variável independente. O melhor modelo foi o potencial e o coeficiente de determinação mostrou que a área de drenagem e a vazão equivalente apresentaram ajustes parecidos, no entanto a P_{eq} teve um desempenho levemente superior.

Tabela 16. Equações de regionalização da vazão média de longa duração na bacia do Rio Grande

Região	Estações	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
R1	45	AD	$Q_{mld} = 0{,}0243\ AD^{0{,}9806}$	0,986
		P_{eq}	$Q_{mld} = 0{,}4769\ P_{eq}^{0{,}9820}$	0,990
R2	23	AD	$Q_{mld} = 0{,}0248\ AD^{0{,}9628}$	0,993
		P_{eq}	$Q_{mld} = 0{,}4603\ P_{eq}^{0{,}9641}$	0,993

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

Análise da regionalização com base nos resíduos relativos

Analisando a estatística dos módulos dos resíduos calculados para as duas variáveis explicativas, nota-se que eles foram parecidos, porém, a vazão equivalente apresentou um desempenho melhor que o da área de drenagem, em que nenhuma estação teve o módulo do resíduo superior a 30% (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo de regionalização da Q_{mld}

Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	9,61%	10,62%
Máximo	26,58%	32,58%
Mínimo	0,02%	0,08%
ER > 30%	0% (0 estações)	1,5% (1 estação)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A Figura 16 apresenta a espacialização dos resíduos relativos obtidos entre os dados calculados para as estações e os dados estimados com as equações de regionalização utilizando a vazão equivalente como variável explicativa. Os valores dos erros relativos para as duas variáveis explicativas são apresentados no Apêndice C. Observa-se que o ajuste das equações teve desempenho parecido nas duas regiões homogêneas, apresentando certo equilíbrio entre os valores extremos dos resíduos relativos nessas regiões, em que o maior resíduo, em módulo, da região 1 foi 26,22% e o da região 2 foi 26,58%.

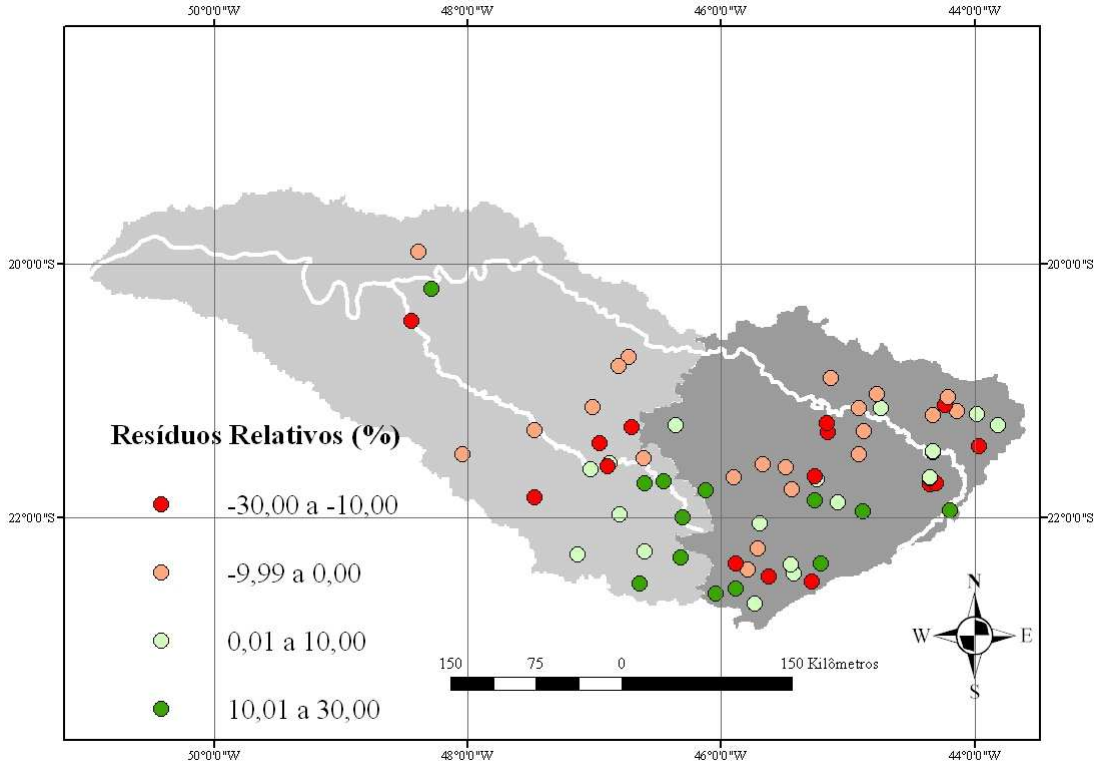


Figura 16. Resíduos relativos (%) para cada estação fluviométrica obtidos no estudo da Q_{mld} para a bacia do Rio Grande.

Os resíduos negativos correspondem a superestimativa das vazões estimadas, enquanto os positivos a subestimativa. A Tabela 18 mostra que houve uma leve tendência à superestimativa da vazão média nas estações fluviométricas da bacia do Rio Grande, com uma maior freqüência de resíduos variando entre 0 a -5%, na região 1, e entre -5% a -15%, na região 2.

Tabela 18. Classes de freqüência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da Q_{mld}

Classes	Freqüência absoluta dos resíduos relativos			
	R1		R2	
	+	-	+	-
0-5%	8	10	2	2
5-15%	7	8	7	8
15-30%	6	6	2	2
Total	21	24	11	12

De acordo com os resíduos obtidos na estimativa da vazão média de longa duração pode-se dizer que as equações de regionalização apresentaram um bom ajuste aos dados, com um erro médio inferior a 10%.

Análise da regionalização com base no coeficiente de escoamento

A Tabela 19 apresenta a estatística do coeficiente de escoamento estimado para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande utilizando a área de drenagem e a vazão equivalente como variáveis independentes.

Tabela 19. Coeficientes de escoamento estimados para cada trecho da hidrografia com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas do coeficiente de escoamento			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	*Outliers*
AD	0,46	0,56	0,36	3353	0
P_{eq}	0,44	0,51	0,36	3353	0

Como é possível observar, os valores médio e mínimo obtidos pelas duas variáveis foram bem parecidos, sendo que a maior diferença verificada foi no valor máximo do coeficiente estimado. Não foi verificada a presença de trechos com

valores de coeficiente de escoamento *outliers* em nenhum dos ajustes, mostrando que as equações propostas não produziram dados inconsistentes.

A amplitude dos coeficientes calculados para as estações (0,32 a 0,59) foi maior que as amplitudes alcançadas com as equações de regionalização, sendo esta mais parecida à amplitude obtida com o ajuste da área de drenagem (0,36 a 0,56), no entanto, a média dos coeficientes calculados (0,44) se assemelhou à média dos coeficientes estimados a partir da vazão equivalente (0,44). A utilização da área de drenagem teve uma leve tendência a superestimar as vazões em relação à utilização da vazão equivalente.

A Figura 17 apresenta o comportamento do coeficiente de escoamento estimado ao longo da bacia do Rio Grande, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites do *Box Plot* para cada região homogênea. O intervalo das áreas de drenagem apresentado na figura para cada região homogênea corresponde à amplitude das áreas das estações fluviométricas.

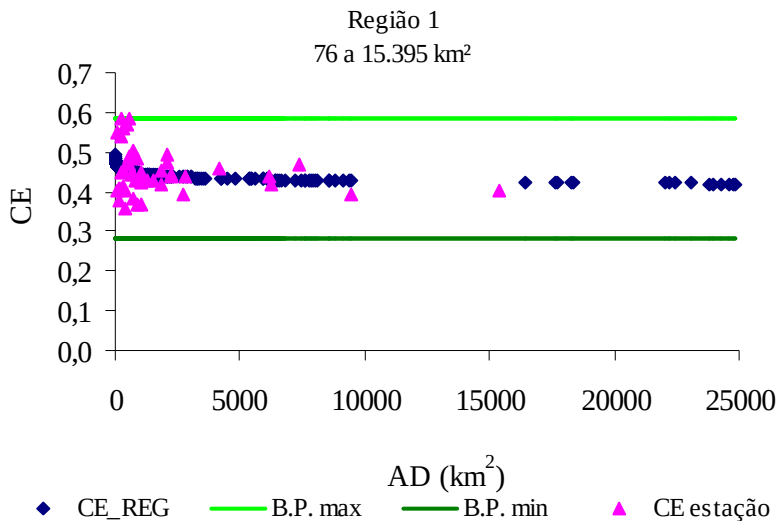
As duas regiões mostraram uma tendência decrescente do coeficiente de escoamento em relação à área de drenagem, sendo essa tendência mais acentuada na região 2. Os maiores valores de coeficiente corresponderam aos trechos de cabeceira de rios e os menores aos trechos com as maiores áreas de drenagem.

A região 1 apresentou pouca variação dos coeficientes estimados, que oscilaram entre 0,42 e 0,49, mostrando certo achatamento dos dados estimados (CE REG) em relação aos calculados (CE estação). Na região 2, a amplitude obtida foi maior (0,15), porém a média dos coeficientes estimados (0,44) foi inferior à média das estações da região 1 (0,46). A região 1 obteve, de maneira geral, coeficientes estimados maiores e mais homogêneos que a região 2. Nas duas regiões os coeficientes de escoamento estimados ficaram afastados dos limites estabelecidos pelo *Box Plot*.

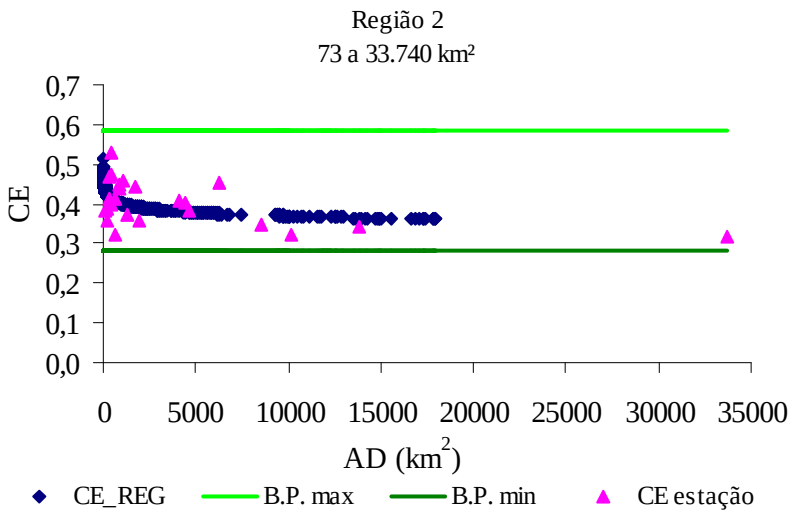
Nota-se que em nenhuma das regiões o coeficiente estimado foi superior ao máximo coeficiente calculado, não sendo necessário aplicar a alternativa para minimizar o efeito do uso da extrapolação das equações.

A Figura 18 apresenta a espacialização dos coeficientes calculados para as estações fluviométricas e dos coeficientes estimados para cada trecho da hidrografia a partir da equação de regionalização.

(a)



(b)



B.P. max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P. min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 17. Coeficientes de escoamento estimados com a equação da vazão equivalente para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a região 1 (a) e para a região 2 (b).

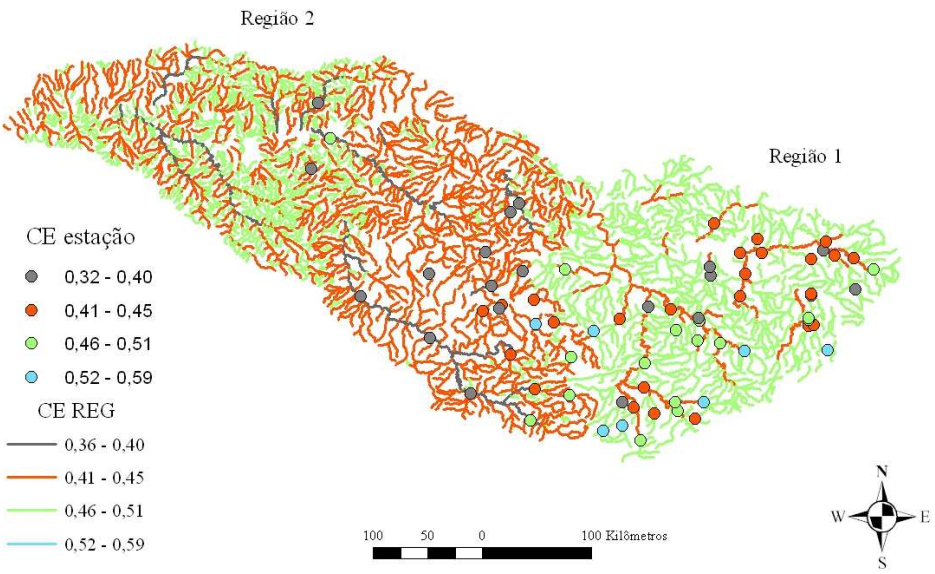


Figura 18. Coeficientes de escoamento estimados para cada trecho da hidrografia em função da vazão equivalente e calculados para as estações fluviométricas da bacia do Rio Grande.

Os maiores coeficientes calculados ocorreram, predominantemente, na região 1, perto das áreas de cabeceira da bacia, justamente onde se verificaram as maiores precipitações. Em direção à foz da bacia, percebe-se uma tendência de redução dos valores dos coeficientes de escoamento, alcançando o mínimo de 0,32 na estação 61925000, localizada perto da foz do Rio Pardo.

O Alto Rio Grande apresentou os maiores coeficientes de escoamento estimados, os quais sofreram uma pequena redução na área do Médio Rio Grande e voltaram a aumentar no Baixo Rio Grande. Os locais com os menores valores (trechos cinzas) corresponderam aos rios Mogi-Guaçu, Uberaba, Turvo, Preto, Verde (ou Feio), Jaguari-mirim e Peixe, todos localizados na região 2.

A análise do coeficiente de escoamento mostrou que a Q_{mld} ajustada pelas equações propostas teve um comportamento físico aceitável, sem produzir dados inconsistentes para a condição da bacia do Rio Grande, apresentando, entretanto, certa redução da amplitude dos valores estimados pela regionalização em relação aos valores encontrados nas estações fluviométricas.

As equações propostas para a Q_{mld} tiveram um desempenho levemente superior quando ajustadas à variável independente vazão equivalente e considera-se

que elas podem ser utilizadas em quaisquer seções da bacia do Rio Grande sem necessidade de ajustes, já que os coeficientes estimados foram menores que o maior coeficiente calculado nas estações fluviométricas e não se verificou a presença de *outliers* nesta regionalização.

Considerações sobre a descontinuidade de vazões

Uma das grandes limitações do método tradicional é a ocorrência de descontinuidades de vazões, tanto entre regiões homogêneas, como após as confluências de uma única região homogênea quando a equação ajustada para esta região não é linear.

No caso da bacia do Rio Grande, não se verificou a ocorrência de descontinuidade entre regiões homogêneas na estimativa da Q_{mld}, pois nenhum rio cortou duas regiões homogêneas, não sendo necessária a mudança da equação ajustada.

Já dentro de uma mesma região homogênea, ocorreram descontinuidades, pois o modelo ajustado não foi linear. No caso do modelo potencial, quanto mais próximo de um for o expoente, menor será a descontinuidade. Na equação ajustada para a região 1, obteve-se um expoente de 0,98, enquanto que para a equação da região 2 obteve-se um valor de 0,96. Como o expoente da região 1 se aproximou mais de um, essa região deve apresentar menores descontinuidades de vazões que a região 2.

4.1.1.2.3. Regionalização das vazões mínimas ($Q_{7,10}$; Q_{95}; Q_{90})

Na regionalização das vazões mínimas utilizaram-se dados de 68 estações fluviométricas, adotando o mesmo critério de exclusão utilizado no estudo da Q_{mld}. Na Figura 19 apresenta-se a divisão de regiões proposta para a bacia, sendo que os pontos vermelhos, amarelos e verdes representam as estações fluviométricas de cada uma das três regiões homogêneas. As linhas brancas de drenagem representam o Rio Grande e o Rio Pardo, os quais não foram inseridos neste estudo. A lista das estações fluviométricas ordenadas de acordo com a região homogênea está apresentada no Apêndice C.

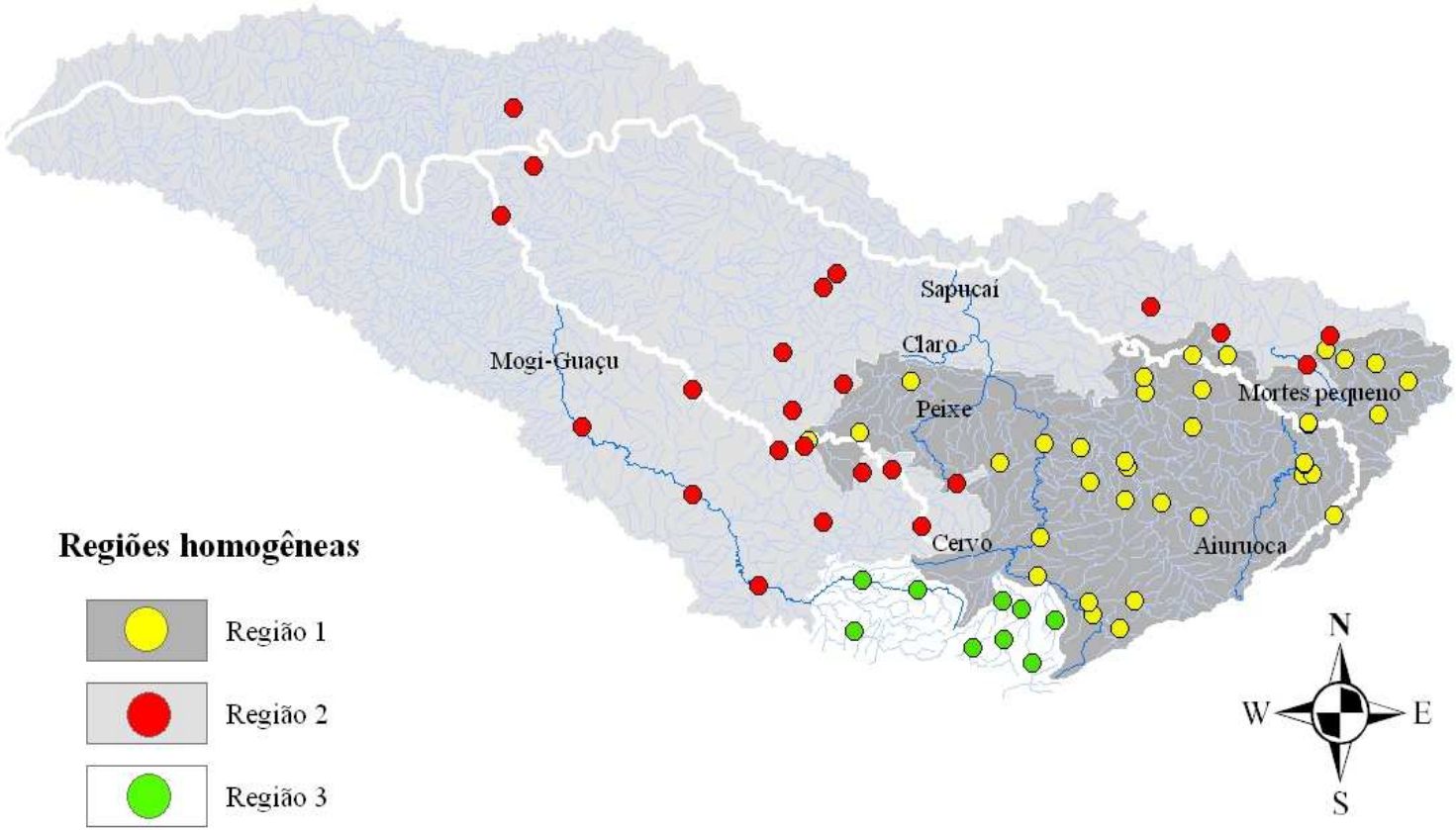


Figura 19. Regiões homogêneas propostas para as vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}), com as respectivas estações fluviométricas, ressaltando os rios que se situam nas proximidades do limite entre as regiões.

Na região homogênea 1, os trechos possuem áreas que variam entre 3 e 18.362 km^2, na região 2 entre 1 e 24.852 km^2 e na região 3 entre 12 e 2.165 km^2.

4.1.1.2.3.1. Regionalização da vazão mínima $Q_{7,10}$

A Tabela 20 apresenta as equações ajustadas para cada região homogênea e variável independente. O modelo com melhor ajuste foi o potencial e os coeficientes de determinação obtidos com as duas variáveis foram iguais nas regiões 2 e 3, sendo que, na região 1, a equação com a vazão equivalente teve um coeficiente de determinação levemente superior.

A região 3 teve o menor número de estações fluviométricas (nove) e as variáveis independentes tiveram menor capacidade de explicar as variações na vazão mínima $Q_{7,10}$ (87,1%).

Tabela 20. Equações de regionalização ajustadas para a vazão mínima $Q_{7,10}$ na bacia do Rio Grande

Região	Estações	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
R1	36	AD	$Q_{7,10} = 0,0058\ AD^{1,0068}$	0,969
		P_{eq}	$Q_{7,10} = 0,1204\ P_{eq}^{1,0131}$	0,975
R2	23	AD	$Q_{7,10} = 0,0019\ AD^{1,0740}$	0,979
		P_{eq}	$Q_{7,10} = 0,0513\ P_{eq}^{1,0728}$	0,979
R3	9	AD	$Q_{7,10} = 0,0004\ AD^{1,3873}$	0,871
		P_{eq}	$Q_{7,10} = 0,0240\ P_{eq}^{1,3854}$	0,871

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

Análise da regionalização com base nos resíduos relativos

As equações ajustadas para a $Q_{7,10}$ produziram erros nas estações fluviométricas de até 154%, com uma média de, aproximadamente, 20%. Analisando os resíduos das duas variáveis explicativas, nota-se que a estatística deles foi parecida, no entanto, o ajuste da P_{eq} produziu uma menor média e um menor valor máximo dos módulos dos resíduos (Tabela 21).

Tabela 21. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo de regionalização da $Q_{7,10}$

Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	19,54%	21,68%
Máximo	124,14%	154,25%
Mínimo	0,07%	0,48%
ER > 30%	19,1% (13 estações)	17,7% (12 estações)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A regionalização da $Q_{7,10}$ apresentou piores ajustes em relação à regionalização da Q_{mld}, em que o máximo resíduo obtido foi de apenas 33% e o erro médio foi duas vezes menor que o verificado na $Q_{7,10}$. As possíveis razões para este comportamento podem estar associadas às falhas nas séries históricas da Q_7, ao ajuste da Q_7 a uma distribuição de probabilidade e à menor magnitude das vazões mínimas em relação à das vazões médias.

A Figura 20 apresenta a espacialização dos resíduos relativos obtidos entre os dados calculados para as estações e os dados estimados com as equações de regionalização utilizando a vazão equivalente como variável explicativa. Os valores dos erros relativos para as duas variáveis explicativas são apresentados no Apêndice C.

A região 1 apresentou os menores resíduos, e a região 3 os maiores, com valores de até 124%, correspondente à estação 61360000. Analisando os dados de vazão dessa estação, verificou-se uma grande quantidade de falhas, que acarretou no descarte de oito anos consecutivos do seu período-base. Essa eliminação, provavelmente provocou uma modificação da série que ocasionou no alto erro relativo obtido.

De maneira geral, as estações com mais falhas em suas séries históricas apresentaram os maiores resíduos, mostrando que a perda da informação hidrológica referente aos anos descartados prejudicou o ajuste da $Q_{7,10}$.

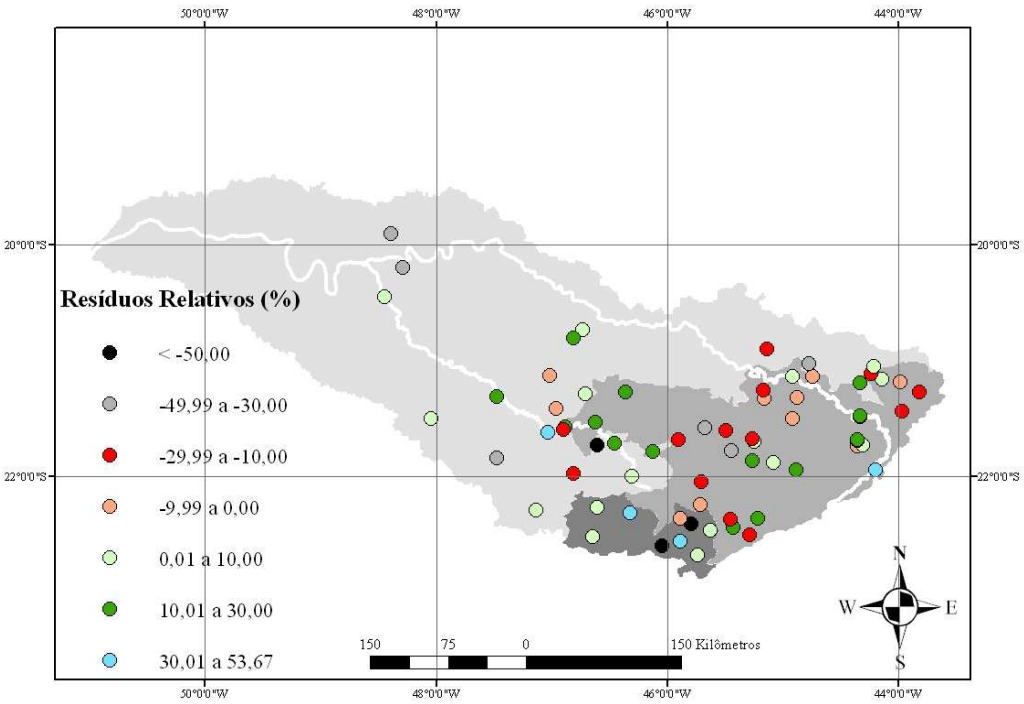


Figura 20. Resíduos relativos (%) para cada estação fluviométrica obtidos no estudo da $Q_{7,10}$ para a bacia do Rio Grande.

A Tabela 22 mostra que na região 1 houve uma maior tendência à superestimativa da $Q_{7,10}$, enquanto que nas regiões 2 e 3 a tendência foi levemente de subestimativa. A maior freqüência de resíduos ocorreu nas classes de -5% a -15%, 5% a 15% e 0% a 5% para as regiões 1, 2 e 3, respectivamente. Resíduos superiores a 50% apareceram somente nas regiões 2 e 3, principalmente na região 3, a qual é constituída, em sua maioria, por estações fluviométricas de cabeceira, que possuem vazões mínimas bem pequenas e, portanto, mais suscetíveis a maiores resíduos.

Tabela 22. Classes de freqüência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da $Q_{7,10}$

Classes	Freqüência absoluta dos resíduos relativos					
	R1		R2		R3	
	+	-	+	-	+	-
0 - 5%	4	3	2	1	3	0
5 - 15%	4	8	6	3	1	1
15 - 30%	7	7	4	1	0	0
30 - 50%	1	2	1	4	1	0
> 50%	0	0	0	1	1	2
Total	16	20	13	10	6	3

Análise da regionalização com base na vazão específica ($q_{7,10}$)

A vazão específica mínima $q_{7,10}$ é o indicador do comportamento físico da $Q_{7,10}$ e a Tabela 23 apresenta a estatística dos seus valores estimados para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande utilizando a área de drenagem e a vazão equivalente como variável independente.

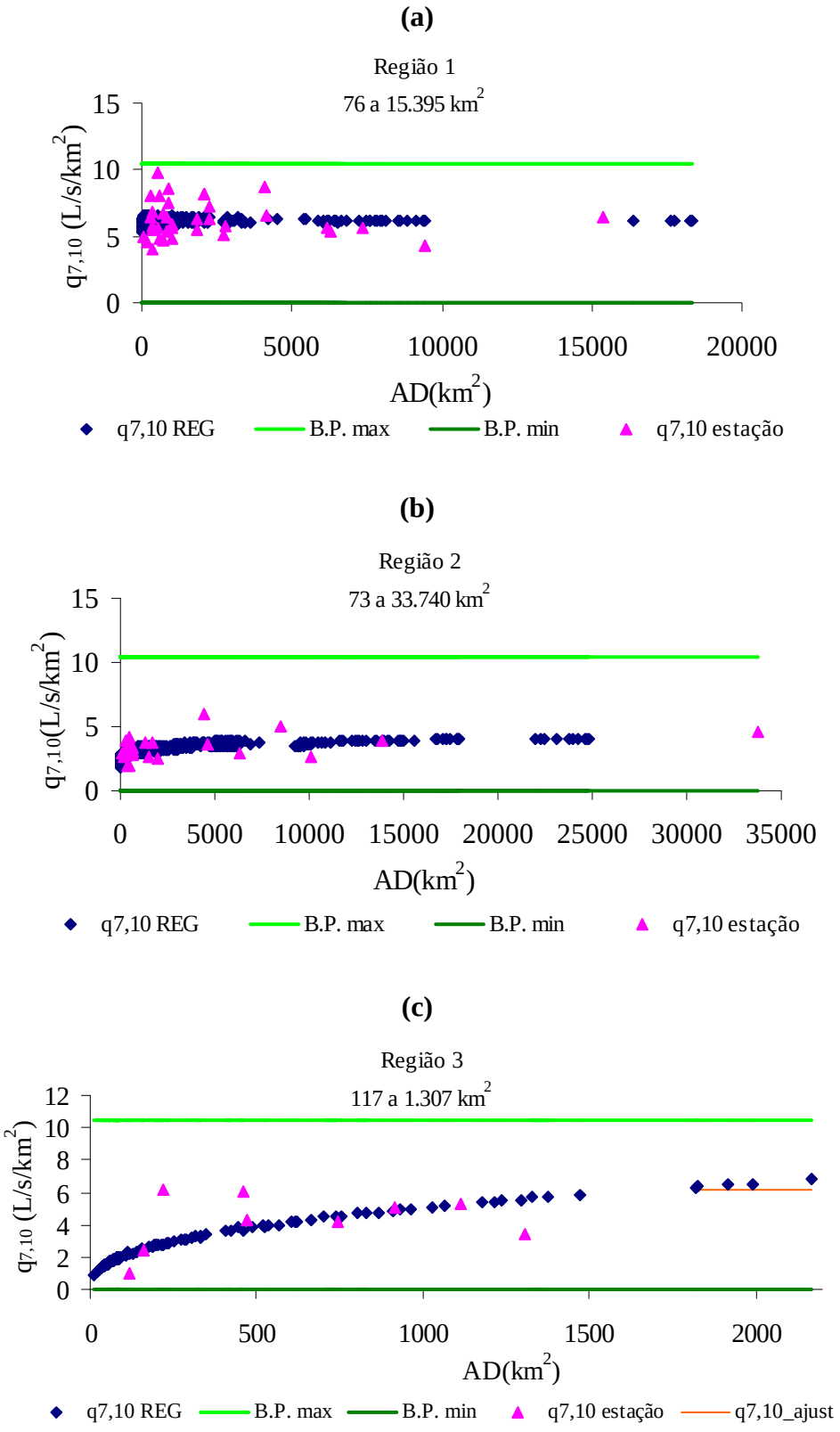
Tabela 23. Vazões específicas, $q_{7,10}$, estimadas para cada trecho da hidrografia com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas da vazão específica $q_{7,10}$ (L/s/km^2)			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	*Outliers*
AD	3,24	7,83	1,05	3353	0
P_{eq}	3,20	6,86	0,92	3353	0

As estatísticas apresentadas das duas variáveis apresentaram valores similares, sendo que o ajuste com a área de drenagem apresentou os valores médio e máximo superiores ao ajuste da vazão equivalente, tendo uma leve tendência a superestimar as vazões, assim como foi verificado no estudo da Q_{mld}. A amplitude da $q_{7,10}$ observada nas estações fluviométricas foi de 0,99 a 9,76 L/s/km^2, mostrando que os máximos estimados não superaram o máximo das estações e os mínimos estimados foram menores que o mínimo das estações. Não foi verificada a presença de trechos com valores de vazão específica *outliers* em nenhum dos ajustes, mostrando que as equações propostas não produziram dados inconsistentes.

A Figura 21 apresenta o comportamento da vazão específica $q_{7,10}$ estimada ($q_{7,10}$ REG) ao longo da bacia do Rio Grande, comparado aos valores calculados para as estações ($q_{7,10}$ estação) e aos limites do *Box Plot* para cada região homogênea.

Dentre as regiões homogêneas, a região 1 apresentou o maior achatamento dos dados estimados em relação aos obtidos nas estações fluviométricas, que variaram de 5,35 a 6,59 L/s/km^2, não sendo possível identificar uma tendência (crescente ou decrescente) para a curva da $q_{7,10}$ estimada ao longo da hidrografia.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 21. Vazões específicas $q_{7,10}$ estimadas com a equação da vazão equivalente para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a região 1 (a), região 2 (b) e região 3 (c).

A região 2 teve uma leve tendência de crescimento da $q_{7,10}$ em direção às maiores áreas de drenagem, assim como verificado na região 3, porém, neste caso, um pouco mais acentuada. Na região 3, os quatro trechos da hidrografia com as maiores áreas de drenagem (superior a 1.820 km^2) tiveram valores estimados da $q_{7,10}$ superiores ao máximo valor calculado para as estações desta região (6,16 L/s/km^2), sendo necessário aplicar a alternativa para minimizar o efeito do uso da extrapolação das equações, representada pela linha laranja na Figura 21, conforme a equação

$$Q_{7,10_ajust} = \frac{6{,}16AD}{1000}\text{, para } q_{7,10\,(\text{estimada})} > 6{,}16 \text{ L/s/km}^2 \text{ na região 3} \qquad (14)$$

Foi verificado que o comportamento da curva da $q_{7,10}$ estimada ao longo da hidrografia foi semelhante ao da precipitação média anual. Como a vazão específica é a relação entre a vazão e a área de drenagem da seção e, neste caso, a equação da $Q_{7,10}$ foi ajustada à variável vazão equivalente, o valor da $q_{7,10}$ ficou em função da área de drenagem e, com preponderância da precipitação média anual, pois o valor do expoente desta ($P^{\beta 1}$) foi maior que o daquela ($AD^{(\beta 1-1)}$), em que β1 é um valor muito próximo a 1 (Figura 22).

Portanto, vazões específicas calculadas a partir da vazão estimada pela vazão equivalente terão seu comportamento variando, principalmente, de acordo com a precipitação média anual. A seqüência lógica também pode ser adaptada à análise do comportamento do coeficiente de escoamento, realizando apenas as devidas modificações das equações.

$$Q_{min} = \beta_0 \, P_{eq}^{\beta 1}$$

$$q = \frac{\beta_0 AD^{\beta 1} P^{\beta 1}}{AD}$$

$$q = \beta_0 \, AD^{\beta 1-1} \, P^{\beta 1}$$

Figura 22. Seqüência lógica que explica o comportamento da vazão específica em função, principalmente, da precipitação média anual (P) ao longo da hidrografia.

A Figura 23 apresenta a espacialização das vazões específicas calculadas para as estações fluviométricas e das vazões específicas estimadas para cada trecho da hidrografia a partir da equação de regionalização. As estações com as maiores $q_{7,10}$ estão, predominantemente, na região 1 e os menores, nas regiões 2 e 3, comportamento que correspondeu ao das $q_{7,10}$ estimadas, em que a região 1, localizada mais próxima à nascente da bacia, apresentou uma $q_{7,10}$ média de 5,91 L/s/km^2, que foi mais que o dobro da média dos valores das $q_{7,10}$ das regiões 2 e 3 (2,69 e 2,91 L/s/km^2, respectivamente). A região 1 apresentou valores estimados, principalmente, na classe de 4,1 a 6,0 L/s/km^2; a região 2 na classe de 2,1 a 4,0 L/s/km^2; e a região 3 valores entre 1,0 a 6,0 L/s/km^2.

As equações propostas para a $Q_{7,10}$ tiveram um melhor desempenho quando ajustadas à variável independente vazão equivalente. Considera-se que as equações podem ser aplicadas em quaisquer trechos da bacia do Rio Grande, seguindo, porém, o ajuste recomendado para a região 3 para minimizar o efeito do uso da extrapolação (equação 14).

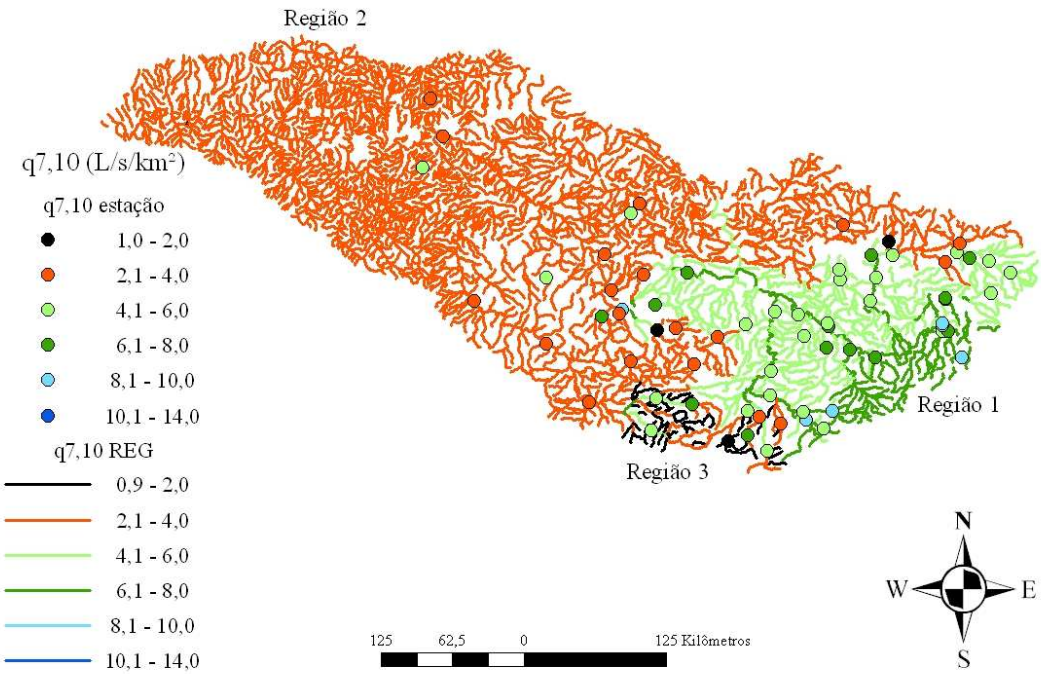


Figura 23. Vazões específicas $q_{7,10}$ estimadas para cada trecho da hidrografia em função da vazão equivalente e calculadas para as estações fluviométricas da bacia do Rio Grande.

A análise do comportamento físico da vazão mostrou que os seus maiores valores de vazão específica mínima ($q_{7,10}$) corresponderam à região de cabeceira da bacia, porém com dados levemente achatados em relação aos valores encontrados nas estações fluviométricas, e os menores valores corresponderam aos trechos mais pertos da foz da bacia.

4.1.1.2.3.2. Regionalização das vazões mínimas Q_{95} e Q_{90}

Os resultados das regionalizações das vazões mínimas com permanência de 95% e 90% são apresentados nas Tabelas 24 e 25, respectivamente.

Tabela 24. Equações de regionalização ajustadas para a vazão mínima Q_{95} na bacia do Rio Grande

Região	Estações	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
R1	36	AD	$Q_{95} = 0{,}0086\ AD^{0{,}9886}$	0,977
		P_{eq}	$Q_{95} = 0{,}1687\ P_{eq}^{0{,}9946}$	0,982
R2	23	AD	$Q_{95} = 0{,}0036\ AD^{1{,}0502}$	0,990
		P_{eq}	$Q_{95} = 0{,}0884\ P_{eq}^{1{,}0491}$	0,991
R3	9	AD	$Q_{95} = 0{,}0042\ AD^{1{,}0707}$	0,949
		P_{eq}	$Q_{95} = 0{,}1088\ P_{eq}^{1{,}0696}$	0,949

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

O modelo com melhor ajuste foi o potencial e as variáveis área de drenagem e vazão equivalente apresentaram desempenho semelhante, com coeficientes de determinação superiores a 0,94 tanto para Q_{95} como para Q_{90}. A vazão equivalente teve um desempenho levemente superior nas regiões 1 e 2 da vazão Q_{95}, e nas regiões 1 e 3 da vazão Q_{90}. As equações propostas para essas vazões mínimas tiveram maior capacidade de explicar a variação na vazão que as equações obtidas para a vazão $Q_{7,10}$.

Tabela 25. Equações de regionalização ajustadas para a vazão mínima Q_{90} na bacia do Rio Grande

Região	Estações	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
R1	36	AD	$Q_{90} = 0{,}0099\ AD^{0{,}9883}$	0,980
		P_{eq}	$Q_{90} = 0{,}1949\ P_{eq}^{0{,}9939}$	0,985
R2	23	AD	$Q_{90} = 0{,}0049\ AD^{1{,}0360}$	0,993
		P_{eq}	$Q_{90} = 0{,}1159\ P_{eq}^{1{,}0347}$	0,993
R3	9	AD	$Q_{90} = 0{,}0069\ AD^{1{,}0236}$	0,958
		P_{eq}	$Q_{90} = 0{,}1548\ P_{eq}^{1{,}0228}$	0,959

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

Análise da regionalização com base nos resíduos relativos

Os resíduos, em módulo, calculados para as seções das estações fluviométricas tiveram uma média de, aproximadamente, 14% para a Q_{95} e 12% para a Q_{90}, sendo todos inferiores a 40%. Esses resultados mostraram que, no estudo das vazões mínimas, a Q_{95} e a Q_{90} são menos suscetíveis aos altos resíduos e, conseqüentemente, produziram equações com melhor desempenho estatístico que a vazão $Q_{7,10}$, possivelmente por não estarem associadas a uma distribuição de probabilidade e por terem maior magnitude. Em relação à seleção da variável explicativa, nota-se que o uso da vazão equivalente apresentou uma discreta vantagem em relação ao uso da área de drenagem (Tabela 26).

Tabela 26. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas nos estudos de regionalização da Q_{95} e da Q_{90}

Estatística	Q_{95}		Q_{90}	
	P_{eq}	AD	P_{eq}	AD
Média	13,26%	14,33%	11,39%	12,50%
Máximo	39,52%	37,66%	34,73%	33,67%
Mínimo	0,71%	0,03%	0,12%	0,29%
ER > 30%	5,9% (4 est.)	10,3% (7 est.)	4,4% (3 est.)	7,4% (5 est.)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A Figura 24 apresenta a espacialização dos resíduos relativos obtidos nas estações, utilizando a vazão equivalente. Os valores dos erros relativos para as duas variáveis explicativas são apresentados no Apêndice C.

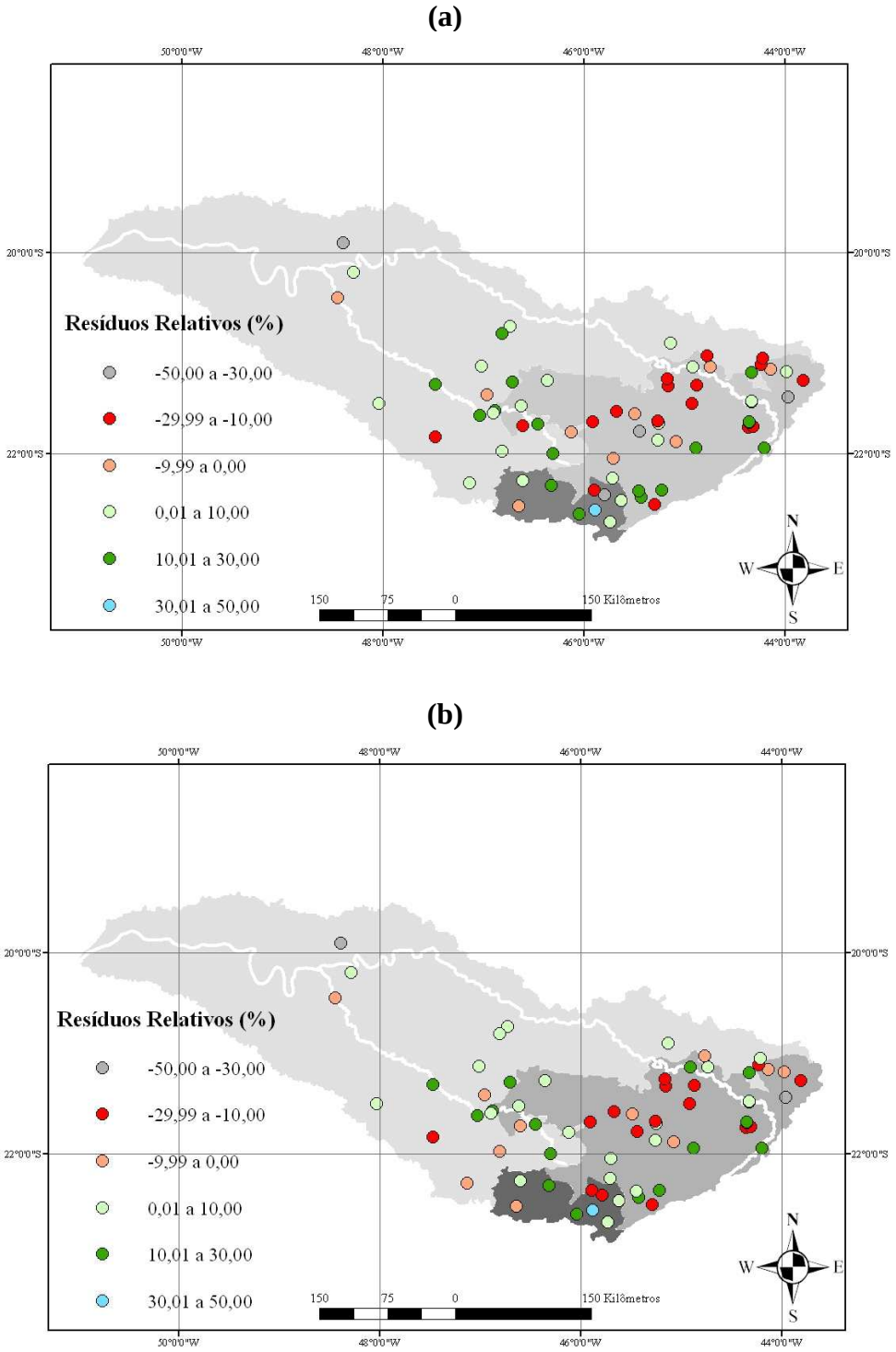


Figura 24. Resíduos relativos (%) para cada estação fluviométrica obtidos no estudo da Q_{95} (a) e da Q_{90} (b) para a bacia do Rio Grande.

Os ajustes das equações da Q_{95} e da Q_{90} conduziram a erros relativos parecidos, sendo que a Q_{90} teve erros discretamente menores que a Q_{95}, os quais variaram de -39,52% a 34,12% no estudo da Q_{95} e de -34,73% a 28,21% no estudo Q_{90}. De maneira geral, a região 2 apresentou os menores erros, porém sem ter um desempenho expressivamente melhor que o das outras regiões.

A Tabela 27 mostra que no estudo da Q_{95}, a região 1 teve 55% das estações fluviométricas com tendência a superestimar as vazões, a região 2 teve um comportamento inverso, com 56% das estações com tendência a subestimar as vazões. Na região 3 houve um certo equilíbrio nos resultados. Praticamente não houve estações com erros, em módulo, acima dos 30% e nenhuma estação com resíduo acima de 50%. Resultados semelhantes foram obtidos no estudo da Q_{90} (Apêndice C).

As equações propostas para as vazões mínimas associadas às permanência de 90 e 95% apresentaram um bom desempenho estatístico, com erros médios inferiores a 15%, sendo que a Q_{90} obteve resíduos menores que os da Q_{95}.

Tabela 27. Classes de freqüência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da Q_{95}

Classes	Freqüência absoluta dos resíduos relativos					
	R1		R2		R3	
	+	-	+	-	+	-
0 - 5%	4	5	2	6	1	0
5 - 15%	4	9	4	2	1	2
15 - 30%	8	5	4	3	1	3
30 - 50%	0	1	0	2	1	0
> 50%	0	0	0	0	0	0
Total	1	20	10	13	4	5

Análise da regionalização com base na vazão específica (q_{95} e q_{90})

Neste item foi avaliado o comportamento físico das vazões mínimas q_{95} e q_{90} ao longo da hidrografia da bacia do Rio Grande. A Tabela 28 apresenta as estatísticas da q_{95} e da q_{90} estimadas para cada trecho da hidrografia utilizando a área de drenagem e a vazão equivalente como variável independente.

Tabela 28. Vazões específicas, q_{95} e q_{90}, estimadas para cada trecho da hidrografia com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas da vazão específica $\mathbf{q_{95}}$ (L/s/km^2)			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	*Outliers*
AD	5,16	8,49	3,62	3353	0
P_{eq}	5,04	9,00	3,38	3353	0
Variável	Estatísticas da vazão específica $\mathbf{q_{90}}$ (L/s/km^2)			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	*Outliers*
AD	6,42	9,77	4,92	3353	0
P_{eq}	6,30	10,39	4,59	3353	0

As vazões específicas q_{95} referentes às estações fluviométricas tiveram média de 6,91 L/s/km^2, e seus valores variaram de 3,77 a 11,60 L/s/km^2. Comparando esses valores aos estimados pelas equações de regionalização, nota-se que as equações produziram vazões específicas médias menores, os valores mínimos estimados ficaram abaixo do mínimo obtido nas estações e em nenhum trecho foi alcançado o valor máximo obtido nas estações. Dessa forma, pode-se esperar que a utilização das equações propostas promova, na maioria dos casos, a subestimativa das vazões.

Essa mesma tendência foi observada no estudo da Q_{90}, em que as vazões específicas das estações fluviométricas obtiveram uma média de 8,15 L/s/km^2 frente à média de 6,30 L/s/km^2 estimada pela equação (ajuste com a vazão equivalente), e o valor máximo da estação foi de 13,20 L/s/km^2 frente ao valor máximo estimado de 10,39 L/s/km^2.

Analisando o desempenho das variáveis explicativas, observa-se que o ajuste da área de drenagem teve maior média, porém menor valor máximo, em ambas as vazões específicas (q_{95} e q_{90}), apesar das diferenças verificadas serem bem reduzidas. A vazão específica média mostra que o uso da área de drenagem superestimou as vazões em relação ao uso da vazão equivalente. Não foi verificada a presença de trechos com valores de vazão específica *outliers* em nenhum dos ajustes, mostrando que as equações propostas não produziram dados inconsistentes.

A Figura 25 apresenta o comportamento da curva da vazão específica q_{95} ao longo da bacia do Rio Grande (q_{95} REG), comparado aos valores calculados para as estações (q_{95} estação) e aos limites do *Box Plot* para cada região homogênea. O intervalo das áreas de drenagem apresentado na figura para cada região homogênea corresponde à amplitude das áreas das estações fluviométricas.

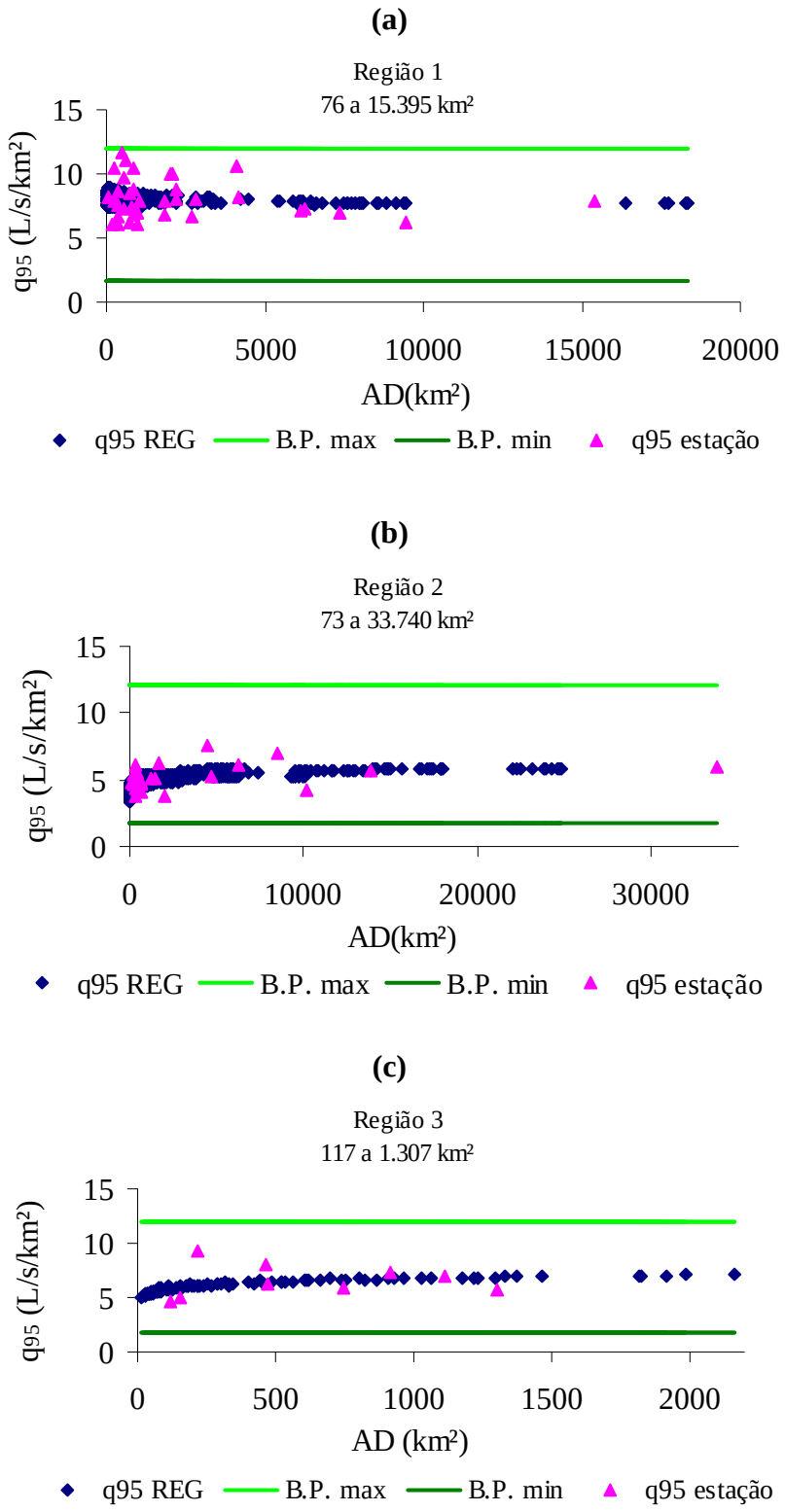
A vazão específica q_{95} estimada teve um comportamento muito parecido ao da $q_{7,10}$ estimada, sendo que ambas refletiram o comportamento da precipitação média anual, assim como foi demonstrado na Figura 21. A diferença encontrada foi na magnitude de suas vazões específicas, em que a Q_{95} apresentou maiores valores que a $Q_{7,10}$.

Na região homogênea 1, as q_{95} das estações variaram de 6,00 a 11,60 L/s/km^2 e as q_{95} estimadas nos trechos da hidrografia variaram de 7,42 a 9,00 L/s/km^2, mostrando que a região 1 apresentou certo achatamento dos dados estimados em relação aos obtidos nas estações fluviométricas, assim como foi verificado no estudo da $Q_{7,10}$.

As regiões 2 e 3 não tiveram uma grande redução da amplitude dos dados estimados em relação aos dados das estações e apresentaram uma leve tendência de crescimento da q_{95} em direção às maiores áreas de drenagem. Em nenhuma das regiões homogêneas, o máximo valor estimado superou o máximo valor calculado para as estações fluviométricas.

As considerações feitas para q_{95} estimada são válidas para q_{90} estimada, sendo que a diferença observada é que esta apresentou vazões com maior magnitude que aquela. A figura que apresenta o comportamento da curva da q_{90} ao longo da bacia do Rio Grande, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites do *Box Plot* para cada região homogênea foi apresentada no Apêndice C.

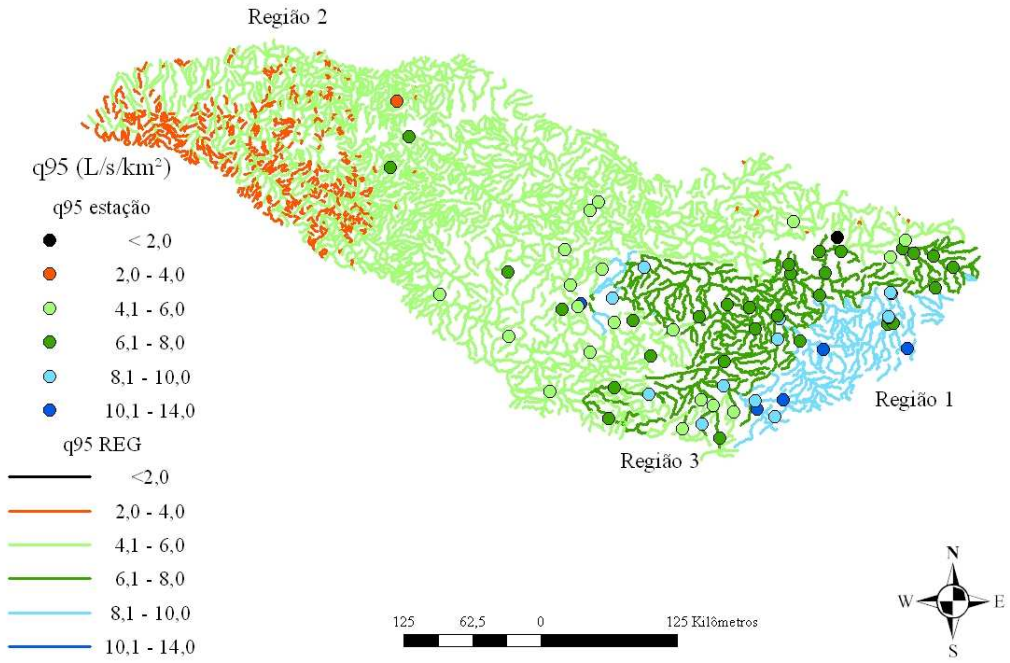
A Figura 26 apresenta a espacialização das q_{95} e q_{90} calculadas para as estações fluviométricas e estimadas para cada trecho da hidrografia a partir da equação de regionalização. Observa-se que há uma tendência de aumento da vazão específica à medida que se caminha para a nascente da bacia, sendo que os maiores valores de vazão específica corresponderam às áreas próximas à cabeceira da bacia do Rio Grande, representadas pelas cores azuis no mapa (8,0 a 14,0 L/s/km^2).



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 25. Vazões específicas q_{95} estimadas com a equação da vazão equivalente para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a região 1 (a), região 2 (b) e região 3 (c).

(a)



(b)

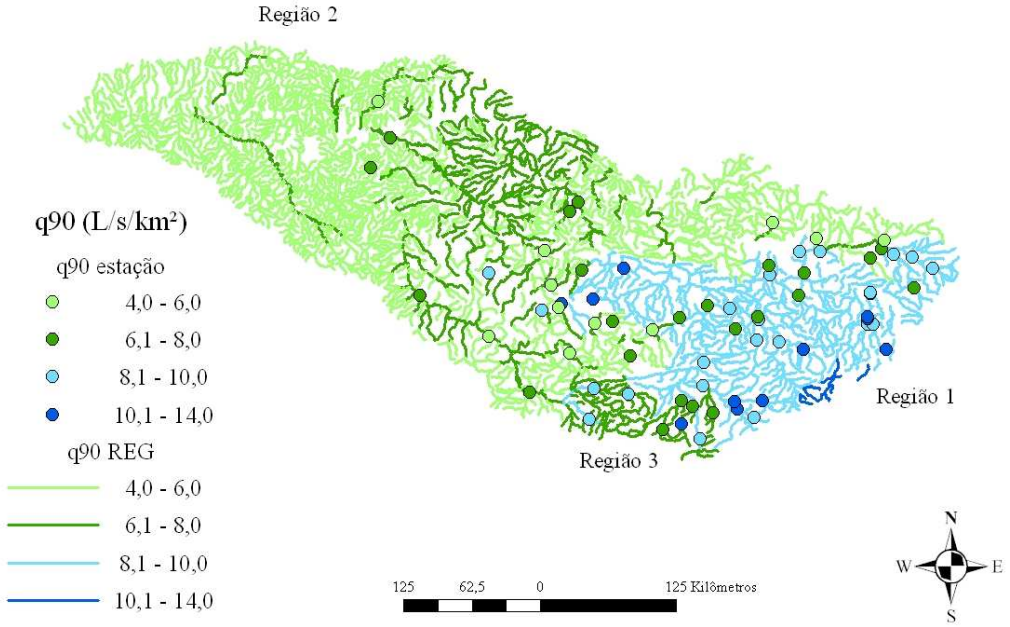


Figura 26. Vazões específicas q_{95} (a) e q_{90} (b) estimadas para cada trecho da hidrografia em função da vazão equivalente e calculadas para as estações fluviométricas da bacia do Rio Grande.

O comportamento das q_{95} calculadas foi equiparado ao das q_{95} estimadas. A região 1 apresentou valores de q_{95} na classe de 6,1 a 14,0 L/s/km^2, a região 2 na classe de 2,0 a 6,0 L/s/km^2, e a região 3 valores entre 4,1 a 8,0 L/s/km^2.

Em relação à q_{90}, o seu comportamento foi semelhante ao da q_{95}, porém, com certo incremento nos valores das vazões específicas, em que a região 1 passou a ter valores de q_{90} na classe de 8,1 a 14,0 L/s/km^2, a região 2 nas classes de 4,0 a 8,0 L/s/km^2, e a região 3 valores entre 4, a 8,0 L/s/km^2.

A análise da vazão específica mostrou que a Q_{95} e Q_{90} estimadas pelas equações propostas tiveram um comportamento físico aceitável, sem produzir dados inconsistentes para a condição da bacia do Rio Grande. A região homogênea 1, tanto para Q_{95} como para Q_{90}, apresentou um achatamento dos valores estimados em relação aos valores encontrados nas estações fluviométricas, como verificado na $Q_{7,10}$ e na Q_{mld}.

As equações propostas para a Q_{95} e para a Q_{90} tiveram um desempenho levemente superior quando ajustadas à variável independente vazão equivalente e elas podem ser utilizadas em quaisquer trechos da bacia do Rio Grande, sem necessidade de aplicar o procedimento de redução do efeito do uso da extrapolação.

No estudo de regionalização de vazões mínimas, evidenciou-se que as vazões estimadas ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) apresentaram um comportamento padrão ao longo da bacia do Rio Grande, em que os seus maiores valores corresponderam à região de cabeceira da bacia e os menores valores corresponderam aos trechos mais pertos da foz da bacia. A diferença entre elas esteve nos ajustes estatísticos, em que as vazões mínimas obtidas da curva de permanência apresentaram melhor desempenho, sendo a vazão $Q_{7,10}$ a mais suscetível aos erros.

4.1.1.2.4. Considerações sobre o uso do *Box Plot* no estudo de regionalização das vazões média e mínimas

O uso do *Box Plot* no estudo das vazões média e mínimas promoveu a redução da amplitude dos valores estimados dos indicadores em relação aos valores obtidos nas estações, principalmente nas regiões de cabeceira da bacia do Rio Grande, conduzindo a uma leve subestimativa das vazões estimadas nestas áreas.

O *Box Plot* mostrou ser uma importante ferramenta na seleção de dados de entrada para a regionalização, evitando a inserção de discrepâncias que prejudicariam o ajuste das equações de regressão. Além disso, os limites do *Box Plot* para os indicadores (coeficiente de escoamento e vazão específica mínima) foram úteis na identificação de possíveis discrepâncias nas vazões estimadas pelas equações propostas.

Portanto, a aplicação dessa técnica estatística foi bastante satisfatória para aprimorar o estudo de regionalização das vazões média e mínimas, sendo útil não somente para a seleção dos dados primários, mas também para a própria avaliação da regionalização de vazões.

4.1.1.2.5. Regionalização da vazão máxima (Q_{max})

Para o estudo de regionalização da vazão máxima, dividiu-se a bacia do Rio Grande em quatro regiões homogêneas, em que os pontos vermelhos, amarelos, verdes e azuis representam as estações fluviométricas de cada uma das regiões (Figura 27). A lista das estações fluviométricas ordenadas de acordo com a região homogênea está apresentada no Apêndice C.

Na região homogênea 1, os trechos possuem áreas que variam entre 3 e 16.397 km^2, na região 2 entre 21 e 2.205 km^2, na região 3 entre 1 e 17.950 km^2 e na região 4 entre 3 e 24.852 km^2.

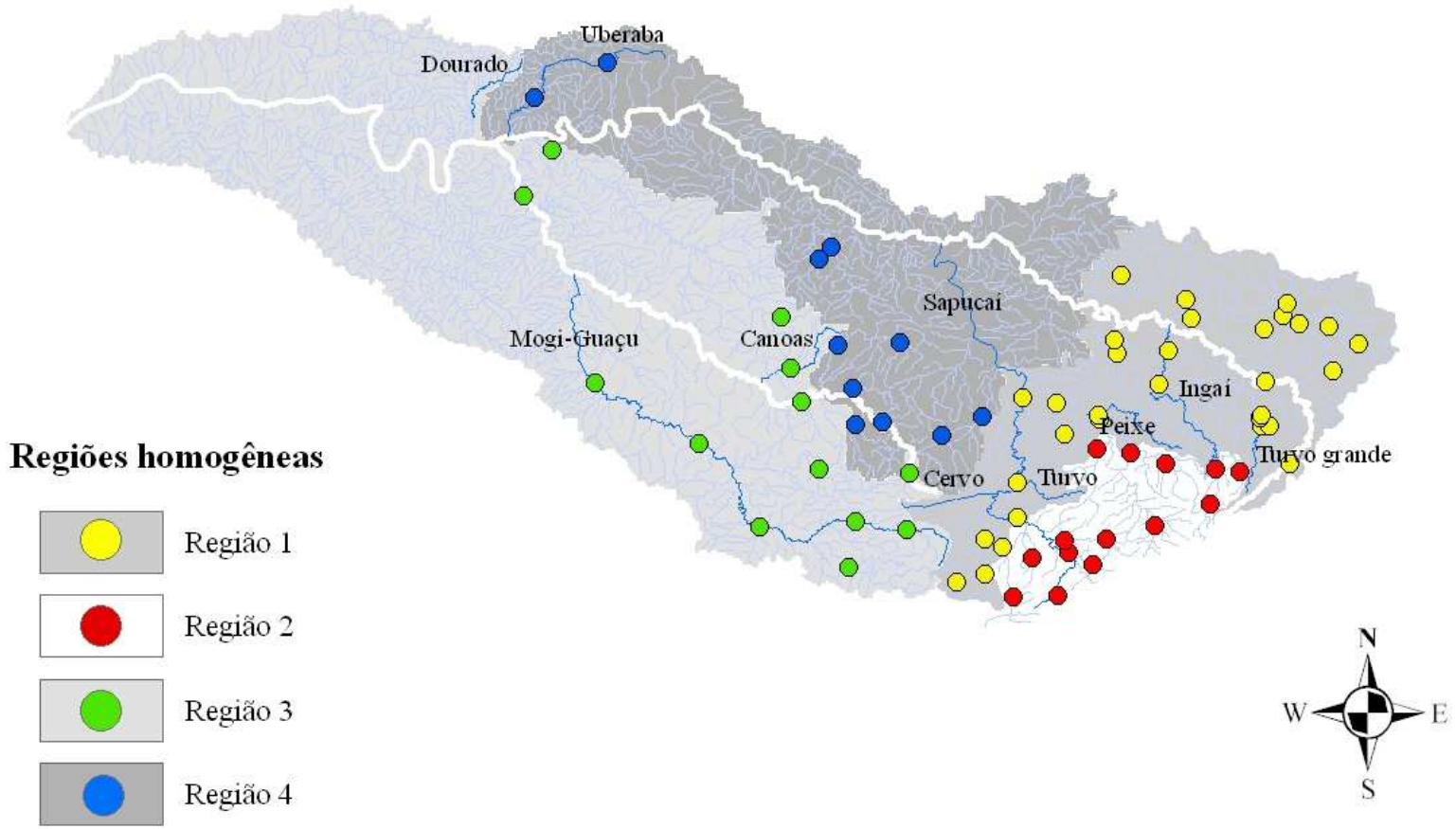


Figura 27. Regiões homogêneas propostas para a vazão máxima com as respectivas estações fluviométricas, ressaltando os rios que se situam nas proximidades do limite entre as regiões.

Seleção da regionalização e considerações sobre o uso do *Box Plot* no estudo de regionalização da vazão máxima

Seguindo as recomendações propostas no item 4.1.1.1.2., foram realizadas duas regionalizações: a REG_71, que excluiu as estações fluviométricas *outliers* apontadas no gráfico *Box Plot* (contando com 71 estações fluviométricas), e a REG_74 , que não excluiu nenhuma estação (contando com 74 estações fluviométricas). O estudo comparativo das regionalizações foi feito com a variável explicativa área de drenagem, pois esta apresentou a melhor correlação com os dados de vazão máxima.

A Tabela 29 apresenta as equações ajustadas para cada região homogênea e regionalização, sendo que foram excluídas duas estações fluviométricas (códigos 61122000 e 61350000) da região 1 e uma da região 2 (código 61429000), para a realização da REG_71. As equações das regiões 3 e 4 foram iguais para a REG_71 e REG_74.

Tabela 29. Equações das regionalizações ajustadas para a vazão máxima na bacia do Rio Grande

Região	Regionalização	Vazão estimada (m^3/s)	R^2 ajustado	Estações
R1	REG_71	$Q_{max} = 0,4158\ AD^{0,9020}$	0,886	31
	REG_74	$Q_{max} = 0,6506\ AD^{0,8524}$	0,779	33
R2	REG_71	$Q_{max} = 0,6268\ AD^{0,8954}$	0,856	13
	REG_74	$Q_{max} = 0,9384\ AD^{0,8344}$	0,808	14
R3	REG_71 REG_74	$Q_{max} = 1,2057\ AD^{0,7433}$	0,905	16
R4	REG_71 REG_74	$Q_{max} = 1,4543\ AD^{0,7600}$	0,857	11

AD = área de drenagem (km^2)

O modelo que melhor representou os dados foi o potencial e os coeficientes de determinação ajustados mostraram que a REG_71 sobressaiu-se no ajuste estatístico, apresentando uma maior capacidade de explicar as variações na vazão

máxima que a REG_74. A estatística dos resíduos (em módulo) corroborou com esse resultado, mostrando que a REG_71 reduziu em 4% a média dos resíduos, e em quase 50% o valor do resíduo máximo (Tabela 30). Dessa forma, em termos estatísticos, a REG_71 apresentou melhor desempenho que a REG_74.

Tabela 30. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo da Q_{max} para as regionalizações REG_71 e REG_74

Estatística	Módulo dos resíduos	
	REG_71	REG_74
Média	29,43%	33,41%
Máximo	132,08%	180,22%
Mínimo	0,06%	0,06%
ER > 30%	36,6% (26 estações)	35,1% (26 estações)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A análise do comportamento físico da vazão máxima foi feita somente nas regiões homogêneas 1 e 2, locais onde foram observadas as diferenças nos ajustes das regionalizações. A Figura 28 apresenta a amplitude das vazões específicas máximas estimadas pelas regionalizações e obtidas nas estações fluviométricas, em formato de gráficos *whiskers*, em que os bigodes representam os valores máximos e mínimos e a linha central a média da q_{max} para cada situação.

Nota-se que, nas duas regiões analisadas, houve uma redução da amplitude das q_{max} estimadas em relação às q_{max} das estações, sendo que esta foi mais expressiva na REG_71 e na região 1. Em relação aos valores médios das q_{max}, eles foram parecidos entre si, principalmente comparando a q_{max} da REG_74 com a q_{max} das estações, porém as pequenas diferenças mostraram que a REG_71 subestimou, enquanto que a REG_74 superestimou as vazões máximas em relação ao valor obtido nas estações.

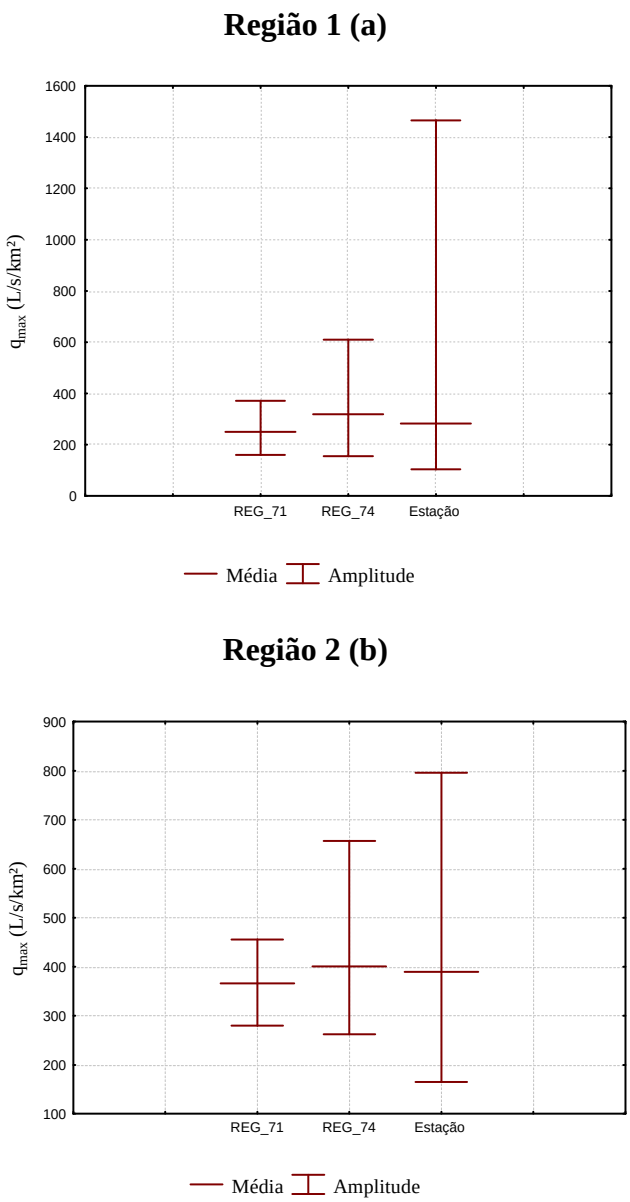
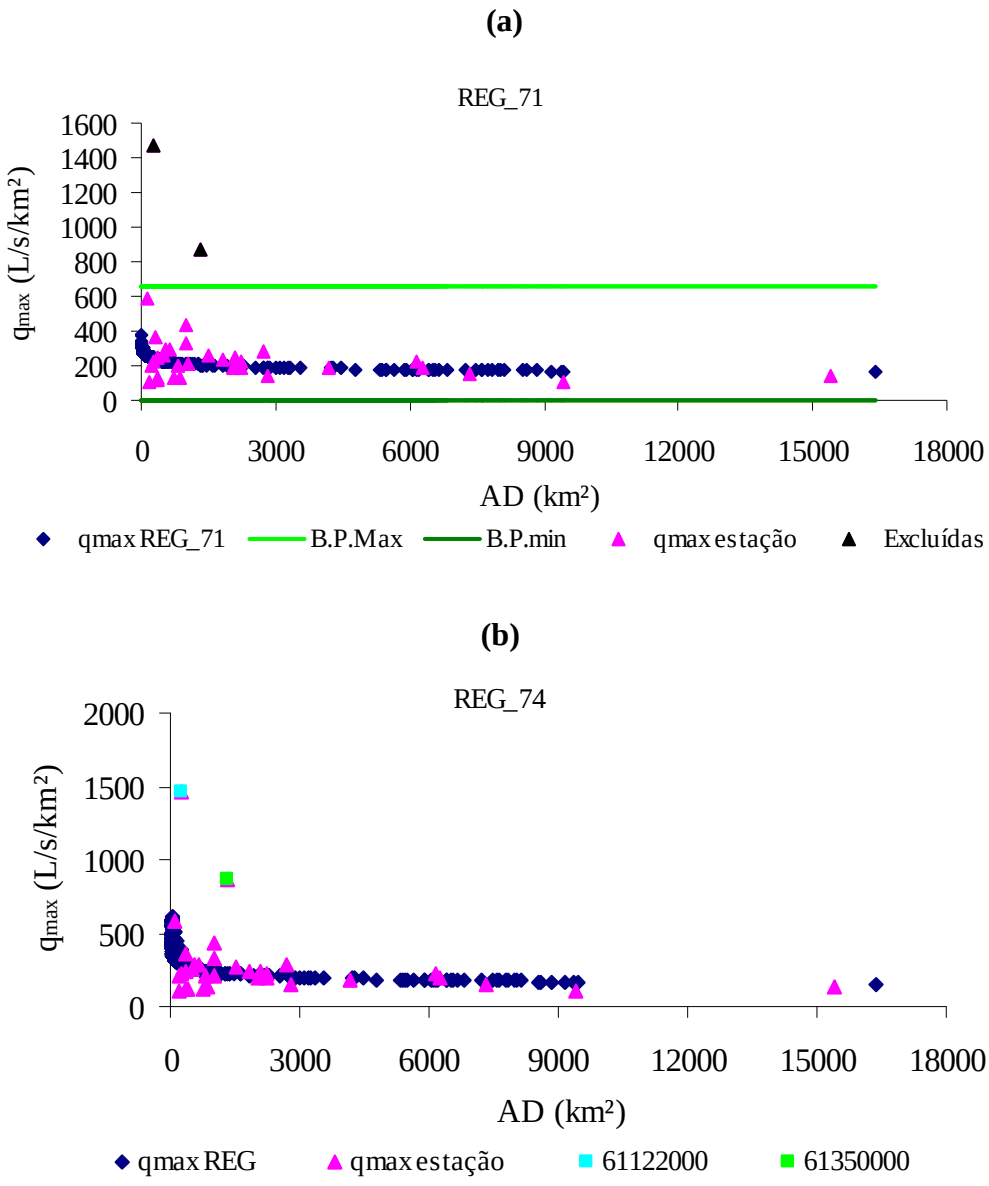


Figura 28. Gráficos *whiskers* das vazões específicas máximas estimadas na REG_71 e na REG_74 e obtidas nas estações fluviométricas para as regiões 1 (a) e 2 (b).

Procurando identificar os locais onde ocorreram os maiores achatamentos da q_{max}, traçou-se a curva do comportamento da q_{max} estimada ao longo da hidrografia da bacia para a região 1 (Figura 29). Percebe-se que a redução da amplitude ocorreu basicamente nas áreas de cabeceira, regiões bastante suscetíveis à ocorrência de valores extremos, mostrando que a REG_71 apresentou um achatamento drástico, enquanto a REG_74 teve um melhor enquadramento dos seus valores com os obtidos nas estações. O mesmo resultado foi observado na região 2.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 29. Curva da q_{max} estimada ao longo da hidrografia da região 1 comparada aos valores obtidos nas estações para a REG_71 (a) e para a REG_74 (b).

Como já discutido anteriormente, em estudos de regionalização da vazão máxima, deve-se evitar ao máximo o achatamento dos valores extremos, principalmente do valor máximo, assim como a subestimativa das suas vazões, pois, medidas dessa natureza podem contribuir para um dimensionamento mais adequado dos projetos de obras hidráulicas.

O uso do *Box Plot* no estudo da vazão máxima já demonstrou fragilidade no momento em que estabeleceu um valor negativo como limite inferior para os dados aceitáveis de q_{max}. Os resultados obtidos nas regionalizações apenas confirmaram que sua aplicação interferiu negativamente no comportamento físico da vazão, não se recomendando, portanto, sua aplicação para o aprimoramento do estudo de regionalização das vazões máximas.

Diante dos resultados, apesar da REG_74 ter apresentado um desempenho estatístico inferior, suas equações proporcionaram vazões estimadas mais condizentes com a realidade e com a segurança dos projetos de obras hidráulicas. Dessa forma, recomenda-se sua utilização em detrimento da utilização da REG_71.

As análises apresentadas nos itens subseqüentes são relativas aos resultados obtidos na REG_74.

Análise da regionalização com base nos resíduos relativos

Analisando o uso das variáveis área de drenagem e vazão equivalente no estudo de regionalização da vazão máxima (Tabela 31), observa-se que a área de drenagem apresentou uma melhor resposta estatística, com uma redução de quase 4% no resíduo médio e de quase 40% no valor do resíduo máximo (valores em módulo). Esse resultado coincidiu com o obtido na matriz de correlação, a qual mostrou que a AD apresentou melhor correlação com a Q_{max}.

Tabela 31. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as estações fluviométricas no estudo de regionalização da Q_{max}

Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	37,10%	33,41%
Máximo	218,62%	180,22%
Mínimo	0,31%	0,06%
ER > 30%	41,9% (31 estações)	35,1% (26 estações)

ER>30% = estações fluviométricas que apresentaram o módulo do resíduo superior a 30%

A Figura 30 apresenta a espacialização dos resíduos relativos calculados nas seções das estações fluviométricas, utilizando a área de drenagem. A vazão máxima foi a vazão que apresentou os maiores resíduos relativos dentre todas as outras, variando de -180,22% a 80,58%, em que a região 1 apresentou a maior média dos resíduos (39,28%), seguida das regiões 2 (32,73%), 3 (27,52%) e da 4 (25,20%). Os valores dos erros relativos para as duas variáveis explicativas são apresentados no Apêndice C.

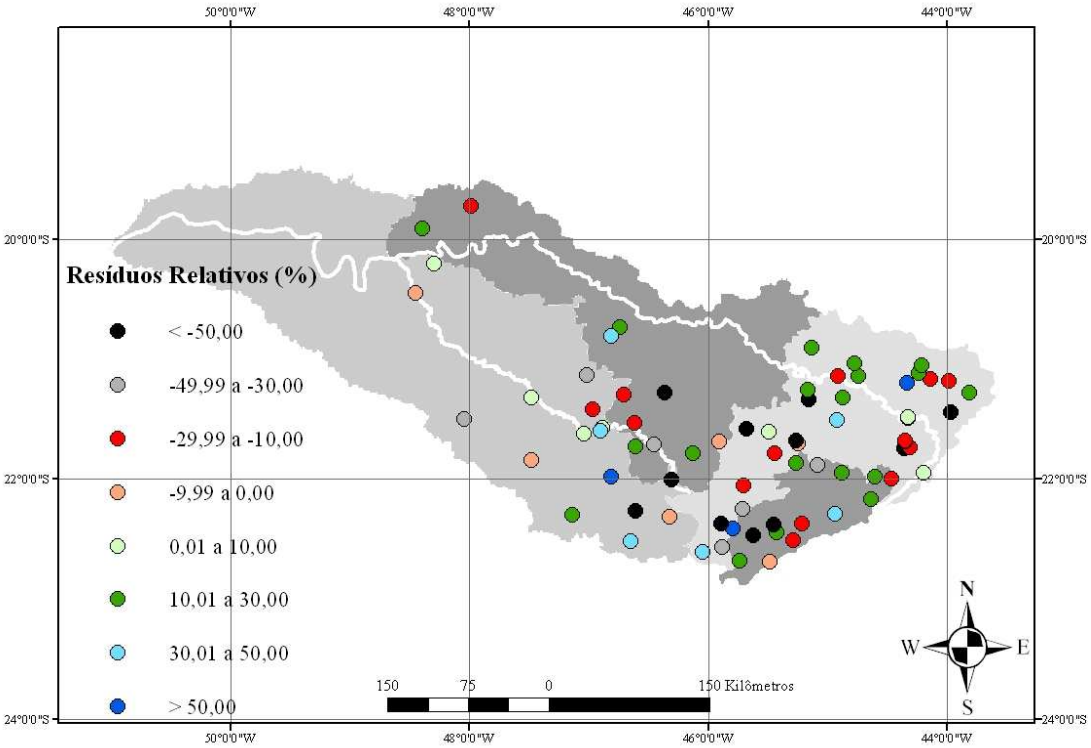


Figura 30. Resíduos relativos (%) para cada estação fluviométrica obtidos no estudo da Q_{max} para a bacia do Rio Grande.

Quatorze estações apresentaram resíduos, em módulo, superior a 50%, sendo que o maior resíduo correspondeu à estação com o menor valor de vazão (código 61100000). As equações obtidas não tiveram uma tendência clara à superestimativa ou subestimativa da vazão máxima, mostrando um equilíbrio entre os resíduos positivos e negativos (Tabela 32).

Tabela 32. Classes de freqüência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da Q_{max}

Classes	Freqüência Absoluta							
	R1		R2		R3		R4	
	+	-	+	-	+	-	+	-
0 - 5%	1	1	0	1	3	1	0	1
5 - 15%	6	6	0	1	1	2	0	0
15 - 30%	5	2	6	2	1	1	4	3
30 - 50%	2	2	1	1	2	2	1	1
> 50%	2	6	0	2	1	2	0	1
Total	16	17	7	7	8	8	5	6

Análise da regionalização com base na vazão específica (q_{max})

Para avaliar o comportamento físico da vazão máxima estimada ao longo da hidrografia da bacia do Rio Grande, foi apresentada a estatística da q_{max} estimada para cada trecho da hidrografia utilizando a área de drenagem e a vazão equivalente como variável independente (Tabela 33).

Tabela 33. Vazões específicas máximas para cada trecho da hidrografia com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas da vazão específica máxima (L/s/km^2)		
	Média	Máximo	Mínimo
AD	408,40	1179,32	97,55
P_{eq}	374,01	1098,60	95,93

As estatísticas apresentadas das duas variáveis resultaram em valores bem próximos, mostrando, porém, uma leve tendência da área de drenagem em superestimar a vazão máxima em relação à vazão equivalente. Comparando esses resultados com os obtidos nas estações, observa-se que os máximos estimados foram menores que o máximo das estações (1465,60 L/s/km^2), que os mínimos estimados foram maiores que o mínimo das estações (77,05 L/s/km^2) e que as médias estimadas foram maiores que a obtida nas estações (291,56 L/s/km^2), mostrando que o ajuste das equações de regionalização implicou a redução da amplitude dos dados, porém a

superestimativa do valor médio da vazão especifica máxima. Como nenhuma q_{max} estimada ficou abaixo do menor valor obtido nas estações, pode-se dizer que esses resultados oferecem uma maior segurança aos projetos de obras hidráulicas.

Analisando o comportamento da q_{max} estimada em cada região homogênea, nota-se uma clara tendência decrescente dos valores de vazão específica da nascente para a foz dos rios, ressaltando a importância das áreas de cabeceira na produção de vazão. As regiões 3 e 4 (mais próximas à foz) obtiveram as maiores médias (401,39 L/s/km^2 e 480,27 L/s/km^2, respectivamente) e foram as únicas que apresentaram trechos com q_{max} estimadas superiores a 1.000 L/s/km^2 (Figura 31).

O procedimento sugerido para minimizar o efeito da extrapolação das equações não foi aplicado à vazão máxima, pois sua utilização implicaria na restrição das vazões estimadas a um limite físico máximo o que poderia comprometer a segurança dos projetos de obras hidráulicas. Portanto, no caso da vazão máxima sugere-se analisar a possibilidade de estabelecer um limite mínimo para as q_{max} estimadas, para assim, minimizar a ocorrência de vazões subestimadas.

A Figura 32 mostra que a q_{max} estimada não sofreu variações bruscas ao longo da bacia do Rio Grande, apresentando, praticamente, um mesmo padrão de cores para toda a bacia hidrográfica, em que predominaram as vazões específicas entre 300 e 600 L/s/km^2. No entanto, fazendo uma análise mais minuciosa, foi evidenciado que as maiores q_{max} estimadas ficaram próximas à foz da bacia e as menores mais próximas à áreas de cabeceira. De maneira geral, a classe dos valores de q_{max} obtidas nas estações coincidiu com a classe daqueles valores estimados pela regionalização (q_{max} REG). Os rios que apresentaram as menores vazões específicas máximas foram Mogi-Guaçu, Sapucaí, Cervo, Verde, Uberaba, Mortes, Aiuruoca, Peixe, Turvo, Jacaré e Ingaí.

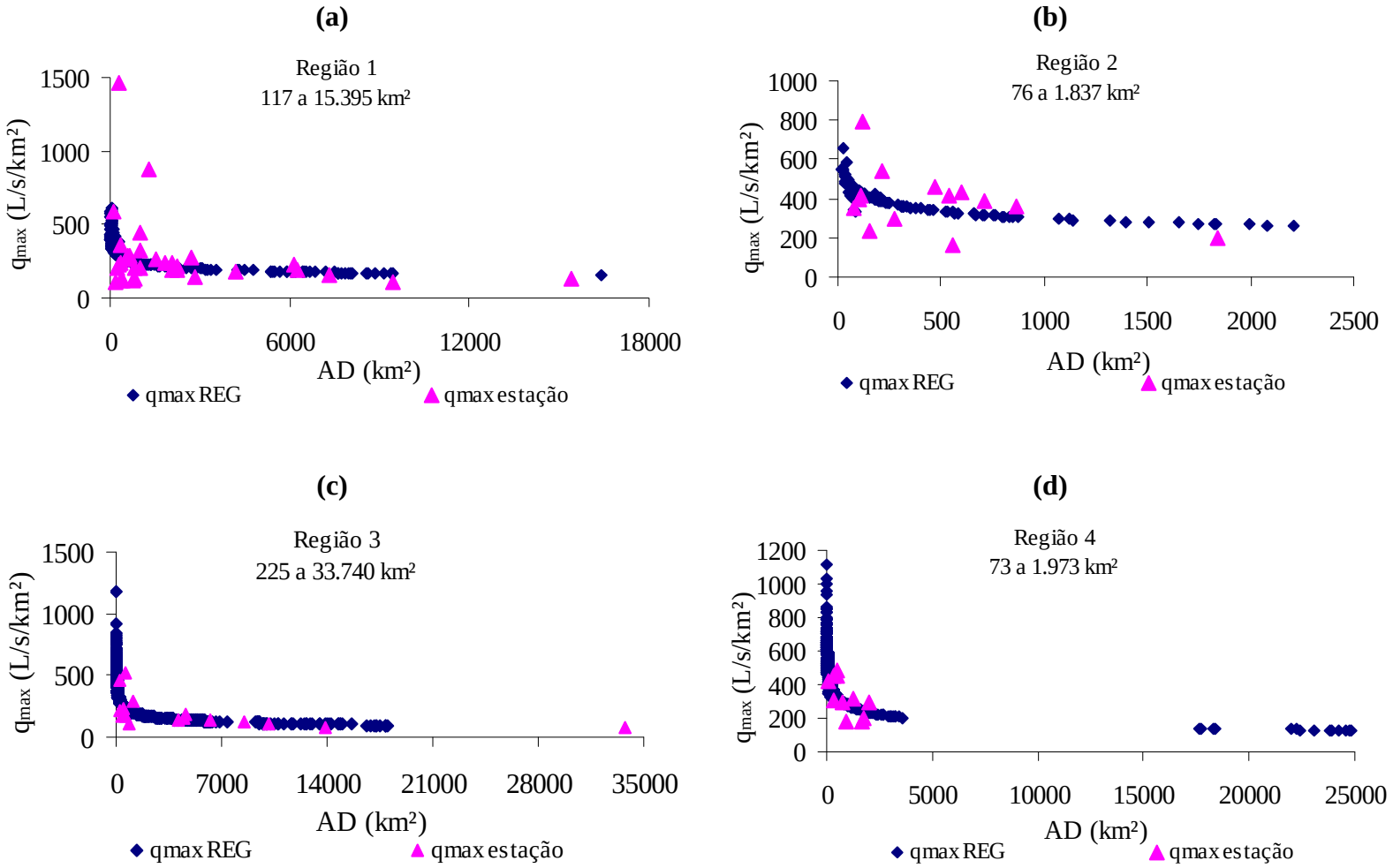


Figura 31. Curvas da vazão específica q_{max} estimada com a equação da área de drenagem para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações para a região 1 (a), região 2 (b), região 3 (c) e região 4.

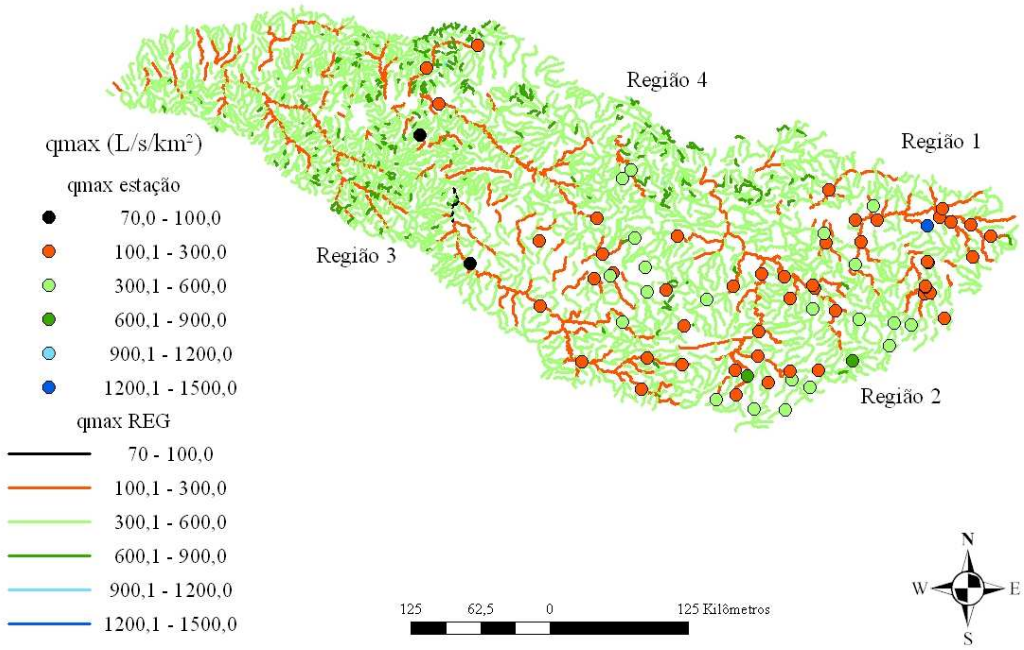


Figura 32. Vazões específicas q_{max} estimada para cada trecho da hidrografia em função da área de drenagem e calculada para as estações fluviométricas da bacia do Rio Grande.

4.1.2. Resultados para o Rio Grande e o Rio Pardo

4.1.2.1. Aplicação do *Box Plot*

4.1.2.1.1. Estudo da vazão média de longa duração e das vazões mínimas

Foram apresentados os valores máximos e mínimos obtidos para o coeficiente de escoamento e para as vazões específicas mínimas nas seções dos reservatórios para verificar se algum deles ficou fora dos limites estabelecidos pelo *Box Plot* (Tabela 34).

No caso do coeficiente de escoamento, os valores extremos (máximo e mínimo) ficaram dentro do limite estabelecido pelo gráfico *Box Plot*, mostrando que todos os valores calculados para as seções dos reservatórios foram considerados como aceitáveis. Porém, no caso das vazões específicas mínimas, apenas os valores mínimos ficaram dentro do limite, sendo que os valores máximos excederam o limite superior imposto, mostrando a presença de *outliers* superiores.

Tabela 34. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* e valores máximo e mínimo calculados para os parâmetros de análise dos dados dos reservatórios

Valores	CE	Vazão específica mínima (L/s/km²)		
		$q_{7,10}$	q_{95}	q_{90}
Limite superior	0,47	4,79	7,07	8,38
Máximo	0,44	6,23	7,93	9,04
Mínimo	0,35	3,92	5,50	6,58
Limite inferior	0,30	3,88	4,95	5,78

A Tabela 35 apresenta as vazões específicas mínimas calculadas para cada uma das seções dos reservatórios, no intuito de identificar o reservatório com valor *outlier*. De acordo com o limite máximo estabelecido, apenas o reservatório de Camargos apresentou dados discrepantes (ressaltados em vermelho), constituindo um *outlier* superior na análise das vazões mínimas.

Tabela 35. Vazões específicas mínimas calculadas para as seções dos reservatórios da bacia do Rio Grande

Reservatórios	Vazão específica (L/s/km²)		
	$q_{7,10}$	q_{95}	q_{90}
Porto Colômbia	3,92	5,50	6,58
Volta Grande	4,20	5,84	6,81
L C Barreto	4,20	5,65	6,63
Furnas	4,22	5,75	6,79
Jaguará	4,24	5,85	6,83
M de Moraes	4,26	5,71	6,63
Euclides da Cunha	4,31	6,27	7,42
A S Oliveira	4,31	6,25	7,40
Caconde	4,35	6,53	7,78
Água Vermelha	4,71	6,13	7,14
Marimbondo	4,74	6,29	7,35
Camargos	**6,23**	**7,93**	**9,04**

A partir desses resultados e mantendo a decisão de se realizar uma exclusão padrão para o estudo das vazões médias e mínimas, decidiu-se excluir os dados provenientes do reservatório Camargos do estudo de regionalização de vazões naturais médias e mínimas.

4.1.2.1.2. Estudo da vazão máxima

O estudo da vazão máxima utilizou como parâmetro de análise a vazão específica máxima calculada para as seções de cada um dos reservatórios, as quais foram apresentadas na Tabela 36 junto com os limites estabelecidos pelo *Box Plot*.

De acordo com os limites estabelecidos, nenhuma vazão específica foi enquadrada como *outlier*, mostrando que todos os valores estão dentro do intervalo dos dados aceitáveis e podem, portanto, ser utilizados no estudo de regionalização da vazão natural máxima.

Porém, como foi visto no estudo de regionalização da vazão máxima realizada para as estações fluviométricas (item 4.1.1.2.5.), a aplicação do *Box Plot* apresentou diversas fragilidades, as quais conjugaram para a não recomendação dessa técnica no estudo da vazão máxima.

Tabela 36. Limites estabelecidos pelo *Box Plot* e vazões específicas máximas calculadas nas seções dos reservatórios da bacia do Rio Grande

Reservatórios	q_{max} (L/s/km^2)
Limite inferior	26,74
Água Vermelha	90,81
Marimbondo	99,19
Porto Colômbia	125,70
M de Moraes	130,93
L C Barreto	131,10
Volta Grande	132,84
Furnas	136,37
Jaguará	136,63
Camargos	193,63
A S Oliveira	211,95
Euclides da Cunha	216,90
Caconde	246,88
Limite Superior	301,09

No estudo da vazão natural tais fragilidades não foram evidenciadas, pois o conjunto de dados apresentou uma maior homogeneidade dos valores, com um desvio padrão de apenas 49,93 L/s/km^2 frente ao valor de 210,27 L/s/km^2, obtido nas q_{max} observadas no item 4.1.1.1.2. Tomando como base as desvantagens e as incoerências produzidas pela aplicação do *Box Plot* no estudo de caso da bacia do Rio Grande, decidiu-se por não adotar essa técnica ao estudo das vazões máximas naturais.

4.1.2.2. Regionalização das vazões naturais

Uma vez identificadas as inconsistências na base de dados, deu-se início à regionalização das vazões naturais, realizando as devidas exclusões. A regionalização de vazões naturais foi aplicada somente ao Rio Grande e ao Rio Pardo, os quais compuseram uma mesma região homogênea.

As seções dos reservatórios apresentaram áreas de drenagem que variaram entre 2.588 e 139.437 km^2, enquanto que a base hidrográfica dos rios em estudo apresentou áreas no intervalo de 150 a 143.352 km^2.

4.1.2.2.1. Pré-seleção das variáveis independentes

Para a pré-seleção das variáveis independentes obteve-se a matriz de correlação entre as variáveis dependentes e independentes, considerando os dados correspondentes às seções dos 12 reservatórios utilizados no estudo (Tabela 37).

As variáveis P, IH e P_{max} apresentaram baixas correlações com as vazões, mostrando que não possuem contribuição expressiva para este estudo. Já as variáveis AD e P_{eq} apresentaram correlações excelentes e praticamente iguais, sendo selecionadas para o estudo das vazões naturais.

4.1.2.2.2. Regionalização da vazão média de longa duração natural

Para a regionalização da vazão média de longa duração natural (Q_{mld}) utilizaram-se dados de 11 reservatórios, adotando-se o critério de exclusão proposto no item 4.1.2.1.1.

Tabela 37. Matriz de correlação entre as vazões naturais e as variáveis independentes

	$Q_{7,10}$	Q_{95}	Q_{90}	Q_{mld}	Q_{max}	AD	P	P_{max}	P_{eq}	IH
$Q_{7,10}$	1									
Q_{95}	0,9993	1								
Q_{90}	0,9990	0,9999	1							
Q_{mld}	0,9906	0,9947	0,9956	1						
Q_{max}	0,9420	0,9520	0,9539	0,9771	1					
AD	0,9951	0,9975	0,9980	0,9987	0,9685	1				
P	-0,4444	-0,4520	-0,4531	-0,4789	-0,5452	-0,4799	1			
P_{max}	-0,3500	-0,3523	-0,3524	-0,3673	-0,4179	-0,3737	0,9530	1		
P_{eq}	0,9950	0,9975	0,9981	0,9989	0,9686	1,0000	-0,4799	-0,3682	1	
IH	-0,4444	-0,4520	-0,4531	-0,4789	-0,5452	-0,4799	1,0000	0,9530	-0,4799	1

AD = área de drenagem; P = precipitação média anual; P_{eq} = vazão equivalente; IH = inércia hídrica; P_{max} = precipitação máxima mensal

A Tabela 38 apresenta as equações ajustadas para cada variável independente e o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o potencial, em que o coeficiente de determinação mostrou que a área de drenagem e a vazão equivalente explicaram 99,97% das variações na Q_{mld}.

Tabela 38. Equações de regionalização ajustadas para a vazão média de longa duração natural para o Rio Grande e Rio Pardo

Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
AD	$Q_{mld} = 0{,}0293\ AD^{0{,}9541}$	0,9997
P_{eq}	$Q_{mld} = 0{,}5277\ P_{eq}^{0{,}9565}$	0,9997

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

Analisando a estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios, nota-se que as equações propostas apresentaram um excelente ajuste aos dados, com um erro máximo de 3,5% e erro médio de, aproximadamente, 2%. O desempenho estatístico das duas variáveis independentes foi praticamente igual (Tabela 39). Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

A Tabela 40 apresenta a estatística do coeficiente de escoamento estimado para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e do Rio Pardo.

Tabela 39. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização da Q_{mld}

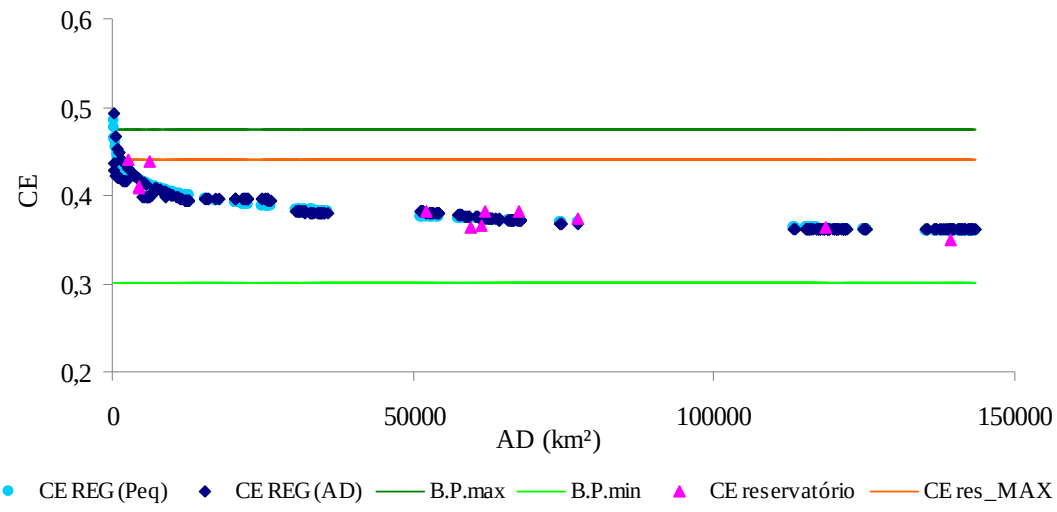
Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	2,13%	2,17%
Máximo	3,03%	3,48%
Mínimo	0,60%	0,24%

Nota-se que o ajuste das duas variáveis produziu estatísticas iguais, com coeficientes de escoamento médios de 0,38 e uma amplitude de 0,13. A amplitude alcançada com os coeficientes calculados nas seções dos reservatórios foi um pouco menor, variando de 0,35 a 0,44 e o coeficiente médio foi de 0,39. Os resultados mostram que o valor máximo estimado foi maior que o obtido nas seções e que foi identificado um trecho *outlier* superior no ajuste da AD e de dois no ajuste da P_{eq}.

Tabela 40. Coeficientes de escoamento estimados para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e Rio Pardo com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Variável	Estatísticas do coeficiente de escoamento			Número de trechos	
	Média	Máximo	Mínimo	Totais	*Outliers*
AD	0,38	0,49	0,36	312	1
P_{eq}	0,38	0,49	0,36	312	2

A Figura 33 apresenta o comportamento do coeficiente de escoamento estimado ao longo da hidrografia analisada (CE REG) para as duas variáveis explicativas, comparado aos valores calculados nas seções dos reservatórios (CE reservatório), aos limites do *Box Plot* e ao máximo valor obtido nos reservatórios (CE res_MAX). A figura mostra que os trechos que apresentaram dados inconsistentes (*outliers*) estiveram localizados nas cabeceiras dos rios, assim como aqueles que apresentaram coeficientes de escoamento superiores ao máximo obtido nas seções dos reservatórios (0,44), com áreas variando de 150 e 1.944 km^2.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 33. Curva do coeficiente de escoamento estimado para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios, aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* e ao máximo valor obtido nas seções dos reservatórios.

O coeficiente de escoamento estimado teve tendência decrescente da nascente à foz dos rios e mostrou um bom pareamento com os dados obtidos nas seções dos reservatórios, sendo que a utilização do *Box Plot* não promoveu o achatamento dos dados estimados em relação aos das seções, como foi verificado na regionalização das vazões feita com as 68 estações fluviométricas.

Foi necessário aplicar o procedimento para reduzir o efeito do uso da extrapolação de equações em quatro trechos dos rios analisados, se utilizada a AD, e em dez trechos se utilizada a P_{eq}, segundo a equação

$$Q_{mld_ajust} = 0{,}441\ P_{eq}, \text{ para } CE_{(estimado)} > 0{,}441 \qquad (15)$$

Com os devidos ajustes, as equações propostas se enquadraram dentro do comportamento hidrológico esperado para os rios em análise, sendo que a utilização da área de drenagem como variável explicativa da regionalização apresentou certa vantagem, pois obteve coeficientes de escoamento estimados mais condizentes com a realidade e com a segurança de projetos, além de ser uma variável de mais fácil obtenção que a vazão equivalente.

4.1.2.2.3. Regionalização das vazões mínimas naturais ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90})

A regionalização das vazões mínimas naturais utilizou os dados dos mesmos 11 reservatórios adotados na regionalização da Q_{mld} natural. A Tabela 41 apresenta as equações ajustadas para as vazões mínimas, mostrando que o modelo potencial foi o que melhor se ajustou aos dados e que as duas variáveis explicativas apresentaram o mesmo coeficiente de determinação, com equações que explicaram 99,87% das variações na $Q_{7,10}$, 99,91% das variações da Q_{95} e 99,92% das variações na Q_{90}.

Tabela 41. Equações de regionalização ajustadas para as vazões mínimas naturais para o Rio Grande e o Rio Pardo

Vazão	Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
$Q_{7,10}$	AD	$Q_{7,10} = 0{,}0041\ AD^{1{,}0042}$	0,9987
	P_{eq}	$Q_{7,10} = 0{,}0867\ P_{eq}^{1{,}0068}$	0,9987
Q_{95}	AD	$Q_{95} = 0{,}0076\ AD^{0{,}9765}$	0,9991
	P_{eq}	$Q_{95} = 0{,}1473\ P_{eq}^{0{,}9790}$	0,9991
Q_{90}	AD	$Q_{90} = 0{,}0094\ AD^{0{,}9725}$	0,9992
	P_{eq}	$Q_{90} = 0{,}1784\ P_{eq}^{0{,}9750}$	0,9992

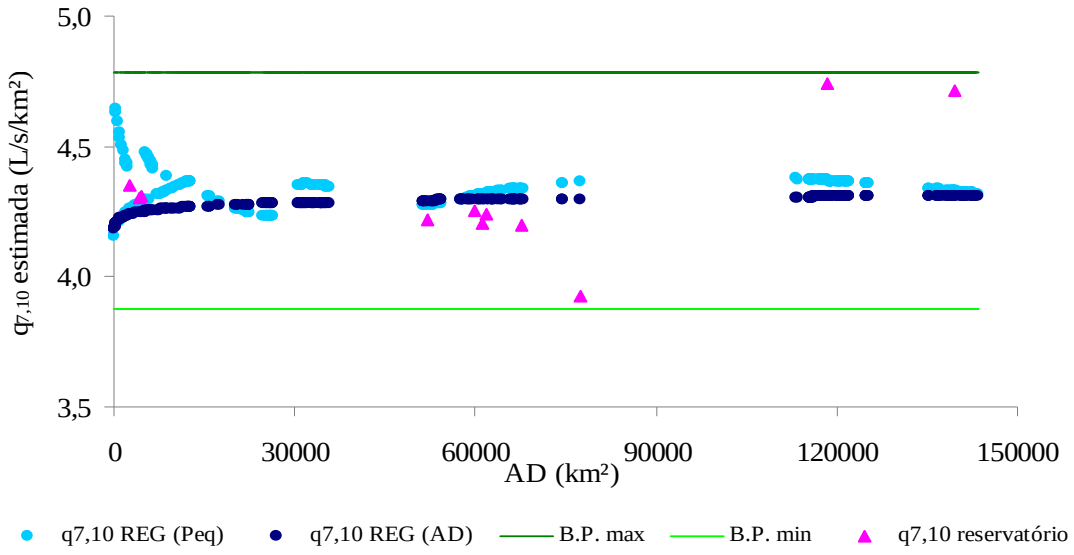
AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

A estatística dos resíduos, em módulo, mostrou que os valores médios variaram de 3,01% a 3,73% e os máximos de 7,02% a 11,18%, sendo que os menores resíduos corresponderam à vazão mínima Q_{90} e à equação que utilizou a variável vazão equivalente, apesar da diferença entre as estatísticas das duas variáveis não ter sido expressiva. Dessa forma, pode-se dizer que os resultados estatísticos foram bem satisfatórios (Tabela 42). Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as vazões mínimas e as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

Tabela 42. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização das vazões mínimas

Estatística	Módulo do resíduo					
	$Q_{7,10}$		Q_{95}		Q_{90}	
	P_{eq}	AD	P_{eq}	AD	P_{eq}	AD
Média	3,68%	3,73%	3,10%	3,09%	3,01%	3,32%
Máximo	11,18%	9,55%	7,35%	8,24%	7,02%	7,22%
Mínimo	0,41%	0,87%	0,21%	0,20%	0,36%	0,64%

A Figura 34 mostra o comportamento da $q_{7,10}$ estimada ($q_{7,10}$ REG) ao longo da hidrografia para as duas variáveis explicativas, comparado aos valores calculados nas seções dos reservatórios ($q_{7,10}$ reservatório) e aos limites do *Box Plot*. Verifica-se um comportamento inesperado da $q_{7,10}$ dos reservatórios, em que os maiores valores foram observados nas maiores áreas de drenagem, não seguindo a tendência de decréscimo da vazão específica em direção à foz dos rios.



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 34. Curva da $q_{7,10}$ estimada para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot*.

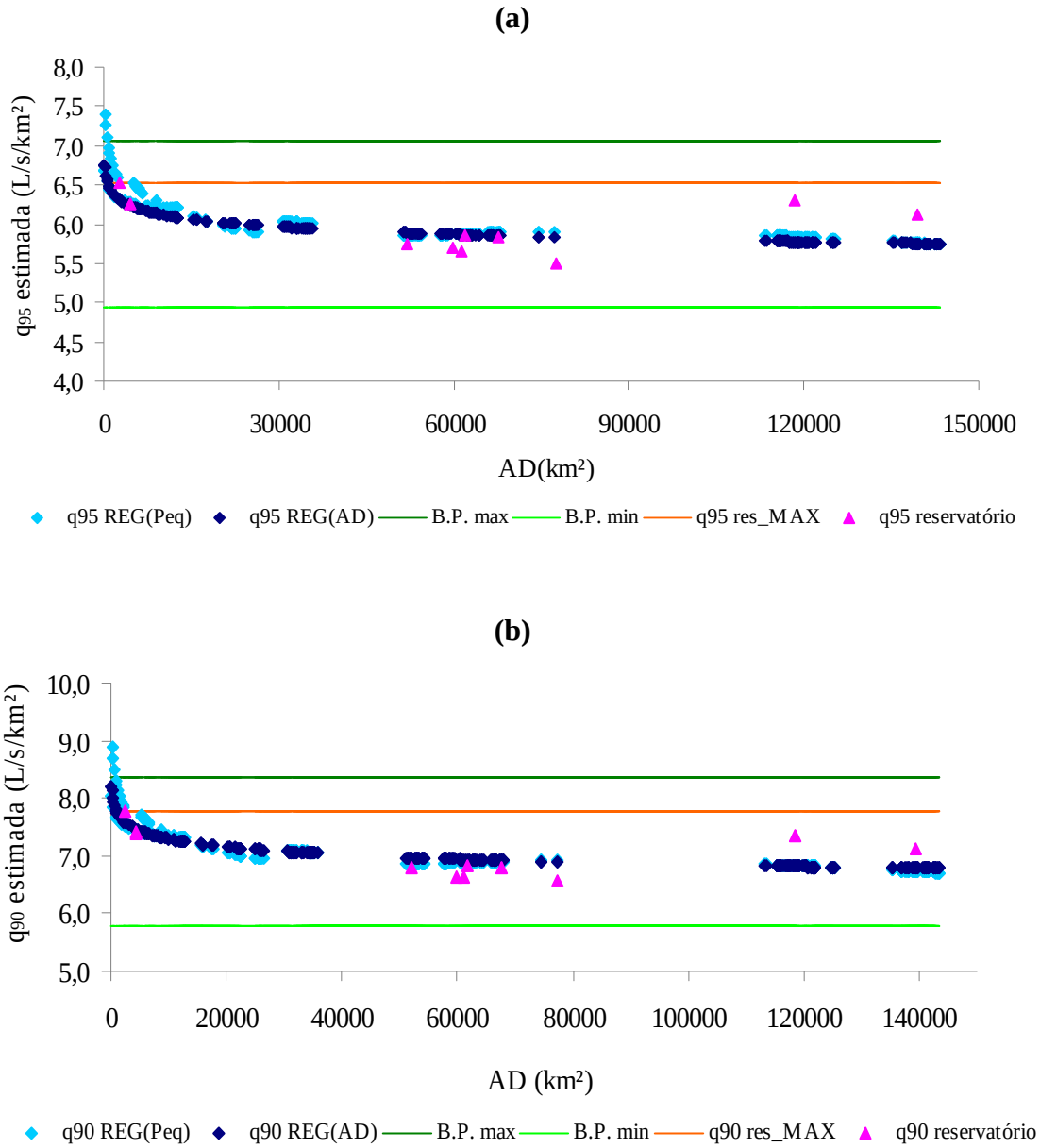
Não foi identificado nenhum trecho com vazão específica superior ao máximo valor encontrado nos reservatórios (4,74 L/s/km^2) e também nenhum trecho com valor *outlier*, mostrando que as equações propostas para a $Q_{7,10}$ podem ser aplicadas ao Rio Grande e ao Rio Pardo sem necessidade de ajustes.

A estatística da $q_{7,10}$ estimada mostra que houve um leve achatamento dos valores estimados em relação aos dados obtidos nos reservatórios, principalmente quando a equação foi ajustada à AD, em que a amplitude alcançada foi de apenas 0,12 L/s/km^2.

O comportamento da $q_{7,10}$ estimada a partir da área de drenagem apresentou uma discreta tendência de crescimento em direção à foz da hidrografia e o comportamento atípico da $q_{7,10}$ estimada a partir da vazão equivalente é explicado pela variação da precipitação média anual ao longo dos rios analisados (Figura 22).

Na análise do comportamento físico da Q_{95} e da Q_{90} estimadas, nota-se que a curva das vazões específicas q_{95} e q_{90} foi bastante similar, mostrando um comportamento decrescente da nascente à foz dos rios. Além disso, as equações propostas apresentaram uma tendência a superestimar as vazões nas áreas próximas à cabeceira e a subestimar as vazões nas áreas próximas à foz, sendo esta mais ressaltada quando a variável explicativa utilizada foi a vazão equivalente. Não foi constatado o achatamento dos valores estimados frente aos obtidos nos reservatórios (Figura 35).

Alguns trechos apresentaram vazões específicas superiores ao máximo obtido nas seções dos reservatórios nas áreas de cabeceiras. Quando a equação utilizou a vazão equivalente como variável explicativa, foram identificados dez trechos com q_{95} estimada maior que 6,53 L/s/km^2 e treze trechos com q_{90} estimada maior que 7,78 L/s/km^2; quando se utilizou a área de drenagem, foram identificados quatro trechos para a q_{95} e sete para a q_{90}. Dessa forma, foi necessário realizar o ajuste da equação da Q_{95} e da Q_{90} para os trechos com valores críticos, segundo as equações



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 35. Curvas da q_{95} (a) e da q_{90} (b) estimadas para o Rio Grande e Rio Pardo, comparadas aos valores calculados para as seções dos reservatórios, aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* e ao máximo valor obtido nas seções dos reservatórios.

$$Q_{95_ajust} = \frac{6{,}53AD}{1000}, \text{ para } q_{95\ (estimada)} > 6{,}53 \text{ L/s/km}^2 \qquad (16)$$

ou

$$Q_{90_ajust} = \frac{7{,}78AD}{1000}, \text{ para } q_{90\ (estimada)} > 7{,}78 \text{ L/s/km}^2 \qquad (17)$$

Foram identificados também três trechos com valores considerados *outliers* superiores nas curvas da q_{95} e da q_{90}, porém somente quando a equação foi ajustada à variável vazão equivalente. Esses valores foram corrigidos com a adoção do procedimento para minimizar o efeito do uso da extrapolação das equações de regionalização (equações 16 e 17).

O comportamento da q_{95} e da q_{90}, estimadas a partir da vazão equivalente, também seguiu o comportamento da precipitação média anual, no entanto não foi possível visualizá-lo na Figura 35, devido ao efeito da escala utilizada. A tabela com o resumo da estatística das vazões específicas mínimas estimadas para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e do Rio Pardo foi apresentada no Apêndice D.

De maneira geral, as equações de regionalização propostas para as vazões mínimas apresentaram excelente desempenho estatístico, porém, as equações das vazões mínimas obtidas da curva de permanência produziram dados inconsistentes e vazões específicas que superaram o limite físico máximo, sendo necessário passar pelo procedimento de ajuste das vazões.

As vazões específicas q_{95} e q_{90} apresentaram um comportamento padrão, com tendência de crescimento em direção à cabeceira dos rios e já a $q_{7,10}$ teve um comportamento inverso. A vazão equivalente foi a variável que mais produziu valores restritivos e que apresentou maior tendência a superestimar a vazão mínima. Portanto, a utilização da variável explicativa área de drenagem foi mais satisfatória no estudo de regionalização das vazões mínimas naturais.

4.1.2.2.4. Regionalização da vazão máxima natural

Para a regionalização da vazão máxima natural utilizaram-se os dados dos 12 reservatórios, gerando as equações de regionalização apresentadas na Tabela 43. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o potencial e o coeficiente de determinação mostrou que um excelente desempenho da área de drenagem e da vazão equivalente, as quais explicaram 99,60% das variações na Q_{max}.

Tabela 43. Equações de regionalização ajustadas para a vazão máxima natural para o Rio Grande e o Rio Pardo

Variável	Vazão estimada (m^3/s)	R^2
AD	$Q_{max} = 1{,}2762\ AD^{0{,}7898}$	0,9960
P_{eq}	$Q_{max} = 13{,}802\ P_{eq}^{0{,}7935}$	0,9960

AD = área de drenagem (km^2); P_{eq} = vazão equivalente (m^3/s)

Analisando a estatística dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios, nota-se que as equações propostas apresentaram um erro médio de, aproximadamente, 6,0%, alcançando erros de até 16,5%, em que o desempenho das duas variáveis independentes foi praticamente igual (Tabela 44). A vazão máxima produziu os maiores erros comparada às demais vazões. Os resíduos relativos de cada seção de reservatório para as duas variáveis explicativas foram apresentados no Apêndice D.

Tabela 44. Resumo da estatística dos módulos dos resíduos calculados para as seções dos reservatórios no estudo de regionalização da Q_{max}

Estatística	Módulo do resíduo	
	P_{eq}	AD
Média	6,06%	5,72%
Máximo	16,41%	16,53%
Mínimo	0,64%	0,91%

Observa-se na Figura 36 que as curvas da q_{max} estimada possuem tendência decrescente, em que os maiores valores de q_{max} corresponderam aos trechos de cabeceira e os menores aos trechos próximos à foz. As vazões específicas estimadas apresentaram um bom enquadramento aos dados calculados para as seções dos reservatórios e as equações propostas apresentaram resultados favoráveis à segurança de quaisquer projetos de obras hidráulicas, pois nenhuma vazão específica estimada ficou abaixo do menor valor obtido nos reservatórios (90,81 $L/s/km^2$).

A máxima vazão específica obtida nas seções dos reservatórios foi de 246,88 L/s/km^2, a qual correspondeu à menor área observada (2.588 km^2). Para aqueles trechos com áreas ainda menores, as vazões estimadas variaram de 255,74 a 452,14 L/s/km^2, mostrando certa coerência nos resultados. A média da q_{max} estimada pela AD foi de 144,75 L/s/km^2 e a estimada pela P_{eq} foi de 145,34 L/s/km^2, as quais foram muito parecidas à calculada para as seções dos reservatórios (154,41 L/s/km^2).

As curvas geradas pelas duas variáveis explicativas ficaram praticamente sobrepostas, mostrando que elas promoveram estimativas semelhantes. A análise dos resíduos e da vazão específica máxima não detectou diferença no desempenho das duas variáveis, sendo que o uso de qualquer uma delas promoveu bons resultados.

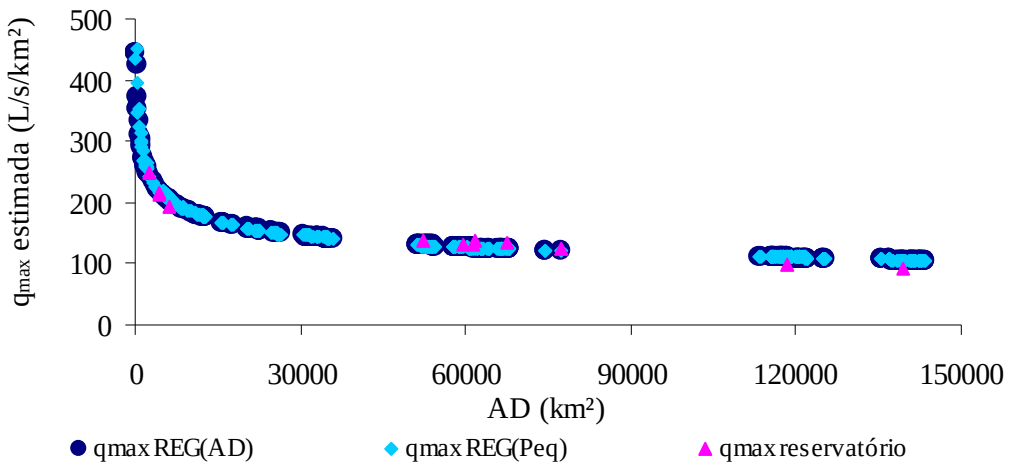


Figura 36. Curva da q_{max} estimada para o Rio Grande e Rio Pardo, comparada aos valores calculados para as seções dos reservatórios.

4.2. Proposta para a análise da propagação do efeito de reservatórios em estudos de regionalização de vazões

4.2.1. Regionalização com base no índice do potencial de regularização (IPR)

4.2.1.1. Estações fluviométricas excluídas

A Tabela 45 apresenta os reservatórios presentes na área de drenagem de cada estação fluviométrica, o volume útil, o volume acumulado (soma dos volumes úteis de todos os reservatórios presentes na área de drenagem da estação em estudo) e o IPR(%) para cada estação. Nota-se que o maior IPR foi de 76,8%, correspondente à estação 61817004, a qual está localizada no Rio Pardo e o menor valor foi de 10,5%, correspondente à estação 61912000, localizada no Rio Mogi-Guaçu.

Tabela 45. Dados referentes ao volume útil dos reservatórios, volume acumulado dos reservatórios a montante das estações fluviométricas e índice do potencial de regularização (IPR) das vazões das estações fluviométricas

	Estação	Reservatórios a montante	Volume (hm^3)		IPR
			Útil	Acumulado	
Estações excluídas	61817004	Caconde	504,0	514,5	76,8%
		Bortolan (José Togni)	10,5		
	61820000	Caconde	504,0	535,6	64,0%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
	61830000	Caconde	504,0	536,7	50,6%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
		São Sebastião	1,1		
	61145000	Camargos	670,0	670,0	49,9%
Estações consideradas	61925000	Caconde	504,0	560,2	34,6%
		Limoeiro	16,4		
		Euclides da Cunha	4,7		
		Bortolan (José Togni)	10,5		
		São Sebastião	1,1		
		Mogi-Guaçu	23,5		
	61530000	Xicão	6,4	6,4	30,1%
	61537000	Xicão	6,4	6,4	26,2%
	61565000	Poço Fundo	3,7	3,7	21,3%
	61886000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	20,9%
	61568000	Poço Fundo	3,7	3,7	19,2%
	61807002	Bortolan (José Togni)	10,5	10,5	19,2%
	61902000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	13,9%
	61826000	São Sebastião	1,1	1,1	11,7%
	61787500	Pinheirinho	1,9	1,9	11,0%
	61912000	Mogi-Guaçu	23,5	23,5	10,5%
	61425000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61410000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61250000	Fojo	0,0	-	0,0%
	61305000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61879000	Socorro	0,0	-	0,0%
	61285000	Luis Dias	0,0	-	0,0%
	61202000	Anil	0,0	-	0,0%

Os maiores índices do potencial de regularização estiveram associados às estações localizadas nos Rios Grande e Pardo, os quais apresentam os reservatórios com maior volume útil da bacia do Rio Grande. O reservatório que apresentou o maior grau de influência sobre as estações a jusante foi o reservatório Caconde, sendo o principal responsável pelos três maiores índices obtidos. O reservatório de Furnas, que tem o maior volume útil da bacia do Rio Grande, não apareceu nessa análise, pois não houve nenhuma estação fluviométrica a jusante de sua seção.

Analisando os valores de IPR(%) obtidos, quatro estações apresentaram índices maiores ou iguais a 50% e foram excluídas da regionalização. Dessa forma, a $REG_{IPR(\%)}$ utilizou todas as estações fluviométricas quando da realização da REG_{TOTAL} com exceção das estações 61817004, 61820000, 61830000 e 61145000.

4.2.1.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados

Para a regionalização das vazões média e mínimas foi utilizada a variável independente vazão equivalente e para a regionalização da vazão máxima a área de drenagem. As equações de regressão obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 46, sendo que o modelo potencial foi o que apresentou os melhores ajustes estatísticos. O número de estações utilizadas na $REG_{IPR(\%)}$ foi de 70 para o estudo da vazão máxima e 64 para as vazões média e mínimas.

A análise do efeito da alteração na base de dados utilizou como parâmetro de comparação o desvio relativo da média e do desvio-padrão entre as vazões médias de longa duração da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada região homogênea (Tabela 47).

Observa-se que a alteração na base de dados foi mais expressiva na região 1, a qual apresentou desvios de até 27% nos valores dos desvios-padrão; a região 2, no entanto, apresentou desvios bem menores, as quais não ultrapassaram os 7%. Foi verificado no item subseqüente o efeito dessas variações sobre a estimativa da vazão média de longa duração.

Tabela 46. Equações de regionalização obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios utilizando o índice do potencial de regularização

Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4732	0,1750	0,6160
	b	0,9844	0,9813	0,8608
	Nº estações	44	34	32
	R^2	0,9881	0,9794	0,7617
R2	a	0,4604	0,0923	0,9384
	b	0,9632	1,0286	0,8344
	Nº estações	20	21	14
	R^2	0,9923	0,9933	0,8230
R3	a	-	0,1088	1,2406
	b	-	1,0696	0,7378
	Nº estações	-	9	13
	R^2	-	0,9486	0,9012
R4	a	-	-	1,4543
	b	-	-	0,76
	Nº estações	-	-	11
	R^2	-	-	0,8710

Tabela 47. Desvios relativos da média e do desvio-padrão entre as regionalizações REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ para análise do efeito da alteração na base de dados

Região	Estatística	Desvio relativo (%)
R1	Média	15,06%
	Desvio-padrão	26,82%
R2	Média	6,61%
	Desvio-padrão	-6,52%

4.2.1.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões

4.2.1.3.1. Vazão média de longa duração

A Figura 37 apresenta a espacialização das variações relativas encontradas entre a REG_{TOTAL} e a $REG_{IPR(\%)}$, evidenciando-se que as estimativas das vazões foram bastante similares, sendo obtidas variações entre -1,00% a 1,24%.

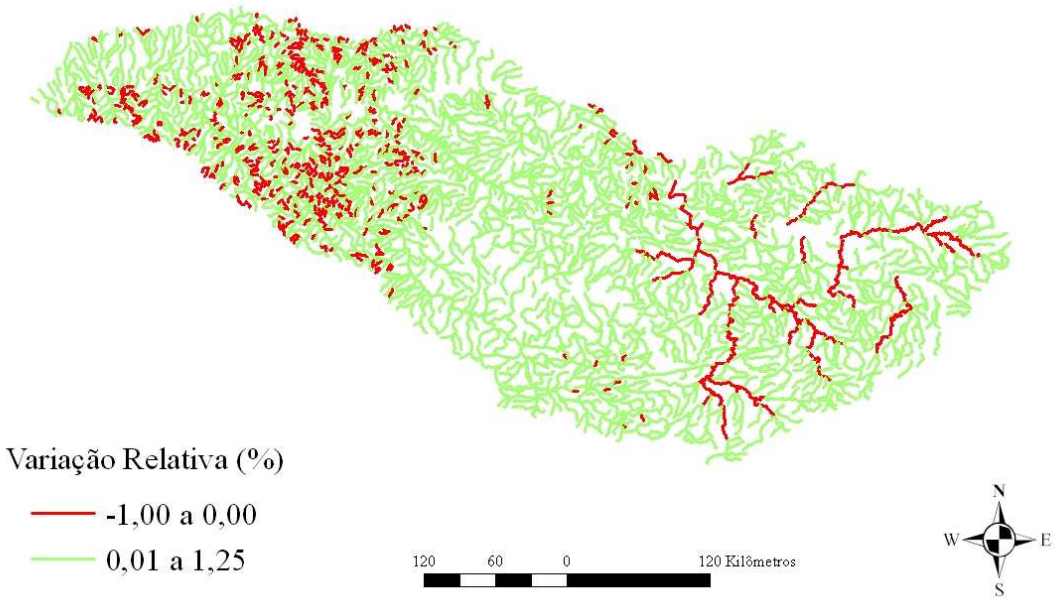


Figura 37. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão média.

A retirada das quatro estações com IPR superior a 50% produziu efeitos inferiores a 1,5% na estimativa da vazão média de longa duração em toda a hidrografia da bacia do Rio Grande, mostrando que as variações na base de dados não produziram um efeito expressivo sobre as estimativas das vazões.

Dessa forma, variações de até 1,25% na análise das vazões mínimas e da máxima podem ser atribuídas ao efeito da alteração na base de dados e não ao efeito dos reservatórios.

4.2.1.3.2. Vazão mínima

A Figura 38 apresenta a espacialização das variações relativas entre as estimativas das vazões mínimas, em que foram observadas variações de -11,1% a 9,7%, sendo que as maiores variações negativas corresponderam a trechos com pequenas áreas de drenagem e as maiores variações positivas corresponderam a trechos dos rios Mogi-Guaçu, Sapucaí e Turvo.

A Figura 39 apresenta a curva da variação relativa ao longo da área de drenagem da bacia do Rio Grande, separada por regiões homogêneas, em que nota-se que a região 3 não apresentou diferença entre as estimativas das vazões, uma vez que o número de estações utilizadas nesta região foi igual para as duas regionalizações, não variando a equação de regressão.

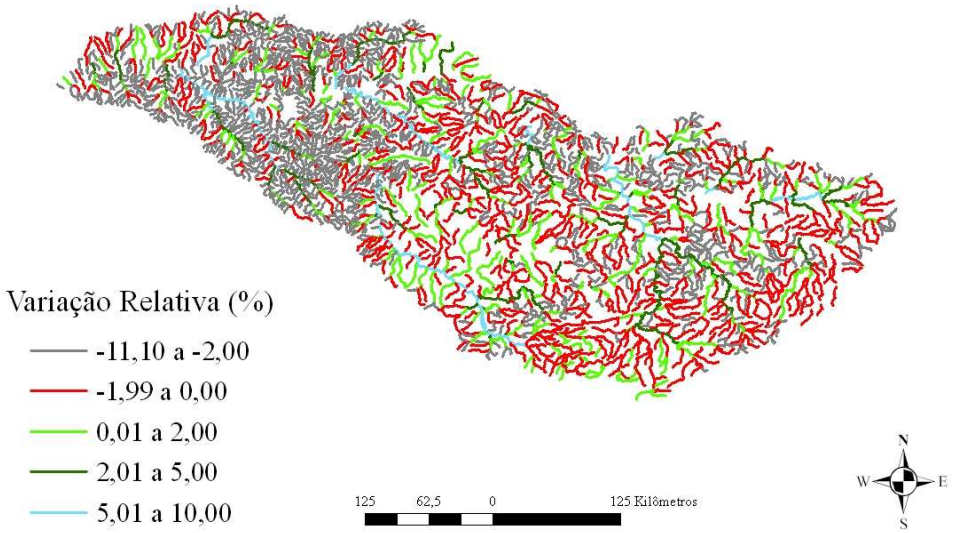


Figura 38. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão mínima.

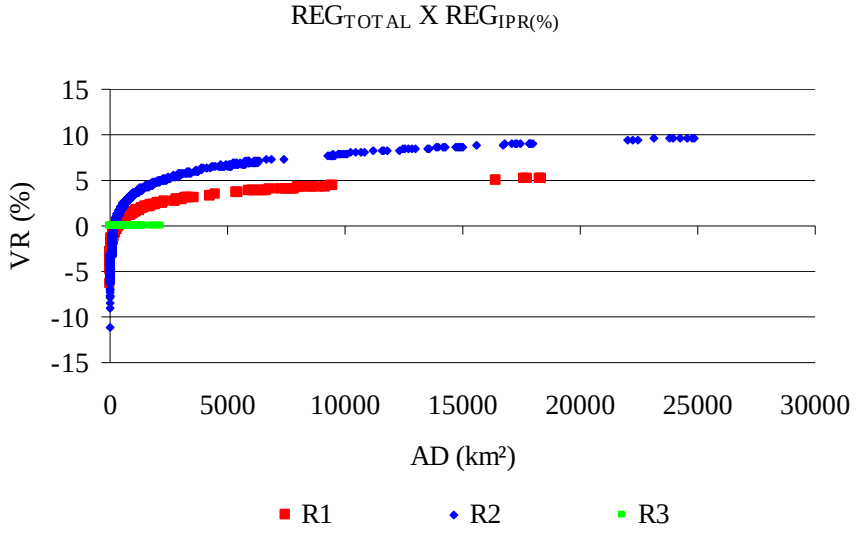


Figura 39. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as três regiões homogêneas da vazão Q_{95}.

A curva da variação relativa das regiões 1 e 2 apresentaram comportamento semelhante, sendo que a diferença foi a maior amplitude dos dados verificada na região 2. As variações negativas ocorreram em trechos isolados com pequenas áreas de drenagem que variaram entre 1,1 e 192,9 km^2, sendo que a ocorrência de variações relativas altas em trechos de cabeceira pode estar relacionada à baixa magnitude das vazões nestas áreas, o que faz com que qualquer diferença entre as vazões seja suficiente para produzir variações acentuadas.

As variações positivas tiveram uma tendência crescente, mostrando que o efeito dos reservatórios teve uma relação direta com a área de drenagem, e que estas variações ocorreram de maneira geral em trechos grandes, como o Rio Mogi-Guaçu apresentado na Figura 40. A amplitude da variação relativa neste rio foi de 6,2% a 9,1%, sendo que o limite inferior correspondeu a menor área de drenagem e o limite superior à maior área de drenagem. Nota-se também que a REG_{TOTAL} teve uma leve tendência a superestimar as vazões em relação à $REG_{IPR(\%)}$, mostrando que a inserção das estação fluviométricas influenciadas por reservatórios no estudo de regionalização promoveu um discreto aumento da vazão mínima no Rio Mogi-Guaçu.

O histograma apresentado na Figura 41 permite uma análise mais detalhada da distribuição das variações, mostrando que 89% dos trechos apresentaram variações de até 5% e apenas um trecho teve variação superior a 10%.

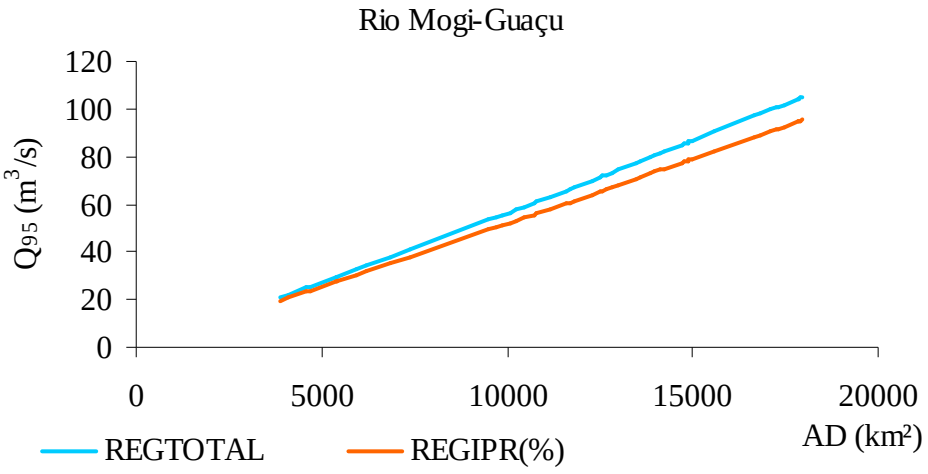


Figura 40. Comportamento da vazão Q_{95} estimada pela REG_{TOTAL} e pela $REG_{IPR(\%)}$ no Rio Mogi-Guaçu.

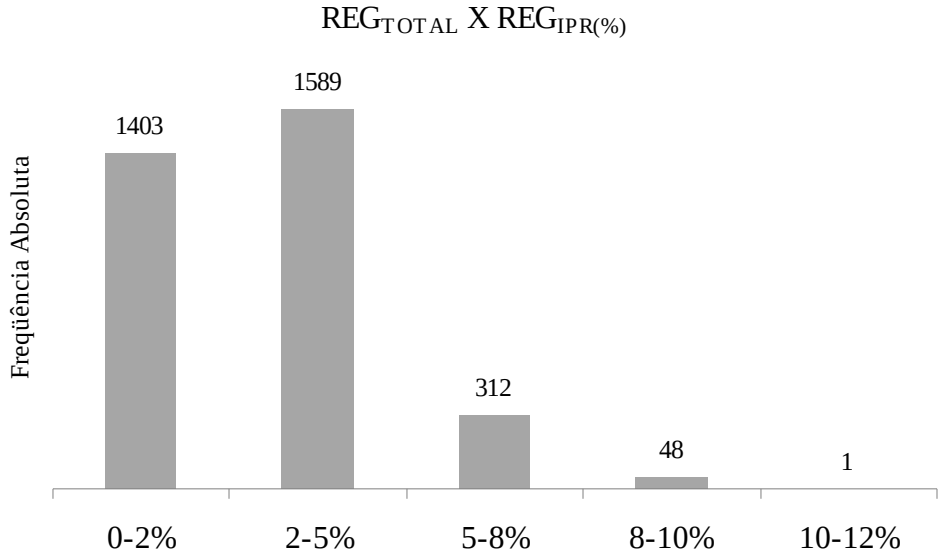


Figura 41. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão mínima.

Individualizando o efeito da alteração na base de dados verificado na vazão média de longa duração, o qual foi responsável por variações de até 1,25%, pode-se esperar, de maneira geral, que a propagação do efeito dos reservatórios produza alterações nas estimativas das vazões inferiores a 10%, sendo considerado de pouca expressividade para estudos de regionalização.

Portanto, a consideração ou não das estações fluviométricas influenciadas pelos reservatórios de maior potencial de regularização na regionalização de vazões não alterou expressivamente a estimativa das vazões mínimas.

4.2.1.3.3. Vazão máxima

A Figura 42 apresenta a espacialização das variações relativas entre as estimativas das vazões máximas, em que foram observadas variações de -54,9% a 39,0%, sendo que as maiores variações relativas foram referentes a trechos com pequenas áreas de drenagem (trechos de cor preta).

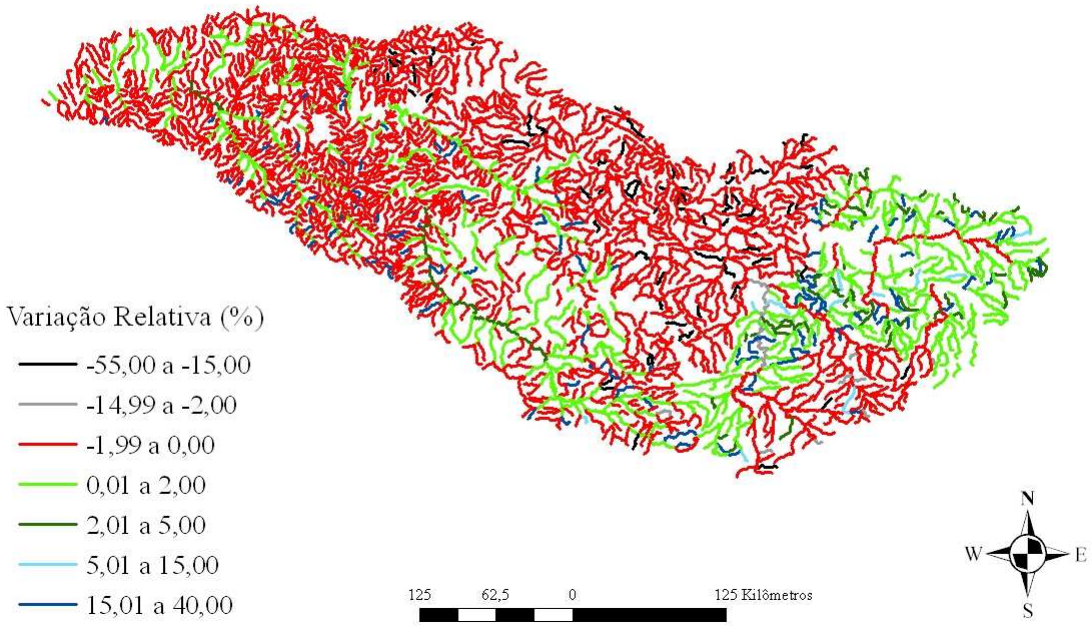


Figura 42. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

A Figura 43 mostra claramente o predomínio das variações relativas altas, tanto positivas quanto negativas, nos trechos de cabeceira dos rios. Nota-se que para os trechos com maiores áreas de drenagem, a variação relativa praticamente não variou, apresentando um comportamento quase linear ao longo da hidrografia. Portanto, no caso da vazão máxima, não se observou uma relação direta entre o efeito do reservatório e a área de drenagem, como verificado na vazão mínima.

O histograma apresentado na Figura 44 identificou 93,5% dos trechos com variações de até 5% e apenas 5% dos trechos com variações superiores a 20%. Portanto, o efeito dos reservatórios não apresentou potencial para modificar as estimativas das vazões, sendo que, de maneira geral, as variações verificadas para a vazão máxima foram ainda menos expressivas que as da vazão mínima, como se observa na Figura 45, em que as estimativas das vazões pelas duas regionalizações foram bem parecidas no Rio Mogi-Guaçu.

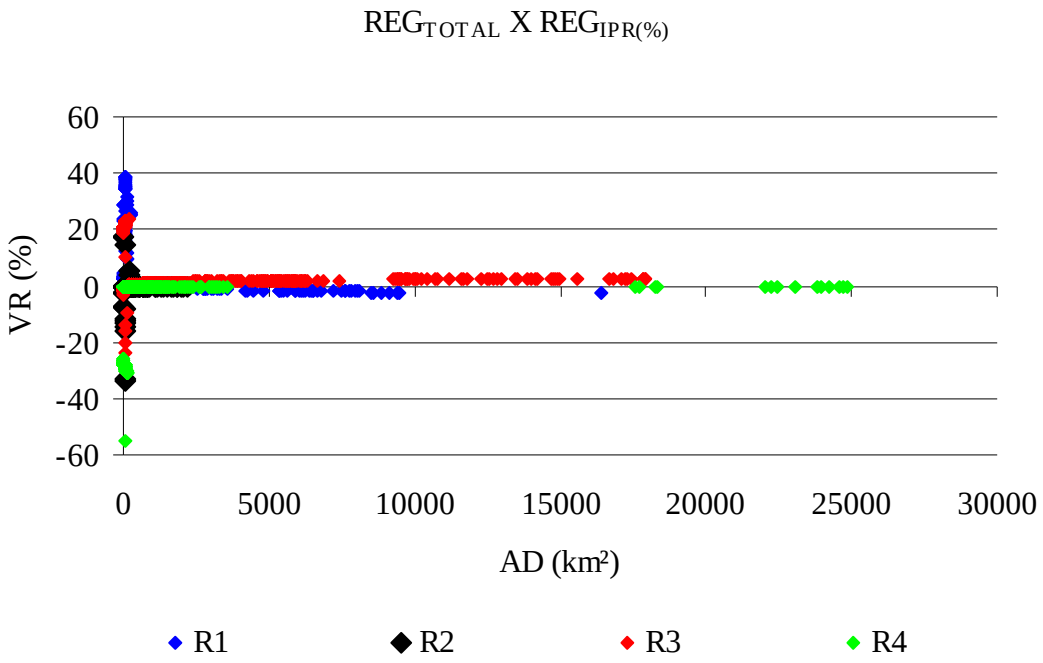


Figura 43. Curva da variação relativa entre REG_{TOTAL} e $REG_{IPR(\%)}$ ao longo da área de drenagem para as quatro regiões homogêneas da vazão máxima.

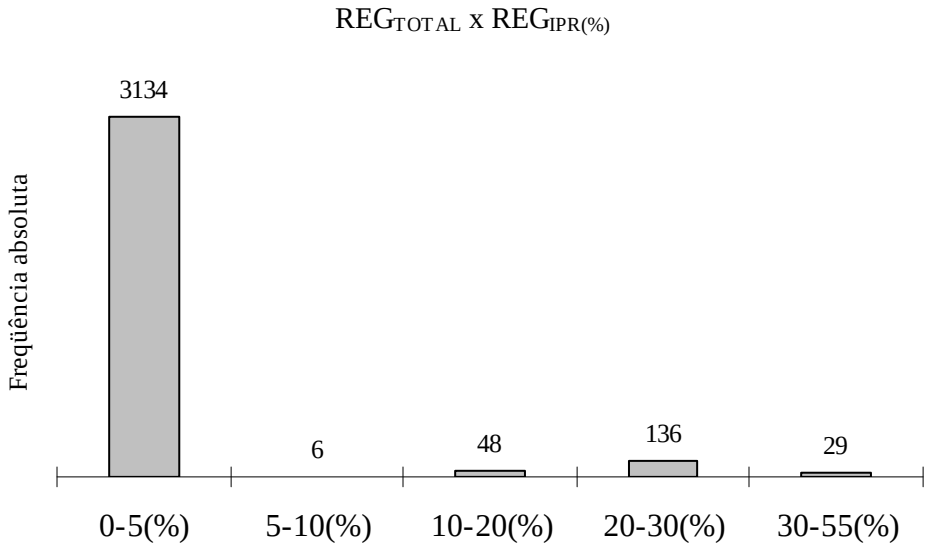


Figura 44. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IPR(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

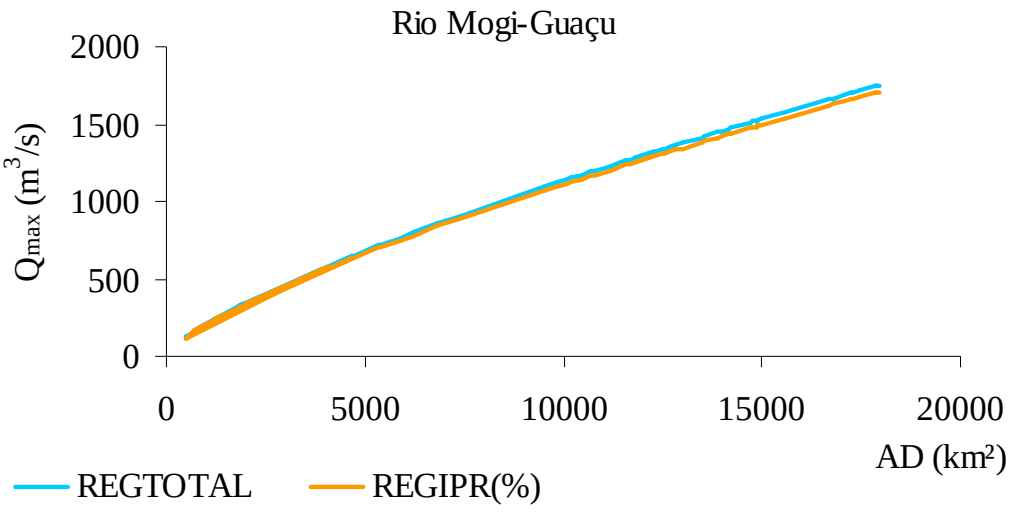


Figura 45. Comportamento da vazão máxima estimada pela REG_{TOTAL} e pela $REG_{IPR(\%)}$ no Rio Mogi-Guaçu.

Apesar da vazão máxima ter apresentado maior amplitude das variações relativas em relação às vazões mínimas, o efeito dos reservatórios na regionalização de vazões máximas foi menos expressivo, já que mais trechos apresentaram variações de até 5%. Portanto, o efeito do reservatório na regionalização da vazão máxima foi evidenciado em poucos trechos da bacia do Rio Grande, entretanto, sem apresentar uma importância expressiva devido à baixa representatividade dos trechos afetados.

4.2.2. Regionalização com base no índice de contribuição (IC)

4.2.2.1. Estações fluviométricas excluídas

A Tabela 48 apresenta as vazões observadas nas estações, as vazões estimadas nos reservatórios e o IC(%) para cada estação. Os índices variaram entre 0,8% e 109%, mostrando uma grande diferenciação na influência dos reservatórios nas vazões das estações fluviométricas.

Tabela 48. Dados referentes à vazão média calculada para as estações e a estimada nas seções dos reservatórios com o respectivo índice de contribuição (IC) das vazões das estações fluviométricas

	Estação	Reservatório	Q_{mld} (m^3/s)		IC
			Estação	Reservatório	
Estações excluídas	61902000	Emas Novas	153,16	167,36	109,3%
	61202000	Anil	28,96	28,68	99,0%
	61820000	Limoeiro	86,02	80,55	93,6%
	61565000	Poço Fundo	8,86	7,13	80,5%
	61285000	Luis Dias	13,43	10,47	78,00%
	61826000	São Sebastião	10,27	7,99	77,9%
	61807002	Antas II	11,91	9,23	77,5%
	61912000	Emas Novas	225,43	167,36	74,2%
	61886000	Mogi-Guaçu	83,82	61,31	73,2%
	61787500	São Joaquim	141,71	87,14	61,5%
	61817004	Caconde	80,03	47,49	59,3%
	61830000	Limoeiro	141,31	80,55	57,0%
	61568000	Poço Fundo	15,08	7,13	47,3%
	61145000	Camargos	296,16	132,75	44,8%
	61879000	Socorro	24,24	9,59	39,6%
Estações consideradas	61305000	Luis Dias	58,86	10,47	17,8%
	61925000	Limoeiro	510,00	80,55	15,8%
	61530000	Xicão	7,27	0,98	13,4%
	61250000	Fojo	3,61	0,31	8,5%
	61410000	Luis Dias	163,46	10,47	6,4%
	61425000	Luis Dias	173,67	10,47	6,0%
	61537000	Xicão	125,64	0,98	0,8%

Os maiores índices estiveram relacionados à maior representatividade da vazão do reservatório em relação à vazão da estação. Índices de contribuição superiores a 100% foram atribuídos aos erros advindos da equação de regionalização utilizada para estimar a vazão na seção do reservatório.

Portanto, para a realização da $REG_{IC(\%)}$ foram excluídas quinze estações fluviométricas, as quais apresentaram IC superior a 20%, sendo que esta regionalização contou com todas as estações quando da regionalização da REG_{TOTAL} com exceção das 15 estações separadas na Tabela 48.

Naqueles casos em que a estação esteve imediatamente a jusante do reservatório, o índice de contribuição apresentou um valor bastante alto, porém sem necessariamente significar que o reservatório tenha potencial para alterar o regime hídrico a jusante, pois a pequena distância entre as seções do reservatório e da estação faz com que as vazões sejam bastante parecidas. Dessa forma, o índice de

contribuição pode apresentar certa fragilidade na análise do efeito de reservatórios na regionalização de vazões.

4.2.2.2. Equações obtidas e análise do efeito da alteração na base de dados

As equações de regressão obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 49, sendo que número de estações utilizadas na $REG_{IPR(\%)}$ foi de 59 estações para o estudo da vazão máxima e 53 para as vazões média e mínimas.

Tabela 49. Equações de regionalização obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios utilizando o índice de contribuição

Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4623	0,1743	0,6193
	b	0,9890	0,9842	0,8593
	Nº estações	40	32	31
	R^2	0,9889	0,9819	0,7610
R2	a	0,4497	0,0951	0,8027
	b	0,9658	1,0277	0,8711
	Nº estações	13	13	13
	R^2	0,9947	0,9896	0,8747
R3	a	-	0,1104	1,2830
	b	-	1,0633	0,7261
	Nº estações	-	8	7
	R^2	-	0,9401	0,8579
R4	a	-	-	1,0814
	b	-	-	0,795
	Nº estações	-	-	8
	R^2	-	-	0,9004

Observa-se que os desvios relativos nas médias e nos desvios-padrão oscilaram entre 11% e 27%, sendo que a região 2 apresentou as maiores valores. Comparando os resultados verificados com o IPR(%), nota-se que, de maneira geral, os desvios relativos do IC(%) foram discretamente superiores, podendo esperar que o efeito da alteração na base de dados seja um pouco mais representativa nesta regionalização (Tabela 50).

Tabela 50. Desvios relativos da média e do desvio-padrão entre as regionalizações REG_{TOTAL} e $REG_{IC(\%)}$ para análise do efeito da alteração na base de dados

Região	Estatística	Desvio relativo (%)
R1	Média	10,84%
	Desvio-padrão	23,90%
R2	Média	26,71%
	Desvio-padrão	-21,56%

4.2.2.3. Análise do efeito de reservatório na regionalização de vazões

4.2.2.3.1. Vazão média de longa duração

A Figura 46 mostra a distribuição espacial das variações relativas ao longo da hidrografia da bacia do Rio Grande para a vazão média de longa duração, em que as diferenças encontradas variaram de -1,9% a 4,4%. Nota-se que as maiores variações ficaram mais concentradas nos trechos da região 2 (mais próximo à foz da bacia), justamente onde foi notificada uma maior alteração na base de dados.

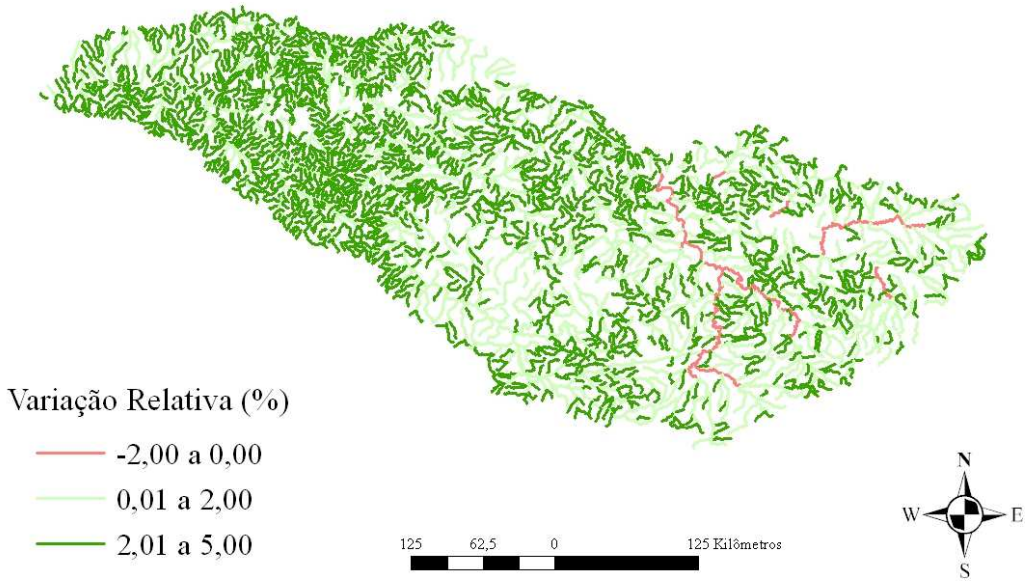


Figura 46. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão média.

As variações nas estimativas das vazões encontradas nesta análise foram ligeiramente superiores às encontradas na análise da Q_{mld} adotando o procedimento

do IPR(%), sendo explicadas pela sutil alteração na base de dados, principalmente na região 2.

Portanto, as alterações na base de dados produziram variações de até 5% nas estimativas das vazões médias, sendo que variações desta ordem encontradas na análise das vazões mínima e máximas podem ser associadas ao efeito da alteração na base de dados.

4.2.2.3.2. Vazão mínima

A Figura 47 apresenta a distribuição espacial das variações relativas entre as estimativas das vazões mínimas, em que foram observadas variações de -14,8% a 7,5%, sendo que as maiores variações corresponderam aos trechos da região homogênea 2.

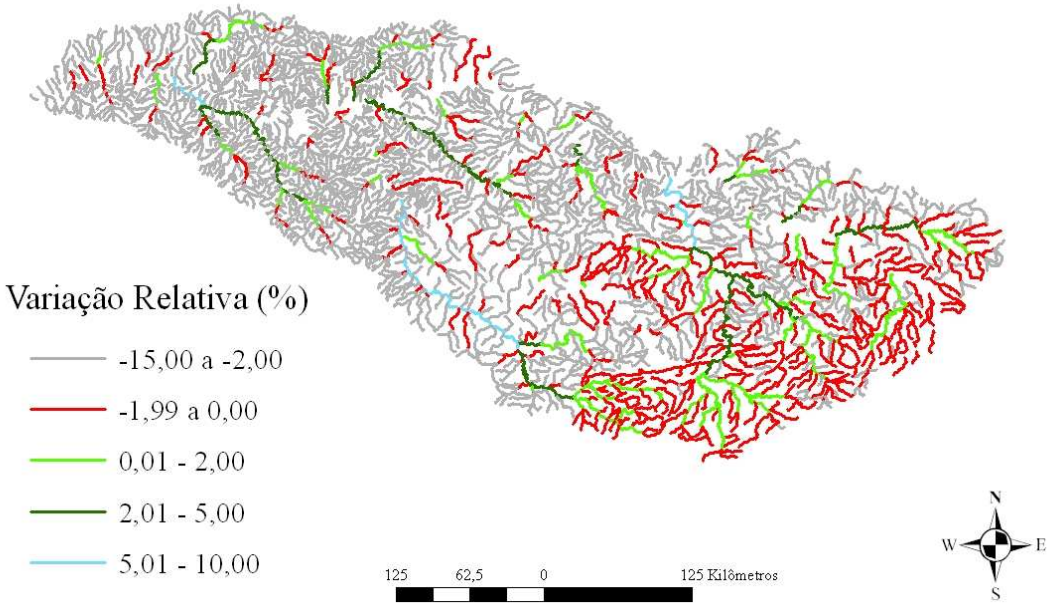


Figura 47. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão mínima.

O histograma apresentado na Figura 48 mostra que dos 642 trechos presentes na região 1 e 3, apenas um apresentou variação acima dos 5%, e já na região 2

metade dos trechos apresentou variações superiores aos 5%. Portanto, as diferenças encontradas entre as estimativas das vazões mínimas para as regiões 1 e 3 foram pouco expressivas. Além do que, variações de até 5% podem ser atribuídas ao efeito da alteração na base de dados, de acordo com os resultados encontrados na análise da Q_{mld}. Sendo assim, pode-se constatar que não houve efeito expressivo dos reservatórios nas estimativas das vazões mínimas nas regiões homogêneas 1 e 3.

As variações evidenciadas na região 2 apresentaram valores de até 15%, porém individualizando o efeito da alteração da base de dados, pode-se dizer que, de maneira geral, o efeito dos reservatórios estariam comprometendo as estimativas das vazões mínimas em, aproximadamente, 10%, um valor de pouca repercussão para a condução de estudos de regionalização de vazão.

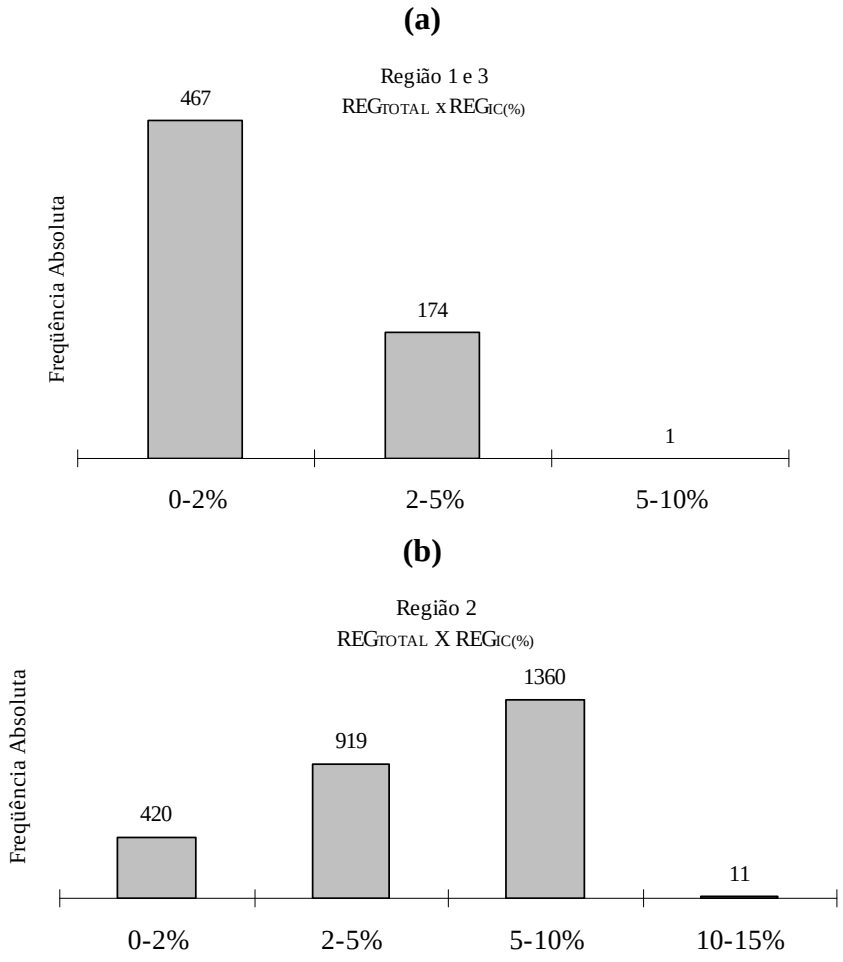


Figura 48. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC(\%)}$ das regiões 1 e 3 (a) e 2 (b) para cada trecho da hidrografia para o estudo da vazão mínima.

4.2.2.3.3. Vazão máxima

A Figura 49 apresenta a distribuição espacial das variações relativas entre as estimativas das vazões máximas, em que foram observadas variações de -13,5% a 22,7%, em que as maiores variações corresponderam aos trechos da região homogênea 4, representada pelas cores azuis do mapa. As regiões 1, 2 e 3 apresentaram variações, em módulo, inferiores a 5%, 14% e 10%, respectivamente.

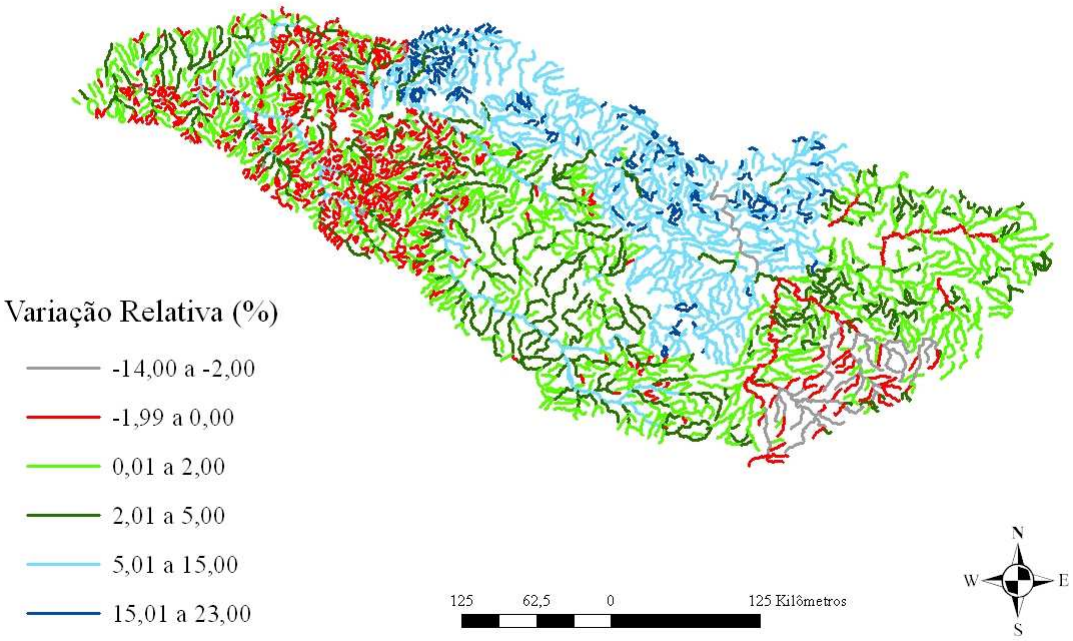


Figura 49. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC(\%)}$ para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

Individualizando o efeito da alteração na base de dados, pode-se considerar que a propagação do efeito dos reservatórios na região 1 foi inexpressiva, e nas demais regiões, a ação dos reservatórios produziu alterações de, aproximadamente, 5%, 10% e 20% nas estimativas das vazões máximas, nas regiões 3, 2 e 4, respectivamente.

Analisando a bacia como um todo, 70% dos trechos da bacia apresentaram variações relativas inferiores aos 5% e em apenas cinco trechos as variações foram superiores a 20%. Portanto, os trechos com as maiores variações tiveram pouca

representatividade, mostrando que o efeito dos reservatórios ficou aquém do esperado, e que a presença de reservatórios, mesmo os de maior índice de contribuição, não apresentaram um bom potencial para alterar expressivamente as estimativas das vazões máximas (Figura 50).

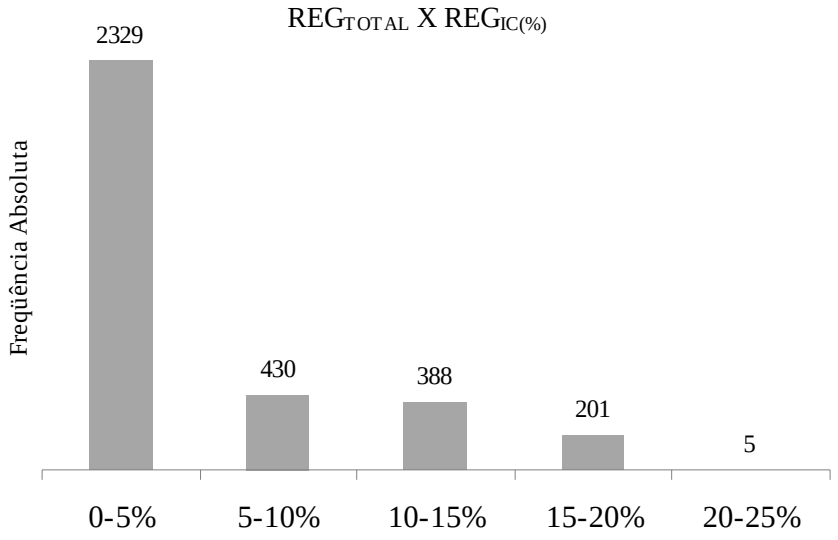


Figura 50. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da $REG_{IC(\%)}$ para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

4.2.3. Regionalização utilizando como critério a exclusão de todas as estações influenciadas por reservatórios

4.2.3.1. Estações fluviométricas excluídas

Esta regionalização excluiu todas as estações fluviométricas que apresentaram reservatórios em suas áreas de drenagem, sendo excluídas as 22 estações apresentadas na Tabela 48.

4.2.3.2. Equações obtidas e efeito da alteração na base de dados

As equações de regressão obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} estão apresentadas na Tabela 51, sendo que as regiões homogêneas 3 e 4 da REG_{TOTAL} compuseram uma mesma região homogênea na REG_{SER}. O número de estações utilizadas na REG_{SER} foi de 52 estações para o estudo da vazão máxima e 47 para as vazões média e mínimas.

Tabela 51. Equações de regionalização obtidas para a Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios excluindo todas as estações influenciadas por reservatórios

Região	$Y = a.x^b$	$Q_{mld} = f(P_{eq})$	$Q_{95} = f(P_{eq})$	$Q_{max} = f(AD)$
R1	a	0,4559	0,1675	0,4094
	b	0,9934	0,9996	0,9266
	Nº estações	35	27	26
	R^2	0,9841	0,9764	0,7093
R2	a	0,3971	0,1045	0,8372
	b	1,0074	0,9951	0,8647
	Nº estações	12	12	12
	R^2	0,9898	0,9721	0,8617
R3	a	-	0,1104	0,8714
	b	-	1,0633	0,8121
	Nº estações	-	8	14
	R^2	-	0,9401	07566

A retirada das 22 estações influenciadas pelos reservatórios promoveu as maiores alterações na base de dados dentre todas analisadas, com variações nas médias e desvios-padrão oscilando entre 37% e 90%, sendo que a região 2 apresentou as variações mais expressivas. Comparando o número de estações utilizadas na $REG_{IC(\%)}$ e na REG_{SER} para a região 2, nota-se que a diferença é de apenas uma estação fluviométrica (código 61925000), no entanto, a retirada desta única estação provocou mudanças expressivas na base de dados da REG_{SER}, como se observa na Tabela 52. Portanto, pode-se esperar que o efeito da alteração na base de dados tenha uma grande contribuição nas variações relativas das estimativas das vazões, principalmente nos trechos localizados na região homogênea 2 da Q_{mld}.

Tabela 52. Desvios relativos da média e do desvio-padrão entre as regionalizações REG_{TOTAL} e REG_{SER} para análise do efeito da alteração na base de dados

Região	Estatística	Desvio relativo (%)
R1	Média	37,00%
	Desvio-padrão	53,47%
R2	Média	80,37%
	Desvio-padrão	89,88%

4.2.3.3. Análise da propagação do efeito de reservatório na regionalização de vazões

4.2.3.3.1. Vazão média de longa duração

A Figura 51 apresenta a espacialização das variações relativas encontradas entre a REG_{TOTAL} e a REG_{SER}, em que as estimativas das vazões variaram de -15,6% a 24,3%.

A região com cores azuis representa a região homogênea 2, onde se alcançou as maiores variações relativas. Portanto, as alterações na base de dados da ordem de 80% a 90%, verificadas no item anterior para esta região, repercutiram em variações de até 25% nas estimativas das vazões. No entanto, essas variações mais expressivas foram restritas a poucos trechos os quais apresentaram pequenas áreas de drenagem, sendo que a grande maioria apresentou variações inferiores aos 15%.

Já na região 1, as variações relativas foram quase todas inferiores aos 5%, sendo que apenas o Rio Sapucaí apresentou variações iguais a 15%. Portanto, a região 1 apresentou um menor efeito da alteração na base de dados, sendo este mais acentuado na região 2, como era esperado.

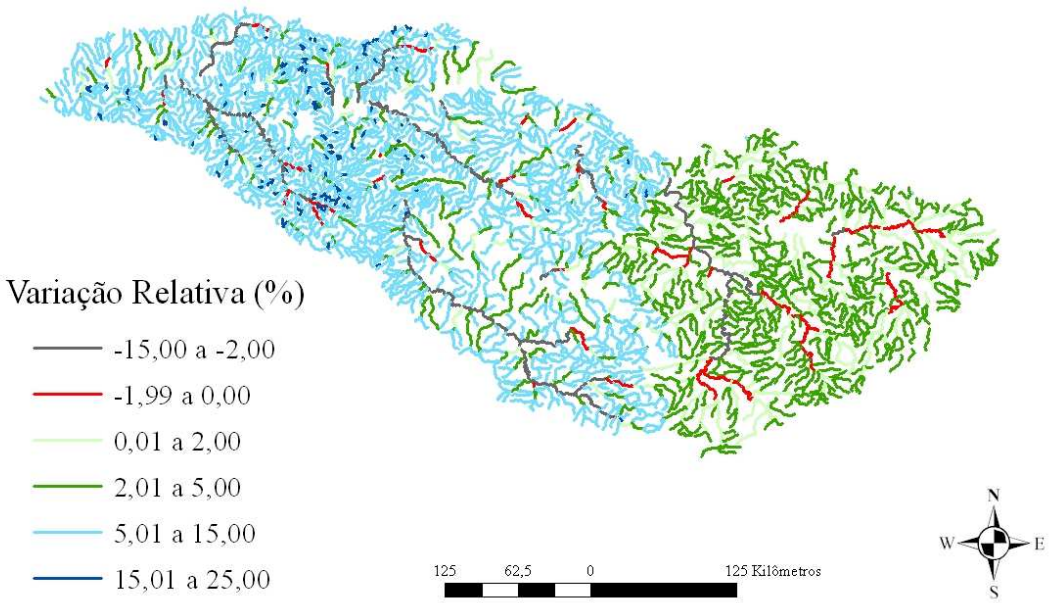


Figura 51. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{SER} para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão média.

4.2.3.3.2. Vazão mínima

A Figura 52 apresenta a espacialização das variações relativas encontradas entre a REG_{TOTAL} e a REG_{SER}, em que as estimativas das vazões variaram de -39,2% a 19,3%, e que os trechos mais próximos à cabeceira da bacia, que correspondem à área das regiões homogêneas 1 e 3 da vazão mínima e estão representados pelas cores vermelha e verde no mapa, apresentaram as menores variações evidenciadas, com valores de até 3%, em módulo.

As áreas das regiões 1 e 3 da Q_{95} estão inseridas na região 1 da Q_{mld}, em que o efeito da alteração na base de dados explicou variações de até 5%, portanto, pode-se dizer que o efeito de reservatório foi inexpressivo nas regiões homogêneas 1 e 3 da vazão mínima.

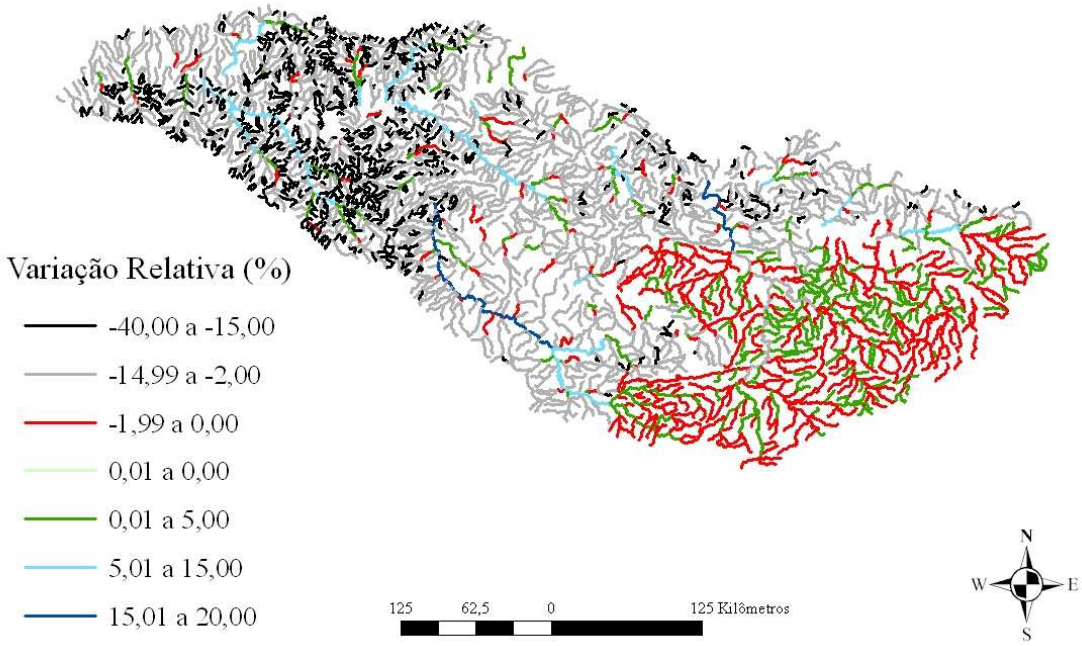


Figura 52. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{SER} para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão mínima.

No caso da região 2 da Q_{95}, representada pelas cores cinza e preta no mapa, sua área abrangeu, basicamente, a região 2 da Q_{mld}, em que o efeito da alteração na base de dados foi, de maneira geral, igual a 15%, podendo alcançar os 25%. Nota-se

que as maiores variações nas estimativas da Q_{95} corresponderam aos trechos com pequenas áreas de drenagem representados pela cor preta no mapa.

Analisando o histograma apresentado na Figura 53, 99% dos trechos da região 2 obtiveram variações inferiores a 25%, considerando que variações entre 5% e 25% podem ser atribuídas ao efeito da alteração na base de dados, pode-se esperar que o efeito dos reservatórios sobre as estimativas das vazões mínimas não apresente grande expressividade.

Foi verificado que as maiores variações (30% a 40%) corresponderam a apenas três trechos da hidrografia, os quais apresentaram pequenas áreas de drenagem, que variaram entre 1 e 7 km^2. É importante ressaltar que o efeito da alteração na base de dados foi também mais evidenciado em trechos com pequenas áreas de drenagem, portanto, apesar das variações relativas terem alcançado 40%, o efeito do reservatório pode não ter sido tão expressivo, já que a alteração na base de dados pode explicar variações de até 25%.

Sendo assim, pode-se dizer que não houve uma propagação representativa do efeito de reservatório sobre a estimativa das vazões mínimas neste estudo de regionalização de vazão.

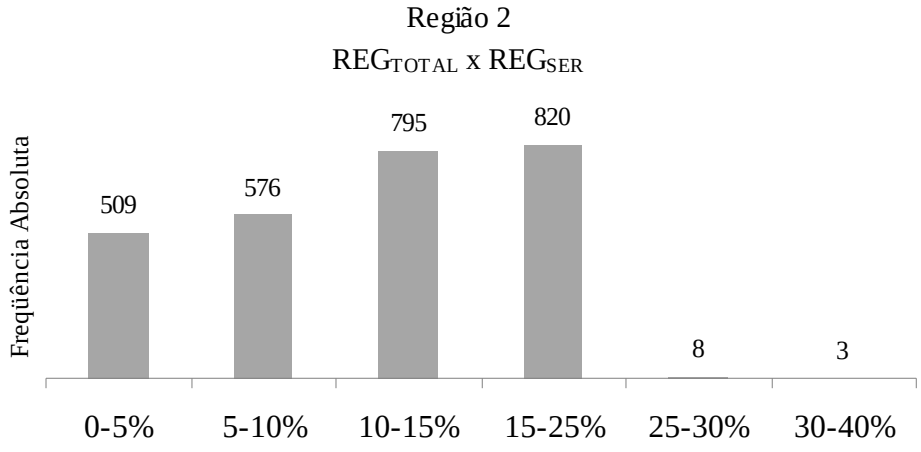


Figura 53. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{SER} da região homogênea 2 para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão mínima.

4.2.3.3.3. Vazão máxima

A Figura 54 apresenta a espacialização das variações relativas encontradas entre a REG_{TOTAL} e a REG_{SER}, em que as estimativas das vazões variaram de -41,8% a 36,5%. As maiores variações corresponderam aos trechos azuis escuro, os quais tiveram variações de 15% a 37%, e aos trechos pretos que formaram os Rios Mogi-Guaçu, Uberaba, Turvo e Sapucaí, com variações de -15 a -42%.

O histograma mostra que as variações entre as estimativas das vazões máximas se distribuíram com certa homogeneidade nas classes de freqüência estabelecidas. Mais da metade dos trechos (68%) apresentaram variações inferiores aos 15% (valor em módulo), sendo que, se isolada as variações oriundas da alteração na base de dados (5% a 25%), pode-se esperar que o efeito dos reservatórios altere em, aproximadamente, 10% as estimativas das vazões máximas (Figura 55).

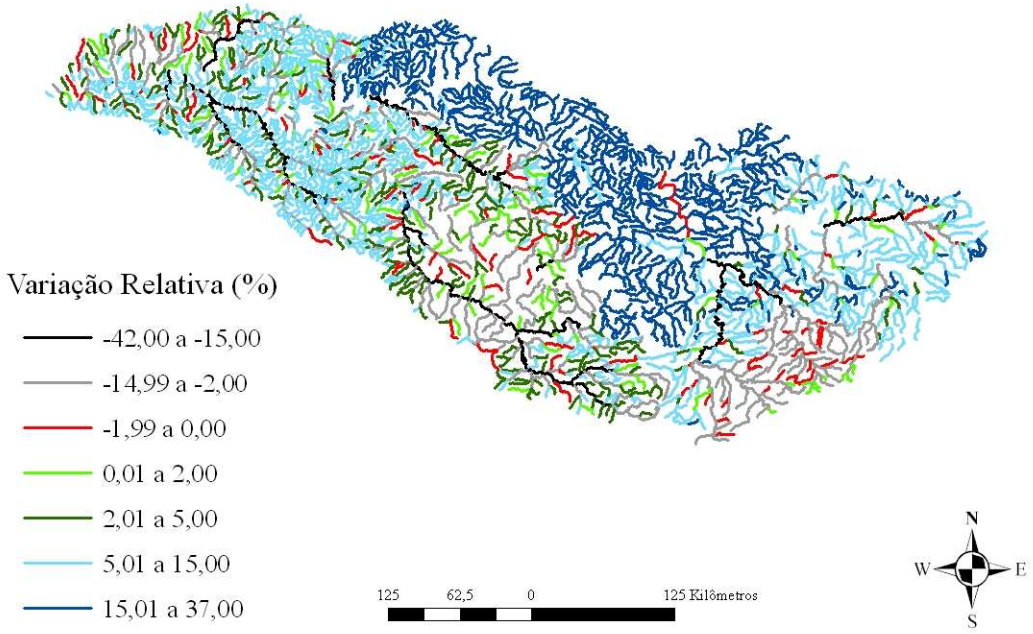


Figura 54. Variações relativas entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{SER} para análise da propagação do efeito de reservatório no estudo da vazão máxima.

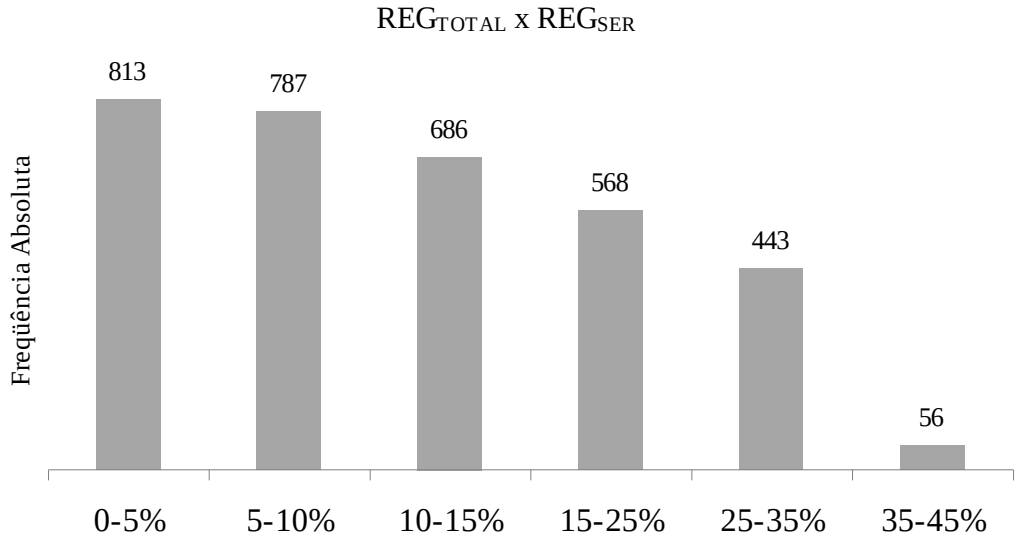


Figura 55. Histograma com as freqüências absolutas das variações em módulo entre as vazões estimadas da REG_{TOTAL} e da REG_{SER} para cada trecho da hidrografia da bacia do Rio Grande para o estudo da vazão máxima.

Uma menor quantidade de trechos (30%) apresentou variações entre 15% e 35%, sendo evidenciado um efeito ligeiramente maior dos reservatórios. As situações mais críticas ocorreram em apenas 2% dos trechos, nas quais as variações oscilaram entre 35% e 45%, sendo os trechos mais afetados pelo efeito dos reservatórios.

De maneira geral, a maioria dos trechos da bacia do Rio Grande apresentou variações entre as estimativas das vazões pouco expressivas (de 0% a 15%), sendo que as variações mais altas se limitaram a uma quantidade pequena de trechos, em grande parte dos casos, trechos de cabeceira. Portanto, o efeito do reservatório ficou aquém do esperado tanto para as vazões máximas quanto para as vazões mínimas, mostrando que a exclusão de estações influenciadas por reservatórios teve pouca influência nos estudos de regionalização de vazões.

4.2.4. Constatações a respeito dos resultados obtidos

Para a condução da análise do efeito de reservatórios na regionalização de vazões, torna-se interessante minimizar a contribuição do efeito da alteração na base de dados para que, assim, haja uma melhor individualização do efeito dos reservatórios nos resultados, facilitando a interpretação da análise. A regionalização que obteve o menor efeito da alteração na base de dados foi a que excluiu a menor

quantidade de estações fluviométricas. Portanto, recomenda-se escolher para a avaliação do efeito de reservatório em estudos de regionalização o procedimento que apresente o menor efeito da alteração na base de dados.

A Tabela 53 apresenta a comparação dos coeficientes de determinação ajustados das regionalizações realizadas, mostrando que em nenhum caso a REG_{SER} apresentou o melhor desempenho estatístico, e que a REG_{TOTAL} foi a que teve a melhor capacidade para explicar as variações nas vazões analisadas, podendo-se dizer que, de maneira geral, a redução do número de estações utilizadas na regionalização prejudicou o ajuste estatístico das equações. Diante do fato que os reservatórios da bacia do Rio Grande não contribuíram expressivamente para alterar as estimativas das vazões, que os coeficientes de determinação ajustados da REG_{TOTAL} apresentaram melhor desempenho e que esta regionalização contou com um maior número de estações, recomenda-se a utilização de suas equações para a estimativa das vazões na bacia do Rio Grande.

Tabela 53. Coeficientes de determinação ajustados e número de estações utilizadas nas regionalizações da Q_{mld}, Q_{95} e Q_{max} para análise do efeito dos reservatórios

Regiões	Estatística	Q_{mld}				Q_{95}				Q_{max}			
		REG_{TOTAL}	$REG_{IPR(\%)}$	$REG_{IC(\%)}$	REG_{SER}	REG_{TOTAL}	$REG_{IPR(\%)}$	$REG_{IC(\%)}$	REG_{SER}	REG_{TOTAL}	$REG_{IPR(\%)}$	$REG_{IC(\%)}$	REG_{SER}
R1	R^2 ajustado	0,9893	0,9878	0,9887	0,9837	0,9816	0,9786	0,9813	0,9755	0,7786	0,7537	0,7527	0,6972
	Nº estações	45	44	40	35	36	34	32	27	33	32	31	26
R2	R^2 ajustado	0,9927	0,9919	0,9942	0,9888	0,9903	0,9929	0,9887	0,9693	0,8083	0,8083	0,8633	0,8479
	Nº estações	23	20	13	12	23	21	13	12	14	14	13	12
R3	R^2 ajustado	-	-	-	-	0,9413	0,9413	0,9301	0,9301	0,9047	0,8923	0,8295	0,7363
	Nº estações	-	-	-	-	9	9	8	8	16	13	7	14
R4	R^2 ajustado	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8567	0,8567	0,8838	-
	Nº estações	-	-	-	-	-	-	-	-	11	11	8	-

5. CONCLUSÕES

- O critério sugerido para a identificação de estações fluviométricas com dados inconsistentes foi a aplicação da técnica estatística do *Box Plot*, que apresentou um bom potencial para a melhoria dos estudos de regionalização de vazões média e mínimas; no entanto, no estudo da vazão máxima ela apresentou restrições, motivo pelo qual não se recomenda sua aplicação;

- Na regionalização das vazões média e mínimas da bacia do Rio Grande, a vazão equivalente foi a variável explicativa com melhor desempenho, enquanto que na regionalização da vazão máxima, foi a área de drenagem que propiciou os melhores resultados;

- Para a bacia do Rio Grande, as equações de regionalização ajustadas com a área de drenagem tiveram tendência a superestimar as vazões em relação às equações que utilizaram a vazão equivalente;

- Na regionalização das vazões naturais do Rio Grande e do Rio Pardo, a utilização da variável explicativa área de drenagem produziu resultados mais consistentes;

- Os índices propostos para analisar o efeito dos reservatórios em estudos de regionalização de vazões apresentaram resultados parecidos e mostraram que a consideração deste efeito na bacia do Rio Grande foi pouco expressiva nas estimativas das vazões mínimas e máximas, motivo pelo qual se recomenda a utilização de todas as estações fluviométricas na regionalização de vazões desta bacia.

6. BIBLIOGRAFIA

AGRA, S. G.; SOUZA, V. C. B.; NEVES, M. G. P.; CRUZ, M. A. S. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do Rio Carreiro – RS. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco.** Brasília: ANA, 2004. 318 p.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco**, Sub-projeto 3.3.B – Plano de Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio Salitre – UFBA: Salvador, 2003. 86 p.

ANDRADE, E.M.; PORTO, M.M.; COSTA, R.N.T.; MEIRELES, M.; ALVES C. NETO, J. Regionalização de modelos de vazões médias de longo período para o Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, Número Especial, p. 139-148, 2004. Disponível em: http://www.ccarevista.ufc.br/vespecial/01rca35-e.pdf

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Regionalização de vazões da sub-bacia 61 – Bacia do Rio Grande**. Itajubá: CERPCH, 2002a, 130 p.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Brasil. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002b. 153 p.

ARAÚJO, L. M. N. de; TAVARES, J. C. Regionalização de vazões da bacia do Rio Paraíba do Sul. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** 2004. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BARBOSA, S.E. da S.; BARBOSA JÚNIOR, A.R.; SILVA, G.Q. da; CAMPOS, E.N.B.; RODRIGUES, V.de C. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio Carmo, Minas Gerais. **Revista Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p. 64-71, 2005.

BARNETT, V.; LEWIS, T. **Outliers in statistical data**. Chichester: John Wiley, 1995. 584 p.

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.

CARAM, ROCHANE DE OLIVEIRA. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da $Q_{7,10}$ para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

COSTA, S. R. A.; NASCIMENTO, A. C.; GUIMARÃES, V.S. Proposta de adequação, ampliação e modernização da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

CUNHA, U.S.de; MACHADO, S. do A.;FILHO, A.F. Uso de análise exploratória de dados e de regressão robusta na avaliação do crescimento de espécies comerciais de Terra Firme da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, 2002.

DEMANBORO, A.C.;MARIOTONI, C.A.; BETTINE, S.C. A escala demográfica no planeta e a demanda por recursos hídricos: Cenários para o desenvolvimento sustentável.In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre. ABRH, 1999, CD-ROM.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2.ed. New York: John Wiley, 1981. 709 p.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985.

ELETROBRÁS. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacia Hidrográfica**. Volume 1 - Metodologia. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1997.

EUCLYDES, H. P. et al. Estudo de vazão máxima, mínima e média de longo período para as sub-bacias dos rios Verde Grande, Pardo e Jequitaí. In**: Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas.** Viçosa: UFV/RURALMINAS, 1994 p. 03-61. (Boletim Técnico, n. 1).

EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., PINTO, F. A., VIGODERIS, R. B. **Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período para a bacia do rio Paracatu, Minas Gerais**. Brasília, DF: MMA. SRH; Viçosa: UFV; Belo Horizonte: RURALMINAS, 1998. 200p.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R.; SILVA, M. V. J da. Regionalização Hidrológica na bacia do Rio Paranaíba, Minas Gerais. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

EUCLYDES, H. P. **Ferramenta para o planejamento e gestão de recursos hídricos nos Estado de Minas Gerais – HIDROTEC**. Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS. 2004. Disponível em: www.ufv.br/dea/hidrotec.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78 p.

FILL, H. H. Informações hidrológicas. In: **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.

FRANCISCO, C.N. **Subsídio à gestão dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis, RJ.** 2004. 178 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004. Disponível em: http://www.professores.uff.br/cristiane/Documentos/Tese%20CNF.pdf

FRIGGE, M.; HOAGLIN, D.C.; IGLEWICZ, B. Some implementations of the Box Plot**. The American Statistician**, Alexandria, VA, v. 43, n.1, p. 50-54, 1989.

FROTA, R.A.; BARRETO, G.A.; MOTA, J.C.M. Proposta de uma metodologia não-paramétrica para avaliação de redes neurais em tarefas de detecção de novidades. In: VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente / II IEEE Latin-American Robotics Symposium, 2005, São Luís. **Anais...**São Luís: IEEE, 2005. Disponível em: http://www.deti.ufc.br/~guilherme/PAPERS/sbai2005_barreto.pdf

HERNANDES, A.; MEGDA, M.M.; HERNANDEZ. F.B.T.; ALTIMARE, A.; ZOCOLER, J.L. Uso da água na bacia hidrográfica do Turvo/Grande – SP. In: XVI Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2006, Goiânia. **Anais...**Goiânia: ABID, 2006, CD-ROM.

HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. **Regional frequency analysis**: an approach based on L-Moments. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1997. 224 p.

LEMOS, A. F. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco, à montante do reservatório de Três Marias.** 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

LIAZI, A.; CONEJO, J.G.L.; PALOS, J.C.F.; CINTRA, P.S. Regionalização hidrológica no Estado de São Paulo. **Revista Águas e Energia Elétrica**, São Paulo, n. 14, p. 4-10, 1988.

LIMA, J. E. F.W. **Recursos hídricos no Brasil e no Mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 46 p. (Documentos 33).

MARQUES, F. de A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. Tradução: Prof. Verônica Calado. Segunda Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

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

OMM – Organización Meteorológica Mundial, Suiza. **Guía de Prácticas Hidrológicas**. **Volumen I – Adquisición y Proceso de Datos.** Ginebra: OMM, 1984. 280p.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: 2003a.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Revisão das séries de vazões naturais nas principais bacias do Sistema Interligado Nacional- SIN**. Brasília: 2003b.

PAGLIARUSSI, M.A.; NOSSA,V.; LOPES, V. de A. Influência do plano plurianual nos indicadores de execução: um estudo exploratório na prefeitura de Vitória. **Revista de Gestão USP**, São Paulo, v. 12, n.3, p.29-45, 2005.

PAOLIELO, M.M.B. et al. Valores de referência para plumbemia em população urbana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 31, n. 2, p.144-148, 1997.

PEDROLLO, M.C.; FERREIRA, P.H. Regionalização de Vazões na bacia da Lagoa Mirim. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

PEREIRA, R. da S.; NETO, A. da S.; TUCCI, C.E.M. **Princípios da Hidrometria**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 16 p. Disponível em: http//www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lado de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**, 2004. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

PINTO, E.J. de A.; ALVES, M.M.S. Regionalização de vazões da bacia do Alto do São Francisco. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água.** Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. 2006. 151 p. (Caderno didático 43).

REBOUÇAS, A. da C.; MARINHO, M.E. **Hidrologia das secas do Nordeste do Brasil**. Recife: SUDENE-DRN, Divisão de Hidrologia, 1972. 126p. BRASIL. SUDENE. Hidrologia, 40.

REBOUÇAS, A.C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In*:* REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. p.1-37.

RIBEIRO, W.C. **A ordem ambiental internacional**. Editora Contexto, São Paulo, 2001.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.13, n. 2, p. 103-107,2005.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

RODRIGUEZ, R. del G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões**. 2008. 254p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SANTOS, A. H. M.; BORTONI, E. da C.; JUNIOR, L. U. R.; GARCIA, M. A. R. A. A exploração de reservatórios e os comitês de bacias: uma análise prospectiva para o caso da UHE de Furnas. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

SDM/SDA – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/ Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. **Plano de Gestão e gerenciamento da Bacia do Rio Araranguá – zoneamento da disponibilidade e qualidade hídrica**. Volume II – caracterização hidrológica. Florianópolis: Epagri/Climerh. 1997. 50 p.

SILVA, F. F. da; SANTANA, A. G. de; CARDOSO, E. R.; RIBEIRO, C. A. O. Estimativa da vazão de referência para outorga na bacia do Rio Branco no oeste da Bahia. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2001, Aracajú. **Anais...**Aracajú: ABRH, 2001, CD-ROM.

SILVA, D. D. et al. **Regionalização de vazões para a Sub-Bacia 51**. Brasília: ANEEL; Viçosa: UFV, 2002a. 207p.

SILVA, D. D. et al. **Regionalização de vazões para a Sub-Bacia 52**. Brasília: ANEEL; Viçosa: UFV, 2002b. 138p.

SILVA, B.C.; TIAGO FILHO, G.L.; SILVA, A.P.M.; de PAULO, R.G.F. Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABRH, 2003, CD-ROM.

SILVA, A.M.; OLIVEIRA, P.M.; MELLO, C.R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p 374-380, 2006. Disponível em: http://www.agriambi.com.br/revista/v10n2/374.pdf

TEIXEIRA, A. de A; PRADO, A. do; SILVA, M. A.; SCHERER-WARREN, M; HAUSCHILD, R. M. P R.; SOUZA, F. M. L. e; NETO, V. S. C. Topologia Hídrica: uma proposta para gestão de recursos hídricos utilizando o sistema de informações geográficas. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: INPE, 2007, p.3597-3605.

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

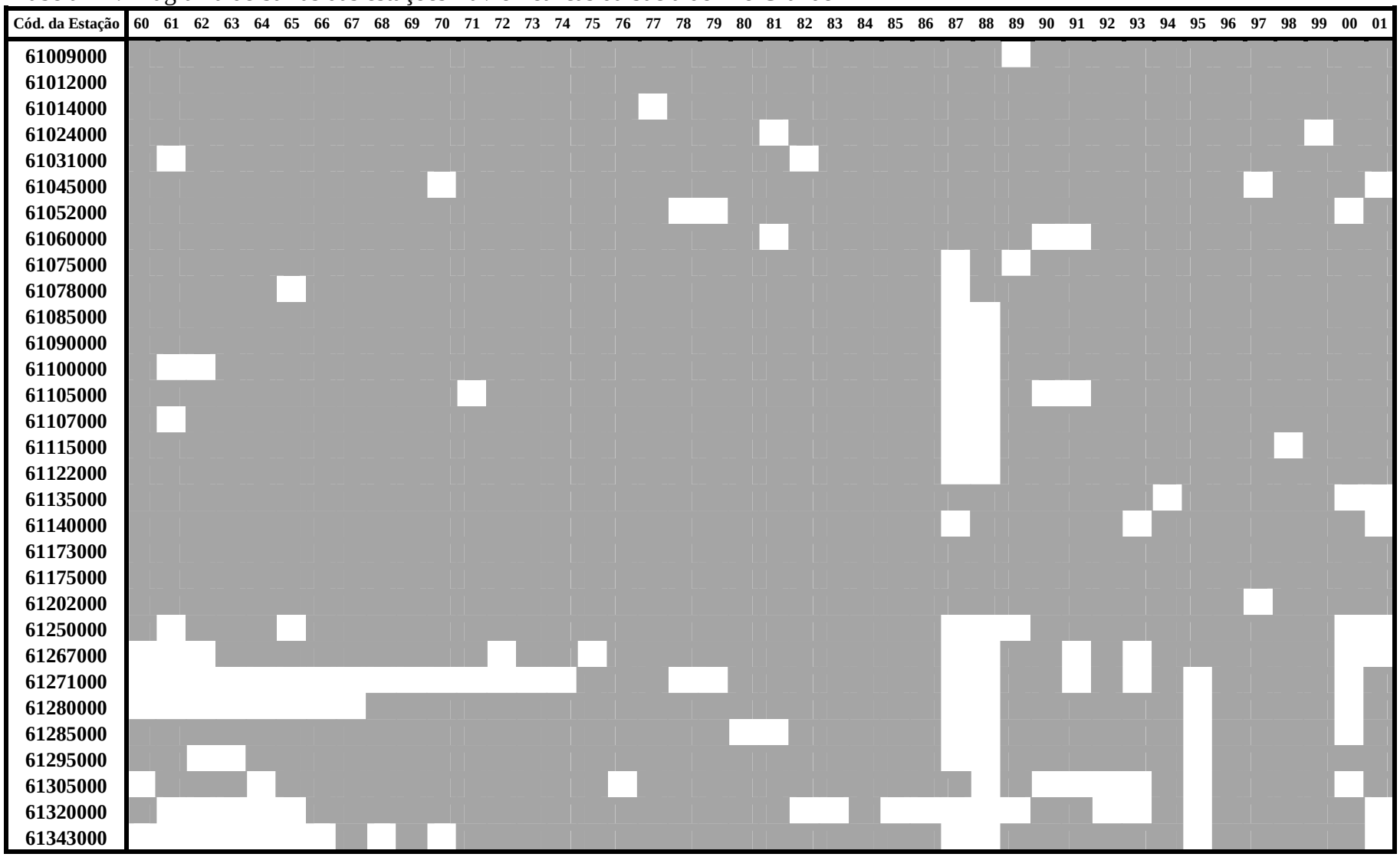
TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS/ABRH, 2004. 943 p.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Water for people, water for life**: UN world water development report (WWDR). Paris: UNESCO Publishing, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1A. Diagrama de barras das estações fluviométricas da bacia do Rio Grande



Continua…

*Branco representam falhas (ausência de dados) na série histórica

Tabela 1A. Continuação

Cód. da Estação	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01
61350000	■	■	□	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■
61360000	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
61370000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61410000	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□
61425000	□	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	■	■	■	□	□	■	■	■	■	□	■	□	□	■	□	□	□	□	■
61429000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	□	□	□	□	□	□	■
61460000	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61473000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61500000	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61510000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	□	□	□	■
61520000	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61530000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■
61537000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61565000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	■	□	■
61568000	■	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	□	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■
61610000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61695000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■
61700000	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61770000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61794000	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□	■	■	□	□	■	■	■	□	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■
61795000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61800500	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61815000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61826000	■	□	■	■	■	□	□	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61830000	□	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61861000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■
61865000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	□	■	■	■	■	□	□	■	■	■	□	□	□	■	■	■	■	■	□	□	■
61879000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■
61886000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□
61895000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■
61902000	□	□	□	□	□	□	□	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
61912000	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□	■	■

*Branco representam falhas (ausência de dados) na série histórica

Tabela 2A. Equações de regressão utilizadas para o preenchimento de falhas da vazão média de longa duração

Estação com falhas	Estação com dados	Equação	R^2
61009000	61520000	y = 3,163 + 0,815x	0,81
61012001	61012000	y = 0,093 + 0,992x	0,98
61014000	61429000	y = 2,847 + 1,072x	0,76
61024000	61175000	y = 1,054 + 1,108x	0,85
61031000	61060001	y = 0,185 + 0,067x	0,77
61045000	61052000	y = 0,843 + 1,244x	0,85
61052000	61045000	y = 0,239 + 0,686x	0,85
61060000	61060001	y = -1,640 + 1,092x	0,98
61060001	61031000	y = 9,227 + 11,504x	0,77
61075000	61078000	y = -0,295 + 0,577x	0,88
61078000	61075000	y = 4,442 + 1,542x	0,88
61085000	61135000	y = -0,081 + 0,102x	0,92
61090000	61145000	y = 1,115 + 0,069x	0,85
61100000	61135000	y = 0,660 + 0,220x	0,83
61105000	61135000	y = 0,499 + 0,129x	0,92
61107000	61135000	y = 1,539 + 0,388x	0,96
61115000	61135000	y = -3,137 + 0,129x	0,92
61122000	61135000	y = -1,027 + 0,053x	0,79
61135000	61085000	y = 10,689 + 9,020x	0,92
61140000	61202000	y = 0,370 + 0,200x	0,83
61145000	61090000	y = 34,927 + 12,013x	0,85
61173000	61175000	y = -3,849 + 3,266x	0,92
61175000	61024000	y = -1,723 + 0,765x	0,85
61202000	61140000	y = 3,782 + 4,076x	0,83
61250000	61802502	y = 1,577 + 0,057x	0,72
61267000*	-	-	-
61271000	61925000	y = 4,291 + 0,032x	0,72
61280000	61014000	y = 2,160 + 0,683x	0,79
61285000	61500000	y = 3,611 + 0,590x	0,83
61295000	61861000	y = -0,371 + 0,328x	0,79
61305000	61500000	y = 11,853 + 2,830x	0,87
61320000*	-	-	-
61343000	61861000	y = -0,199 + 0,613x	0,85
61350000	61895000	y = 4,799 + 1,807x	0,77
61360000*	-	-	-
61370000	61879000	y = 1,741 + 0,492x	0,87
61410000	61460000	y = 21,240 + 3,462x	0,88
61425000	61510000	y = 22,845 + 1,612x	0,87
61429000	61014000	y = -1,039 + 0,713x	0,76
61460000	61410000	y = -0,323 + 0,253x	0,88
61473000	61500000	y = -0,745 + 1,099x	0,81
61510000	61425000	y = 0,284 + 0,538x	0,87
61520000	61009000	y = -0,374 + 0,998x	0,81
61530000	61500000	y = 0,833 + 0,387x	0,72
61537000	61500000	y = 8,159 + 7,062x	0,94
61565000*	-	-	-

Continua...

Tabela 2A. Continuação

Estação com falhas	Estação correlacionada	Equação	r
61568000	61818000	y = 2,289 + 3,321x	0,75
61610000	61770000	y = 7,233 + 2,743x	0,75
61695000	61826000	y = 1,797 + 2,074x	0,87
61700000	61770000	y = 0,772 + 1,976x	0,85
61770000	61610000	y = -1,230 + 0,291x	0,75
61787500*	-	-	-
61794000*	-	-	-
61795000	61012000	y = -0,584 + 0,707x	0,71
61800500	61802502	y = -0,004 + 0,223x	0,92
61802502	61800500	y = 2,487 +4,174x	0,92
61807002	61895000	y = 0,151 + 0,972x	0,87
61811000	61815000	y = 2,228 + 3,461x	0,76
61815000	61811000	y = -0,175 + 0,221x	0,76
61817004	61830000	y = -2,613 + 0,584x	0,83
61818000	61568000	y = 0,226 + 0,240x	0,75
61820000	61830000	y = -3,233 + 0,632x	0,75
61826000	61695000	y = 0,644 + 0,417x	0,87
61830000	61817004	y = 28,405 + 1,430x	0,83
61861000	61295000	y = 2,995 + 2,442x	0,75
61865000	61895000	y = 6,612 + 1,022x	0,87
61879000	61370000	y = -0,059 + 1,777x	0,87
61886000	61902000	y =0,772 + 0,542x	0,94
61895000	61865000	y = -3,960 + 0,845x	0,87
61902000	61925000	y = -31,605 + 0,362x	0,94
61912000	61902000	y = 55,052 + 1,114x	0,90
61925000	61271000	y = 49,762 + 22,820x	0,72

*Estação que não obteve coeficiente de correlação superior a 0,84 com nenhuma estação com dados

Tabela 3A. Estações pluviométricas da bacia do Rio Grande utilizadas no estudo

Código	Nome	Longitude	Latitude	Período-base
1948007	Campo Florido	-48,574	-19,771	1975-2001
1949001	Riolândia	-49,683	-19,967	1968-2000
1949004	Campina Verde	-49,483	-19,542	1968-2000
1950000	Iturama	-50,192	-19,725	1975-2001
2045004	Santana do Jacaré	-45,125	-20,905	1968-2001
2045020	Candeias	-45,274	-20,760	1975-2001
2045026	Ilicinéa	-45.824	-20.945	1983-2001
2046001	Itaú de Minas	-46,735	-20,739	1968-2001
2047005	Rifaína	-47,433	-20,083	1968-2001
2047016	Franca	-47,423	-20,544	1968-2001
2047018	Fazenda Santa Cecília	-47,967	-20,517	1968-2001
2047021	Usina Dourados	-47,683	-20,650	1968-2001
2047028	Usina Esmeril	-47,300	-20,833	1968-2001
2047029	Batatais	-47,617	-20,883	1968-2001
2047067	Ituverava	-47,767	-20,333	1968-2001
2048002	Porto Colômbia	-48,683	-20,172	1968-1998
2048004	Fazenda São Domingos	-48,291	-20,211	1968-2001
2048016	Ibitu	-48,767	-20,617	1968-2001
2048019	Jaborandi	-48,417	-20,683	1968-2001
2048023	Morro Agudo	-48,050	-20,733	1968-2001
2048029	Monte Verde Paulista	-48,800	-20,850	1968-2001
2048034	Botafogo (Cpef)	-48,550	-21,000	1968-2001
2048065	Ibitiuva	-48,333	-20,983	1968-2001
2049003	Orindiuva	-49,367	-20,183	1968-2001
2049004	Fazenda Santa Maria	-49,767	-20,300	1968-2001
2049009	Ibiporanga	-49,567	-20,483	1968-2001
2049012	Altair	-49,050	-20,517	1968-2001
2049017	Balsamo	-49,583	-20,733	1968-2001
2049024	São José do Rio Preto	-49,383	-20,800	1968-2001
2049029	Tabapuã	-49,017	-20,983	1968-2001
2049032	Votuporanga	-49,983	-20,433	1968-2001
2050001	Santa Albertina	-50,733	-20,033	1968-2001
2050004	Macedônia	-50,200	-20,150	1968-2001
2050025	Jales	-50,550	-20,300	1968-2001
2143006	Barroso	-43,980	-21,187	1968-1999
2143008	Ibertioga	-43,959	-21,427	1968-1999
2144004	Baependi	-44,881	-21,952	1968-1999
2144019	Andrelândia	-44,313	-21,735	1968-1999
2144023	Ibituruna	-44,739	-21,144	1968-1999
2144025	Carvalhos	-44,464	-21,998	1968-1999
2145007	Usina Couro do Cervo	-45,170	-21,344	1968-2001
2145020	Chácara Santana	-45,260	-21,678	1968-1999
2145022	Paraguaçu	-45,674	-21,585	1968-2001
2145032	Coqueiral	-45,449	-21,193	1975-2001
2145042	Alfenas	-45.944	-21.453	1983-2001
2146002	Tapiratiba	-46,750	-21,467	1968-2001
2146010	São Sebastião da Grama	-46,817	-21,700	1968-2001

Continua...

Tabela 3A. Continuação

Código	Nome	Longitude	Latitude	Período-base
2146014	São João da Boa Vista	-46,800	-21,950	1968-2001
2146029	Cachoeira Poço Fundo	-46,124	-21,791	1968-2001
2146030	Muzambinho	-46,519	-21,381	1974-2001
2147006	Ribeirão Preto	-47,867	-21,217	1968-2001
2147007	Serrana	-47,600	-21,217	1968-2001
2147019	Bento Quirino	-47,583	-21,433	1968-2001
2741031	Santa Eudoxia	-47.783	-21.783	1968-2001
2147043	Fazenda Santa Rita	-47,700	-21,967	1968-2001
2147074	Tambau	-47,283	-21,700	1970-2000
2147086	Sítio Esplanada	-47,083	-21,383	1968-2001
2148007	Usina São Francisco	-48,117	-21,183	1968-2001
2148034	Fazenda dos Alpes	-48,050	-21,667	1968-2001
2244071	Pouso Alto	-44,973	-22,199	1968-1999
2245070	Brasopólis	-45,622	-22,471	1968-1999
2245074	Careacu	-45,699	-22,054	1968-1999
2245084	Bairro do Analdino	-45,884	-22,565	1973-1999
2245085	Vargem do Cervo	-45,918	-22,116	1968-1999
2245103	Rio Preto	-45,733	-22,817	1968-1998
2246005	Itaqui	-46,950	-22,217	1971-2000
2246013	Itapira	-46,817	-22,450	1968-2001
2246017	Socorro	-46,533	-22,600	1968-2001
2247005	Cresciumal	-47,283	-22,167	1968-2001
2247017	Fazenda Belmonte	-47,450	-22,300	1968-2000

Tabela 4A. Estações pluviométricas no contorno da bacia do Rio Grande utilizadas no estudo

Código	Nome	Longitude	Latitude	Bacia
2044007	Entre Rios de Minas	-44,071	-20,661	4
2045021	Formiga	-45,419	-20,457	4
2046013	Vargem Bonita	-46,366	-20,330	4
2143003	Desterro do Melo	-43,520	-21,149	5
2143019	Usina Brumado	-43,886	-21,856	5
2143020	Chapéu de Uvas	-43,505	-21,594	5
2244039	Fazenda Agulhas Negras	-44,591	-22,339	5
2245014	Bairro dos Lemes	-45,250	-22,717	5
2245043	Piracuama	-45,583	-22.850	5
2345152	Água Soca	-45,900	-23,050	5
1947001	Santa Juliana	-47,526	-19,316	6
1949002	Fazenda Buriti do Prata	-49,180	-19,360	6
1950011	Ponte São Domingos	-50.662	-19.208	6
2047037	Desemboque	-47,019	-20,014	6
2049019	Monte Aprazível	-49,700	-20,767	6
2050012	Palmeira d'oeste	-50,767	-20,417	6
2050023	Santa Fé do Sul	-50,917	-20,217	6
2051039	Esmeralda	-51,050	-20,300	6
2246021	Fazenda da Barra	-46,967	-22,667	6
2247006	Visconde de Rio Claro	-47,800	-22,150	6

Tabela 5A. Método utilizado para o preenchimento de falhas da precipitação média anual

Estação com falhas	Método	R^2
2047016	Ponderação regional	-
2047018	y = 0,893x + 328,478	0,77
2047021	y = 0,754x + 547,249	0,71
2048016	y = 0,890x + 112,131	0,71
2048019	y = 0,716x + 336,246	0,72
2048023	y = 0,797x + 379,664	0,72
2048065	y = 0,928x + 228,002	0,72
2049004	Ponderação regional	-
2049017	Ponderação regional	-
2049024	y = 0,835x + 270,599 (2049004)	0,71
	y = 0,816x + 264,857 (2049032)	0,71
2049032	y = 0,864x + 168,482	0,71
2144004	y = 1,028x – 19,212	0,71
2144023	y = 1,027x + 96,827	0,71
2146002	Ponderação regional	-
2146010	Ponderação regional	-
2146014	y = 0,631x + 542,429	0,71
2146030	y = 0,800x + 212,816	0,71
2147006	y = 0,776x + 252,825	0,72
2147043	y = 0,918x + 226,204	0,72
2147074	y = 1,015x – 188,752	0,72
2147086	y = 1,082x – 113,628 (2146002)	0,76
	y = 1,081x – 212,927 (2146010)	0,85
2245084	Ponderação regional	-
2246005	y = 0,829x + 234,930	0,79
2246013	Ponderação regional	-
2247017	y = 0,870x + 281,138	0,72
2045021	y = 0,695x + 336,095	0,71
2046013	y = 1,070x – 243,810	0,71
2143019	y = 0,852x + 161,983	0,72
2245014	y = 1,234x – 319,370	0,76
2049019	y = 0,905x + 41,747	0,72
2050023	y = 0,710x + 341,251	0,72
2246021	y = 0,771x + 308,557	0,71
2247006	y = 1,020x – 107,788	0,74

Tabela 6A. Método utilizado para o preenchimento de falhas da precipitação máxima mensal

Estação com falhas	Método	R^2
2045026	y = 0,7884x + 24,097	0,76
2047016	y = 1,08x + 15,042	0,77
2047018	y = 1,066x + 5,6463	0,83
2047021	y = 0,9948x + 17,991	0,76
2048016	y = 0,7368x+ 26,652	0,71
2048019	Ponderação Regional	-
2048023	Ponderação Regional	-
2048065	y = 0,9557x + 11,387	0,76
2049004	Ponderação Regional	-
2049017	y = 0,8778x + 18,512	0,71
2049024	y = 0,9461x + 10,371	0,76
2049032	y = 0,7894x + 19,971	0,76
2050004	y = 0,8971x + 12,331	0,74
2143008	y = 0,9283x + 10,565	0,72
2144004	y = 0,8936x + 14,374	0,72
2144023	Ponderação Regional	-
2146002	Ponderação Regional	-
2146010	y = 0,9742x + 18,617	0,74
2146014	y = 0,1473x + 97,685	0,72
2146030	y = 0,8105x + 16,309	0,76
2147006	y = 0,8044x + 15,51	0,72
2147043	Ponderação Regional	-
2147074	y = 0,7752x + 17,043	0,70
2147086	Ponderação Regional	-
2244071	y = 0,1587x + 99,068	0,70
2246005	Ponderação Regional	-
2246013	Ponderação Regional	-
2247017	y = 0,9646x + 12,912	0,76
2045021	y = 0,8242x + 11,89	0,77
2046013	y = 0,8984x + 4,9658	0,72
2143019	y = 0,7681x + 24,731	0,74
2245014	y = 0,8611x + 21,759	0,70
2047037	y = 0,8651x + 27,184	0,70
2049019	Ponderação Regional	-
2050023	y = 0,8037x + 17,139	0,70
2246021	y = 0,8021x + 21,034	0,77
2247006	y = 0,7878x + 21,205	0,70

APÊNDICE B

Tabela 1B. Características físicas e climáticas das estações fluviométricas da bacia do Rio Grande utilizadas no estudo de regionalização de vazões

Estação	AD (Km^2)	P (mm)	P_{max} (mm)	IH (mm)	P_{eq} (m^3/s)
61009000	509,00	1633,09	362,05	883,09	26,36
61012000	2226,00	1563,94	361,89	813,94	110,39
61012001	2230,00	1563,94	361,89	813,94	110,59
61014000	218,00	1673,62	355,26	923,62	11,57
61024000	536,00	1640,93	357,10	890,93	27,89
61031000	105,00	1634,70	360,50	884,70	5,44
61045000	381,00	1591,35	360,75	841,35	19,23
61052000	274,00	1574,08	360,69	824,08	13,68
61060000	2083,00	1600,53	359,22	850,53	105,72
61060001	2050,00	1600,53	359,22	850,53	104,04
61075000	1010,00	1527,79	356,66	777,79	48,93
61078000	1829,00	1498,93	353,04	748,93	86,93
61085000	569,00	1492,53	359,93	742,53	26,93
61090000	1030,00	1485,28	358,17	735,28	48,51
61100000	186,00	1504,32	359,91	754,32	8,87
61105000	828,00	1481,26	356,46	731,26	38,89
61107000	2714,00	1476,11	355,92	726,11	127,03
61115000	638,00	1447,67	351,18	697,67	29,29
61122000	271,00	1458,70	350,34	708,70	12,54
61135000	6155,00	1458,09	352,01	708,09	284,58
61140000	331,00	1424,14	342,48	674,14	14,95
61145000	15395,00	1499,44	354,06	749,44	731,98
61173000	385,00	1435,03	343,20	685,03	17,52
61175000	1002,00	1422,83	340,41	672,83	45,21
61202000	1506,00	1409,89	340,96	659,89	67,33
61250000	108,00	1539,57	333,94	789,57	5,27
61267000	76,00	1554,45	337,55	804,45	3,75
61271000	869,00	1541,06	335,00	791,06	42,47
61280000	270,00	1565,99	341,55	815,99	13,41
61285000	556,00	1552,33	339,69	802,33	27,37
61295000	158,00	1482,31	326,32	732,31	7,43
61305000	2811,00	1512,84	331,59	762,84	134,85
61320000	469,00	1530,79	328,69	780,79	22,77
61343000	221,00	1510,55	331,01	760,55	10,59
61350000	1307,00	1512,27	329,97	762,27	62,68
61360000	117,00	1508,82	329,45	758,82	5,60
61370000	745,00	1503,93	330,87	753,93	35,53
61410000	7346,00	1498,79	330,97	748,79	349,13
61425000	9424,00	1484,48	331,60	734,48	443,61
61429000	116,00	1619,23	348,13	869,23	5,96
61460000	1837,00	1563,26	345,59	813,26	91,06
61473000	599,00	1585,34	354,73	835,34	30,11
61500000	707,00	1479,37	338,41	729,37	33,17
61510000	4172,00	1539,27	346,38	789,27	203,64
61520000	851,00	1471,69	349,80	721,69	39,71
61530000	358,00	1420,85	332,92	670,85	16,13
61537000	6271,00	1504,08	344,19	754,08	299,09
61565000	339,00	1479,09	341,10	729,09	15,90
61568000	732,00	1473,19	340,96	723,19	34,20
61610000	882,00	1504,98	357,52	754,98	42,09
61695000	1283,00	1529,83	366,39	779,83	62,24
61700000	473,00	1542,95	371,45	792,95	23,14
61770000	227,00	1536,13	367,49	786,13	11,06

Continua...

Tabela 1B. Continuação

Estação	AD (Km^2)	P (mm)	P_{max} (mm)	IH (mm)	P_{eq} (m^3/s)
61787500	6281,00	1564,09	366,48	814,09	311,52
61794000	1780,00	1548,66	363,69	798,66	87,41
61795000	1973,00	1523,09	357,75	773,09	95,29
61800500	356,00	1494,39	344,12	744,39	16,87
61802502	1683,00	1496,49	346,83	746,49	79,86
61807002	470,00	1505,11	352,09	755,11	22,43
61811000	350,00	1499,92	352,65	749,92	16,65
61815000	73,00	1520,01	360,51	770,01	3,52
61817004	4103,00	1503,36	351,50	753,36	195,59
61818000	225,00	1510,49	355,65	760,49	10,78
61820000	4479,00	1504,10	351,97	754,10	213,62
61826000	662,00	1523,07	362,72	773,07	31,97
61830000	8480,00	1510,93	357,59	760,93	406,29
61861000	462,00	1498,19	333,28	748,19	21,95
61865000	918,00	1495,58	335,26	745,58	43,54
61879000	1115,00	1498,10	332,42	748,10	52,97
61886000	4650,00	1486,09	336,73	736,09	219,13
61895000	619,00	1492,23	342,56	742,23	29,29
61902000	10123,00	1483,47	341,91	733,47	476,19
61912000	13845,00	1492,53	346,50	742,53	655,25
61925000	33740,00	1504,68	352,29	754,68	1609,84

AD = área de drenagem; P = precipitação média anual; P_{max} = precipitação máxima mensal; IH = Inércia hídrica; P_{eq} = vazão equivalente.

Tabela 2B. Características físicas e climáticas das seções dos reservatórios da bacia do Rio Grande utilizadas no estudo de regionalização de vazões naturais

Reservatório	AD (km^2)	P (mm)	P_{max} (mm)	IH (mm)	P_{eq} (m^3/s)
Água Vermelha	139437,00	1483,04	347,33	733,04	6557,29
A. S. Oliveira	4471,00	1504,10	352,00	754,10	213,24
Caconde	2588,00	1498,63	348,45	748,63	122,98
Camargos	6279,00	1549,80	358,06	799,80	308,57
Euclides da Cunha	4392,00	1503,85	351,81	753,85	209,44
Furnas	52138,00	1474,16	344,69	724,16	2437,21
Jaguará	61871,00	1487,24	348,88	737,24	2917,83
L. C. Barreto	61252,00	1486,65	348,77	736,65	2887,50
M. de Moraes	59730,00	1483,72	348,15	733,72	2810,20
Marimbondo	118515,00	1498,60	351,22	748,60	5631,88
Porto Colômbia	77427,00	1500,60	351,89	750,60	3684,26
Volta Grande	67691,00	1494,20	350,40	744,20	3207,25

APÊNDICE C

Tabela 1C. Regiões homogêneas e resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão média de longa duração

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61009000	21,07%	27,01%
1	61012000	1,22%	4,88%
1	61012001	0,46%	4,15%
1	61045000	-12,25%	-6,52%
1	61052000	-12,17%	-7,64%
1	61060000	11,07%	16,28%
1	61060001	6,84%	12,30%
1	61075000	-5,44%	-4,00%
1	61078000	-5,51%	-5,95%
1	61085000	4,45%	3,49%
1	61090000	0,75%	-0,65%
1	61100000	-21,40%	-21,87%
1	61105000	-4,59%	-6,38%
1	61107000	-11,10%	-13,20%
1	61115000	-1,74%	-5,88%
1	61122000	-1,71%	-5,19%
1	61135000	1,90%	-1,05%
1	61140000	-9,67%	-16,08%
1	61145000	-4,68%	-4,77%
1	61173000	-26,22%	-32,58%
1	61175000	-20,71%	-27,69%
1	61202000	-2,79%	-9,65%
1	61267000	-16,03%	-12,94%
1	61271000	7,64%	9,65%
1	61280000	15,79%	18,78%
1	61285000	8,44%	11,01%
1	61295000	-12,36%	-14,46%
1	61305000	-0,02%	0,52%
1	61320000	4,57%	5,95%
1	61343000	21,86%	21,89%
1	61350000	-3,77%	-3,35%
1	61360000	15,87%	15,74%
1	61370000	-16,19%	-16,44%
1	61410000	8,33%	8,11%

Continua...

Tabela 1C. Continuação

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61425000	-9,16%	-10,41%
1	61460000	2,51%	6,06%
1	61473000	22,96%	26,66%
1	61500000	10,73%	9,07%
1	61510000	5,91%	8,05%
1	61520000	-21,37%	-24,23%
1	61530000	-0,64%	-6,75%
1	61537000	-2,46%	-2,37%
1	61565000	18,57%	16,95%
1	61568000	-1,50%	-3,81%
1	61610000	1,02%	10,35%
2	61695000	-6,90%	-5,52%
2	61700000	-3,08%	-1,04%
2	61770000	-9,24%	-7,64%
2	61787500	17,66%	20,61%
2	61795000	-9,31%	-8,30%
2	61800500	10,89%	9,88%
2	61802502	11,15%	10,44%
2	61807002	22,48%	22,17%
2	61811000	-0,50%	-1,28%
2	61815000	-14,97%	-14,61%
2	61817004	6,91%	6,69%
2	61818000	-18,27%	-18,45%
2	61820000	5,71%	5,55%
2	61826000	-26,58%	-25,59%
2	61830000	-6,67%	-6,31%
2	61861000	13,15%	12,41%
2	61865000	7,78%	6,92%
2	61879000	12,78%	12,13%
2	61886000	0,83%	-0,49%
2	61895000	1,27%	0,08%
2	61902000	-14,70%	-16,31%
2	61912000	-6,01%	-6,83%
2	61925000	-11,46%	-11,32%

Tabela 2C. Regiões homogêneas e resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão mínima $Q_{7,10}$

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61009000	33,29%	37,97%
1	61012000	-1,24%	2,56%
1	61012001	11,58%	14,90%
1	61045000	-8,69%	-3,93%
1	61052000	3,40%	6,40%
1	61060000	19,95%	24,71%
1	61060001	21,13%	25,81%
1	61075000	-9,72%	-8,67%
1	61078000	-9,75%	-10,41%
1	61085000	-22,94%	-25,13%
1	61090000	-1,69%	-3,63%
1	61100000	-29,34%	-31,52%
1	61105000	8,60%	6,47%
1	61107000	-18,34%	-20,62%
1	61135000	-6,54%	-9,38%
1	61145000	2,05%	2,81%
1	61173000	-4,56%	-11,02%
1	61175000	-17,96%	-25,57%
1	61267000	-20,34%	-19,05%
1	61271000	28,37%	29,60%
1	61280000	22,81%	24,82%
1	61285000	-11,20%	-8,78%
1	61305000	-7,85%	-7,20%
1	61410000	-10,59%	-10,29%
1	61425000	-45,03%	-45,83%
1	61460000	0,12%	3,71%
1	61473000	20,86%	24,25%
1	61500000	11,78%	9,52%
1	61510000	3,38%	5,87%
1	61520000	-10,71%	-14,01%
1	61530000	-38,09%	-48,17%
1	61537000	-15,27%	-14,67%
1	61568000	-25,96%	-29,71%
1	61610000	19,41%	18,88%
1	61811000	13,75%	12,38%
1	61817004	29,25%	29,40%
2	61115000	9,02%	7,43%
2	61122000	25,67%	25,06%

Continua...

Tabela 2C. Continuação

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
2	61140000	-41,88%	-46,81%
2	61202000	-19,60%	-25,33%
2	61565000	24,74%	25,22%
2	61695000	9,12%	12,77%
2	61700000	23,68%	27,50%
2	61770000	-2,17%	2,57%
2	61787500	-33,43%	-25,31%
2	61795000	-36,42%	-31,63%
2	61800500	8,96%	10,53%
2	61802502	11,07%	12,57%
2	61807002	-59,74%	-55,84%
2	61815000	6,11%	9,57%
2	61818000	-11,16%	-7,94%
2	61820000	40,13%	41,39%
2	61826000	-5,48%	-1,64%
2	61830000	24,80%	26,68%
2	61886000	1,60%	2,42%
2	61895000	-11,41%	-9,74%
2	61902000	-43,51%	-42,72%
2	61912000	1,59%	2,73%
2	61925000	8,25%	10,01%
3	61861000	38,63%	-13,02%
3	61865000	3,32%	-0,48%
3	61879000	0,07%	47,47%
3	61295000	0,08%	-88,24%
3	61320000	9,87%	-154,25%
3	61343000	53,67%	-23,86%
3	61350000	-65,71%	29,51%
3	61360000	-124,14%	-11,45%
3	61370000	-8,32%	-14,97%

Tabela 3C. Regiões homogêneas e resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão mínima Q_{95}

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61009000	23,00%	30,94%
1	61012000	0,23%	2,74%
1	61012001	7,28%	9,61%
1	61045000	-16,11%	-5,90%
1	61052000	-11,34%	-1,67%
1	61060000	17,67%	21,65%
1	61060001	16,81%	20,87%
1	61075000	-18,15%	-15,19%
1	61078000	-14,66%	-15,77%
1	61085000	-13,26%	-11,11%
1	61090000	0,12%	-0,10%
1	61100000	-41,44%	-33,44%
1	61105000	-7,61%	-7,47%
1	61107000	-12,66%	-16,73%
1	61135000	-1,03%	-8,40%
1	61145000	8,37%	1,78%
1	61173000	-18,81%	-19,71%
1	61175000	-26,16%	-31,68%
1	61267000	-12,14%	0,03%
1	61271000	20,56%	23,52%
1	61280000	15,70%	22,67%
1	61285000	11,99%	16,91%
1	61305000	3,26%	2,00%
1	61410000	-5,22%	-10,51%
1	61425000	-15,64%	-23,44%
1	61460000	-2,48%	0,61%
1	61473000	22,54%	28,18%
1	61500000	5,89%	6,32%
1	61510000	4,47%	3,75%
1	61520000	-17,09%	-17,77%
1	61530000	-31,98%	-33,98%
1	61537000	-3,29%	-7,63%
1	61568000	-27,55%	-27,62%
1	61610000	8,10%	9,44%
1	61811000	3,18%	6,75%
1	61817004	28,16%	26,00%
2	61115000	-13,70%	-23,44%
2	61122000	18,11%	11,15%

Continua...

Tabela 3C. Continuação

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
2	61140000	-15,01%	-27,77%
2	61202000	7,10%	-2,97%
2	61565000	-3,28%	-10,21%
2	61695000	0,05%	-1,74%
2	61700000	13,64%	12,13%
2	61770000	2,46%	-0,34%
2	61787500	7,62%	9,38%
2	61795000	-35,10%	-37,66%
2	61800500	25,65%	21,55%
2	61802502	19,51%	16,33%
2	61807002	-12,20%	-17,20%
2	61815000	11,56%	7,10%
2	61818000	9,72%	5,45%
2	61820000	28,83%	27,03%
2	61826000	-3,54%	-6,50%
2	61830000	20,14%	18,96%
2	61886000	0,14%	-3,67%
2	61895000	2,62%	-2,41%
2	61902000	-29,89%	-34,19%
2	61912000	0,00%	-2,37%
2	61925000	-0,43%	-1,16%
3	61295000	9,58%	-22,08%
3	61320000	3,93%	-3,87%
3	61343000	47,08%	34,02%
3	61350000	-33,70%	-23,59%
3	61360000	10,19%	-24,76%
3	61370000	-11,40%	-13,93%
3	61861000	28,32%	20,20%
3	61865000	7,03%	7,55%
3	61879000	-1,95%	2,08%

Tabela 4C. Regiões homogêneas e resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão mínima Q_{90}

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61009000	21,99%	30,28%
1	61012000	0,01%	2,78%
1	61012001	5,66%	8,27%
1	61045000	-13,17%	-2,83%
1	61052000	-14,39%	-4,04%
1	61060000	14,54%	18,89%
1	61060001	14,34%	18,74%
1	61075000	-17,68%	-14,37%
1	61078000	-18,61%	-19,44%
1	61085000	-11,75%	-9,24%
1	61090000	-4,15%	-4,06%
1	61100000	-42,30%	-33,67%
1	61105000	-5,18%	-4,70%
1	61107000	-14,07%	-17,90%
1	61135000	1,05%	-5,96%
1	61145000	10,24%	3,91%
1	61173000	-14,46%	-14,88%
1	61175000	-25,96%	-31,03%
1	61267000	-17,40%	-4,13%
1	61271000	17,92%	21,23%
1	61280000	18,76%	25,77%
1	61285000	9,68%	15,03%
1	61305000	0,17%	-0,88%
1	61410000	3,79%	-0,86%
1	61425000	-13,74%	-21,21%
1	61460000	-3,08%	0,29%
1	61473000	21,99%	27,92%
1	61500000	4,74%	5,50%
1	61510000	3,37%	2,86%
1	61520000	-20,97%	-21,26%
1	61530000	-16,40%	-17,70%
1	61537000	-2,35%	-6,45%
1	61568000	-21,44%	-21,08%
1	61610000	7,13%	8,79%
1	61811000	4,63%	8,50%
1	61817004	24,66%	22,57%
2	61115000	3,87%	-3,67%
2	61122000	12,39%	5,61%
2	61140000	-5,37%	-16,22%

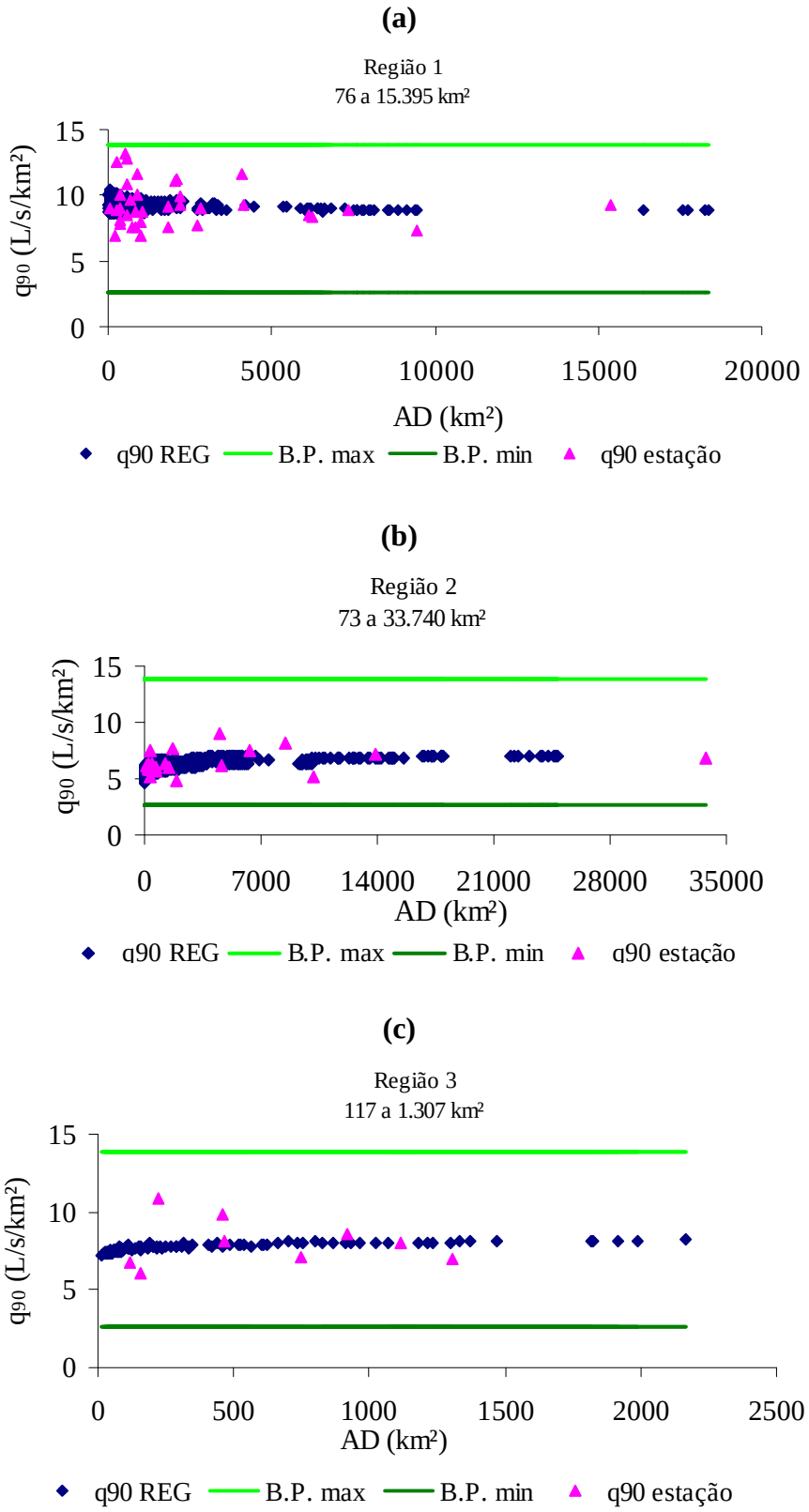
Continua...

Tabela 4C. Continuação

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
2	61202000	3,05%	-6,74%
2	61565000	2,30%	-3,56%
2	61695000	1,73%	0,52%
2	61700000	4,73%	3,64%
2	61770000	0,23%	-1,99%
2	61787500	7,70%	9,87%
2	61795000	-30,55%	-32,31%
2	61800500	22,53%	18,79%
2	61802502	19,64%	16,94%
2	61807002	-2,19%	-6,08%
2	61815000	11,87%	8,07%
2	61818000	3,48%	-0,43%
2	61820000	27,67%	26,22%
2	61826000	-8,27%	-10,70%
2	61830000	17,99%	17,17%
2	61886000	-4,65%	-8,07%
2	61895000	-1,95%	-6,55%
2	61902000	-28,10%	-31,70%
2	61912000	6,13%	4,35%
2	61925000	-3,14%	-3,46%
3	61295000	3,82%	-27,67%
3	61320000	9,14%	2,03%
3	61343000	41,63%	28,09%
3	61350000	-26,46%	-17,86%
3	61360000	16,28%	-14,06%
3	61370000	-11,46%	-14,17%
3	61861000	27,15%	19,24%
3	61865000	5,95%	6,15%
3	61879000	-4,56%	-1,02%

Tabela 5C. Classes de freqüência absoluta dos resíduos relativos calculados para as estações fluviométricas da Q_{90}

Classes	Freqüência Absoluta					
	R1		R2		R3	
	+	-	+	-	+	-
0-5%	3	7	2	6	2	0
5-15%	6	7	3	6	1	2
15-30%	5	7	4	0	2	2
30-50%	0	1	0	2	0	0
>50%	0	0	0	0	0	0
Total	14	22	9	14	5	4



B.P.max = limite superior estabelecido pelo *Box Plot*
B.P.min = limite inferior estabelecido pelo *Box Plot*

Figura 1C. Vazões específicas q_{90} estimadas com a equação da vazão equivalente para toda a hidrografia, comparado aos valores calculados para as estações e aos limites estabelecidos pelo *Box Plot* para a região 1 (a), região 2 (b) e região 3 (c).

Tabela 6C. Regiões homogêneas e resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes no estudo de regionalização da vazão máxima

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
1	61009000	-7,06%	0,56%
1	61012000	-1,96%	-7,46%
1	61012001	10,44%	5,77%
1	61045000	-168,55%	-133,67%
1	61052000	-33,56%	-26,00%
1	61060000	9,38%	12,85%
1	61060001	-18,86%	-12,53%
1	61075000	43,59%	46,59%
1	61078000	5,02%	10,45%
1	61085000	18,64%	12,33%
1	61090000	-10,60%	-12,44%
1	61100000	-218,62%	-180,22%
1	61105000	-20,24%	-18,57%
1	61107000	28,11%	26,96%
1	61115000	18,55%	13,51%
1	61122000	79,69%	80,58%
1	61135000	24,58%	20,69%
1	61140000	24,60%	24,29%
1	61145000	-12,61%	-13,77%
1	61173000	-123,73%	-115,28%
1	61175000	28,03%	27,55%
1	61202000	16,69%	16,04%
1	61305000	-39,58%	-39,00%
1	61343000	-84,86%	-44,95%
1	61350000	75,49%	74,09%
1	61360000	31,46%	45,22%
1	61370000	-94,88%	-95,74%
1	61410000	-10,43%	-13,63%
1	61425000	-55,76%	-61,03%
1	61510000	-5,95%	-3,90%
1	61520000	-70,19%	-82,79%
1	61530000	-24,58%	-11,25%
1	61537000	7,08%	6,62%
2	61014000	33,66%	29,29%
2	61024000	22,79%	20,40%
2	61031000	-22,15%	-10,78%
2	61250000	-10,01%	-4,64%
2	61267000	-63,97%	-29,14%

Continua...

Tabela 6C. Continuação

Região	Estação	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
2	61271000	21,25%	15,97%
2	61280000	49,20%	-25,14%
2	61285000	-86,60%	-99,57%
2	61295000	-100,00%	-70,58%
2	61320000	31,10%	26,01%
2	61429000	39,74%	46,34%
2	61460000	-47,89%	-36,91%
2	61473000	25,23%	24,40%
2	61500000	31,92%	19,01%
3	61770000	-25,29%	-38,84%
3	61787500	1,28%	4,13%
3	61800500	-59,16%	-58,62%
3	61817004	0,57%	1,43%
3	61818000	29,05%	34,76%
3	61820000	0,64%	9,73%
3	61826000	-27,84%	-29,44%
3	61830000	2,01%	4,09%
3	61861000	-7,68%	-5,93%
3	61865000	-96,48%	-96,38%
3	61879000	30,31%	32,37%
3	61886000	28,14%	27,75%
3	61895000	53,17%	55,31%
3	61902000	0,31%	-0,06%
3	61912000	-33,85%	-33,88%
3	61925000	-9,59%	-7,67%
4	61565000	15,00%	20,04%
4	61568000	-2,12%	-1,37%
4	61610000	-66,23%	-60,76%
4	61695000	14,75%	18,42%
4	61700000	28,58%	31,31%
4	61794000	46,07%	-17,72%
4	61795000	18,60%	20,90%
4	61802502	-38,79%	-37,27%
4	61807002	27,60%	26,96%
4	61811000	-23,80%	-18,08%
4	61815000	-49,92%	-24,39%

APÊNDICE D

Tabela 1D. Resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão natural média de longa duração

Rio	Reservatório	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
Grande	Água Vermelha	-2,89%	-2,92%
	Furnas	1,21%	0,16%
	Jaguará	2,25%	2,12%
	L. C. Barreto	-2,12%	-2,30%
	M. de Moraes	-2,73%	-3,12%
	Marimbondo	0,64%	1,52%
	Porto Colômbia	1,33%	2,13%
	Volta Grande	2,49%	2,83%
Pardo	A. S. Oliveira	-3,58%	-3,86%
	Caconde	1,54%	0,68%
	Euclides da Cunha	-3,39%	-3,70%

Tabela 2D. Resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão natural mínima $Q_{7,10}$

Rio	Reservatório	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
Grande	Água Vermelha	8,77%	8,25%
	Furnas	-2,80%	-4,52%
	Jaguará	-2,96%	-3,69%
	L C Barreto	-3,82%	-4,60%
	M de Moraes	-2,37%	-3,35%
	Marimbondo	8,16%	8,51%
	Porto Colômbia	-11,86%	-11,54%
	Volta Grande	-4,33%	-4,54%
Pardo	A S Oliveira	-6,68%	-7,68%
	Caconde	-6,01%	-7,69%
	Euclides da Cunha	-6,71%	-7,74%

Tabela 3D. Resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão natural mínima Q_{95}

Rio	Reservatório	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
Grande	Água Vermelha	6,43%	6,05%
	Furnas	-2,61%	-4,13%
	Jaguará	-1,12%	-1,66%
	L C Barreto	-4,77%	-5,37%
	M de Moraes	-3,60%	-4,41%
	Marimbondo	7,38%	7,86%
	Porto Colômbia	-7,80%	-7,33%
	Volta Grande	-1,57%	-1,61%
Pardo	A S Oliveira	-4,77%	-5,54%
	Caconde	-1,87%	-3,25%
	Euclides da Cunha	-4,63%	-5,42%

Tabela 4D. Resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão natural mínima Q_{90}

Rio	Reservatório	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
Grande	Água Vermelha	5,98%	6,06%
	Furnas	-1,79%	-2,77%
	Jaguará	-1,52%	-1,56%
	L C Barreto	-4,49%	-4,56%
	M de Moraes	-4,53%	-4,82%
	Marimbondo	7,17%	8,11%
	Porto Colômbia	-5,38%	-4,40%
	Volta Grande	-1,90%	-1,43%
Pardo	A S Oliveira	-4,12%	-4,34%
	Caconde	-0,69%	-1,52%
	Euclides da Cunha	-3,97%	-4,21%

Tabela 5D. Estatística das vazões específicas mínimas naturais ($q_{7,10}$, q_{95} e q_{90}) estimadas para cada trecho da hidrografia do Rio Grande e do Rio Pardo com o ajuste da área de drenagem e da vazão equivalente

Estatística	Vazão específica mínima (L/s/km^2)					
	$q_{7,10}$		q_{95}		q_{90}	
	P_{eq}	AD	P_{eq}	AD	P_{eq}	AD
Média	4,34	4,29	5,98	5,93	7,03	7,03
Máximo	4,64	4,31	7,40	6,76	8,88	8,19
Mínimo	4,15	4,19	5,74	5,75	6,71	6,78
Trechos totais	312	312	312	312	312	312
Trechos *outliers*	0	0	3	0	3	0

Tabela 6D. Resíduos relativos calculados para a vazão equivalente e para a área de drenagem referentes ao estudo de regionalização da vazão natural máxima

Rio	Reservatório	Resíduos (P_{eq})	Resíduos (AD)
Grande	Água Vermelha	-16,41%	-16,53%
	Furnas	5,47%	4,58%
	Jaguará	8,28%	8,12%
	L C Barreto	4,25%	4,05%
	M de Moraes	3,78%	3,41%
	Marimbondo	-11,14%	-10,40%
	Porto Colômbia	4,14%	4,73%
	Volta Grande	7,06%	7,27%
Pardo	A S Oliveira	-2,63%	-2,89%
	Caconde	1,65%	0,91%
	Euclides da Cunha	-0,64%	-0,92%