

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MAYRA MOREIRA DE ALMEIDA**

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS DE LONGO PERÍODO  
E DE VOLUMES DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO**

**VITÓRIA  
2010**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MAYRA MOREIRA DE ALMEIDA**

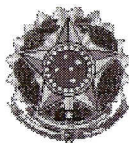
**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS DE LONGO PERÍODO  
E DE VOLUMES DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ph.D. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça

**VITÓRIA**

**2010**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

## “Regionalização de Vazões Médias de Longo Período e de Volumes de Reservatórios de Regularização”.

**MAYRA MOREIRA DE ALMEIDA**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça  
Orientador – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis  
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. Demétrius David da Silva  
Examinador Externo – UFV

Coordenadora do PPGEA: Profa. Dra. Regina de Pinho Keller

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
Vitória, ES, 24 de agosto de 2010.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

A447 Almeida, Mayra Moreira de, 1984-  
Regionalização de vazões médias de longo período e de  
volumes de reservatórios de regularização / Mayra Moreira de  
Almeida. – 2010.  
209 f. : il.

Orientador: Antônio Sérgio Ferreira Mendonça.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito  
Santo, Centro Tecnológico.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Hidrologia. 3.  
Reservatórios. 4. Regionalização hidrológica. 5. Vazão fluvial. I.  
Mendonça, Antônio Sérgio Ferreira. II. Universidade Federal do  
Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

A todas as pessoas que se esforçam para  
alcançarem seus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me conservou a vida, elevo meu maior agradecimento.

A minha família, meus pais Nilson e Eliane e irmãos, que sempre cuidam de mim e me sustentam com força para não desistir de meus objetivos.

Ao amor de minha vida, Vitor Amaral Lopes, que me traz alegria, esperança e vontade de ser cada dia melhor; por todos os dias de paciência, por me levar e buscar quando necessário; por deixar de fazer o que precisava para me ajudar.

Ao meu orientador, Antônio Sérgio Ferreira Mendonça, grande incentivador de minha vida acadêmica e profissional.

Aos colegas de mestrado, que dividiram momentos de dificuldade, lutas e vitórias. Especial agradecimento à Gláucia Machado Ferreira, amiga, companheira de todos os momentos e um anjo que Deus colocou no meu caminho para me dar força e ânimo para chegar até o final; e ao geógrafo Pítolas Armini Bernardo da Silva, que muito colaborou com a elaboração dos mapas apresentados.

Aos meus colegas da Prefeitura Universitária, agradeço especialmente ao Sálvio, que disponibilizou parte do meu horário para a conclusão desta pesquisa, ao Cláudio, pela colaboração na planilha avançada do Excel para cálculo dos volumes de regularização, e à Cynthia, uma amiga sempre presente.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e acompanharam nas etapas de minha vida.

Ao IEMA, pela disponibilização do Modelo Digital de Elevação utilizado neste trabalho.

Ao GEOBASES, pelo fornecimento das cartas digitalizadas do IBGE.

À FACITEC, pela concessão de bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma ajudaram na concretização desta dissertação, o meu carinho e apreço.

“A água é muito mais do que uma simples necessidade humana básica. É um elemento essencial e insubstituível para assegurar a continuação da vida”.

Papa Bento XVI



## RESUMO

No presente trabalho foi utilizada regionalização para estimativa de vazões médias de longo período e de volumes de reservatórios de regularização em bacias hidrográficas. Para a regionalização de vazões médias de longo período foram analisadas três metodologias: Eletrobrás (1985a), interpolação linear e Chaves et al. (2002). A obtenção das características físicas e climáticas utilizadas na regionalização foi feita através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As características físicas, extraídas a partir de Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), foram: área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade média da bacia, declividade entre a nascente e a foz do rio principal e densidade de drenagem. A precipitação média anual foi escolhida para representar as características climáticas da região de estudo. Na regionalização, pelo método de Eletrobrás (1985a), foi realizada seleção inicial de grupos de estações que apresentaram boas perspectivas de formarem sub-regiões homogêneas, pela análise de classes de resíduos da equação de regressão inicial e de curvas de frequência individuais de vazões adimensionalizadas. Os modelos de regressão analisados mais detalhadamente foram escolhidos a partir de diferentes parâmetros estatísticos. Pela metodologia Eletrobrás (1985a) foram obtidas as melhores estimativas. A variável explicativa mais expressiva nas equações de regressão foi a área de drenagem. Equações apresentando combinações da área com precipitação, declividade média da bacia e declividade entre a nascente e a foz também corresponderam aos melhores ajustes observados. Para a aplicação dos métodos de interpolação linear e Chaves et al. (2002), foram utilizados registros de estações próximas, localizadas em uma mesma bacia. Interpolação e Chaves et al. (2002) apresentaram erros mais significativos nas situações em que as diferenças entre áreas de drenagem, das seções transversais das estações fluviométricas e das seções para as quais estavam sendo feitas estimativas, eram relativamente grandes. Quanto à regionalização de curvas de regularização, foram definidas curvas adimensionais regionais médias, considerando vazões de regularização correspondentes a diferentes percentagens da vazão média. As curvas foram selecionadas por meio da análise de coeficiente de determinação e de erros percentuais. Grande parte dos modelos de curva de regularização obtidos apresentaram erros significativos para as menores regularizações da vazão média.

## ABSTRACT

In this work, hydrological regionalization was utilized for estimating long-period average flow and reservoirs volumes in watersheds. For the regionalization of long-period average flows, were analyzed three methods: Eletrobrás (1985a), linear interpolation, and Chaves et al. (2002). The acquisition of physical and climatic information, for regionalization, was performed by using Geographic Information Systems (GIS). The physical characteristics, extracted from a Hydrological Consistent Digital Elevation Model, were: drainage area, length of main river, basin average slope, slope between the source and the mouth of the longest river and drainage density. The average annual precipitation was chosen to represent the climatic characteristics of the study area. In regionalization, using the Eletrobrás (1985a) method, was performed an analysis of homogeneous regions that were defined based on classes of residues of the initial regression equation, and on the frequency curves of individual non-dimension flows. The regression models were chosen based on the analysis of different statistical parameters. By the Eletrobrás (1985a) method, were obtained the best estimates. The most significant variable in the regression equations was the drainage area, and also combinations with precipitation, average slope and slope between the source and the mouth of the longest river. For the application of linear interpolation methods and Chaves et al. (2002), there were used records from nearby stations that were located in a same basin. The interpolation and Chaves et al. (2002) methods presented higher errors when the differences of the drainage area, for the flow gauging stations drainage areas and those for the river sections for which the discharges needed to be estimated, were more significant. Regionalization of regularization curves encompassed, initially, individual curves identification removal based on the average long period flow rates. By analyzing these curves, were defined non-dimensional regional average curves, considering different regularization discharge rates. The curves were selected by analysis of correlation coefficients and error percentages. Most of the curves obtained presented significant errors for minor regularizations of the average flow.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
1.1	Introdução.....	24
1.2	Objetivos.....	26
1.2.1	Objetivo Geral.....	26
1.2.2	Objetivos Específicos.....	26
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>28</b>
2.1	Introdução à regionalização hidrológica.....	28
2.2	Variáveis e funções de interesse para a regionalização hidrológica.....	29
2.2.1	Vazão média de longo período.....	29
2.2.2	Curvas de regularização.....	29
2.3	Características relevantes para regionalização hidrológica.....	31
2.3.1	Características Físicas.....	31
2.3.2	Características Climáticas.....	34
2.4	Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na regionalização hidrológica.....	36
2.4.1	Cuidados a serem considerados na aplicação de SIG.....	39
2.5	Regionalização de vazões.....	41
2.5.1	Método proposto pela Eletrobrás (1985a).....	42
2.5.2	Método de interpolação linear (ou vazão específica).....	44
2.5.3	Método proposto por Chaves et al. (2002).....	44
2.5.4	Comparação entre metodologias.....	45
2.6	Regionalização de curvas de regularização.....	47
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>49</b>
3.1	Região de realização do estudo.....	49
3.2	Coleta, análise, seleção e tratamento dos dados.....	54
3.2.1	Dados Fluviométricos.....	54
3.2.2	Dados Pluviométricos.....	59
3.3	Obtenção da vazão média de longo período.....	65

<b>3.4</b>	<b>Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para geração dos Modelos Digitais de Elevação .....</b>	<b>65</b>
3.4.1	<i>Modelo Digital de Elevação.....</i>	65
3.4.2	<i>Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).....</i>	66
3.4.3	<i>Obtenção do MDE e MDEHC para as cartas digitalizadas do GEOBASES.....</i>	68
<b>3.5</b>	<b>Obtenção das características físicas das bacias hidrográficas.....</b>	<b>69</b>
<b>3.6</b>	<b>Obtenção das características climáticas das bacias hidrográficas.....</b>	<b>71</b>
<b>3.7</b>	<b>Regionalização das vazões médias de longo período.....</b>	<b>72</b>
3.7.1	<i>Método da Eletrobrás (1985a).....</i>	73
3.7.2	<i>Método da interpolação linear (ou vazão específica).....</i>	77
3.7.3	<i>Método proposto por Chaves et al. (2002).....</i>	78
3.7.4	<i>Comparação entre os métodos e modelos de regionalização de vazão média .....</i>	79
<b>3.8</b>	<b>Regionalização da curva de regularização .....</b>	<b>81</b>
3.8.1	<i>Comparação de modelos de curvas de regularização.....</i>	84
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>86</b>
<b>4.1</b>	<b>Comparação entre os valores antes e após o preenchimento de falhas.....</b>	<b>86</b>
<b>4.2</b>	<b>Obtenção das vazões médias de longo período .....</b>	<b>88</b>
<b>4.3</b>	<b>Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para obtenção de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC) .....</b>	<b>89</b>
4.3.1	<i>Modelo Digital de Elevação.....</i>	89
4.3.2	<i>Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).....</i>	91
4.3.3	<i>Obtenção do MDE e MDEHC para as cartas digitalizadas do GEOBASES.....</i>	93
<b>4.4</b>	<b>Obtenção das características físicas das bacias hidrográficas.....</b>	<b>96</b>
<b>4.5</b>	<b>Obtenção das características climáticas das bacias hidrográficas.....</b>	<b>99</b>
<b>4.6</b>	<b>Regionalização de vazões médias pelo método da Eletrobrás (1985a).....</b>	<b>100</b>
4.6.1	<i>Região homogênea única (R), compreendendo todas as estações.....</i>	100
4.6.2	<i>Regionalização considerando a existência de sub-regiões homogêneas .....</i>	106
4.6.3	<i>Análise geral da regionalização pelo método de Eletrobrás (1985a) .....</i>	134
<b>4.7</b>	<b>Regionalização de vazões médias pelo método da interpolação linear .....</b>	<b>137</b>
<b>4.8</b>	<b>Regionalização de vazões médias pelo método de Chaves et al. (2002).....</b>	<b>138</b>

<b>4.9</b>	<b>Comparação entre os métodos e modelos de regionalização de vazão média de longo período .....</b>	<b>139</b>
<b>4.10</b>	<b>Regionalização de curvas de regularização .....</b>	<b>143</b>
4.10.1	<i>Análise geral da regionalização de curvas de regularização .....</i>	172
4.10.2	<i>Comparação de modelos .....</i>	172
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>178</b>
5.1	<b>Conclusões .....</b>	<b>178</b>
5.2	<b>Recomendações .....</b>	<b>179</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>181</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>.....</b>	<b>191</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>.....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>.....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>.....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>.....</b>	<b>206</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação da região de estudo .....	50
Figura 2 - Localização das estações fluviométricas selecionadas para o estudo.....	58
Figura 3 - Localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo.....	62
Figura 4 - Modelo Digital de Elevação fornecido pelo IEMA .....	67
Figura 5 - Comparação do MDE/IEMA com as cartas topográficas digitalizadas do GEOBASES .....	90
Figura 6 – Delimitação da bacia da estação Mimoso do Sul, gerada a partir do MDE/IEMA.....	92
Figura 7 - Comparação do MDE/GEOBASES com as cartas topográficas digitalizadas do GEOBASES.....	94
Figura 8 - Delimitação da bacia da estação Itaici, gerada a partir do MDE/GEOBASES .....	95
Figura 9 - Comprimento do rio principal da bacia de Valsugana Velha.....	98
Figura 10 - Mapa das isoietas, referente à precipitação total anual, para a região de estudo .....	99
Figura 11 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M1 e M3 .....	103
Figura 12 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M1 e M1.1 .....	104
Figura 13 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M3 e M3.1 .....	105
Figura 14 – Gráfico de barras representativo dos erros percentuais médios obtidos com os modelos antes (M1 e M3) e após (M1.3 e M3.1) a retirada de estações....	105
Figura 15 – Gráfico da distribuição de frequência adimensionalizada para a região homogênea única.....	108
Figura 16 - Gráfico da distribuição de frequência adimensionalizada para as sub-regiões SR1 e SR2 (Vazão adimensionalizada x Frequência).....	110
Figura 17 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para os modelos M7 e M8 da sub-região SR1 .....	112
Figura 18 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para os modelos M1, M3, M7 e M8 da sub-região SR1.....	112

Figura 19 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para os modelos de regressão M1, M3, M7 e M8 .....	113
Figura 20 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão SR1, incluindo a bacia referente à estação Valsugana Velha .....	114
Figura 21 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais em módulo de modelos da sub-região SR2.....	116
Figura 22 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para modelos de regressão da sub-região SR2 .....	117
Figura 23 - Gráfico de barras representativo de desvios percentuais em módulo de modelos da região única (R) e da sub-região SR2, considerando as diferentes estações.....	117
Figura 24 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para modelos de regressão da região R e sub-região SR2.....	119
Figura 25 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M9 e M9.1 da sub-região SR2 .....	121
Figura 26 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M10 e M10.1 da sub-região SR2 .....	121
Figura 27 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M11 e M11.1 da sub-região SR2 .....	122
Figura 28 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M12 e M12.1 da sub-região SR2 .....	123
Figura 29 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M13 e M13.1 da sub-região SR2 .....	123
Figura 30 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M14 e M14.1 da sub-região SR2 .....	124
Figura 31 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da região R e sub-região SR2.....	125
Figura 32 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão SR2, excluindo-se a bacia referente à estação Valsugana Velha.....	126
Figura 33 - Gráfico de barras representativo de desvios percentuais (%dr) em módulo de modelos M15, M16 e M17 da sub-região SR-Itapemirim.....	128
Figura 34 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão que consideraram as estações da bacia do rio Itapemirim.....	129

Figura 35 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da sub-região SR-Itapemirim, antes e após a retirada de estações.....	130
Figura 36 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da região única (R), de SR2 e SR-Itapemirim .....	130
Figura 37 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão restrita às bacias das estações estudadas do rio Itapemirim.....	132
Figura 38 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para modelos de regressão M1, M3, M7, M8, M11, M12 e M14 que consideraram a estação Valsugana Velha .....	133
Figura 39 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para modelos de regressão M1.1, M3.1, M7, M8, M11.2, M12.1 e M14.1 que consideraram a estação Valsugana Velha .....	133
Figura 40 – Gráfico de barras representativo das vazões observadas ( $Q_o$ ) e estimadas ( $Q_{est}$ ) para os diferentes métodos analisados .....	140
Figura 41 – Gráfico de barras representativo dos erros percentuais (%dr) para os diferentes métodos e modelos analisados .....	141
Figura 42 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios para os métodos e modelos analisados .....	142
Figura 43 – Gráfico indicando o ajustamento para cada estação da curva de regularização obtida considerando as vazões de regularização de 30 a 100% da vazão média.....	149
Figura 44 - Gráfico de barras representativo dos menores desvios percentuais das regiões SR1, SR1.1 e R, correspondentes às regularizações de 30 a 100% .....	154
Figura 45 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	154
Figura 46 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 30% da vazão média .....	155
Figura 47 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	155



Figura 48 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 40% da vazão média .....	156
Figura 49 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	157
Figura 50 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 50% da vazão média .....	158
Figura 51 - Gráfico de barras representativo dos menores desvios percentuais (%dr) obtidos para as regiões SR2, SR2.1, SR2.2 e R, correspondentes às regularizações de 30 a 100% da vazão média.....	161
Figura 52 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	161
Figura 53 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 30% da vazão média .....	162
Figura 54 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alho, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	162
Figura 55 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas.....	163
Figura 56 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dores do Rio Preto e São José do Calçado, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	163
Figura 57 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações estudadas da bacia do Itapemirim, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	164
Figura 58 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) das estações estudadas da bacia do Itapemirim, para cada intervalo, correspondentes à regularização de 40% da vazão média.....	165

Figura 59 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alho, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	165
Figura 60 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	166
Figura 61 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, e Mimoso do Sul, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas ...	167
Figura 62 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações estudadas da bacia do Itapemirim, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	168
Figura 63 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) das estações estudadas da bacia do Itapemirim, para cada intervalo, correspondentes à regularização de 50% da vazão média.....	169
Figura 64 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alho, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	170
Figura 65 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas .....	171
Figura 66 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, e Mimoso do Sul, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas ...	171
Figura 67 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 30% .....	173
Figura 68 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 40% .....	174
Figura 69 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 50% .....	176

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de bacias hidrográficas da região de estudo .....	51
Tabela 2 - Diagrama de barras das estações fluviométricas.....	56
Tabela 3 - Listagem das estações fluviométricas selecionadas para o estudo .....	57
Tabela 4 – Listagem das estações pluviométricas selecionadas para o estudo .....	60
Tabela 5 - Diagrama de barras referente às estações de chuva.....	63
Tabela 6 – Resumo da metodologia para extração das características físicas.....	71
Tabela 7 - Valores referenciais para escolha de modelos de regressão.....	74
Tabela 8 – Classes de resíduos, de acordo com a variação dos valores de dpi.....	75
Tabela 9 - Comparação entre os valores de $Q_{mip}$ , ( $m^3/s$ ) antes e depois do preenchimento de falhas .....	86
Tabela 10 - Comparação dos valores de precipitações médias anuais (P) antes e depois do preenchimento de falhas.....	87
Tabela 11 - Características físicas das bacias hidrográficas estudadas .....	96
Tabela 12 - Precipitações médias anuais (P) para as bacias da região de estudo .	100
Tabela 13 - Modelos de regressão obtidos considerando a região única (R) .....	101
Tabela 14 - Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e dos erros percentuais (%dr) entre os valores das vazões médias observadas ( $Q_o$ ) e estimadas ( $Q_{est}$ ) pelo modelo de regressão M1 e M3 .....	102
Tabela 15 - Modelos M1 e M3 antes e após a retirada de estações .....	103
Tabela 16 - Coeficientes angulares (b) e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das curvas de frequência, obtidos considerando-se ajustes com as distribuições Normal e Lognormal .....	107
Tabela 17 – Estações apresentando valores de coeficientes angulares (b) fora de diferentes intervalos limites .....	108
Tabela 18 – Subdivisão preliminar da área de estudo em sub-regiões homogêneas .....	109
Tabela 19 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR1 .....	111
Tabela 20 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR2 .....	115
Tabela 21 - Valores em módulo dos desvios percentuais (%dr) obtidos para cada estação a partir de modelos de regressão da sub-região SR2.....	116

Tabela 22 - Valores em módulo das porcentagens de desvios percentuais (%dr) obtidas para cada estação, a partir de modelos de regressão da região única (R) e da sub-região SR2 .....	118
Tabela 23 - Modelos de regressão de SR2 antes e após a retirada de estações ...	120
Tabela 24 - Modelos de regressão considerando a sub-região da bacia do rio Itapemirim.....	127
Tabela 25 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região da bacia do Itapemirim, antes e após a retirada de estações .....	129
Tabela 26 - Variáveis explicativas mais utilizadas nos diferentes modelos de regressão analisados .....	136
Tabela 27 - Valores de vazão estimada ( $Q_{est}$ ) em $m^3/s$ para o método de interpolação linear e desvios percentuais (%dr) associados .....	137
Tabela 28 - Valores de vazão estimada ( $Q_{est}$ ) em $m^3/s$ para o método de Chaves et al. (2002) e desvios percentuais (%dr) associados .....	138
Tabela 29 - Valores de vazões estimadas ( $Q_{est}$ ) em $m^3/s$ e desvios percentuais (%dr) associados, para diferentes métodos e modelos .....	140
Tabela 30 - Valores dos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) obtidos para cada método e modelo analisado .....	142
Tabela 31 - Coeficientes (a e b) das curvas de regularização, para cada posto, nos casos de intervalos de variações das vazões de regularização entre 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100%, e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) .....	144
Tabela 32 - Coeficientes (a e b) das curvas de regularização, para cada posto, nos casos de intervalos de variações das vazões de regularização entre 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80%, e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) .....	145
Tabela 33 - Estações com valores de b situados fora dos diferentes intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 30 e 100%.....	146
Tabela 34 – Modelos de curvas de regularização considerando a região única (R) .....	147
Tabela 35 – Valores de desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas obtidas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para a região R.....	148
Tabela 36 - Novos modelos para a região única (R), após a retirada de dois pontos discrepantes.....	149

Tabela 37 – Valores de desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas obtidas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para a região R, no caso da retirada de dois pontos discrepantes.....	150
Tabela 38 - Sub-regiões estudadas na regionalização das curvas de regularização .....	151
Tabela 39 - Modelos para SR1 e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100% da vazão média.....	152
Tabela 40 - Modelos para SR1 e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80% da vazão média.....	152
Tabela 41 - Menores desvios percentuais (%dr) obtidos para SR1, SR1.1 e R, considerando os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de regularização.....	153
Tabela 42 - Modelos de SR2, SR2.1, SR2.2 e R e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100% da vazão média.....	159
Tabela 43 - Modelos para SR2, SR2.1, SR2.2 e R e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80% da vazão média.....	159
Tabela 44 - Menores desvios percentuais (%dr) obtidos para SR2, SR2.1, SR2.2 e R, considerando os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de regularização.....	160
Tabela 45 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 30% .....	173
Tabela 46 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 40% .....	174
Tabela 47 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 50% .....	175
Tabela A. 1 - Estações de vazão selecionadas preliminarmente para o estudo .....	191
Tabela B. 1 - Estações pluviométricas selecionadas preliminarmente para o estudo .....	196
Tabela C. 1 - Precipitação média anual para as estações pluviométricas .....	199
Tabela D. 1 - Modelos de regressão obtidos para a região única (R) .....	201

Tabela D. 2 - Classes de resíduo para o modelo de regressão M1 .....	202
Tabela D. 3 - Classes de resíduo para o modelo de regressão M3 .....	202
Tabela D. 4 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR1 .....	203
Tabela D. 5 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR2.....	204
Tabela D. 6 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região da bacia do Itapemirim.....	205
Tabela E. 1 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 40 a 100%.....	206
Tabela E. 2 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 50 a 100%.....	206
Tabela E. 3 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 30 a 80%.....	206
Tabela E. 4 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 40 a 80%.....	207
Tabela E. 5 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 50 a 80%.....	207
Tabela E. 6 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR1 .....	208
Tabela E. 7 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR1.1 .....	208
Tabela E. 8 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR2 .....	208
Tabela E. 9 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR2.1 .....	209
Tabela E. 10 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR2.2 .....	209

## LISTA DE ABREVIações

ANA	Agência Nacional de Águas
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A
GEOBASES	Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
SEAMA	Secretaria Estadual para Assuntos de Meio Ambiente
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

---



# 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

## 1.1 Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433 de 1997, visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Francisco e Carvalho (2004) acreditam que a instituição da PNRH é uma resposta à projeção mundial de cenários de escassez em relação à disponibilidade de água doce suficiente para abastecer as gerações futuras.

O Brasil, apesar de ser considerado rico em termos de vazão média por habitante, com aproximadamente 33 mil m<sup>3</sup>/hab/ano, apresenta grande variação temporal e espacial de disponibilidade hídrica. A Agência Nacional de Águas (ANA), em 2007, apresentou estudo de disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil, que mostrou a região do Atlântico Nordeste Oriental, abrangendo as capitais e regiões metropolitanas Recife, Fortaleza, Maceió, Natal e João Pessoa, com a menor vazão média por habitante no país, estimada em 1.200 m<sup>3</sup>/hab/ano. Em algumas bacias desta mesma região são registrados valores inferiores a 500 m<sup>3</sup>/hab/ano. Nas mesmas condições, encontram-se algumas bacias de outras regiões hidrográficas, como do Parnaíba, São Francisco e Atlântico Leste, onde se localizam os estados de Sergipe e Bahia. Na porção semi-árida destas regiões, o problema é agravado pelo fenômeno da seca. A ANA (2007) observa ainda um cenário crítico nas regiões em que existe uma associação entre elevada densidade populacional e baixa disponibilidade hídrica, como a bacia do Alto Tietê e a dos rios que deságuam na Baía de Guanabara. Nestas bacias, as retiradas superam a disponibilidade de água, obrigando a busca de fontes externas. Neste sentido, a região do Atlântico Nordeste Oriental também é a mais crítica, com uma relação de demanda e disponibilidade de mais de 40%.

Em se tratando de disponibilidade de água, é fundamental o conhecimento das vazões médias dos cursos de água, valor este que fornece, para suprimento de demandas, indicação das disponibilidades hídricas das bacias hidrográficas. A determinação das vazões médias auxilia usuários e órgãos gestores no gerenciamento dos recursos hídricos. Neste âmbito de gerenciamento, também se faz importante o estudo da possibilidade de implantação de reservatórios de

regularização, como alternativa para solucionar problemas de quantidade de água e de atender à múltiplos usos.

Para realização de estudos com a finalidade de estimativas de vazões médias e de volumes de reservatórios de regularização, são necessários registros históricos confiáveis e, preferencialmente, apresentando longas extensões. Porém, algumas deficiências vêm sendo observadas nas redes de coleta de dados, tais como: carência de postos em quantidade suficiente para cobrir espacialmente todas as regiões; parte da rede com estações desativadas ou que entraram em operação recentemente; e quantidade significativa de falhas nos registros que prejudicam a utilização de estações em atividade. Dificuldades relacionadas com a continuidade de coleta de dados e altos custos contribuem para a insuficiência de registros fluviométricos em muitas regiões.

Técnicas de regionalização hidrológica vêm sendo utilizadas para minimizar deficiências em redes de monitoramento quantitativo de reservas hídricas.

A regionalização busca transferir dados conhecidos, por meio de análises hidrológicas e técnicas estatísticas, para regiões com ausência ou escassez de informações.

Esta técnica tem disponibilizado diversos modelos regionais e vem sendo utilizada por diversos autores. Dentre estudos em âmbito internacional, pode-se citar aqueles desenvolvidos por Pilon (1990), Ontario (1995), Rao (2004), Rao e Srinivas (2006), Lee et al. (2007) e Zarrin et al. (2009).

No Brasil, foram feitas diversas publicações, dentre as quais se destacam: Eletrobrás (1985a), Euclides et al. (2001), Tucci (2002), Chaves et al. (2002), Baena (2002), Coser (2003), Elesbon (2004), Azevedo (2004), Lemos (2006) e Euclides et al. (2007b).

Neste trabalho, foram analisadas técnicas de regionalização hidrológica de vazões médias de longo período e de curvas de regularização. Diferentes métodos e modelos foram analisados para fins comparativos.

## **1.2 Objetivos**

### *1.2.1 Objetivo Geral*

Obter maior conhecimento a respeito de técnicas de regionalização hidrológica para estimativa de vazões médias de longo período e volumes de reservatórios de regularização.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

- Analisar técnicas de regionalização que permitam estimar vazões e volumes de reservatórios de regularização para seções de rios onde inexistam dados históricos;
- Analisar o desempenho e importância de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas utilizadas na extração de características físicas e climáticas de bacias hidrográficas;
- Ajustar diferentes modelos de regionalização hidrológica;
- Estimar vazões e volumes de reservatórios de regularização a partir de modelos ajustados em bacias específicas;
- Comparar diferentes metodologias e modelos de regionalização hidrológica.

## **CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Introdução à regionalização hidrológica**

Para gerenciamento dos recursos hídricos se faz necessário o conhecimento de características de mananciais, da quantidade e da qualidade da água disponível. Em termos de quantidade, tem-se constatado conflitos entre usuários e a deficiência da disponibilidade para atendimento a múltiplos usos. A fim de garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, é importante gerenciá-los de forma adequada, considerando informações que possam subsidiar decisões e estudos técnicos.

Para estimativa de disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas, visando a sustentabilidade e o gerenciamento dos recursos hídricos, se faz necessário o conhecimento do comportamento dos rios, do regime de variação de vazões, dos regimes pluviométricos e de suas variações temporais e espaciais. Para isso, é imprescindível um trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, com formação de séries históricas extensas, que envolvam eventos de cheias e secas (BAENA, 2002).

Peralta (2003) destaca que a escassez de dados para estudos em hidrologia e recursos hídricos, devido à não disponibilidade espacial e temporal de informações, levou à busca de formas de transferência dos dados conhecidos, para locais onde estes são inexistentes ou deficientes, dentro de uma área apresentando comportamento hidrológico semelhante.

A transferência de dados hidrológicos, parâmetros ou relações obtidas de uma bacia para outra, ou para bacias sem coleta de dados, tem importância prática evidente. Normalmente, pequenos ou grandes projetos relacionados à hidrologia estão situados em locais onde não há dados disponíveis, ou sua escala ou localização dificultam a obtenção dos mesmos. Assim, faz-se necessária a transferência de dados a partir de informações existentes (MIMIKOU, 1990).

A técnica utilizada com frequência para obtenção de vazões e volumes de armazenamento para regularização em locais onde há falta de registros ou ausência dos mesmos é a regionalização hidrológica.

Tucci (2004) destaca que a regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa de

variáveis hidrológicas, podendo ser usada para: melhor explorar as amostras pontuais e, em consequência, melhorar as estimativas das variáveis; verificar a consistência das séries hidrológicas; e identificar a falta de postos de observação.

A regionalização hidrológica é uma ferramenta necessária para o controle e gerenciamento dos recursos hídricos e para os estudos de vazão e implantação de reservatórios, já que não há disponibilidade de dados para todas as bacias de drenagem e rios existentes.

## 2.2 Variáveis e funções de interesse para a regionalização hidrológica

### 2.2.1 Vazão média de longo período

A vazão média de longo período ( $Q_{mlp}$ ) pode ser definida, segundo Tucci (2002), como a média das vazões da série de registros disponível num local. Este valor pode ser obtido pela equação 1 e é empregado no desenvolvimento de projetos de uso da água, tais como: abastecimento de água, produção de energia elétrica, irrigação, navegação, dentre outros.

$$Q_{mlp} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Q_t \quad (1)$$

Onde:  $Q_t$  é a vazão do intervalo de tempo  $t$ ; e  $N$ , o número de intervalos  $t$ .

O conhecimento da vazão média de longo período e suas variações sazonais permite estimar o recurso hídrico disponível da bacia. Essa vazão corresponde à máxima possível de ser regularizada em qualquer curso d'água, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração (ELETROBRÁS, 1985a).

Na prática, os limites de regularização correspondem a uma fração da vazão média de longo período (BAENA, 2002).

### 2.2.2 Curvas de regularização

Uma solução para problemas de disponibilidade hídrica e conflitos entre os usuários da água pode ser a construção de reservatórios. Os reservatórios podem ser projetados para atender a uma utilização específica da água ou a múltiplos usos. Para que a água seja reservada, são construídas barragens, que possibilitam

armazenar uma quantidade determinada da água do rio, podendo-se com isso, dispor da mesma em quantidade suficiente para suprir as demandas solicitadas por diversos usos. Muitas vezes, os mananciais não possuem água em quantidade suficiente para suprir a demanda requerida, ou a quantidade do recurso hídrico só existe em abundância nas épocas de chuva, sendo necessários estudos de regularização para verificar as possibilidades de minimização dos efeitos da sazonalidade.

Segundo Elesbon (2004), a sazonalidade do escoamento em rios normalmente impede seu uso ao longo de todo ano, principalmente em rios de pequeno porte. Usos comuns da água como navegação, diluição de despejos, irrigação, controle de enchentes, abastecimento de água e geração de energia elétrica podem ficar comprometidos.

A regularização da vazão de um determinado curso d'água possibilita que se uniformize a disponibilidade de água ao longo do ano, permitindo que se armazene o excesso da época chuvosa para posterior utilização na época da seca (BAENA, 2002).

De acordo com Tucci (2004), a regularização da vazão depende de como a demanda será solicitada ao sistema fluvial. Na irrigação, geralmente, a demanda somente é necessária em alguns meses do ano. No abastecimento de água, a vazão é solicitada durante todo o ano, aumentando no verão. Para se estabelecer o volume de um reservatório é necessário conhecer a demanda e sua distribuição no tempo, no entanto, numa avaliação preliminar das condições de regularização de um rio, algumas premissas podem ser estabelecidas, tais como: demanda constante, desprezar a evaporação e utilizar uma série de uma bacia próxima.

A regionalização das curvas de regularização possibilita uma primeira estimativa da capacidade de regularização de vazões em locais que não possuem dados disponíveis. Este tipo de informação é importante para estudos de planejamento e na quantificação para projetos de pequena escala. Neste caso, ficam mantidas as limitações de uma demanda constante e o uso de uma estimativa da evaporação (EUCLYDES et al., 2001).

## 2.3 Características relevantes para regionalização hidrológica

As características físicas e climáticas das bacias hidrográficas são utilizadas como variáveis explicativas na regionalização hidrológica e são importantes para melhor determinar as especificidades da região estudada.

A consideração de determinadas características na regionalização dependerá do seu grau de importância na região a ser estudada, bem como se a utilização das mesmas implica ou não em modelos de regionalização mais condizentes com a realidade.

De acordo com Riggs (1990), registros de vazões, de dados climáticos e topográficos são necessários para proceder à regionalização. A confiabilidade de uma relação dependerá da vazão a ser regionalizada, da quantidade e qualidade dos dados coletados e da variabilidade da vazão na região a ser estudada.

Na obtenção das características das bacias hidrográficas é importante salientar que se deve atentar às escalas a serem utilizadas para extração das informações, uma vez que dependendo da escala utilizada os resultados podem sofrer alterações.

Wang e Yin (1998) compararam os resultados obtidos da extração de características a partir de duas diferentes escalas, 1:250.000 e 1:24.000. A comparação dos parâmetros foi realizada para bacias da Virgínia Ocidental, Estados Unidos. De acordo com os autores, os resultados mostraram, claramente, que estimativas superiores são obtidas a partir da escala 1:24.000.

### 2.3.1 Características Físicas

Segundo Tucci (2002), deve-se considerar que as características físicas devem ser representativas dos fenômenos que se deseja representar. É essencial a utilização de características que sejam de fácil obtenção ou extração. Do contrário, as equações de regionalização fornecidas dificilmente serão aplicadas no futuro, podendo até mesmo ser inutilizadas.

Algumas das características físicas mais utilizadas na regionalização hidrológica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade da bacia, a declividade entre a nascente e a foz do rio principal e a densidade de drenagem.



- Área de drenagem (A)

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é a área plana, ou projeção horizontal, inclusa entre seus divisores topográficos (VILLELA; MATTOS, 1975).

De acordo com Eletrobrás (1985a), a experiência hidrológica tem mostrado que a área de drenagem é o fator de maior peso no cálculo da vazão média.

Diversos autores têm evidenciado que a área de drenagem é uma importante variável a ser considerada na regionalização hidrológica. Entre eles, pode-se citar: Ontario (1995), que utilizou a área de drenagem como variável explicativa na regionalização de vazões mínimas para bacias da região Central e Sudeste de Ontário, Canadá; Euclides e Ribeiro (2002), como a única variável utilizada na regionalização de vazões médias de longo período para a bacia do Alto Purus, no Amazonas; Baena (2002), como a variável que melhor explicou o comportamento da vazão média de longo período e as vazões regularizadas do rio Paraíba do Sul; Elesbon et al. (2002), na maioria dos casos de regionalização de vazões máximas, médias e mínimas para o estado do Espírito Santo, utilizaram modelos que contemplaram apenas a área de drenagem; Andrade et al. (2004), como principal variável na regionalização da vazão média para regiões do estado do Ceará; Azevedo (2004), como uma das características que melhor explicaram o comportamento da vazão mínima de referência para a sub-bacia do rio Paranã; e Lisboa et al. (2008), como a única característica física utilizada na obtenção das equações de regionalização para o rio Paracatu.

- Comprimento do rio principal (L)

O comprimento do rio principal corresponde à extensão do curso de água que drena maior área no interior da bacia.

No estudo realizado por Baena (2002), para a regionalização das vazões médias de longo período e das vazões regularizadas no rio Paraíba do Sul, após a área de drenagem, o comprimento do rio principal foi a variável mais expressiva.

No trabalho desenvolvido por Silva et al. (2009), o comprimento do rio principal foi a característica física que melhor explicou o comportamento da vazão mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), na bacia do rio São Francisco.

- Declividade média ( $S_m$  e  $S_L$ )

A declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando, portanto, o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. A intensidade dos picos de enchente e a maior ou a menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre as superfícies da bacia. A velocidade de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas de enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975). Em razão destes fatos, a declividade é mais utilizada como variável explicativa das vazões máximas.

Kobold e Brilly (1994) realizaram ajustamentos da vazão mínima utilizando a declividade do rio em conjunto com outras variáveis explicativas no estudo de regionalização em bacias hidrográficas da Eslovênia.

Rao e Srinivas (2006) utilizaram para regionalização de vazões máximas de bacias hidrográficas no estado de Indiana, Estados Unidos, a declividade média do rio principal em conjunto com outras variáveis, como a área de drenagem.

Yadav et al. (2007), apresentando características físicas e climáticas para utilizá-las como parâmetros de modelos hidrológicos, consideraram a declividade como uma das principais variáveis obtidas, além da precipitação e hidrogeologia, em um estudo envolvendo 30 bacias de drenagem do Reino Unido.

- Densidade de drenagem ( $Dd$ )

A densidade de drenagem é um bom indicador do relevo superficial e das características geológicas de uma bacia (ELETROBRÁS, 1985a).

De acordo com Garcez e Alvarez (1988), densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e a área total da mesma bacia, conforme a equação 2.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (2)$$

Sendo:  $L_t$ , o comprimento total dos cursos d'água; e  $A$ , a área de drenagem.

Este é um parâmetro de grande sensibilidade, uma vez que fornece a ligação entre os atributos de forma da bacia e os processos que agem sobre o curso d'água. É importante ressaltar que a escala das cartas topográficas tem influência na determinação na densidade de drenagem, sendo, portanto, recomendável a adoção de uma mesma escala para estudos comparativos de diferentes bacias (GOLDENFUM, 2001).

A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência de drenagem da bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). Segundo os mesmos autores, este índice varia de 0,5 km/km<sup>2</sup>, para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas, considerando-se a escala de 1:50.000. Outros estudos têm demonstrado que este índice varia de acordo com a escala utilizada. Freitas et al. (2002) obtiveram valores da densidade de drenagem variando entre 0,203 a 1,030 km/km<sup>2</sup> para bacias do rio São Francisco, utilizando a escala de 1:100.000; Barbosa (2002), realizando um estudo de caso para a mesma bacia do rio São Francisco, verificou que os valores do índice na escala de 1:100.000 apresentaram um aumento de 75% se comparados com os obtidos em escala 1:1.000.000; Vendruscolo e Cruz (2005) encontraram valores variando de 0,2232 a 0,6969 km/km<sup>2</sup> para bacias da parte Norte do Rio Grande do Sul, utilizando a escala de 1:250.000.

Araújo (2008) recomenda que na existência de incertezas na determinação deste parâmetro, o mesmo deve ser desconsiderado nos estudos de regionalização.

### *2.3.2 Características Climáticas*

A precipitação influencia diretamente o comportamento da vazão de um curso d'água, tanto das vazões extremas quanto da própria vazão média de longo período, sendo uma das principais variáveis explicativas nos estudos de regionalização hidrológica (LEMOS, 2006).

Segundo Tucci (2002), é preciso verificar o tipo de precipitação que será empregada no estudo de regionalização e, geralmente, a precipitação média anual tem sido a mais utilizada. De acordo com o mesmo autor, esta variável é comumente aplicada na regionalização de vazões médias.

A precipitação média anual para um posto pluviométrico pode ser obtida extraindo-se a média das precipitações totais anuais. Esta última é obtida a partir da soma dos valores das precipitações mensais do referido ano.

Nos estudos de regionalização se faz necessário determinar a precipitação média sobre uma dada área e, para isso, podem ser utilizados diferentes métodos, como o dos polígonos de Thiessen e o das isoietas. O primeiro leva em conta a não-uniformidade da distribuição espacial da bacia, atribuindo a cada posto pluviométrico pesos proporcionais à sua área de influência. Contudo, este mesmo método desconsidera o relevo da bacia.

Villela e Mattos (1975) consideram o método das isoietas o mais preciso para avaliar a precipitação média de uma bacia.

Neste método é levada em consideração a interferência do relevo na formação das chuvas e a mobilidade do comportamento das chuvas ao longo do tempo (MENDES E CIRILO, apud ELESBON, 2004).

As isoietas mapeiam pontos de igual intensidade de precipitação em uma região, permitindo, através de interpolação, a estimativa da intensidade em locais da região sem medições pluviométricas (LANNA et al., 1983).

Para a definição das isolinhas de igual precipitação se faz necessária a aplicação de técnicas de interpolação, como a Krigagem.

A Krigagem é um método estatístico de interpolação utilizado para diversos fins, como aplicações em mapeamento geológico, hidrológico, atmosférico e outros campos relacionados. O método assume que a distância ou a direção entre diferentes pontos refletem uma correlação espacial que pode ser utilizada para explicar variações da superfície. As correlações são definidas para um determinado número de pontos ou para todos os pontos que se dispõe, obtendo-se um modelo de melhor ajuste a ser aplicado aos dados e utilizado para definição dos valores antes desconhecidos. Os métodos de Krigagem mais utilizados são a Universal e a Ordinária. A Krigagem Universal assume que há uma tendência nos dados, podendo ser, por exemplo, linear ou quadrática; já a Krigagem Ordinária, o método de utilização mais comum entre autores, não considera a existência de tendência nos dados (CHILDS, 2004).

Atkinson e Lloyd (1998) utilizaram a Krigagem Ordinária para estimar os valores de precipitação em áreas da Suíça.

Coser (2003), realizando a regionalização de vazões mínimas de 7 dias e período de retorno de 10 anos para o estado do Espírito Santo, utilizou a Krigagem Ordinária para obter isoietas e, assim, as precipitações médias de diferentes áreas. Elesbon (2004) aplicou a mesma metodologia à região Norte do Espírito Santo, nas bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus.

Utilizando a interpolação de pontos de precipitação média por meio da Krigagem Ordinária, Sotério et al. (2005) apresentaram um mapa de isoietas para todo o estado do Rio Grande do Sul.

Earls e Dixon (2007) obtiveram as precipitações para a região central da Flórida utilizando o método de interpolação da Krigagem Ordinária.

#### **2.4 Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na regionalização hidrológica**

Estudos de regionalização utilizam informações das características físicas e climáticas das bacias hidrográficas, como topografia e pluviometria. Estas informações podem ser extraídas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Sistemas de Informações Geográficas, conforme Leipnik et al. (1993), são utilizados para fornecer informações sobre localização, topografia, e atributos espaciais de referência a objetos (como, por exemplo, os rios).

Baena (2002) ressalta que a automatização das informações com a aplicação de SIG é vantajosa com relação aos procedimentos manuais, pois os dados obtidos são considerados de maior eficiência e confiabilidade, e com a automatização, há a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais.

A capacidade de manipulação, análise e exibição de dados georreferenciados tornou o SIG uma poderosa ferramenta em modelagem ambiental (LUKASHEH et al., 2001).

Cristelo (2006) observa que os processos utilizados para delimitação de bacias hidrográficas e redes de drenagem sem o uso da ferramenta SIG são geralmente demorados e trabalhosos, consumindo tempo de projeto e adicionando custos à análise e à modelagem hidrológica. Ainda segundo a autora, o emprego de SIG na automatização dos processos mecânicos permite um ganho considerável na qualidade dos produtos gerados, facilitando e agilizando o gerenciamento dos recursos hídricos.

De acordo com Mendes e Cirilo (apud ELESBON, 2004), a intenção da utilização do geoprocessamento na obtenção de parâmetros hidrológicos e hidrodinâmicos não é substituir a necessidade por hidrólogos e outros tipos de técnicos, mas aumentar a habilidade dos mesmos para tomar decisões responsáveis e oportunas.

Segundo Schumann et al. (2000) SIG oferecem novas maneiras de manipulação e utilização das características de bacias com alta resolução espacial.

Diversos estudos têm aplicado o geoprocessamento para obtenção das características físicas e climáticas das bacias hidrográficas, na elaboração de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC) e mapas temáticos que auxiliem na gestão dos recursos hídricos.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) auxiliam na análise da região que se está estudando, retratando as altitudes do terreno de acordo com a resolução das informações que lhe dão origem. A partir da elaboração do MDE, podem ser obtidas informações de declividade e das linhas de fluxo dos rios, que por sua vez, fornecem uma série de outras informações, como a delimitação de bacias, o comprimento de cursos de água, entre outras.

O MDE deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica. Tem-se, portanto, a necessidade de utilizar um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (BAENA et al., 2004).

Kobold e Brilly (1994) digitalizaram informações de bacias da Eslovênia para extrair, através de SIG, características físicas utilizadas no processo de regionalização.

Schumann et al. (2000) aplicaram SIG para um modelo conceitual de chuva-vazão a fim de obter parâmetros e características de bacias da Alemanha, calibrando

modelos para serem utilizados na área de estudo e em locais da região que não possuem dados.

Utilizando Sistema de Informações Geográficas, Elesbon (2004) delimitou e obteve as características físicas e hidrológicas de sub-bacias, por meio de um MDEHC, automatizando parte do processo de regionalização de vazões para as bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus.

Baena et al. (2004) realizaram a regionalização de vazões máximas, mínimas e médias de longo período e da curva de permanência para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a montante da cidade de Volta Redonda, utilizando um MDEHC para a determinação automática das características físicas da bacia.

Euclides et al. (2004) aplicaram a regionalização hidrológica para bacias do rio Grande, Minas Gerais, encontrando modelos para estimativa de vazões mínimas e máximas. Foram geradas vazões específicas, através de SIG.

Euclides et al. (2005) avaliaram as disponibilidades e as potencialidades dos recursos hídricos dos cursos de água das sub-bacias do rio Parnaíba, em Minas Gerais. Utilizando técnicas de regionalização hidrológica, estimaram vazões mínimas, médias, máximas, e volumes para regularização de vazões, disponibilizando mapas de vazões específicas e outras informações hidrológicas, por meio de SIG.

Moreira (2006) desenvolveu um sistema integrado para subsidiar a regionalização de vazões mínimas e médias. No programa desenvolvido foi implementado SIG para possibilitar a localização de uma seção de interesse do rio Paracatu e, assim, proceder a regionalização por diferentes métodos.

Lee et al. (2007) utilizaram SIG para subsidiar a estimativa de vazões em locais que não possuem dados, extraíndo características físicas e climáticas de bacias localizadas na Coréia do Sul.

Realizando um estudo de caso para bacias do Irã, Saghafian (2009) mapeou vazões mínimas ao longo dos rios através da implementação de algoritmos em SIG e disponibilizou informações para locais sem dados, para auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos na região.

Zarrin et al. (2009), no processo de regionalização de vazões mínimas, extraíram 21 parâmetros de caracterização física, climática e geológica de bacias próximas ao Golfo Pérsico, por meio de SIG.

O uso de SIG tem se mostrado eficaz na variedade de situações em que é aplicado, geralmente atendendo satisfatoriamente aos objetivos a que se propõe. Dispondo da sua utilização é possível obter informações com agilidade. No entanto, é necessário ter conhecimento das técnicas de geoprocessamento para aplicá-las adequadamente, a fim de que as informações obtidas sejam confiáveis, não incorrendo em erros na sua utilização.

#### *2.4.1 Cuidados a serem considerados na aplicação de SIG*

O uso de SIG requer um planejamento cuidadoso, incluindo a seleção criteriosa do aplicativo computacional a se utilizar, e a definição da extensão de sua aplicação no caso de estudo (GOONETILLEKE; JENKINS, 1999).

Os modelos digitais do terreno são uma aproximação da realidade, e por isso, estão propensos a erros e incertezas (DARNELL et al. 2008).

Segundo Baena (2002), no processo de geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) geralmente são verificadas depressões, ou seja, células cercadas por outras com maiores valores de elevação. A presença dessas depressões em um MDE produz descontinuidade do escoamento superficial descendente para a célula vizinha. Algumas delas podem ser naturais, mas a maioria são consideradas espúrias, decorrentes do próprio processo de geração do MDE, como erros de amostragem e interpolação.

Gooch e Chandler (2001), tendo em vista os erros na geração automática de MDE, implementaram um modelo de processamento de dados capaz de identificar áreas onde as altitudes geradas pelo MDE podem não ser confiáveis e exigem uma verificação ou atenção maior por parte do usuário.

Raaflaub e Collins (2006) comentam que erros dos parâmetros físicos e climáticos extraídos de MDE geralmente são provenientes dos algoritmos utilizados para obtenção do próprio MDE ou das cartas, aerofotos e outras informações que lhe originaram.



Para que sejam minimizados os erros advindos da geração dos MDE, os mesmos devem ser corrigidos com algoritmos próprios para então serem considerados hidrologicamente consistentes, sendo também importante a verificação dos mapas obtidos através da comparação com os mapas existentes ou digitalizados da região, em escala adequada para análise.

A qualidade e a resolução dos mapas gerados e, especialmente, dos Modelos Digitais de Elevação, são características importantes que podem interferir nos resultados de sua aplicação. Exemplo disso, é a geração de mapas obtidos a partir de dados pouco confiáveis. Os resultados provenientes destes mapas possivelmente estarão comprometidos. Problemas associados a estes fatores podem induzir a erros àqueles que se utilizam destes mapas para obter informações, uma vez que possuem boa aparência, porém informações de pouca credibilidade.

A resolução dos mapas deve ser menor ou igual à menor distância entre duas curvas de nível com cotas diferentes. A geração de uma grade muito densa demandará um maior tempo para sua criação. Por outro lado, um espaçamento maior poderá gerar perda de informação. Assim, na escolha da resolução da malha, deve haver uma análise considerando o objetivo da aplicação, a precisão dos dados e o tempo de geração da mesma (BAENA, 2002).

É importante a determinação da escala que melhor se adéqua à região a ser estudada. Em regiões planas, a geração do MDEHC pode não produzir resultados satisfatórios, como constatado por Chaves (2002), que utilizou a escala 1:250.000 para a bacia amazônica, e Elesbon (2004), que utilizou a escala 1:1.000.000 nas bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus. Neste último caso, as regiões costeiras e mais planas apresentaram a formação de platôs, mesmo após a realização de correções manuais. A utilização de escalas maiores tende a melhorar os resultados. Entretanto, o uso da base de dados mais detalhada depende da existência e disponibilidade destas informações.

De acordo com Cristelo (2006), a aplicação de SIG requer cuidados e possui algumas limitações. As delimitações automáticas de bacias necessitam de uma verificação dos resultados depois de obtidas e, quando necessárias, devem ser realizadas edições dos mapas obtidos, em função da utilização e qualidade final dos resultados.

## 2.5 Regionalização de vazões

Várias metodologias têm sido utilizadas na regionalização hidrológica. Os inúmeros estudos realizados nesta área evidenciam a diversidade de aspectos a serem considerados e analisados, sendo necessário o aperfeiçoamento e a aplicação de diferentes técnicas para proporcionar avanços nas metodologias de regionalização.

Segundo Duque et al. (2007), cada técnica de regionalização possui características que podem ser desejáveis ou indesejáveis, dependendo de sua aplicação. Por isso, é importante atentar à utilização do método a se aplicar para que o mesmo seja adequado ao caso de estudo.

Diversas técnicas de regionalização têm sido desenvolvidas nacionalmente e internacionalmente.

Muitos métodos têm buscado agregar características hidrológicas a análises estatísticas, procurando uma forma mais objetiva de obter equações que possam ser aplicadas a uma determinada região. A região de aplicação ou região homogênea, de uma maneira geral, é formada por postos fluviométricos com características que possam ser consideradas semelhantes e estejam geograficamente próximos.

Pilon (1990) utilizou o método do *index-flood* aplicado à vazões mínimas para a região de Ontário, situada no Canadá. O autor observa que no seu estudo algumas regiões foram apontadas como não homogêneas pelo método utilizado. Neste caso, de acordo com o autor, a situação pode ter ocorrido devido aos critérios adotados na regionalização, que não consideraram algumas características morfológicas, que poderiam refletir melhor a sua homogeneidade.

Ontario (1995) realizou a regionalização de vazões mínimas para a região Central e Sudeste de Ontário, no Canadá. Para isso, utilizou quatro diferentes métodos: regressão linear múltipla, *index*, mapeamento de isolinhas e rateio de valores com auxílio das estações próximas. Para a determinação das vazões mínimas na região Central, qualquer um dos três primeiros métodos pôde ser utilizado obtendo-se resultados satisfatórios. Na região Sudeste, somente o método das isolinhas apresentou boas estimativas de vazão.

Pereira (2004) propôs o método da conservação de massas, que ajusta equações de regressão das séries de dados calculados a partir de cada estação fluviométrica

individualmente. O autor fundamentou este procedimento na ideia de que a vazão obtida pelo método de ajuste, e que considera as informações de todas as estações situadas no rio, é mais representativa do que a vazão obtida pontualmente na seção considerada.

Rao (2004) estudou a regionalização de vazões máximas para bacias hidrográficas do estado de Indiana, Estados Unidos, aplicando diferentes métodos por ele considerados promissores. Os métodos utilizados foram o dos momentos-L, baseado em *hybrid cluster analysis*, *hybrid cluster analysis* utilizando dados de precipitação, *fuzzy cluster analysis* e redes neurais artificiais. Segundo o autor, os dois primeiros métodos se mostraram inaceitáveis pela sua subjetividade e heterogeneidade nos resultados. Os outros três métodos forneceram resultados similares. Independente do método utilizado, o autor pondera que as regiões homogêneas obtidas nestes métodos podem não ser estatisticamente homogêneas, sendo necessárias análises complementares para esta definição.

Aperfeiçoando o método de conservação de massas, Novaes (2005) ajustou modelos de regressão de vazões médias e mínimas em função da área de drenagem no rio principal, e a partir desse modelo, obteve vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal. O método proposto, de acordo com o autor, garantiu a continuidade das vazões ao longo de toda a rede hidrográfica do rio Paracatu, ao contrário do que ocorreu na aplicação de outros métodos de regionalização.

Zarrin et al. (2009) realizaram a regionalização de vazões mínimas para bacias próximas ao Golfo Pérsico, apresentando modelos de regressões múltiplas com as características físicas, climáticas e geológicas das áreas estudadas.

Dentre outras metodologias, aplicadas no Brasil, encontra-se bem difundido o método que utiliza modelos de regressão regionais proposto por Eletrobrás (1985a). Além deste, tem-se estudado metodologias que não necessitam da definição de regiões homogêneas, aplicáveis em uma mesma bacia, como o método de vazões específicas (ou interpolação linear) e Chaves et al. (2002).

### 2.5.1 Método proposto pela Eletrobrás (1985a)

A metodologia proposta por Eletrobrás (1985a) tem como característica principal a utilização de equações de regressão regionais aplicadas a regiões hidrologicamente

homogêneas, visando a obtenção de vazões em qualquer posição da rede de drenagem da bacia em estudo (RIBEIRO et al., 2005).

De acordo com Mimikou (1990), com a utilização de regiões homogêneas, a regionalização hidrológica se mostra uma ferramenta poderosa para transferir dados.

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas é importante a consideração de uma série de fatores físicos, climáticos, geológicos e topográficos. Segundo Tripathi et al. (2008), já se sabe que algumas características são mais importantes que outras na definição de regiões homogêneas. Porém, de acordo com o mesmo autor, a separação das regiões considerando apenas as suas características não é suficiente para defini-la como homogênea, cabendo a aplicação de métodos estatísticos para auxiliar nesta definição.

Eletrobrás (1985a) considera que o comportamento semelhante é o resultado da combinação de um grande número de fatores físicos e climáticos. As regiões que apresentam comportamento semelhante são definidas como regiões homogêneas. Segundo o procedimento deste método, as regiões homogêneas podem ser obtidas a partir de uma análise conjunta da classe de resíduos das vazões estimadas pela equação de regressão definida preliminarmente e da análise da tendência das curvas de frequência das vazões adimensionalizadas.

Aplicando o método à região do Alto Paraguai, Eletrobrás (1985a) obteve equações com bom ajuste e utilizou diferentes variáveis explicativas para estimar vazões mínimas, médias de longo período e máximas.

Elesbon et al. (2002) utilizou o método de Eletrobrás (1985a) visando disponibilizar equações na estimativa de vazões máximas, médias e mínimas para diferentes regiões homogêneas definidas no estado do Espírito Santo.

Coser (2003), por meio do método de Eletrobrás (1985a), obteve equações para regionalização de vazões mínimas  $Q_{7,10}$  para o estado do Espírito Santo.

Baena et al. (2004) subdividiu a bacia do rio Paraíba do Sul em quatro regiões homogêneas, através da análise de curvas de frequência adimensionais e da determinação de equações de regressão regionais, fornecendo modelos de regionalização para vazões máximas, mínimas e médias.

Na estimativa e regionalização de vazões mínimas e médias para a bacia do rio Paracatu, Lisboa et al. (2008) identificou três regiões homogêneas observando a distribuição geográfica das estações e analisando as equações de regressão regionais.

### *2.5.2 Método de interpolação linear (ou vazão específica)*

O método baseado na vazão específica parte do princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos (NOVAES et al., 2007).

A interpolação linear não necessita da divisão da área de estudo em regiões homogêneas, sendo a metodologia aplicável em seções de rio de uma mesma bacia hidrográfica que possua estações com série histórica de vazão.

De acordo com Eletrobrás (1985b), a translação dos dados só pode ser considerada válida se as áreas de drenagem nos locais do posto e da seção em que se quer determinar a vazão não forem excessivamente diferentes.

### *2.5.3 Método proposto por Chaves et al. (2002)*

Chaves et al. (2002) buscou propor uma metodologia simples e robusta para a regionalização de vazões mínimas em bacias hidrográficas com dados hidrométricos limitados, utilizando técnicas de interpolação em ambiente SIG. Segundo o autor, com a utilização de SIG, a espacialização de variáveis hidrológicas pode ser grandemente facilitada, explorando-se ao máximo as informações hidrológicas existentes, a montante e a jusante de pontos de interesse.

Da mesma forma que o de vazões específicas, o método não utiliza equações de regressão regionais, nem a divisão da área de estudo em regiões homogêneas. A diferença entre este método e o de interpolação linear está em considerar pesos relativos às distâncias entre os pontos de montante e jusante, no caso em que a seção de interesse se situa entre duas estações fluviométricas.

O método elaborado por Chaves et al. (2002) não pode ser aplicado às bacias sem dados fluviométricos, uma vez que o mesmo requer pelo menos algumas vazões conhecidas. Esta metodologia foi desenvolvida visando a interpolação e

extrapolação de vazões mínimas. O estudo realizado por Chaves et al. (2002) na bacia do Itapicuru indicou que o método é aplicável para situações semelhantes à da bacia estudada, ou seja, com área, fisiologia e clima similares.

#### *2.5.4 Comparação entre metodologias*

Estudando vazões mínimas na bacia do rio Itapicuru (Bahia) e comparando seu método ao de Eletrobrás (1985a), Chaves et al. (2002) conclui que o primeiro apresenta um melhor potencial de precisão para predição de vazões mínimas em bacias com dados escassos. No estudo realizado, o erro médio percentual observado dos valores de vazões mínimas estimados pelo método proposto foi inferior ao de Eletrobrás (1985a), 45,1% contra 289,7%, respectivamente. Além disso, em todos os casos, o erro relativo obtido pelo método de Chaves et al. (2002) foi inferior aos obtidos pelo outro método, com exceção de um posto.

Agra et al. (2003) realizaram comparação entre equações de regressão regionais e interpolação linear. Aplicando estes métodos para vazões mínimas na bacia do rio Carreiro, estado do Rio Grande do Sul, os autores constataram que a interpolação linear forneceu a melhor correlação e o menor desvio padrão quando comparada aos dados observados.

Com a finalidade de avaliar diferentes métodos de regionalização, Azevedo (2004) realizou um estudo para a sub-bacia do rio Paranã utilizando equações de regressão regionais e as metodologias Chaves et al. (2002) e interpolação linear. O autor concluiu que a metodologia de interpolação e extrapolação em SIG apresentou baixa eficiência na estimativa de vazões para situações em que as sub-bacias envolvidas apresentam grandes diferenças de áreas. O método da vazão específica foi mais eficiente na estimativa de vazões em situações onde a seção em que se deseja determinar a vazão está localizada entre dois postos de vazões conhecidas. A melhor metodologia neste estudo, de acordo com o autor, foi baseada na utilização de equações de regressão regionais.

Na estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce, Ribeiro et al. (2005) constataram que a melhor metodologia para obtenção das vazões nesta região foi a baseada na utilização de equações de regressão regionais, com erro relativo médio de 16,56%. No estudo também foram utilizados os

métodos Chaves et al. (2002) e interpolação linear, que se mostraram mais eficientes, a exemplo do que foi constatado por Azevedo (2004), em situações em que a seção na qual se deseja determinar a vazão está localizada entre dois postos de vazões conhecidas.

Lemos (2006) avaliou três metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio São Francisco, a montante do reservatório Três Marias. As metodologias avaliadas foram a baseada em modelos regionais de regressão, Chaves et al. (2002) e vazão específica. De acordo com o autor, a melhor metodologia de regionalização na bacia hidrográfica estudada foi a que define equações de regressão regionais. As outras duas metodologias não apresentaram resultados satisfatórios nas situações em que a diferença na área de drenagem do local onde se deseja conhecer a vazão foi grande. Apresentaram maior eficiência nas mesmas situações constatadas por Azevedo (2004) e Ribeiro et al. (2005).

Novaes et al. (2007) avaliou o desempenho de cinco metodologias de regionalização para estimativa de vazões mínimas e médias de longa duração na bacia do rio Paracatu. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes métodos de regionalização de vazões: equações de regressão regionais, interpolação linear, Chaves et al. (2002), e outros dois, advindos do acréscimo da variável precipitação nas metodologias da interpolação linear e de Chaves et al. (2002). Foi observado que não ocorreram diferenças expressivas no desempenho destes métodos na bacia do Paracatu. A inserção da variável precipitação nas metodologias da interpolação linear e Chaves et al. (2002) não apresentou melhoria expressiva que justificasse a sua recomendação.

Rodriguez (2008) concluiu que o método que utiliza equações de regressão regionais, comparado com o de conservação de massas (que não utiliza a delimitação de regiões homogêneas), melhor representou o comportamento das vazões médias e mínimas na bacia do rio São Francisco.

Moreira e Silva (2009) avaliaram a regionalização de vazões mínimas e médias de longo período por diferentes metodologias, dentre elas a que emprega equações de regressão regionais e interpolação linear. Os autores concluíram que a primeira foi a que permitiu as melhores estimativas das vazões para a bacia do rio Paraopeba.

## 2.6 Regionalização de curvas de regularização

A regionalização de curvas de regularização utiliza as informações de vazões disponíveis numa determinada região hidrologicamente homogênea, para melhor estimar esta curva num local sem dados (TUCCI, 2002).

Diversos autores tem apresentado modelos regionais para as curvas de regularização de diferentes bacias hidrográficas.

Euclides et al. (2001) identificou quatro regiões homogêneas para a regionalização na bacia do Alto São Francisco, a montante da barragem Três Marias, em Minas Gerais, apresentando modelos de curvas de regularização adimensionais.

Baena (2002) apresentou equações de regressão regionais para diferentes vazões de regularização para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda. Nas equações apresentadas, a área de drenagem foi a variável explicativa que mais explicou o comportamento das vazões regularizadas, sendo acompanhada do comprimento do rio principal, da precipitação total anual, e da densidade de drenagem.

Elesbon (2004) ajustou curvas adimensionais de regularização para bacias do Norte do estado do Espírito Santo, tendo identificado duas regiões homogêneas.

Na regionalização de curvas de regularização para a região compreendida entre os limites da bacia do rio Doce e do rio Itabapoana, no estado do Espírito Santo, Euclides et al. (2007a) ajustou uma curva de regularização adimensional para toda a região estudada, considerando-a como homogênea.

A regionalização das curvas de regularização apresenta certas limitações. De acordo com Tucci (2004), algumas dessas restrições podem ser enumeradas, tais como: a metodologia considera a demanda constante; a evaporação é considerada de forma simplificada, resultando em estimativas grosseiras deste valor; e é adequado apenas para bacias sem reservatórios com regularização a montante. Além disso, o período crítico regional deve estar contido dentro da série histórica de dados, para que a mesma seja considerada representativa.



## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA**

---

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Região de realização do estudo**

##### *3.1.1 Escolha da região de estudo*

A região de estudo compreende o Centro-Sul do Espírito Santo (figura 1), abrangendo parte das bacias hidrográficas do rio Doce e Itabapoana, e a totalidade das bacias Riacho, Reis Magos, Santa Maria da Vitória, Jucu, Guarapari, Benevente, Rio Novo e Itapemirim, de acordo com a divisão de bacias da Secretaria Estadual para Assuntos de Meio Ambiente (SEAMA). Nesta região se localizam a maior parte das estações fluviométricas e pluviométricas do estado.

A área estudada inclui as bacias dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, que atualmente são os principais mananciais de abastecimento de água da Região Metropolitana da Grande Vitória.

##### *3.1.2 Caracterização da região de estudo*

As principais características destas bacias hidrográficas são apresentadas na tabela 1, conforme informações adaptadas do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA).

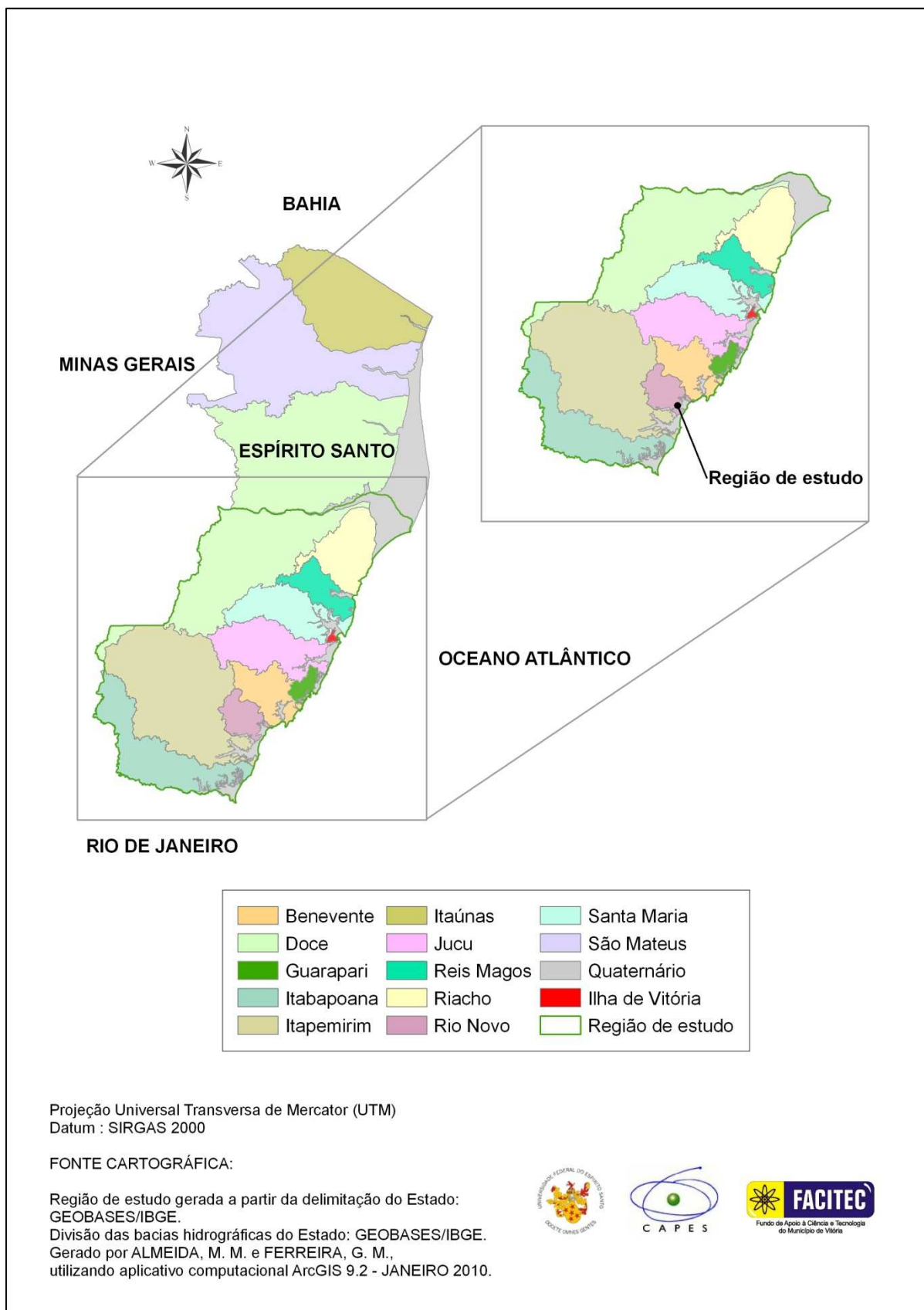


Figura 1 - Identificação da região de estudo

Tabela 1 - Características de bacias hidrográficas da região de estudo

Bacia	Domínio	Municípios	Principais Atividades Econômicas	Principais Problemas na Bacia
Doce (na região de estudo)	Federal (ES, MG)	Brejetuba, Afonso Cláudio, Laranja da Terra, Itarana, Itaguaçu, São Roque do Canaã, e parte de Colatina, Baixo Guandu, Ibirapu, Ibatiba, Lúna, João Neiva e Linhares.	Siderurgia, indústrias de celulose, agro-indústria, mineração, setor de serviços, e geração de energia elétrica.	Desmatamento; manejo inadequado dos solos; erosão; assoreamento do leito dos rios; redução de vazões durante o período de estiagem; enchentes; contaminação com mercúrio; precariedade no saneamento; e a falta de abastecimento de água potável em diversas aglomerações urbanas e comunidades rurais.
Riacho	Estadual	Parte de Aracruz, Ibirapu, João Neiva, Linhares e Santa Teresa.	Agropecuária, indústrias químicas e de celulose, turismo e silvicultura.	Desmatamento generalizado nas áreas de preservação permanente; Problemas de erosão agravado pelo intenso desmatamento; Assoreamento dos corpos hídricos; Poluição dos recursos hídricos devido à disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento; Deterioração dos recursos hídricos devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos; Pesca predatória.
Reis Magos	Estadual	Fundão e parte de Aracruz, Ibirapu, Santa Leopoldina, Santa Teresa e Serra.	Industrial e agropecuária, destacando nesta a cultura de café, arroz e feijão.	Desmatamento; Assoreamento; Ocupação do solo, de forma desordenada; Poluição dos recursos hídricos devido à disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento.
Santa Maria da Vitória	Estadual	Santa Maria de Jetibá e parte de Cariacica, Santa Leopoldina, Serra, Viana e Vitória.	Agropecuária, indústrias e hidrelétricas, turismo, usinas	Desmatamento em geral e ao longo das Áreas de Preservação Permanente; Assoreamento; Deterioração dos recursos por: uso indiscriminado de defensivos agrícolas, disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes (domésticos e industriais) sem tratamento, e práticas agrícolas inadequadas; conflito entre os usuários de água.

Tabela 1 – Continuação

Bacia	Domínio	Municípios	Principais Atividades Econômicas	Principais Problemas na Bacia
Jucu	Estadual	Domingos Martins, Marechal Floriano, e parte de Cariacica, Guarapari, Viana e Vila Velha.	Agropecuária, hortifrutigranjeiros, industrial, turismo e geração de energia elétrica.	Desmatamento; Assoreamento; Extração desordenada de areia para a construção civil; Poluição dos recursos hídricos: lançamento de resíduos sólidos domésticos, industriais e hospitalares nas margens do rio ou nas imediações em aterros inadequados, lançamento de efluentes de pocilgas, currais e abatedouros de aves, sem tratamento, uso de pesticidas e herbicidas que contribuem para a poluição por meio do escoamento superficial, advindo de áreas cultivadas; conflito entre usuários de água.
Guarapari	Estadual	Parte de Guarapari, Viana e Vila Velha.	Turismo, industrial, pesca e agropecuária.	Desmatamento generalizado a nas áreas de preservação permanente; Poluição dos recursos hídricos devido à disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento; deterioração dos recursos hídricos devido à evolução desordenada da ocupação urbana, das atividades industriais e do turismo; conflito entre os usuários de água.
Benevente	Estadual	Anchieta, Alfredo Chaves e parte de Iconha, Guarapari e Piúma.	Pecuária; agricultura, destacando-se a cultura de café; turismo; industrial; e pesca.	Acelerado processo de ocupação do solo; nascentes e cursos d'água desprovidos de mata ciliar; processos erosivos decorrentes do uso de encostas para plantio; lançamentos de efluentes e resíduos sólidos nos cursos d'água; conflito entre usuários de água.

Tabela 1 – Continuação

Bacia	Domínio	Municípios	Principais Atividades Econômicas	Principais Problemas na Bacia
Rio Novo	Estadual	Rio Novo do Sul e parte de Iconha, Itapemirim, Piúma e Vargem Alta.	Pecuária de leite e corte; agricultura, descaque para as culturas de banana e café; turismo; pesca; artesanato e industrial - beneficiamento de mármore, granito e calcário.	Assoreamento; Poluição dos recursos hídricos devido à disposição inadequada de resíduos sólidos e lançamento de efluentes sem tratamento; Desmatamento generalizado e nas Áreas de Preservação Permanente; Deterioração dos recursos hídricos devido à evolução desordenada da ocupação do solo, das atividades agrícolas, e da extração de mármore e granito; Conflitos entre usuários de água.
Itapemirim	Federal (ES, MG)	Alegre, Atílio Vivácqua, Castelo, Conceição do Castelo, Cachoeiro do Itapemirim, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire, Venda Nova do Imigrante, Ibitirama, e parte de Ibatiba, Itapemirim, Irupi, Iúna, Marataízes, Muqui, Presidente Kennedy e Vargem Alta.	Agropecuária; mineração de mármore e granito; e indústrias de açúcar e álcool.	Problemas de erosão agravados pelo intenso desmatamento; uso inadequado do solo; assoreamento; expansão urbana desordenada; poluição dos recursos hídricos causada pela disposição inadequada de resíduos sólidos e pelo lançamento de efluentes domésticos e aqueles advindos do beneficiamento de mármore e granito; conflito entre usuários de água.
Itabapoana (na região de estudo)	Federal (ES, MG, RJ)	Apiacá, Bom Jesus do Norte, Dores do Rio Preto, Divino de São Lourenço, Guaçuí, Mimoso do Sul, São José do Calçado e parte de Itapemirim, Marataízes, Muqui e Presidente Kennedy.	Agricultura (café, cana-de-açúcar, fruticultura), pecuária leiteira, extrativismo mineral, pesca e industrial.	Alteração da qualidade de água por lançamentos de efluentes e resíduos sólidos diretamente nos cursos d'água; destruição das matas ciliares de rios e nascentes; abastecimento de água; extração de areia sem planejamento.

Fonte: Adaptado de <<http://www.meioambiente.es.gov.br>>.

A Região Metropolitana da Grande Vitória, na qual se situa o município de Vitória, concentra mais de 40% da população do estado do Espírito Santo, além de grandes indústrias, como usinas de pelotização e siderúrgica.

No Sul do estado, além de indústrias de grande porte, estão previstos novos e expressivos empreendimentos industriais.

Além disso, o aumento de consumo de água para abastecimento populacional e de áreas de irrigação representam preocupação com relação ao suprimento de água, devido às perspectivas de desenvolvimento sócio-econômico.

Em diversos mananciais e pequenas bacias do Sul do estado, têm sido previstos problemas relacionados com disponibilidade de água para suprimento de demandas requeridas por novas indústrias, e pelo acréscimo populacional. Existe ainda, grande população flutuante em períodos de veraneio, especialmente nas regiões litorâneas. Em Guarapari, por exemplo, a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) visando garantir a normalidade do abastecimento de água no verão de 2010, aumentou a produção de água de 350 litros por segundo para 630 L/s para atendimento da população flutuante, que aumenta de aproximadamente 96 mil para 500 mil, no verão. Para isso, a CESAN, que usualmente abastece o município através de rios da própria bacia de Guarapari, necessitou colocar em operação o sistema complementar de captação de água do rio Benevente (CESAN, 2010a). Não bastasse esta situação, no carnaval deste mesmo ano ainda foi necessário um rodízio do abastecimento de água no município (CESAN, 2010b).

### **3.2 Coleta, análise, seleção e tratamento dos dados**

Os dados de vazão e chuva utilizados foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB – disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

#### *3.2.1 Dados Fluviométricos*

Num primeiro momento, foram considerados registros de todos os postos situados dentro da área de estudo. Destes, alguns não possuíam dados disponíveis e outros

apresentavam séries históricas muito curtas. Desta forma, foram descartados os postos com menos de 25 anos de registros.

Alguns postos tiveram séries históricas reunidas, pelo fato de apresentarem registros para períodos diferentes, em locais muito próximos. Estes foram os casos dos postos Valsugana Velha (57040005), Valsugana Velha Montante (57040008) e Valsugana Velha Jusante (57040010), que representaram a série unificada Valsugana Velha (SU - VV); Itaguaçu (56993000) e Itaguaçu Jusante (56993002), retratadas pela série Itaguaçu (SU - ITA); Afonso Cláudio (56991000) e Afonso Cláudio Montante (56990990), considerados como a série Afonso Cláudio (SU - AC).

Cuidados foram tomados a fim de selecionar estações que não estivessem sob a influência de reservatórios artificiais, razão pela qual não foram utilizados os dados da estação Santa Leopoldina (57130000), do rio Santa Maria da Vitória.

Algumas estações, como Ponte do Itabapoana (57830000) e Santa Cruz (57930000), não foram consideradas no estudo, pelo fato da maior parte de suas áreas de drenagem estarem fora dos limites do estado do Espírito Santo e por dificuldades de obtenção de informações cartográficas.

A partir do registro das estações restantes, elaborou-se um gráfico de barras para melhor visualizar os períodos de funcionamento e as falhas de dados para cada estação. A partir do gráfico, foi escolhido o período base para o estudo, que compreendeu os anos apresentando maior quantidade coincidente de dados para as estações: 1970 e 2008. Na tabela A.1 do Anexo A são apresentadas informações a respeito de todas as estações analisadas para a região de estudo.

Na tabela 2 encontra-se o diagrama de barras onde é possível visualizar as estações pré-selecionadas e o período base definido. Os anos que apresentavam registros com mais de 40% de falhas foram considerados como sem dados existentes.

Das 189 estações que constavam na listagem inicial, 148 foram descartadas por falha ou indisponibilidade de dados no HIDROWEB, enquanto outras 12 foram eliminadas por não atenderem aos requisitos citados anteriormente para o estudo. Desta forma, restaram para a regionalização 25 postos.





Na tabela 3 encontra-se a listagem dos postos fluviométricos selecionados e na figura 2 a distribuição espacial dos mesmos na região de estudo.

Tabela 3 - Listagem das estações fluviométricas selecionadas para o estudo

Nº	Código	Estação	Rio	Coordenadas (UTM)	
				Leste	Norte
1	SU-AC	Afonso Cláudio	Guandu	277826,06302	7778473,57663
2	56991500	Laranja da Terra	Guandu	284501,10526	7798057,29585
3	56992000	Baixo Guandu	Guandu	288573,91614	7840547,54535
4	SU-ITA	Itaguaçu	Santa Joana	305995,02092	7812091,37947
5	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Santa Joana	320199,64469	7838777,12029
6	SU-VV	Valsugana Velha	Timbuí	337496,08581	7792880,63378
7	57170000	Córrego Do Galo	Jucu - Braço Norte	327512,04318	7752587,36895
8	57230000	Fazenda Jucuruaba	Jucu	344986,86838	7741838,25416
9	57250000	Matilde	Benevente	311128,12371	7725809,19511
10	57300000	Pau D'alto	Novo	297489,91670	7689143,37008
11	57320000	Iconha - Montante	Iconha	309909,28776	7700672,05822
12	57350000	Usina Fortaleza	Braço Norte Esquerdo	248514,83251	7745522,71993
13	57360000	Iúna	Pardo	235542,94151	7747454,62179
14	57370000	Terra Corrida - Montante	Pardo	238808,11721	7738853,31876
15	57400000	Itaici	Braço Norte Esquerdo	238076,87896	7727986,41603
16	57420000	Ibitirama	Braço Norte Direito	222010,96871	7726369,02902
17	57450000	Rive	Itapemirim	243170,41365	7703849,62192
18	57490000	Castelo	Castelo	270709,44391	7719841,09460
19	57550000	Usina São Miguel	Castelo	273573,46731	7709203,45308
20	57555000	Coutinho	Itapemirim	273656,48945	7703024,75608
21	57580000	Usina Paineiras	Itapemirim	297207,68313	7681543,41218
22	57720000	Dores do Rio Preto	Preto	203459,96775	7709966,90205
23	57740000	Guaçuí	Veado	220757,72881	7700534,49428
24	57770000	São José do Calçado	Calçado	224312,48633	7671444,16402
25	57880000	Mimoso do Sul	Muqui do Sul	254480,93084	7668816,97385

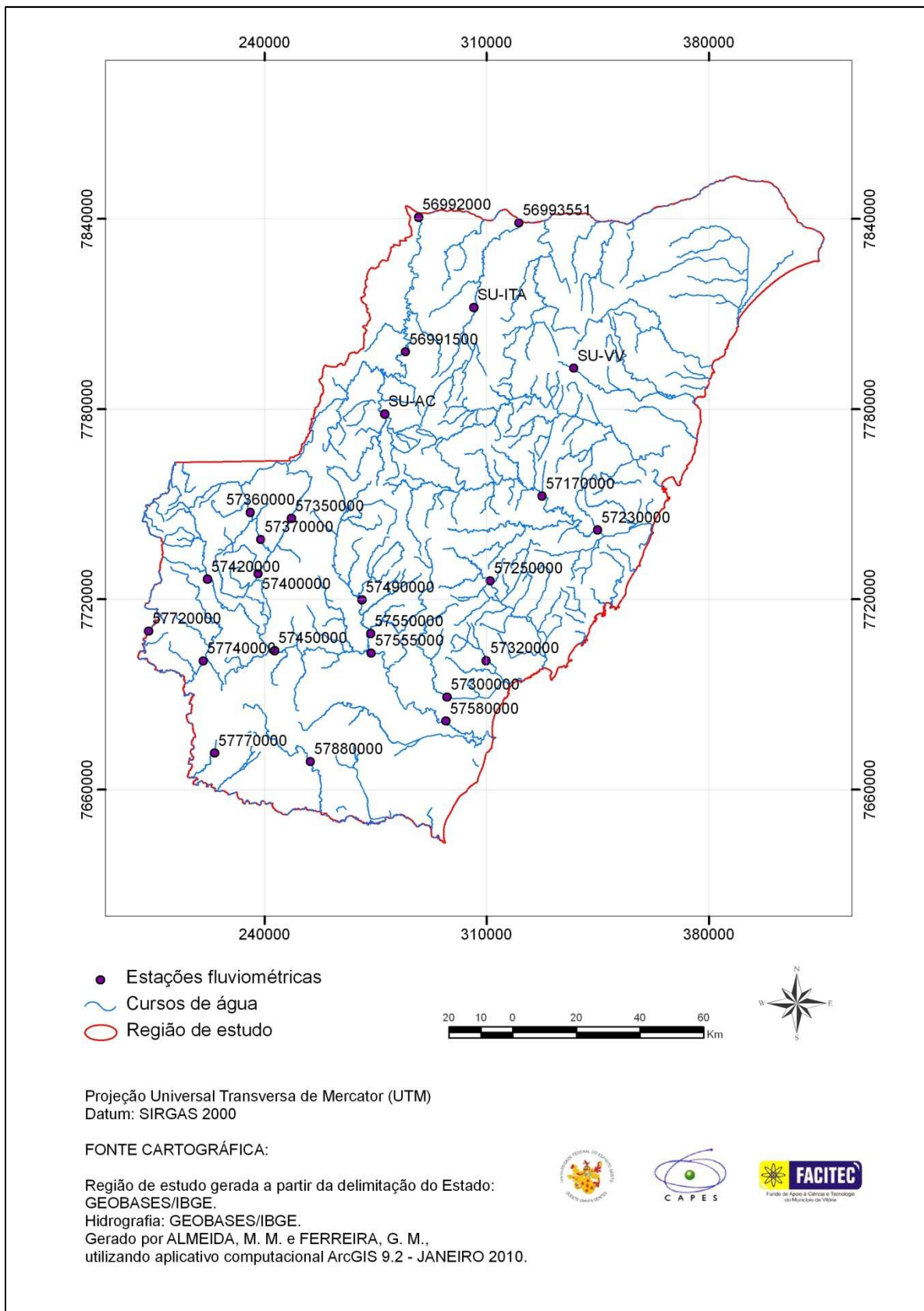


Figura 2 - Localização das estações fluviométricas selecionadas para o estudo

- Preenchimento de falhas

As estações fluviométricas utilizadas que careciam de dados completos ou que possuíam alguns dados considerados inconsistentes, tiveram suas falhas preenchidas. Os anos que apresentavam registros com mais de 40% de falhas foram considerados como sem dados existentes.

Para proceder ao preenchimento das falhas dos dados fluviométricos, utilizou-se o método de regressão linear simples, largamente utilizado por diversos autores, como Baena (2002), Barbosa (2002), Elesbon (2004), Azevedo (2004), Lemos (2006) e Araújo (2008).

As correlações foram testadas, a princípio, para as estações que se localizavam em um mesmo curso d'água e para postos próximos que, preferencialmente, se encontravam em uma mesma bacia hidrográfica. Quando estes critérios não eram suficientes, as correlações foram estudadas a partir da análise de semelhança hidrológica entre os postos envolvidos, adotando como critérios de aceitação para as equações obtidas, valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,80 e ocorrência de pelo menos 20 pares de eventos para as estações, na realização da regressão.

A regressão linear simples utilizada pode ser descrita conforme a equação 3.

$$Y = b_0 + b_1 X_1 \quad (3)$$

Em que:  $Y$  é a vazão do posto com falha;  $X_1$ , a vazão do posto com dados; e  $b_0$ ,  $b_1$ , os parâmetros ajustados na regressão.

### 3.2.2 Dados Pluviométricos

Inicialmente, foram selecionadas 129 estações. Porém, foi verificado que parte destas não apresentou dados cadastrados no HIDROWEB. Foram eliminados, ainda, os postos que apresentaram muitas falhas, inviabilizando a sua utilização. A lista de todos os postos encontrados está na tabela B.1 no Anexo B. As 69 estações pluviométricas selecionadas para utilização estão listadas na tabela 4, e a distribuição espacial destas estações encontra-se na figura 3.

Importante salientar que foram incluídas estações situadas fora dos limites do estado do Espírito Santo, em Minas Gerais e Rio de Janeiro, visando, dessa forma,

aumentar a precisão nas estimativas das precipitações médias nas áreas de drenagem dos postos pluviométricos considerados no estudo.

Tabela 4 – Listagem das estações pluviométricas selecionadas para o estudo

Nº	Código	Estação	Município	UF	Altitude (m)	Coordenadas (UTM)	
						Leste	Norte
1	01939002	Povoação	Linhares	ES	3	412843,3	7841737,2
2	01940000	Itarama	Itarana	ES	165	302992,1	7802119,4
3	01940001	São João de Petrópolis	Santa Teresa	ES	149	322457,6	7807861,3
4	01940002	Santa Cruz - Litoral	Aracruz	ES	5	379357,2	7793583,1
5	01940003	Riacho	Aracruz	ES	5	389859,1	7815787,4
6	01940005	Cavalinho	Ibiraçu	ES	50	352525,9	7821051,2
7	01940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	Colatina	ES	40	329258,0	7839293,4
8	01940007	Fundão	Fundão	ES	50	352741,0	7795225,1
9	01940009	Pancas	Pancas	ES	135	304042,6	7868559,1
10	01940010	Valsugana Velha - Montante	Santa Teresa	ES	180	338602,4	7789566,0
11	01940012	Itaimbé	Itaguaçu	ES	70	315165,2	7826238,1
12	01940013	Novo Brasil	Colatina	ES	170	330709,2	7874360,8
13	01940016	Barra de São Gabriel	São Gabriel da Palha	ES	70	337640,5	7896561,3
14	01940020	Caldeirão	Santa Teresa	ES	690	315511,5	7793028,7
15	01940021	Aracruz	Aracruz	ES	58	365057,5	7808237,3
16	01940022	Jacupemba	Aracruz	ES	50	373748,8	7834126,9
17	01940023	Rio Bananal	Linhares	ES	95	361051,7	7867237,6
18	01940025	Serraria (Alto do Moacir)	Colatina	ES	80	348448,9	7883740,0
19	01941000	Ipanema	Ipanema	MG	260	214088,8	7808288,0
20	01941003	Baixo Guandu	Baixo Guandu	ES	70	288326,7	7838857,8
21	01941004	Resplendor - Jusante	Resplendor	MG	130	263112,0	7862536,6
22	01941006	Assarai - Montante	Pocrane	MG	172	242159,7	7832716,8
23	01941008	Laranja da Terra	Afonso Cláudio	ES	250	285260,2	7798221,5
24	01941009	Ibituba	Baixo Guandu	ES	160	288523,0	7822251,7
25	01941010	São Sebastião da Encruzilhada	Aimorés	MG	115	270446,7	7846020,6
26	01941012	Alto Rio Novo	Pancas	ES	600	285963,1	7888654,6
27	02040001	Fazenda Jucuruaba	Viana	ES	80	337280,1	7741582,2
28	02040003	Fazenda Fonte Limpa (DNOS)	Serra	ES	70	363613,4	7765795,5
29	02040004	Guarapari (DNOS)	Guarapari	ES	6	342857,8	7712112,7
30	02040005	Iconha - Montante	Iconha	ES	25	311227,7	7698870,9
31	02040006	Usina Paineiras	Itapemirim	ES	40	293814,6	7680209,6
32	02040007	Santa Maria de Jetibá	Santa Leopoldina	ES	710	315667,0	7778268,6
33	02040008	Garrafão (DNOS)	Santa Leopoldina	ES	940	305095,6	7772617,6

Tabela 4 - Continuação

Nº	Código	Estação	Município	UF	Altitude (m)	Coordenadas (UTM)	
						Leste	Norte
34	02040009	Anchieta (DNOS)	Anchieta	ES	6	328867,3	7699059,9
35	02040010	Santa Leopoldina	Santa Leopoldina	ES	160	338721,6	7776652,0
36	02040011	Matilde (DNOS)	Alfredo Chaves	ES	515	307447,2	7720973,4
37	02040012	Marechal Floriano (DNOS)	Domingos Martins	ES	544	330188,7	7743358,5
38	02040013	Rio Novo do Sul	Rio Novo Sul	ES	80	297204,4	7691325,0
39	02040014	Duas Bocas (DNOS)	Cariacica	ES	200	345972,8	7758267,7
40	02040015	Perobinha (DNOS)	Domingos Martins	ES	640	315902,1	7756128,1
41	02040017	Duas Barras (DNOS)	Iconha	ES	-	302343,3	7704305,2
42	02040018	Cachoeira Suíça (DNOS)	Santa Leopoldina	ES	-	328035,7	7782085,1
43	02040020	Vila Nova Maravilha	Alfredo Chaves	ES	100	296799,7	7722233,5
44	02040022	Ponta da Fruta	Vila Velha	ES	3	356823,3	7730686,8
45	02040023	São Rafael	Domingos Martins	ES	804	298014,8	7754481,2
46	02041000	Atílio Vivacqua	Atílio Vivacqua	ES	76	272562,7	7685470,4
47	02041001	Guaçuí	Guaçuí	ES	576	219419,2	7699433,7
48	02041002	Castelo	Castelo	ES	107	270321,5	7720511,3
49	02041003	Rive	Alegre	ES	127	240512,7	7705311,6
50	02041005	Caiana	Caiana	MG	747	194539,6	7708234,2
51	02041008	Dores Manhumirim	Manhuaçu	MG	458	211113,9	7773156,6
52	02041010	Jaciguá (DNOS)	Cachoeiro do Itapemirim	ES	580	289891,4	7709691,3
53	02041011	Conceição do Castelo (DNOS)	Conceição do Castelo	ES	600	264640,3	7748121,3
54	02041013	Iúna	Iúna	ES	615	234555,0	7747683,0
55	02041014	Dores do Rio Preto	Dores do Rio Preto	ES	772	203460,0	7709966,9
56	02041015	Fazenda Monte Alegre	Muqui	ES	600	254986,6	7681529,4
57	02041016	Ibitirama	Alegre	ES	794	220727,3	7727152,9
58	02041017	Santa Cruz - Caparaó	Iúna	ES	920	216794,7	7751092,4
59	02041018	Usina Fortaleza	Muniz Freire	ES	580	248713,4	7747895,8
60	02041019	Itaici	Muniz Freire	ES	380	236637,7	7727406,5
61	02041020	Aracê (DNOS)	Domingos Martins	ES	1075	291227,1	7744773,9
62	02041021	Burarama	Cachoeiro do Itapemirim	ES	180	243334,7	7701647,1
63	02041023	Afonso Cláudio - Montante	Afonso Cláudio	ES	300	278395,5	7779680,3
64	02041046	Varre - Sai	Natividade	RJ	650	203533,4	7682820,4
65	02140000	Barra do Itapemirim	Itapemirim	ES	4	309737,3	7674862,8
66	02141014	Ponte de Itabapoana	Mimoso do Sul	ES	59	244837,3	7653682,8
67	02141015	Mimoso do Sul	Mimoso do Sul	ES	67	253415,8	7668583,2
68	02141016	São José do Calçado	São José do Calçado	ES	150	223377,7	7673648,0
69	02141017	São José das Torres	Mimoso do Sul	ES	120	267506,2	7668787,0

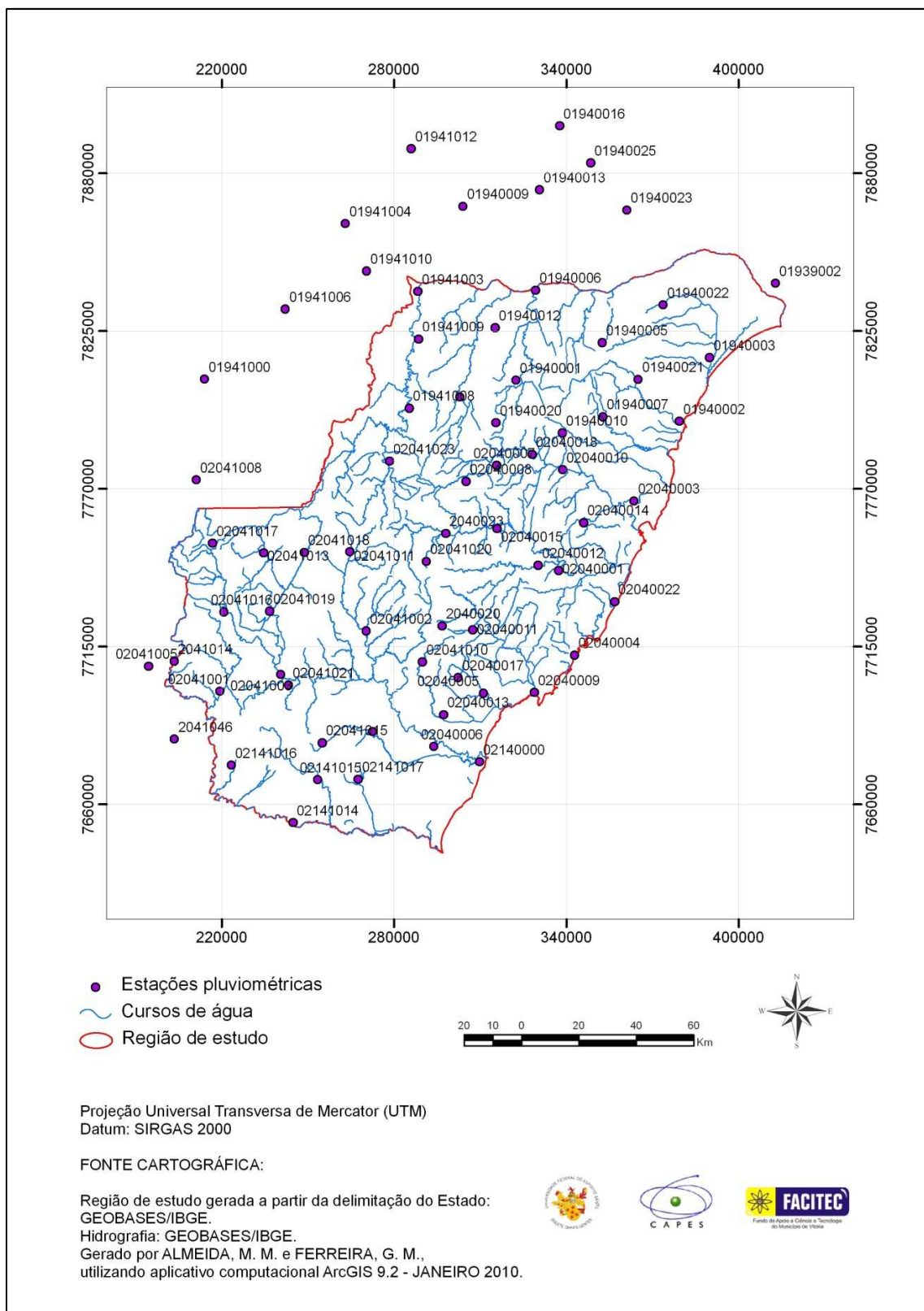


Figura 3 - Localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo

Buscando melhor visualização das séries históricas das estações pluviométricas e das falhas existentes no período do estudo, elaborou-se um diagrama de barras, apresentado na tabela 5.







- Preenchimento de falhas

Para os postos utilizados, foram eliminados os anos que apresentaram mais de 40% de registros sem informação. As séries anuais que possuíam menos de 40% de falhas foram preenchidas por proporção linear, considerando postos vizinhos.

Este método, segundo Tucci (2002) é empregado para dados mensais e anuais de precipitação, sendo que deve-se buscar utilizar os postos vizinhos que se encontram em regiões climatológicas semelhantes as dos postos cujos registros necessitam de preenchimento.

Observando-se a localização dos postos, as características físicas como as altitudes, e as características climáticas, procurou-se aplicar a equação 4. Nesta estação, Y apresenta dados com falhas e três postos vizinhos atendem aos requisitos mínimos para o preenchimento mensal. A quantidade de termos na equação varia de acordo com o número de estações utilizadas no preenchimento.

$$Y = \frac{1}{3} \left[ \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] y_m \quad (4)$$

Onde: Y é a precipitação do posto no intervalo de tempo com falha;  $x_1, x_2, x_3$  são as precipitações dos postos vizinhos no mesmo intervalo de tempo;  $x_{m1}, x_{m2}, x_{m3}$  são as precipitações médias dos postos vizinhos;  $y_m$  é a precipitação média do posto que será preenchido.

### 3.3 Obtenção da vazão média de longo período

Tendo sido selecionadas as estações fluviométricas a serem utilizadas no estudo e realizados os preenchimentos das séries dos dados, foram calculadas as vazões médias de longo período para cada posto, de acordo com a equação 1.

### 3.4 Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para geração dos Modelos Digitais de Elevação

#### 3.4.1 Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado neste estudo foi disponibilizado pelo IEMA, na escala de 1:25.000 e em resolução de 5 metros, para todo o estado do

Espírito Santo. Segundo informações do IEMA, este MDE foi baseado em um Ortofotomosaico na escala de 1:15.000 e resolução espacial de 1 metro, a partir de um levantamento Aerofotogramétrico na escala de 1:35.000, realizado em junho de 2007, sobre a região Sul, e em maio/junho de 2008, para a região Norte do estado (figura 4).

Para fins de verificação da consistência do MDE obtido, foi elaborado um modelo sombreado para comparação com as cartas topográficas digitalizadas do Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE), parte em escala 1:100.000 e a restante em 1:50.000, disponibilizadas pelo Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES). Cabe observar que esta verificação contribuiu, mas não foi perfeita, devido à diferença existente entre as escalas das cartas do GEOBASES e do MDE obtido do IEMA. Ressalta-se que a resolução do MDE obtido permite detalhar melhor a região de estudo, tendo em vista que as cartas comumente utilizadas apresentam escalas bem menores.

As análises do MDE do IEMA e demais procedimentos de SIG para obtenção das características físicas da área de estudo foram feitas através do aplicativo computacional ArcGis versão 9.2.

#### *3.4.2 Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)*

Primeiramente, procedeu-se à eliminação das depressões espúrias existentes, decorrentes do processo de elaboração do MDE. Estas depressões são identificadas como células que estão cercadas por outras com maiores valores de elevação, apresentando, assim, alguma inconsistência. Para isso, utilizou-se o comando *Fill*, da extensão *Spatial Analyst* do ArcGis.

Entretanto, mesmo com o uso deste algoritmo, outras depressões podem ser geradas. Observou-se, assim, que este procedimento não foi suficiente para a validação do MDE e para que o mesmo fosse considerado hidrologicamente consistente.

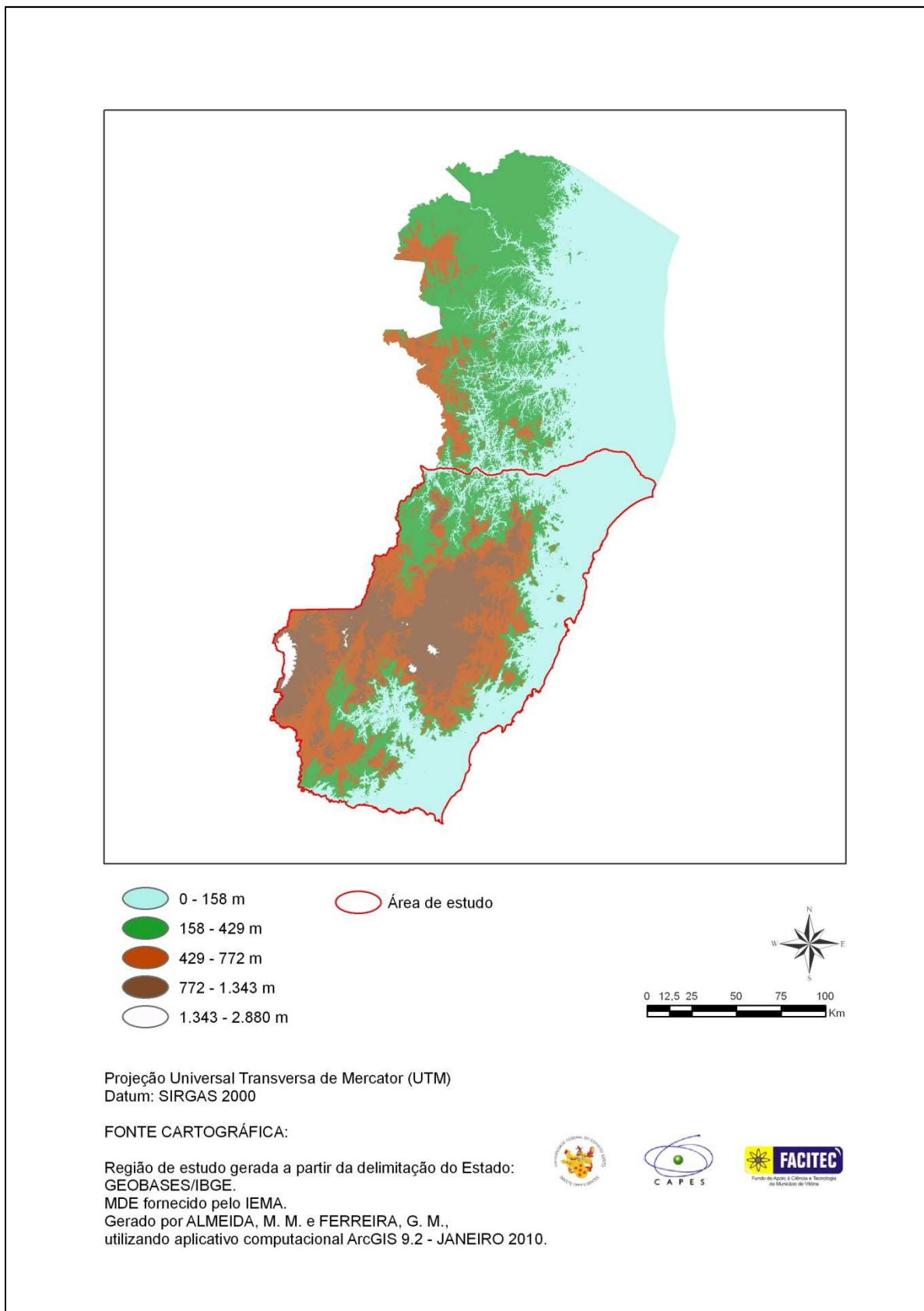


Figura 4 - Modelo Digital de Elevação fornecido pelo IEMA

Como o MDEHC deve reproduzir com fidelidade o trajeto do escoamento superficial, foram geradas as direções de fluxo e fluxos acumulados, através dos algoritmos *FlowDirection* e *FlowAccumulation*, respectivamente, com a finalidade de comparar a hidrografia obtida pelo MDE do IEMA com a rede de drenagem digitalizada do IBGE, com parte em escala 1:100.000 e a restante em 1:50.000, fornecida pelo GEOBASES. A coincidência espacial entre essas duas feições é um parâmetro indicativo da consistência do modelo, ao menos no que diz respeito à representação espacial da drenagem. Compete salientar, mais uma vez, que as escalas dos mapas utilizados para comparação não foram ideais, tendo em vista que foram menores que a correspondente ao MDEHC gerado. Contudo, como não havia outra base em escala maior para comparação, as mesmas foram utilizadas para uma análise geral e verificação de possíveis erros.

Outra forma de verificação adotada foi a delimitação de bacias hidrográficas em pontos aleatórios e das próprias estações fluviométricas. Neste caso, foi realizada comparação dos valores de área obtidos com aqueles fornecidos pela ANA e investigada a existência de possíveis erros, como cortes na hidrografia, localização errada de divisores e traçados inconsistentes. O traçado das bacias foi possível através da extensão *Hydrology Tools* do ArcGis.

Foram constatados problemas no traçado da hidrografia e de bacias de drenagem em algumas regiões, especialmente nas proximidades das estações Fazenda Jucuruaba (57230000) e Usina Paineiras (57580000). A correção por meio de edição nestas regiões se tornou inviável devido à grande quantidade de dados envolvidos e à possibilidade de geração de erros. Buscando uma alternativa para solucionar estes problemas, considerando a possibilidade de que os mesmos poderiam ter sido causados por inconsistências advindas dos dados que originaram o MDE do IEMA, optou-se por gerar novo MDE, partindo dos dados das cartas fornecidas pelo GEOBASES.

#### 3.4.3 Obtenção do MDE e MDEHC para as cartas digitalizadas do GEOBASES

Para geração do MDE, neste caso, foram utilizadas cartas topográficas do IBGE nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. A obtenção do MDE foi realizada por interpolação através do modelo TIN (*Triangulated Irregular Network*), que forma uma rede

irregular de triângulos, se aproximando do terreno por meio de poliedros de faces triangulares com dimensões variáveis irregulares. O modelo TIN destaca-se do modelo GRID (grelha de pontos espaçados uniformemente) por ser mais rigoroso na representação do terreno (SEQUEIRA, 2006). A ferramenta TIN encontra-se disponível na extensão *3D Analyst Tools* do ArcGis.

Com o MDE gerado, foram feitos os mesmos procedimentos descritos no item 3.4.2, para obtenção do MDEHC.

Observou-se que os problemas encontrados nas regiões de Fazenda Jucuruaba e Usina Paineiras persistiram, optando-se desta forma, pela exclusão destas estações da análise, considerando-se que a representação das características das mesmas no MDE não se mostrou adequada.

### **3.5 Obtenção das características físicas das bacias hidrográficas**

As características físicas escolhidas para inclusão no processo de regionalização foram: área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade entre a nascente e a foz do rio principal, declividade média da bacia e densidade de drenagem.

A extração das características foi feita através de recursos existentes no ArcGis, a partir dos MDEHC gerados. Para auxiliar nos cálculos e na determinação das características, foi utilizado um aplicativo para o ArcGis, *XTools Pro 4.2.0*.

- Áreas de drenagem (A)

Para a determinação das áreas de drenagem utilizou-se a extensão do ArcGis *Hydrology Tools* a partir da configuração de suas propriedades pelas direções de fluxo e fluxo acumulado da região de estudo, obtidos anteriormente. Esta configuração permitiu a ativação do comando *Watershed*, que delimita a bacia partindo da definição do ponto de exutório da mesma. Cada ponto de exutório foi considerado como a localização da estação fluviométrica analisada. As imagens geradas pelo comando foram convertidas para as feições de um polígono, através da extensão do ArcGis *Spatial Analyst* e do comando *Convert Raster to Features*. A partir do polígono de delimitação das bacias, foi utilizado o *XTools Pro* para cálculo dos valores das áreas.

- Comprimentos dos rios principais (L)

O comprimento do rio principal foi obtido de forma semi-automática.

A partir das direções de fluxo e dos fluxos acumulados, buscou-se determinar visualmente os rios que drenavam a maior área da bacia, tendo sido selecionados manualmente os trechos que compunham o rio principal. Os trechos selecionados foram exportados para que se pudesse trabalhar daí por diante apenas com os dados do rio principal. Com o auxílio do XTools Pro, foram obtidos automaticamente os comprimentos dos trechos dos rios, calculando-se as somatórias dos valores dos trechos, para obtenção dos valores finais.

- Declividades entre a nascente e a foz dos rios principais ( $S_L$ )

As declividades entre a nascente e a foz dos rios principais foram obtidas a partir dos valores das cotas dos pontos de nascente e exutório das bacias. As razões entre as diferenças de cotas dos pontos pelos comprimentos totais dos rios principais forneceram as estimativas utilizadas neste estudo (FERREIRA et al., 2007; PAZ et al., 2008).

No ArcGis, foram gerados os pontos inicial e final do rio, pelo comando *Feature Vertices to Points* disponível em *Data Management Tools* no *ArcToolbox*. As cotas dos pontos foram obtidas com o uso da imagem do MDEHC através do algoritmo *Interpolate Shape* na extensão *3D Analyst Tools*.

- Declividades médias das bacias ( $S_m$ )

As declividades médias das bacias foram determinadas pela média aritmética das declividades de todas as células no interior de cada área de drenagem (BAENA, 2002; AZEVEDO, 2004; LEMOS, 2006).

Através do comando *Slope*, disponível na extensão *Surface Analysis* no *Spatial Analyst*, foram obtidas as declividades, em porcentagem, para toda a região de estudo. Para determinação das declividades médias das bacias foi utilizado o algoritmo *Zonal Statistics as Table* também no *Spatial Analyst*. As zonas de aplicação do comando foram definidas como as bacias de interesse. As declividades foram extraídas da coluna *Mean* da tabela gerada pelo programa.

- Densidades de drenagem (Dd)

Para determinação das densidades de drenagem utilizaram-se as hidrografias das bacias definidas anteriormente, de acordo com as ordens dos cursos d'água, sendo calculadas as somas de todos os trechos das redes de drenagem mapeadas pelo programa. Com os valores dos comprimentos de todos os rios das bacias e das áreas de drenagem, aplicou-se a equação 2 para obtenção das densidades de drenagem. O XTools Pro foi utilizado para obtenção dos valores dos comprimentos de cada trecho.

A tabela 6 apresenta o resumo da metodologia utilizada para extração das características físicas das bacias estudadas.

Tabela 6 – Resumo da metodologia para extração das características físicas

<b>Característica Física</b>	<b>Recurso Utilizado no ArcGis</b>	<b>Forma de Obtenção</b>
Área de drenagem	Extensões: <i>Hydrology Tools</i> – definição da bacia específica com uso do <i>Watershed</i> ; conversão da imagem gerada com <i>Spatial Analyst – Convert Raster to Features</i> .	A partir do ponto de localização das estações fluviométricas.
Comprimento do rio principal	Utilização das direções de fluxo e fluxos acumulados.	Seleção dos trechos dos rios que drenam a maior área da bacia em questão.
Declividade entre a nascente e a foz do rio principal	Definição dos pontos, com uso do <i>Data Management Tools – Feature Vertices to Points</i> ; obtenção das cotas dos pontos, pelo <i>Interpolate Shape</i> na extensão <i>3D Analyst Tools</i> .	Razão da diferença das cotas dos pontos inicial e final do rio considerado, pelo comprimento total do mesmo.
Declividade média da bacia	Extensão <i>Spatial Analyst</i> , através do comando <i>Slope</i> dentro dos limites da bacia; valor de declividade da bacia considerada definido por <i>Zonal Statistics as Table</i> .	Média aritmética das declividades de todas as células no interior de cada área de drenagem.
Densidade de drenagem	Utilização da hidrografia gerada de acordo com as ordens do curso d'água dentro dos limites da bacia considerada.	Soma de todos os comprimentos dos cursos de água de cada bacia para inserir na equação 2.

### 3.6 Obtenção das características climáticas das bacias hidrográficas

A variável climática escolhida para utilização foi a precipitação média anual.

Com a obtenção das séries dos dados de precipitação pluviométrica, realizou-se a determinação dos totais anuais para as diversas estações. A partir da localização



das estações e das precipitações correspondentes, traçou-se um mapa de isoietas visando a determinação das precipitações médias nas áreas de drenagem das estações consideradas.

As isoietas foram traçadas com o auxílio do aplicativo computacional Surfer 8.0, pelo método de interpolação da Krigagem Ordinária. O método não considera a existência de tendência nos dados, e é comumente utilizado para interpolação de dados de precipitação (ATKINSON; LLOYD, 1998; COSER, 2003; ELESBON, 2004; SOTÉRIO et al., 2005; EARLS; DIXON, 2007).

No Surfer, o comando *Data* na janela de opções *Grid* foi utilizado, a partir de uma planilha em Excel com informações relativas às localizações e concernentes às precipitações das estações pluviométricas, para geração das isoietas, pelo método da Krigagem Ordinária. A partir destes dados, foi gerada uma imagem que fornecia as precipitações para toda a área de estudo. Extraía-se as bacias de interesse pelo algoritmo *Blank*, sendo o volume de chuva obtido automaticamente por meio do comando *Volume*, disponível no programa. Para visualização das imagens obtidas, foram utilizados, dentro do menu *Map: Contour Map*, para identificação de isolinhas; *Image Map*, para visualização de imagens geradas pela interpolação; e *Post Map*, para identificação da localização das estações. Como os mapas foram gerados separadamente, fez-se necessário uni-los através do comando *Overlay Maps*.

Com a superfície representativa das alturas de chuva, as precipitações médias das bacias de drenagem puderam ser obtidas determinando-se os volumes de chuva das áreas em questão e dividindo-os pelas respectivas áreas de drenagem (COSER, 2003; ELESBON, 2004).

### **3.7 Regionalização das vazões médias de longo período**

Para a regionalização de vazões médias, foram escolhidos três métodos para análise, comparação e aplicação aos dados da área de estudo.

Dentre os métodos empregados, o de Eletrobrás (1985a) utiliza equações de regressão regionais, tendo sido aplicado em diferentes bacias hidrográficas (ELETROBRÁS, 1985a; CHAVES et al., 2002; ELESBON et al., 2002; COSER, 2003).

Foram utilizados, ainda, métodos de espacialização, interpolação linear e Chaves et al. (2002) que requerem menor número de informações e consideram, como condição prévia para aplicação, que as seções para determinação da vazão sejam homogêneas, não sendo necessárias análises para esta definição.

A partir dos resultados da aplicação dessas metodologias, foram realizadas comparações com modelos apresentados por Elesbon et al. (2002), Euclides et al. (2007a) e Andrezza et al. (2009). Ressalta-se que estes modelos foram obtidos a partir da utilização de séries históricas com período base diferente deste trabalho, da retirada de estações consideradas no presente estudo e da inclusão de outras não consideradas. Deste modo, mesmo que a comparação realizada não tenha sido minuciosa, foi importante para analisar se a consideração de registros mais atuais e de diferentes variáveis explicativas implicariam em melhorias na regionalização.

### 3.7.1 Método da Eletrobrás (1985a)

Segundo o procedimento descrito por Eletrobrás (1985a), inicialmente buscou-se determinar, para todas as estações da região de estudo, a melhor equação de regressão da vazão estudada, considerando as características físicas e climáticas das bacias escolhidas.

Foram realizadas regressões simples ( $n = 1$  nas equações 5 e 6) e múltiplas ( $n > 1$ ) e testados os modelos linear (equação 5) e potencial (equação 6). Para a solução do modelo potencial, o mesmo foi linearizado através da aplicação do operador logarítmico à equação 6.

$$Q = b_0 + b_1V_1 + \dots + b_nV_n \quad (5)$$

$$Q = b_0 V_1^{b_1} \dots V_n^{b_n} \quad (6)$$

Sendo:  $Q$  a vazão que se quer determinar;  $V_1$  e  $V_n$  as variáveis explicativas consideradas;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_n$  coeficientes.

Foram realizadas verificações estatísticas dos graus de associação entre as vazões estudadas (variável dependente) e as variáveis explicativas (variáveis independentes) das regressões, por meio dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ), testes de significância da função F e erros padrão das estimativas (S).

Para o modelo potencial, como os erros padrão referem-se aos logaritmos das variáveis dependentes, utilizaram-se os erros padrão fatoriais (equação 7), como sugere Eletrobrás (1985a).

$$\sigma_f = e^S \quad (7)$$

Onde: S é o erro padrão dos logaritmos da variável dependente considerada.

Foram realizadas, ainda, análises complementares das equações de regressão, através de cálculos dos resíduos padronizados (equação 9) das vazões estimadas, dos erros percentuais (equação 8) e dos erros médios (equação 11). As contribuições das variáveis explicativas foram avaliadas pelo teste t.

$$\%dr = 100 \times \left( \frac{dpi}{Q_o} \right) \quad (8)$$

$$r.p. = \frac{dpi}{S} \quad (9)$$

$$dpi = Q_o - Q_{est} \quad (10)$$

$$EM = |\overline{dpi}| \quad (11)$$

Sendo:  $Q_o$ , a vazão observada;  $Q_{est}$ , a vazão estimada;  $dpi$ , o resíduo; e  $\overline{dpi}$ , a média dos resíduos da região considerada.

Para a escolha das equações a serem analisadas mais detalhadamente, foram adotados os valores referenciais apresentados na última coluna da tabela 7. A tabela apresenta, ainda, valores adotados em estudos anteriores.

Tabela 7 - Valores referenciais para escolha de modelos de regressão

<b>Análise</b>	<b>Baena (2002)</b>	<b>Coser (2003)</b>	<b>Elesbon (2004)</b>	<b>Lemos (2006)</b>	<b>Euclides et al. (2007b)</b>	<b>Adotado</b>
$R^2_a$	>0,70	>0,70	>0,80	>0,70	>0,80	>0,80
Teste F	Valores significativos	Valores significativos	Valores significativos	Valores significativos	Valores significativos	Valores significativos
$\sigma_f$	Menores valores.	<1,5	Menores valores.	Menores valores.	-	<1,5
r.p.	Entre -1,5 e +1,5	Entre -1,5 e +1,5	Entre -1,5 e +1,5	Entre -1,5 e +1,5	Entre -1,5 e +1,5	Entre -1,5 e +1,5
Módulo de %dr	Menores valores.	<30%	<30%	Menores valores.	<15%	<30%
EM	-	-	-	-	-	Menores valores.
Teste t	-	Não específica valores.	-	-	<0,05	<0,05

Buscou-se incluir menor número de variáveis independentes, para redução do custo e do tempo de obtenção desses valores no processo de predição, de acordo com o que propõe Eletrobrás (1985a).

Os modelos obtidos pelo método de Eletrobrás (1985a) foram limitados pelo grau de liberdade, seguindo as recomendações de Naghettini e Pinto (2007), de que o número de observações disponíveis para a análise de regressão deve ser no mínimo 3 a 4 vezes maior que o número de variáveis independentes da equação de regressão que serão estimados. De acordo com os autores, esta regra procura evitar um falso ajuste causado pelas oscilações que podem ocorrer nas variáveis independentes e que são de difícil detecção em amostragens muito pequenas.

A partir da escolha dos melhores modelos, partiu-se para o cálculo das diferenças entre as vazões estimadas e as observadas para cada posto (resíduos), sendo definida, de acordo com a tabela 8, a classe de resíduos a que cada posto pertencia.

Tabela 8 – Classes de resíduos, de acordo com a variação dos valores de dpi

<b>Classe</b>	<b>Variação dos valores de dpi</b>
1	$dpi \leq \frac{Q_e}{2\sigma_f}$
2	$\frac{Q_e}{2\sigma_f} \leq dpi \leq \frac{Q_e}{\sigma_f}$
3	$\frac{Q_e}{\sigma_f} \leq dpi \leq Q_e\sigma_f$
4	$Q_e\sigma_f \leq dpi \leq 2\sigma_f Q_e$
5	$dpi \geq 2\sigma_f Q_e$

Além disso, foram obtidas curvas de frequência adimensionais das vazões médias para cada estação, plotadas em papel de probabilidade, nas distribuições Normal e Lognormal. A adimensionalização foi feita obtendo-se séries transformadas de vazões, por meio da divisão dos seus valores pelas respectivas médias. As melhores distribuições de probabilidade foram definidas a partir da análise dos valores de R<sup>2</sup>, considerando-se como aceitáveis os coeficientes de determinação

com valores superiores a 0,80. Em seguida, foram analisados os coeficientes angulares das curvas e as proximidades de valores obtidos.

O critério utilizado se baseia no princípio de que as distribuições de frequência das vazões médias das estações localizadas em uma região hidrologicamente homogênea seguem uma mesma tendência, sendo proporcionais às médias das séries de vazões consideradas.

Considerando-se, inicialmente, apenas uma região homogênea e, portanto, todas as estações fazendo parte de uma mesma região, foi obtida a média geral dos coeficientes angulares (b) das curvas adimensionais e realizada uma análise da proximidade dos valores, através de análise visual dos gráficos obtidos e de definição de diferentes intervalos limites, de 20, 25 e 30% em relação à média de b calculada. Desta maneira, de acordo com procedimento adotado por Coser (2003), buscou-se desenvolver uma análise mais objetiva do que a meramente visual sugerida pela Eletrobrás (1985a).

A análise conjunta das classes de resíduos e das curvas de frequência adimensionalizadas pelo método de Eletrobrás (1985a) conduziram à escolha das regiões homogêneas.

A divisão da área de estudo em regiões homogêneas considerou, ainda, a divisão natural das bacias hidrográficas, a distribuição geográfica das estações e características físicas e climáticas.

Quando procedeu-se as retiradas de estações, procurou-se observar se os coeficientes de determinação aumentavam e se os erros padrão fatoriais das estimativas da regressão diminuía, condições básicas, de acordo com Eletrobrás (1985a), para a indicação de que a subdivisão das regiões melhorou as estimativas. Além disso, foram feitas análises complementares para escolha de modelos de regressão.

As equações para regionalização foram obtidas com base nos resultados da aplicação de técnicas de regressão simples ou múltipla, quando da obtenção das regiões homogêneas.

Para a manipulação dos dados, obtenção das curvas de frequência adimensionais, regressões e cálculos estatísticos, foi utilizado o aplicativo computacional Minitab versão 13.20.

Para fins de comparação entre os modelos obtidos, foram feitos gráficos dos módulos dos desvios percentuais, dos valores das vazões observadas e estimadas, dentre outros, com o auxílio do programa Excel.

### 3.7.2 Método da interpolação linear (ou vazão específica)

Pelo método da interpolação linear, são consideradas quatro situações distintas para determinação da vazão, dependendo da posição da seção de interesse, em relação aos postos fluviométricos existentes. Desta forma, estando o ponto de interesse a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2), a vazão que se desejava determinar foi estimada pela equação 12.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) A_z \quad (12)$$

Onde:  $Q_z$ , é a vazão na seção de interesse,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;  $Q_{m,j}$ , a vazão no posto de montante ou de jusante,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;  $A_{m,j}$ , a área de drenagem do posto de montante ou de jusante,  $\text{km}^2$ ;  $A_z$ , a área de drenagem da seção de interesse,  $\text{km}^2$ .

Quando a seção de interesse estava situada em um trecho de rio entre duas estações fluviométricas (caso 3), a vazão a ser determinada foi calculada pela equação 13.

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (13)$$

Em que:  $Q_m$ , é a vazão no posto de montante,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;  $Q_j$ , a vazão no posto de jusante,  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;  $A_m$ , a área de drenagem do posto de montante,  $\text{km}^2$ ;  $A_j$ , a área de drenagem do posto de jusante,  $\text{km}^2$ .

A quarta situação (caso 4) ocorre quando o ponto de interesse está localizado em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior. Neste caso, aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão na seção de confluência (equação 13). Em seguida, utilizou-se a equação 12 para estimativa da vazão no ponto de interesse.

De acordo com Eletrobrás (1985b), as áreas de drenagem nos postos utilizados e nos locais nos quais se deseja determinar a vazão, não devem ser excessivamente

diferentes, sendo recomendada a utilização do método quando a maior área de drenagem for até 3 vezes superior a outra.

Escolheu-se a bacia hidrográfica do rio Itapemirim para este estudo, uma vez que o método é aplicável a estações de uma mesma bacia e por abranger maior quantidade de estações fluviométricas. Para cada estação existente na bacia, verificou-se o caso de enquadramento para aplicação das equações adequadas.

### 3.7.3 Método proposto por Chaves et al. (2002)

Este método também considera quatro situações distintas para interpolação e extrapolação de vazões mínimas em diferentes situações da bacia, dependendo da posição relativa do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos. As variáveis independentes utilizadas no cálculo foram: área de drenagem, e distâncias entre as seções a serem analisadas.

Quando o ponto de interesse estava localizado a montante (caso 1) ou a jusante (caso 2) de um ponto com vazão conhecida, a metodologia utilizada foi a mesma da interpolação linear, tendo sido a vazão de interesse calculada pela equação 12. Quando as seções de interesse estavam situadas em trechos de rios entre duas estações fluviométricas (caso 3), as vazões desconhecidas foram estimadas pela equação 14.

$$Q_z = A_z \left[ \left( p_m \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left( p_j \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (14)$$

Sendo:

$$p_m = \left( \frac{d_j}{d_m + d_j} \right) \quad (15)$$

$$p_j = \left( \frac{d_m}{d_m + d_j} \right) \quad (16)$$

Considerando:  $p_m$ , o peso relativo à estação de montante, adimensional;  $p_j$ , o peso relativo à estação de jusante, adimensional;  $d_m$ , a distância entre o posto de montante e a seção de interesse, km;  $d_j$ , a distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, km.

A quarta situação (caso 4) ocorreu quando a seção de interesse estava situada em um trecho de rio afluente cuja foz se localizava entre dois postos fluviométricos situados em um rio de ordem superior, da mesma forma que no método de interpolação linear. Neste caso, aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculadas as vazões (equação 14) nas seções de confluência. Estimadas as vazões nas confluências dos rios utilizou-se a equação 12 para estimativa das vazões nas seções de interesse.

Para determinação das distâncias entre as estações e também dos pontos de confluência, foi utilizado SIG, através do programa ArcGis. No programa foram selecionados os trechos de rio entre as estações e determinados o seu comprimento, para assim estimar as distâncias necessárias para aplicação da equação 14.

Para este método, também foi utilizada a bacia do rio Itapemirim pelos mesmos motivos apresentados no item 3.7.2 relacionado ao método de interpolação linear.

#### *3.7.4 Comparação entre os métodos e modelos de regionalização de vazão média*

Para a regionalização da vazão média de longo período, foram utilizados três métodos estudados neste trabalho: Eletrobrás (1985a), vazões específicas e Chaves et al. (2002).

Além disso, outros autores estudaram a mesma área, e consideraram séries históricas e estações diferentes das utilizadas na presente pesquisa, obtendo equações de regressão para as vazões médias de longo período, sendo eles: Elesbon et al. (2002), Euclides et al. (2007a) e Andrezza et al. (2009).

Como os métodos de interpolação linear e Chaves et al. (2002) foram desenvolvidos para rios localizados em uma mesma bacia, foram utilizados na análise comparativa, os modelos que contemplaram as estações da bacia do rio Itapemirim.

Elesbon et al. (2002) utilizou postos com mais de 15 anos de registros de dados para realizar a regionalização das vazões médias, não definindo um período base. A equação apresentada em seu estudo utiliza as variáveis explicativas área de drenagem e precipitação média anual. As áreas foram obtidas através de digitalização de cartas do IBGE, em escala 1:250.000. Para a obtenção das



precipitações médias foi utilizado o método das isoietas. A região homogênea adotada para a vazão média abrangeu todo o estado do Espírito Santo e foram utilizadas algumas estações fluviométricas não contempladas no trabalho desenvolvido.

O estudo desenvolvido por Euclides et al. (2007a), utilizou um período base de 1960 a 2005. As características físicas e climáticas utilizadas foram área de drenagem e precipitação média anual. As áreas de drenagem foram obtidas por meio de cartas geográficas na escala de 1:250.000 e a precipitação calculada por meio do polígono de Thiessen. Neste trabalho, a região homogênea adotada compreendeu toda a área da bacia do rio Itapemirim, incluindo outras estações não consideradas no presente estudo.

Recentemente, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) contratou um estudo, realizado por Andreazza et al. (2009), que contemplou a regionalização de vazões para o estado do Espírito Santo. O período base utilizado foi de 1970 a 2006 e as variáveis explicativas da equação de regressão foram a área de drenagem e a precipitação média anual. As áreas de drenagem foram obtidas a partir de bases cartográficas digitalizadas em escala de 1:50.000 e 1:100.000. Para a obtenção das precipitações foi utilizado o método das isoietas.

No caso de Andreazza et al. (2009), as estações da bacia do rio Itapemirim foram divididas em duas regiões homogêneas distintas, sendo necessária a aplicação de duas equações de regressão para obtenção dos resultados. Além disso, foram utilizados alguns postos para o ajustamento de suas equações, que não foram contemplados neste estudo.

Para a comparação das metodologias e dos modelos obtidos em outros estudos foram analisados os erros percentuais das estimativas e calculado o índice de eficiência proposto por Nash e Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970), por meio da equação 17. Valores obtidos por este coeficiente que sejam mais próximos de 1, fornecem a indicação de melhores ajustes na regionalização.

$$E = 1 - \frac{\sum(Q_o - Q_{est})^2}{\sum(Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (17)$$

Sendo:  $Q_o$  a vazão observada, em m<sup>3</sup>/s;  $Q_{est}$  a vazão estimada, em m<sup>3</sup>/s; e  $\bar{Q}_o$  a média das vazões observadas, em m<sup>3</sup>/s.

### 3.8 Regionalização da curva de regularização

A regionalização da curva de regularização abrangeu as etapas descritas a seguir, conforme sugerido por Tucci (2002), sendo feitas algumas adaptações.

- Definição do período da série de cada posto e seleção das séries de vazões médias mensais dos postos.
- Preenchimento das falhas dos registros das vazões mensais.

Algumas estações apresentaram grande quantidade de falhas dos dados fluviométricos em um mesmo ano, ocasionando a descontinuidade do período estudado. Foi observado se as falhas existentes não estavam em períodos de secas regionais conhecidas, para que, dessa forma, a estimativa dos volumes fosse realizada com dados representativos. Não sendo constatadas falhas nestes períodos críticos conhecidos, foram calculados os volumes correspondentes aos períodos em que existiam dados disponíveis.

- Determinação da curva de regularização para cada posto e adimensionalização, com base na vazão média de longo período.

Os volumes de regularização obtidos para o traçado das curvas de regularização de cada posto foram determinados através do método dos Picos Sequenciais, de acordo com Genovez (2001). O volume de regularização calculado pelo método é igual à maior amplitude do volume acumulado líquido estimado para a série de dados de vazão.

A partir das vazões médias mensais, os volumes correspondentes foram calculados, reduzindo-se deste o volume devido à vazão a ser regularizada. Este resultado foi acumulado mês a mês, identificando-se os maiores volumes correspondentes, para o período estudado. Foram calculados volumes correspondentes às vazões de regularização de 30 a 100% da vazão média, com variações de 10%. Escolheu-se iniciar a partir de 30%, pois poucas estações necessitaram de volumes de acumulação para vazões de regularização inferiores a esta.

Para determinação dos volumes, foi utilizada planilha eletrônica avançada, no aplicativo computacional Excel, pela qual o processo de obtenção dos volumes foi automatizado e agilizado.

Deve-se salientar que o volume de armazenamento requerido, obtido através deste método, é função do tamanho da série de dados, e assim não é possível determinar outro volume de armazenamento requerido que não seja o referente ao período crítico mais drástico (GENOVEZ, 2001).

Os valores dos volumes ( $V$ ) do reservatório e das demandas ( $q$ ), a serem atendidas durante todo o período da série, foram adimensionalizados com base nas vazões médias, de acordo com as equações 18 e 19.

$$\alpha = \frac{V}{Q_{mlp} \cdot 86400 \cdot 365} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{q}{Q_{mlp}} \quad (19)$$

Sendo:  $Q_{mlp}$  a vazão média de longo período em  $m^3/s$ .

Curvas de regularização foram determinadas para cada bacia, através de relações entre  $\alpha$  e  $\beta$ , conforme equação 20.

$$\alpha = a\beta^b \quad (20)$$

Onde  $a$  e  $b$  são os coeficientes da equação.

A variação de  $\beta$  pode ser estabelecida de 10 a 100%. Tucci (2002) recomenda que para regionalizar este tipo de curva deve-se procurar estabelecer um intervalo mais apropriado pois, de acordo com o mesmo autor, no extremo superior existe maior variação de tendência da curva, devido às magnitudes das vazões envolvidas e dos volumes necessários para regularizá-las. Em virtude deste fato e também para estudar a consideração de diferentes variações de  $\beta$ , foram ajustadas curvas a diferentes intervalos adotados: 30 e 100%, 40 e 100%, 50 e 100%, 30 e 80%, 40 e 80%, 50 e 80%.

Para obtenção dos modelos foi utilizado o aplicativo computacional Minitab versão 13.20.

- Realização do ajuste de uma curva adimensional regional média a curva adimensional dos postos.

Com as curvas adimensionais de cada estação, obtidas pela equação 20, verificou-se a possibilidade de subdividir a região, formando sub-regiões homogêneas, uma vez que as vazões mensais, variáveis do processo, são correlacionáveis.

Para a análise de estações com tendências semelhantes foram verificados diferentes limites percentuais (20, 25 e 30%) em relação à média dos valores dos coeficientes  $b$  das equações potenciais (equação 20).

Foram feitas subdivisões da região de estudo, levando-se, também, em consideração, a localização geográfica das estações, as bacias hidrográficas em que se encontravam e suas características físicas e climáticas.

Além disso, nesta análise, foram obtidas diferentes curvas considerando os seis diferentes intervalos de variação de  $\beta$  anteriormente citados.

- Análise dos coeficientes de determinação e dos erros percentuais.

Para análise das curvas foram obtidos os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros percentuais dos  $\alpha$  estimados.

Foram estimados os desvios percentuais médios dos modelos de uma forma geral, e para cada  $\beta$  (porcentagem de regularização de vazão média) separadamente. Além disso, calculou-se os erros percentuais correspondentes a cada estação. Foram analisadas mais detalhadamente as regularizações de 30, 40 e 50% da vazão média, uma vez que estas são as mais utilizadas na prática.

Os coeficientes de determinação são, geralmente, utilizados para análise das curvas de regularização (ELESBON, 2004; EUCLYDES et al., 2001; EUCLYDES et al., 2007a). A análise de desvios percentuais foi complementar ao método usualmente empregado.

- Estimativa do volume

A partir da obtenção das curvas de regularização, os volumes podem ser estimados como descrito a seguir.

Inicialmente, determina-se a vazão média da bacia em estudo. Com esta estimativa, calcula-se o valor de entrada ( $m$ ) para a curva adimensional da região em que se encontra a bacia, por meio da equação 21, similar a equação 19 apresentada.

$$m = \left( \frac{q}{Q_{mlp}} \right) \cdot 100 \quad (21)$$

O valor de entrada  $m$  na curva, permite a obtenção de  $r$ , que é função do volume que se deseja estimar, como indica a equação 22 (análoga à equação 18).

$$r = \left( \frac{V}{Q_{mlp} \cdot 86400 \cdot 365} \right) \cdot 100 \quad (22)$$

O volume pode ser estimado com a equação 23.

$$V = 315360 \cdot r \cdot Q_{mlp} \quad (23)$$

Cabe ressaltar que o volume obtido não considera a evaporação.

### *3.8.1 Comparação de modelos de curvas de regularização*

Os modelos obtidos neste trabalho foram comparados ao apresentado por Euclides et al. (2007a).

Euclides et al. (2007a) apresentou uma curva de regularização para toda a área de estudo, que abrange parte das estações utilizadas neste trabalho. O período base adotado em seu trabalho foi de 1960 a 2005. Para definição da curva regional, o autor utilizou parte da mesma metodologia apresentada neste trabalho.

A comparação dos resultados foi realizada através do cálculo dos desvios percentuais estimados.

## **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS**

---

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Comparação entre os valores antes e após o preenchimento de falhas

Os registros das estações fluviométricas e pluviométricas que apresentavam falhas foram preenchidos, para melhoria das estimativas das vazões médias de longo período ( $Q_{mlp}$ ) e das precipitações médias anuais (P).

As diferenças percentuais dos valores médios de vazões e chuvas, antes e após a realização do preenchimento, foram pequenas. A maior diferença, no caso das vazões médias de longo período, ficou em torno de 5% (tabela 9).

Tabela 9 - Comparação entre os valores de  $Q_{mlp}$ , ( $m^3/s$ ) antes e depois do preenchimento de falhas

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b><math>Q_{mlp}</math> antes do preenchimento</b>	<b><math>Q_{mlp}</math> após o preenchimento</b>	<b>%dr</b>
SU-AC	Afonso Cláudio	Rio Guandu	7,12	7,48	5,06
56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu	17,25	17,94	4,00
56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu	21,24	21,55	1,46
SU-ITA	Itaguaçu	Rio Santa Joana	5,53	5,59	1,08
56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana	7,97	8,02	0,63
SU-VV	Valsugana Velha	Rio Timbuí	1,83	1,84	0,55
57170000	Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte	13,81	13,84	0,22
57250000	Matilde	Rio Benevente	5,54	5,56	0,36
57300000	Pau D'alho	Rio Novo	7,22	7,38	2,22
57320000	Iconha - Montante	Rio Iconha	4,45	4,54	2,02
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	4,88	4,89	0,20
57360000	Iúna	Rio Pardo	8,08	8,10	0,25
57370000	Terra Corrida - Montante	Rio Pardo	10,29	10,51	2,14
57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	18,23	18,21	-0,11
57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito	12,10	12,25	1,24
57450000	Rive	Rio Itapemirim	43,52	43,66	0,32
57490000	Castelo	Rio Castelo	14,70	14,71	0,07
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	22,68	22,77	0,40
57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	78,39	78,91	0,66
57720000	Dores do Rio Preto	Rio Preto	4,89	4,90	0,20
57740000	Guaçuí	Rio do Veado	10,66	10,79	1,22
57770000	São José do Calçado	Rio Calçado	2,11	2,10	-0,47
57880000	Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul	7,38	7,45	0,95

Para as precipitações médias anuais das estações pluviométricas, a maior diferença foi de aproximadamente 2,5% (tabela 10).

Tabela 10 - Comparação dos valores de precipitações médias anuais (P) antes e depois do preenchimento de falhas

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>P (mm) antes do preenchimento</b>	<b>P (mm) após o preenchimento</b>	<b>%dr</b>
01939002	Povoação	1267,3	1256,9	-0,82
01940000	Itarama	1126,2	-	-
01940001	São João de Petrópolis	1059,0	1059,6	0,06
01940002	Santa Cruz - Litoral	1292,9	-	-
01940003	Riacho	1185,6	1189,4	0,32
01940005	Cavalinho	1346,1	-	-
01940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	1043,3	1039,8	-0,34
01940007	Fundão	1529,7	1530,8	0,07
01940009	Pancas	1182,9	1175,8	-0,60
01940010	Valsugana Velha - Montante	1889,3	1889,6	0,02
01940012	Itaimbé	1090,6	1099,6	0,83
01940013	Novo Brasil	1159,4	-	-
01940016	Barra de São Gabriel	1159,1	1154,1	-0,43
01940020	Caldeirão	1202,6	1221	1,53
01940021	Aracruz	1322,4	1316,5	-0,45
01940022	Jacupemba	1193,6	-	-
01940023	Rio Bananal	1212,2	1213	0,07
01940025	Serraria (Alto do Moacir)	1232,7	-	-
01941000	Ipanema	1278,3	-	-
01941003	Baixo Guandu	877,5	-	-
01941004	Resplendor - Jusante	1030,2	1028,3	-0,18
01941006	Assarai - Montante	1071,7	1068	-0,35
01941008	Laranja da Terra	1088,9	1083,2	-0,52
01941009	Ibituba	894,2	-	-
01941010	São Sebastião Encruzilhada	972,8	966,4	-0,66
01941012	Alto Rio Novo	907,1	-	-
02040001	Fazenda Jucuruaba	1288,6	-	-
02040003	Fazenda Fonte Limpa (DNOS)	1426,3	1432,6	0,44
02040004	Guarapari (DNOS)	1264,6	1265,5	0,07
02040005	Iconha - Montante	1617,5	-	-
02040006	Usina Paineiras	1147,1	-	-
02040007	Santa Maria de Jetibá (DNOS)	1234,2	1235,9	0,14
02040008	Garrafão (DNOS)	1273,7	1268	-0,45
02040009	Anchieta (DNOS)	1136,1	-	-
02040010	Santa Leopoldina	1470,8	1487,4	1,13
02040011	Matilde (DNOS)	1768,4	1764	-0,25
02040012	Marechal Floriano (DNOS)	1562,2	-	-
02040013	Rio Novo do Sul	1285,9	1291,8	0,46
02040014	Duas Bocas (DNOS)	1470,5	1458,5	-0,82
02040015	Perobinha (DNOS)	1268,5	1264,8	-0,29
02040017	Duas Barras (DNOS)	1645,1	-	-
02040018	Cachoeira Suíça (DNOS)	1404,1	-	-
02040020	Vila Nova Maravilha	2118,9	-	-
02040022	Ponta da Fruta	1118,5	-	-
02040023	São Rafael	1180,6	-	-



Tabela 10 - Continuação

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>P (mm) antes do preenchimento</b>	<b>P (mm) após o preenchimento</b>	<b>%dr</b>
02041000	Atílio Vivacqua	1103,1	1118,5	1,40
02041001	Guaçuí	1533,6	1547,2	0,89
02041002	Castelo	1299,7	-	-
02041003	Rive	1362,5	-	-
02041005	Caiana	1269,3	1277,8	0,67
02041008	Dores do Manhumirim	1236,4	1242,9	0,53
02041010	Jaciguá (DNOS)	1623,3	-	-
02041011	Conceição do Castelo (DNOS)	1414,2	-	-
02041013	Iuna	1203,4	1203,2	-0,02
02041014	Dores do Rio Preto	1457,9	1453,9	-0,27
02041015	Fazenda Monte Alegre	1267,1	-	-
02041016	Ibitirama	1639,8	1633,4	-0,39
02041017	Santa Cruz - Caparaó	1563,0	-	-
02041018	Usina Fortaleza	1420,2	-	-
02041019	Itaici	1387,2	-	-
02041020	Aracê (DNOS)	1356,7	-	-
02041021	Burarama	1731,4	-	-
02041023	Afonso Cláudio - Montante	1103,7	1103,9	0,02
02041046	Varre - Sai	1408,6	1417,6	0,64
02140000	Barra do Itapemirim (DNOS)	1044,6	1041,1	-0,34
02141014	Ponte de Itabapoana	1098,7	1105,2	0,59
02141015	Mimoso do Sul (DNOS)	1400,4	1407,9	0,54
02141016	São José do Calçado	1333,6	1365,2	2,37
02141017	São José das Torres	1492,4	1530,1	2,53

Cabe salientar que as pequenas diferenças observadas ocorreram no caso estudado, que abrangeu uma série histórica com 39 anos de registros. Contudo, este fato pode ser alterado, de acordo com série histórica utilizada e os períodos em que se fizerem necessários o preenchimento.

#### **4.2 Obtenção das vazões médias de longo período**

As vazões médias de longo período das bacias correspondentes às estações fluviométricas utilizadas neste trabalho foram apresentadas na tabela 9, na coluna dos dados após o preenchimento de falhas. Observou-se que a maior vazão média encontrada foi 78,91m<sup>3</sup>/s referente à estação Coutinho (57555000), que possui a maior área de drenagem da região de estudo (4.606km<sup>2</sup>). Por outro lado, a menor vazão correspondeu à estação Valsugana Velha (SU-VV), com valor 1,84m<sup>3</sup>/s, que apresentou a menor área de drenagem da região estudada (89km<sup>2</sup>).

### **4.3 Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para obtenção de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC)**

A utilização de SIG ocorreu por meio da elaboração de mapas e extração das características físicas e climáticas das bacias hidrográficas. A extração das características físicas foi realizada a partir da elaboração de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes.

#### *4.3.1 Modelo Digital de Elevação*

Foram realizadas comparações do MDE do IEMA com as cartas topográficas digitalizadas do GEOBASES, como exemplifica a figura 5. Observou-se que, as elevações do modelo sombreado obtido corresponderam às representadas pelas curvas de nível fornecidas pelo GEOBASES.

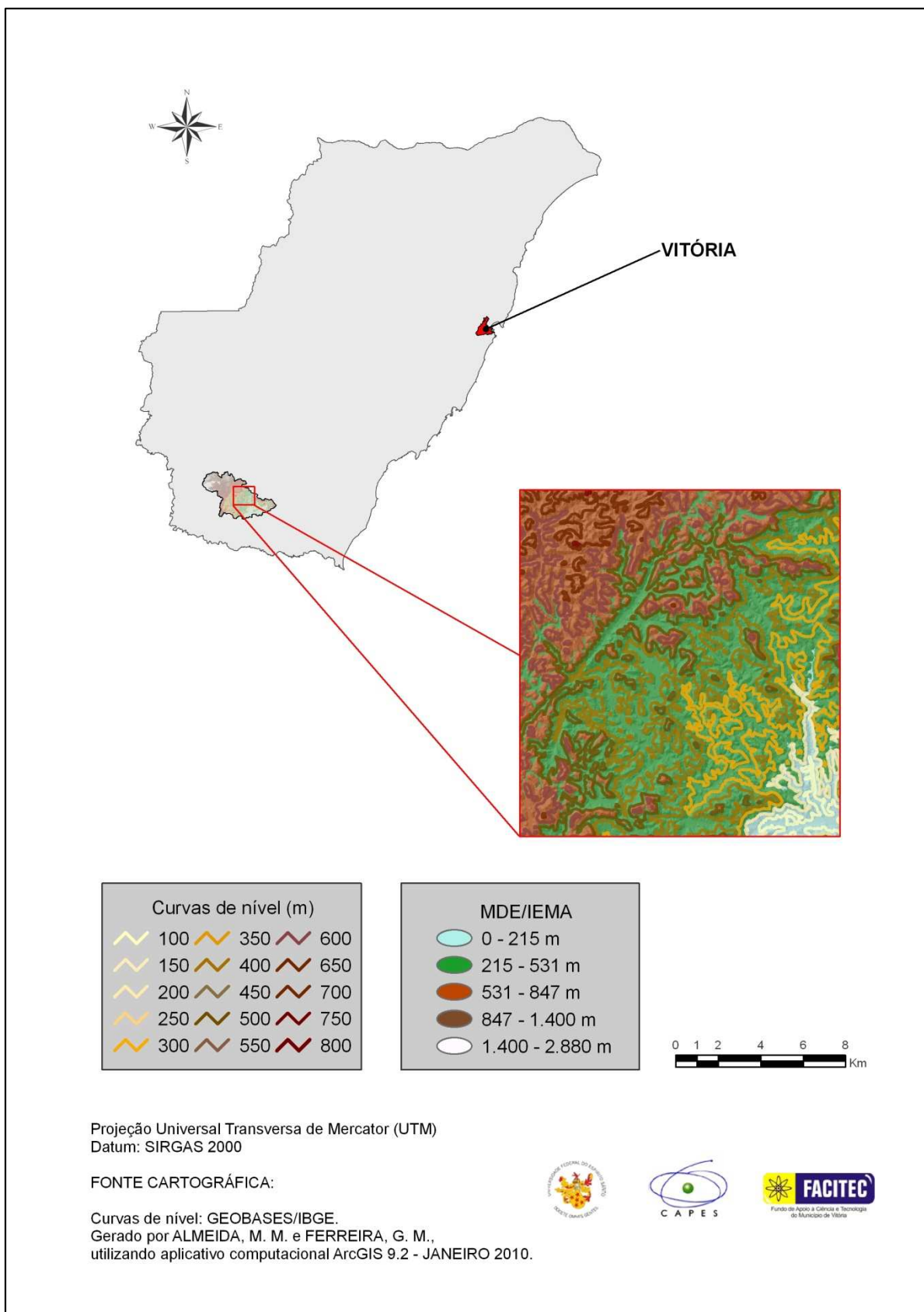


Figura 5 - Comparação do MDE/IEMA com as cartas topográficas digitalizadas do GEOBASES

#### *4.3.2 Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)*

Após a realização do procedimento para eliminação das depressões espúrias que porventura poderiam existir no MDE, tendo sido geradas as direções de fluxo e fluxos acumulados, foram realizadas comparações da hidrografia obtida com a rede de drenagem da base de dados do GEOBASES. A rede de drenagem obtida se apresentou, de maneira geral, coincidente com a digitalizada do GEOBASES.

Além disso, na delimitação da maioria das bacias hidrográficas no MDE do IEMA, não foram verificados cortes na hidrografia ou localização errada de divisores. Os valores de área obtidos foram próximos aos fornecidos pela Agência Nacional de Águas. A figura 6 ilustra a delimitação realizada para a bacia hidrográfica da estação Mimoso do Sul, a partir do MDE do IEMA.

Para as regiões com relevo mais acidentado, notadamente as áreas do interior do estado do Espírito Santo, o modelo se mostrou hidrologicamente consistente.

Porém, em algumas partes mais planas e próximas ao litoral, foram observados erros no MDE, que dificultaram a delimitação das bacias das estações Usina Paineiras e Fazenda Jucuruaba. Observou-se que nos trechos próximos a estas estações, havia inconsistências no MDE, incluindo a falta de alguns fragmentos dos cursos d'água e a existência equivocada de outros, fazendo com que o traçado da bacia não tivesse a abrangência esperada. Devido à quantidade de informações contidas no MDE obtido e à dificuldade de identificação dos trechos a serem modificados, a sua edição poderia ficar prejudicada e ainda comprometer a obtenção de outras características a partir desses dados. Dessa forma, concluiu-se que em alguns trechos planos e próximos ao litoral, em especial, nas proximidades destas estações, o MDE não poderia ser considerado hidrologicamente consistente.

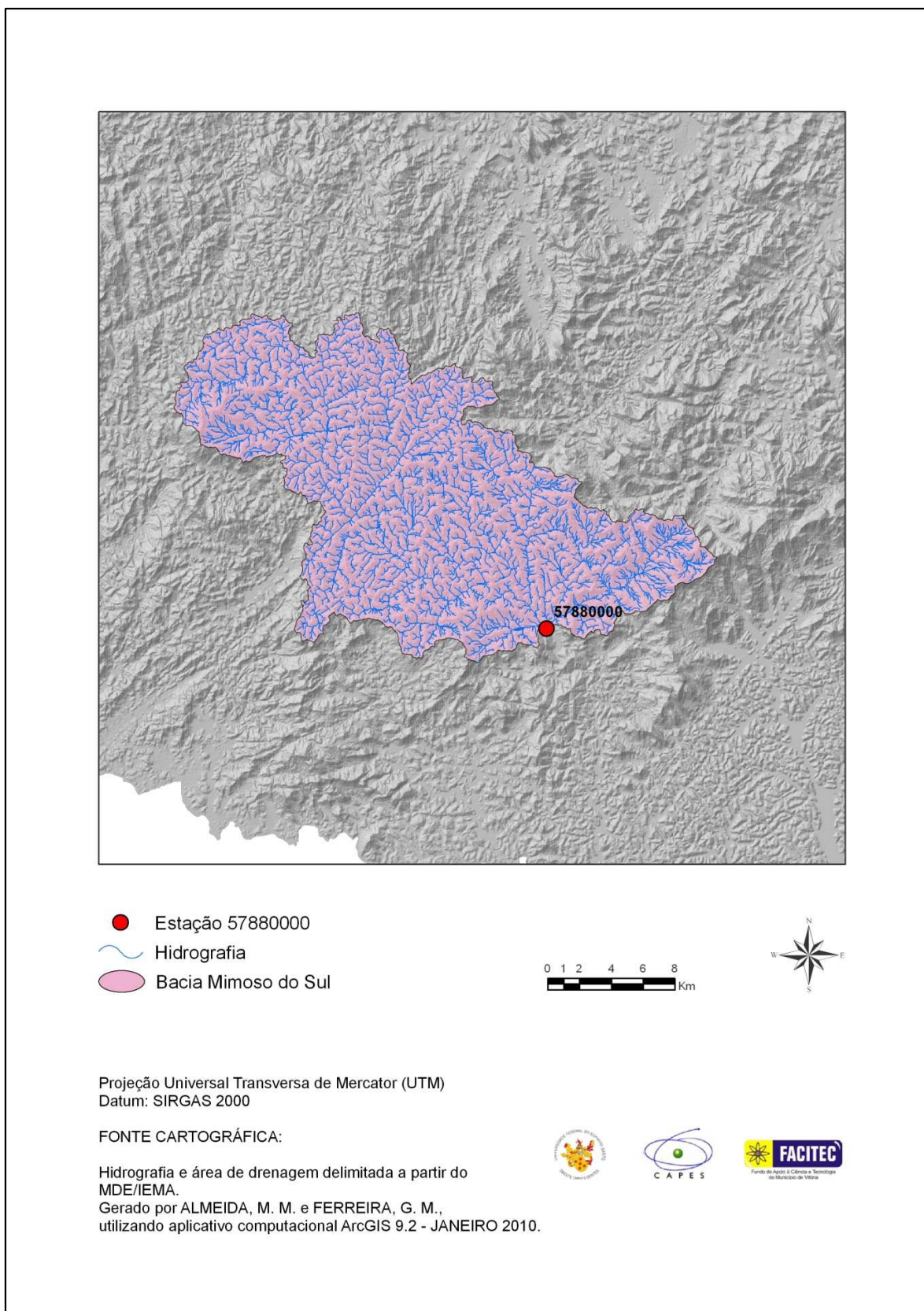


Figura 6 – Delimitação da bacia da estação Mimoso do Sul, gerada a partir do MDE/IEMA

#### *4.3.3 Obtenção do MDE e MDEHC para as cartas digitalizadas do GEOBASES*

O MDE obtido a partir das cartas digitalizadas do GEOBASES não melhorou a delimitação das bacias e dos rios nas regiões próximas às estações Fazenda Jucuruaba e Usina Paineiras, indicando que a inconsistência ocorreu devido ao fato destas estações se localizarem em regiões planas. Desta forma, estas estações foram excluídas do estudo, já que a representação das características das mesmas no MDE não se mostrou adequada.

Evidencia-se, no entanto, que para as regiões de relevo mais acidentado o MDE do GEOBASES se mostrou hidrologicamente consistente, tendo sido utilizado para complementar a extração de parte das características das bacias hidrográficas das estações que se encontravam com pequena área fora do limite do estado do Espírito Santo, sendo elas: Iúna (57360000), Terra Corrida Montante (57370000), Itaiçi (57400000), Rive (57450000), Coutinho (57555000), e Dores do Rio Preto (57720000).

A figura 7 mostra a comparação do MDEHC obtido com as curvas de nível do GEOBASES. A figura 8 apresenta exemplo da delimitação das bacias.

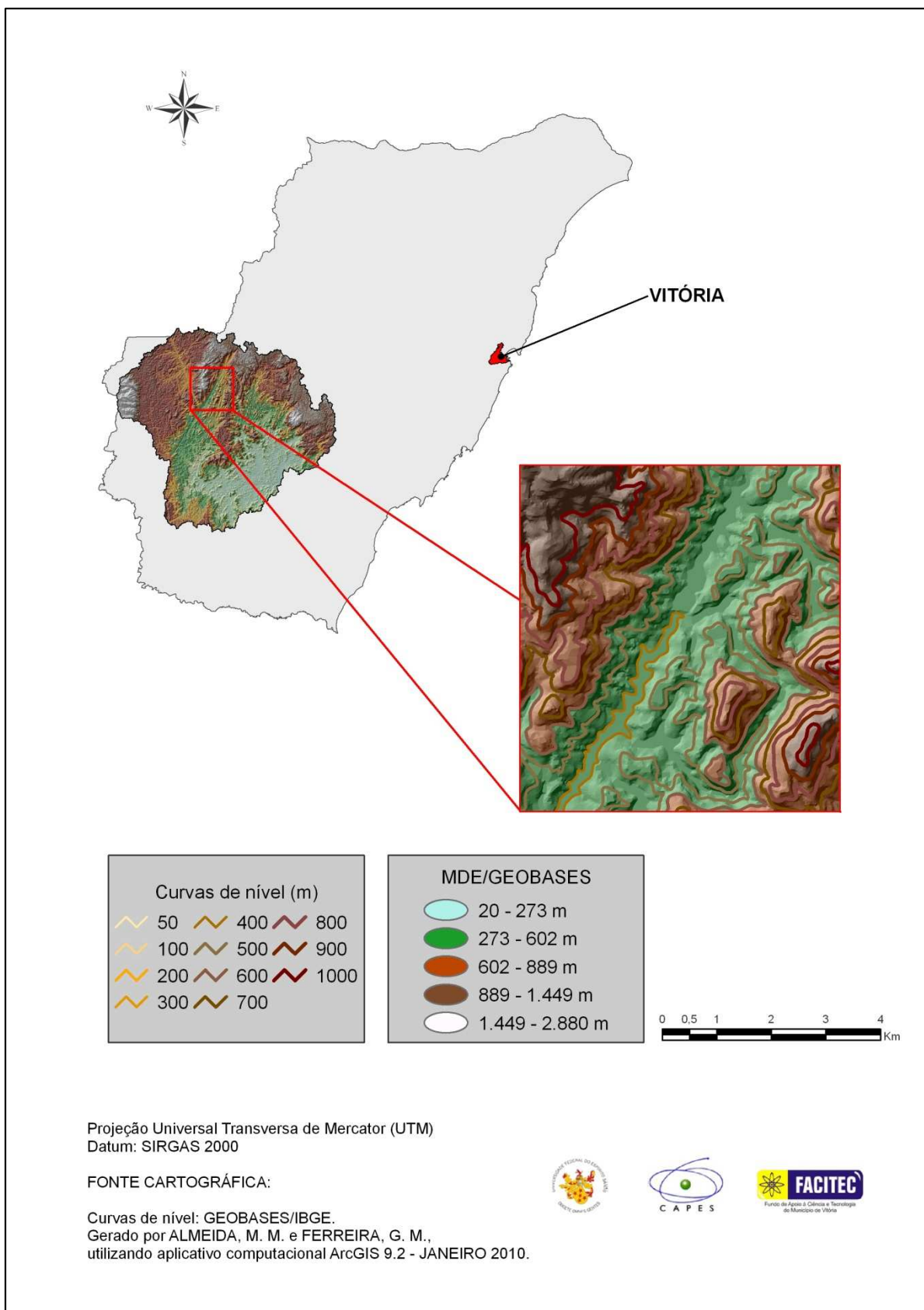


Figura 7 - Comparação do MDE/GEObases com as cartas topográficas digitalizadas do GEOBASES



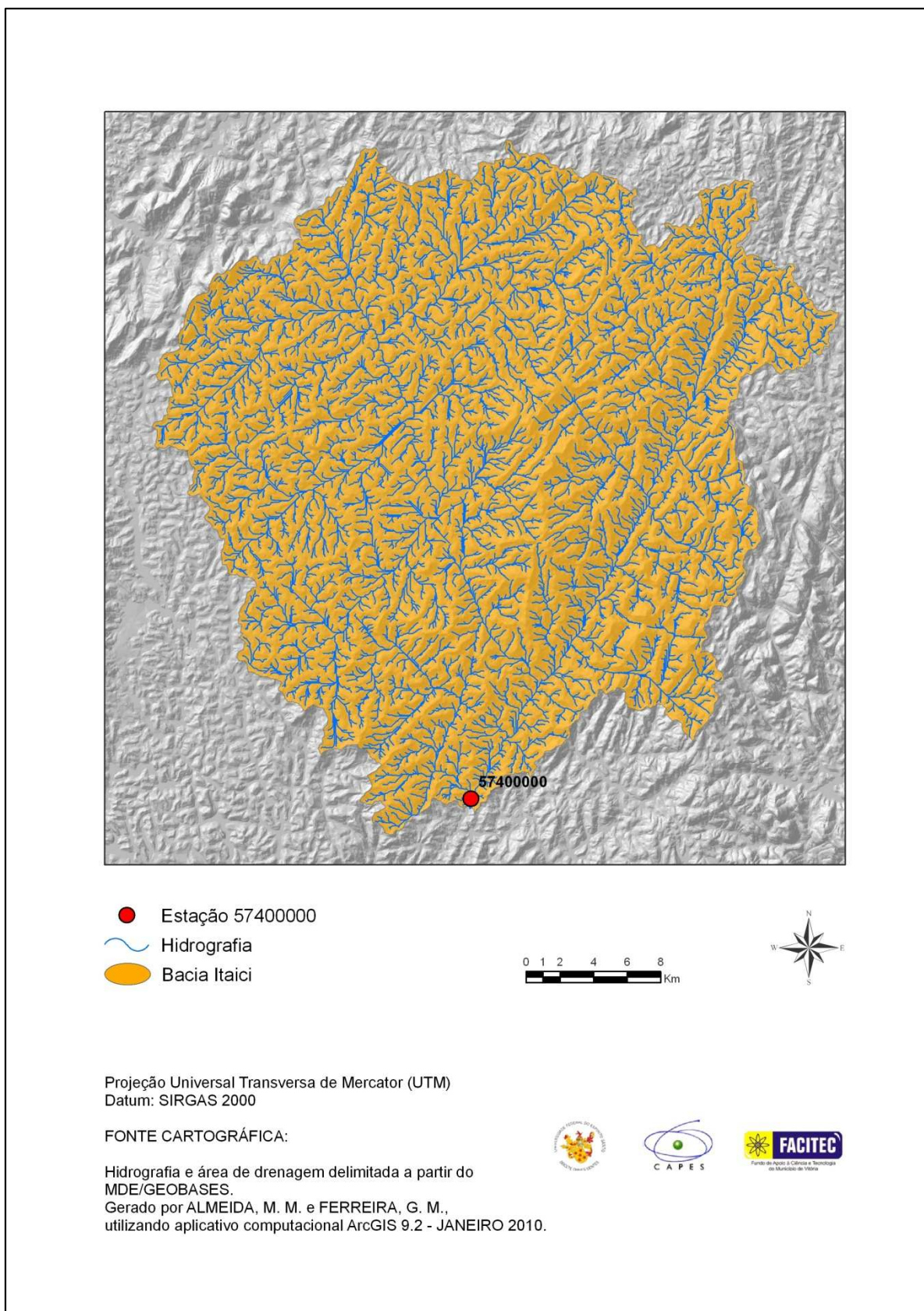


Figura 8 - Delimitação da bacia da estação Itaici, gerada a partir do MDE/GEOPORTAL



#### 4.4 Obtenção das características físicas das bacias hidrográficas

As características físicas selecionadas para estudo foram: área de drenagem (A), comprimento do rio principal (L), declividade média da bacia ( $S_m$ ), declividade entre a nascente e a foz do rio principal ( $S_L$ ) e densidade de drenagem. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Características físicas das bacias hidrográficas estudadas

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>L (km)</b>	<b><math>S_m</math> (%)</b>	<b><math>S_L</math> (m/km)</b>	<b>Dd (km/km<sup>2</sup>)</b>
SU-AC	Afonso Cláudio	433	46,88	48,56	17,34	4,04
56991500	Laranja da Terra	1.330	92,12	48,82	10,61	4,01
56992000	Baixo Guandu	2.142	171,88	46,80	6,37	4,11
SU-ITA	Itaguaçu	465	53,45	44,57	19,33	4,15
56993551	Jusante Córrego da Piaba	889	97,02	42,40	11,60	4,14
SU-VV	Valsugana Velha	89	18,12	44,99	11,20	4,12
57170000	Córrego do Galo	983	89,01	46,15	8,27	3,91
57250000	Matilde	212	28,59	52,17	22,96	3,99
57300000	Pau D'alho	303	53,21	49,24	15,20	4,16
57320000	Iconha - Montante	150	19,55	52,47	36,60	4,08
57350000	Usina Fortaleza	222	28,00	48,91	24,21	4,04
57360000	Lúna	432	34,38	42,39	16,97	3,88
57370000	Terra Corrida - Montante	587	48,25	42,30	13,34	3,98
57400000	Itaici	1.044	65,82	46,41	13,65	3,97
57420000	Ibitirama	342	38,10	50,29	34,41	4,18
57450000	Rive	2.236	103,69	47,35	10,83	4,06
57490000	Castelo	977	68,29	49,86	15,27	4,15
57550000	Usina São Miguel	1.458	85,33	48,44	12,55	4,21
57555000	Coutinho	4.606	147,46	47,01	7,95	4,10
57720000	Dores do Rio Preto	221	36,24	-	37,97	3,19
57740000	Guaçuí	413	56,08	42,61	23,95	4,02
57770000	São José do Calçado	157	24,28	43,50	17,30	4,20
57880000	Mimoso do Sul	382	52,23	47,56	21,43	4,14

As características referentes às estações Lúna (57360000), Terra Corrida Montante (57370000), Itaici (57400000), Rive (57450000), Coutinho (57555000) e Dores do Rio Preto (57720000), foram obtidas prioritariamente pelo MDEHC, com escala 1:25.000, sendo realizadas correções relacionadas com as pequenas partes que se encontravam fora dos limites territoriais do estado do Espírito Santo. Para estas correções foi utilizado o MDEHC do GEOBASES, com escala 1:50.000. Os parâmetros que necessitaram de correções foram: área de drenagem (para todas as bacias citadas anteriormente neste parágrafo), densidade de drenagem (na obtenção do comprimento total dos rios de todas as bacias citadas), comprimento do

rio principal (correções necessárias somente para a bacia de Dores do Rio Preto). Optou-se por não extrair a declividade média da bacia de Dores do Rio Preto (57720000), pelo fato de não ter sido viável a realização de correção para este parâmetro e da parte de sua área situada em Minas Gerais representar mais de 10% de seu total.

Com relação aos comprimentos dos rios principais, a figura 9 apresenta, como exemplo, o traçado obtido para a bacia de Valsugana Velha, que apresentou o menor valor, aproximadamente 18km.

Os valores das declividades médias das bacias variaram de 42,30% a 52,47%, sendo o valor médio, para toda a região, aproximadamente 47%.

Os valores das declividades entre a nascente e a foz dos rios principais ficaram entre 6,37m/km (Baixo Guandu) e 37,97m/km (Dores do Rio Preto).

Na obtenção dos comprimentos totais dos rios das bacias, observou-se que, em alguns locais, o MDEHC em escala 1:25.000 parecia superestimar os valores dos mesmos, tendo em vista a quantidade de afluentes que foram delimitados, tornando a rede de drenagem muito densa. Como este parâmetro é muito influenciado pela escala do mapa a partir do qual o mesmo é determinado, não foi possível assegurar que os valores obtidos refletiam as reais condições de drenagem das sub-bacias estudadas.

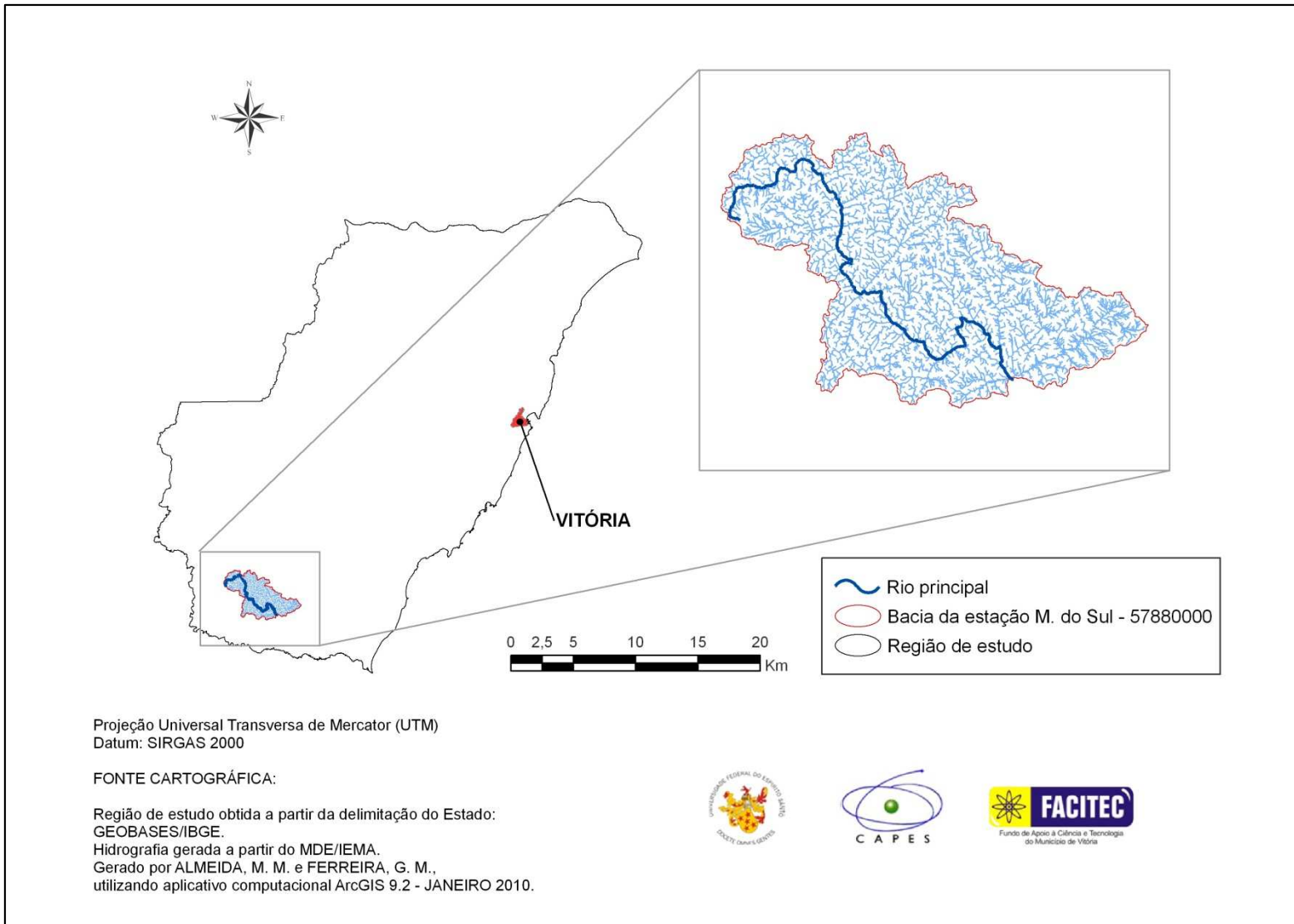


Figura 9 - Comprimento do rio principal da bacia de Valsugana Velha

#### 4.5 Obtenção das características climáticas das bacias hidrográficas

Na tabela C.1 do Anexo C, são apresentados os valores obtidos para as precipitações médias anuais das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

O mapa de isoietas da área de estudo é apresentado na figura 10. Observa-se que os locais apresentando menores precipitações localizam-se na porção Noroeste.

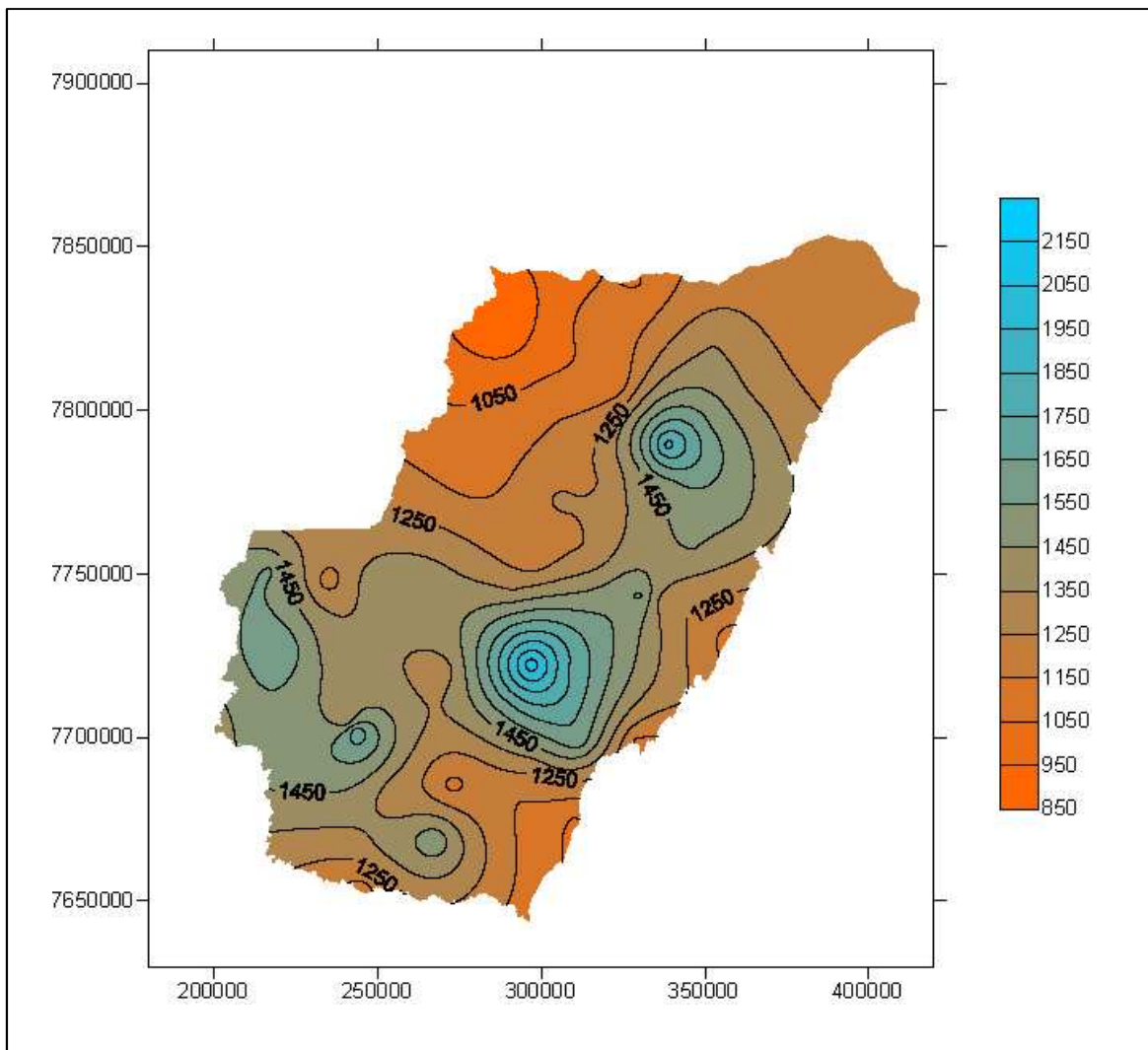


Figura 10 - Mapa das isoietas, referente à precipitação total anual, para a região de estudo

Os valores de precipitações médias obtidas para as bacias dos postos fluviométricos considerados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Precipitações médias anuais (P) para as bacias da região de estudo

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>P (mm)</b>
SU-AC	Afonso Cláudio	1.222,95
56991500	Laranja da Terra	1.173,41
56992000	Baixo Guandu	1.104,24
SU-ITA	Itaguaçu	1.144,73
56993551	Jusante Córrego da Piaba	1.097,79
SU-VV	Valsugana Velha	1.582,21
57170000	Córrego do Galo	1.305,75
57250000	Matilde	1.807,81
57300000	Pau D'alho	1.588,89
57320000	Iconha - Montante	1.697,45
57350000	Usina Fortaleza	1.376,23
57360000	Iúna	1.329,48
57370000	Terra Corrida - Montante	1.335,53
57400000	Itaici	1.351,78
57420000	Ibitirama	1.564,75
57450000	Rive	1.425,62
57490000	Castelo	1.406,42
57550000	Usina São Miguel	1.473,04
57555000	Coutinho	1.437,14
57720000	Dores do Rio Preto	1.525,79
57740000	Guaçuí	1.559,79
57770000	São José do Calçado	1.454,70
57880000	Mimoso do Sul	1.405,00

#### **4.6 Regionalização de vazões médias pelo método da Eletrobrás (1985a)**

Com a obtenção dos dados das características físicas e climáticas das bacias, realizou-se a regionalização de vazões pelo método de Eletrobrás (1985a).

##### *4.6.1 Região homogênea única (R), compreendendo todas as estações*

Procurou-se reunir, inicialmente, todas as 23 estações em uma única região, e procedeu-se às análises de regressão simples e múltipla, de forma a testar ajustes a variáveis individuais e diferentes combinações de variáveis, considerando os modelos linear e potencial. Resultados de testes são apresentados na tabela D.1 do Anexo D. A tabela 13 mostra alguns dos modelos ajustados que tiveram menor erro médio e atenderam à maioria dos limites empíricos adotados para os testes estatísticos aplicados.

Na tabela 13, as vazões médias de longo período ( $Q_{mlp}$ ) são apresentadas em  $m^3/s$ ; as variáveis áreas de drenagem (A) em  $km^2$ ; precipitações (P) em mm; comprimentos dos rios principais (L) em km; e declividades entre a nascente e a foz dos rios principais ( $S_L$ ) em m/km. A coluna %dr > 30 indica a quantidade de estações com desvios percentuais maiores que 30%. As equações foram obtidas a partir de uma faixa de área (A) entre  $89km^2$  e  $4.606km^2$ ; precipitação (P) entre  $1097,79mm$  a  $1.807,81mm$ ; declividade entre a nascente e a foz entre  $6,37m/km$  e  $37,97m/km$ .

Tabela 13 - Modelos de regressão obtidos considerando a região única (R)

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	$\sigma_f$	EM	%dr >30	F
M0	$Q_{mlp} = 0,052 A^{0,83055}$	0,913	0,909	1,349	3,26	5	0,000
M1	$Q_{mlp} = 1,14 \cdot 10^{-08} A^{0,965} P^{2,00}$	0,985	0,984	1,209	1,53	2	0,000
M2	$Q_{mlp} = 0,0053 A^{0,988} S_L^{0,467}$	0,954	0,949	1,292	2,73	3	0,000
M3	$Q_{mlp} = 2,01 \cdot 10^{-08} A^{1,05} P^{1,74} S_L^{0,298}$	0,987	0,985	1,178	1,30	1	0,000

Todos os modelos obtidos, considerando-se a área de estudo em uma única região, apresentaram pelo menos uma estação com erro percentual maior que 30%. Os modelos apresentados na tabela 13, apresentaram coeficientes de ajustamento ( $R^2$  e  $R^2_a$ ) acima de 0,9 e erro padrão fatorial inferior a 1,5.

Dentre os modelos M0, M1, M2 e M3 optou-se por analisar mais detalhadamente os modelos M1 e M3, uma vez que esses apresentaram menores erros médios e desvios padrão fatoriais. A tabela 14 apresenta as vazões estimadas com a utilização destes dois modelos, sendo que os valores dos desvios percentuais maiores que 30% e dos resíduos padronizados fora do intervalo adotado de -1,5 a +1,5, são mostrados em vermelho. Na tabela 14 e na figura 11, observa-se que os postos fluviométricos São José do Calçado e Ibitirama apresentaram os maiores erros percentuais, para os dois modelos ajustados.

Tabela 14 - Valores dos resíduos padronizados (r.p.) e dos erros percentuais (%dr) entre os valores das vazões médias observadas ( $Q_o$ ) e estimadas ( $Q_{est}$ ) pelo modelo de regressão M1 e M3

Estação	Código	$Q_o$	Modelo M1			Modelo M3		
			$Q_{est}$	r.p.	%dr	$Q_{est}$	r.p.	%dr
Afonso Cláudio	SU-AC	7,48	6,043	0,665	19,207	6,302	0,608	15,739
Laranja da Terra	56991500	17,94	16,427	0,700	8,432	16,414	0,788	8,506
Baixo Guandu	56992000	21,55	23,038	-0,689	-6,905	20,897	0,337	3,031
Itaguaçu	SU-ITA	5,59	5,671	-0,038	-1,457	6,254	-0,343	-11,877
Jusante Córrego da Piaba	56993551	8,02	9,747	-0,799	-21,529	9,845	-0,943	-22,760
Valsugana Velha	SU-VV	1,84	2,199	-0,166	-19,508	1,650	0,098	10,318
Córrego do Galo	57170000	13,84	15,198	-0,629	-9,811	13,367	0,244	3,414
Matilde	57250000	5,56	6,634	-0,497	-19,322	6,397	-0,432	-15,053
Pau D'alho	57300000	7,38	7,232	0,069	2,010	6,571	0,418	10,967
Iconha - Montante	57320000	4,54	4,189	0,163	7,740	4,586	-0,024	-1,017
Usina Fortaleza	57350000	4,89	4,018	0,404	17,837	4,246	0,333	13,176
Iúna	57360000	8,10	7,127	0,450	12,011	7,223	0,453	10,828
Terra Corrida - Montante	57370000	10,51	9,668	0,390	8,012	9,342	0,603	11,111
Itaici	57400000	18,21	17,263	0,438	5,198	17,559	0,336	3,575
Ibitirama	57420000	12,25	7,882	2,022	35,653	9,268	1,541	24,345
Rive	57450000	43,66	40,042	1,675	8,288	39,917	1,934	8,573
Castelo	57490000	14,71	17,530	-1,306	-19,170	18,145	-1,774	-23,352
Usina São Miguel	57550000	22,77	28,299	-2,560	-24,281	28,210	-2,810	-23,892
Coutinho	57555000	78,91	81,722	-1,302	-3,563	78,697	0,110	0,270
Dores do Rio Preto	57720000	4,90	4,918	-0,008	-0,364	5,782	-0,455	-17,992
Guaçuí	57740000	10,79	9,396	0,645	12,917	10,080	0,367	6,581
São José do Calçado	57770000	2,10	3,214	-0,516	-53,039	2,942	-0,435	-40,102
Mimoso do Sul	57880000	7,45	7,070	0,176	5,105	7,493	-0,022	-0,582

A figura 11 mostra a comparação entre os módulos dos desvios percentuais para os modelos M1 e M3.

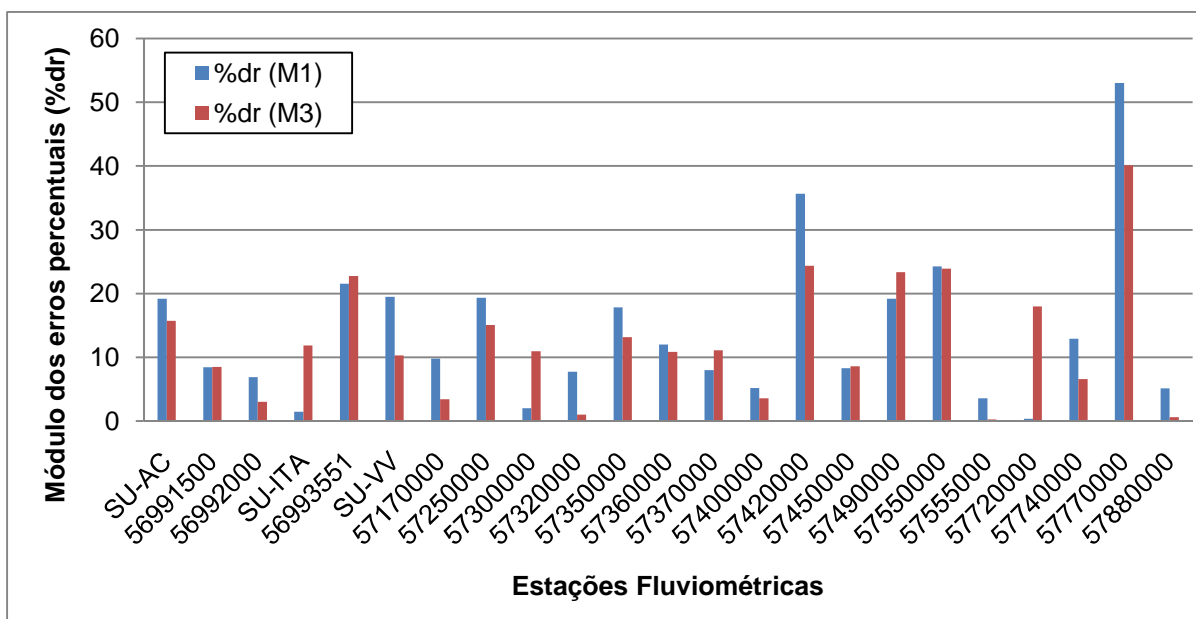


Figura 11 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M1 e M3

Considerando-se, ainda, os modelos M1 e M3, buscou-se verificar se ocorreriam melhorias no ajuste através da retirada de estações que apresentaram erros percentuais maiores que 30%. A tabela 15 apresenta algumas das equações obtidas e os seus respectivos testes.

Tabela 15 - Modelos M1 e M3 antes e após a retirada de estações

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação Retirada
M1	$Q_{mlp} = 1,14 \cdot 10^{-08} A^{0,965} P^{2,00}$	0,985	0,984	1,209	1,53	2	0,000	-
M1.1	$Q_{mlp} = 5,633 \cdot 10^{-08} A^{0,935} P^{1,81}$	0,988	0,987	1,145	1,44	0	0,000	São José do Calçado e Ibitirama
M3	$Q_{mlp} = 2,01 \cdot 10^{-08} A^{1,05} P^{1,74} S_L^{0,298}$	0,987	0,985	1,178	1,30	1	0,000	-
M3.1	$Q_{mlp} = 3,34 \cdot 10^{-08} A^{1,01} P^{1,72} S_L^{0,249}$	0,987	0,985	1,155	1,42	0	0,000	São José do Calçado

Os erros padrão fatoriais de M1.1 e M 3.1 ficaram abaixo de 1,5 em todos os casos, apresentando redução em relação a M1 e M3, respectivamente. O coeficiente de determinação ajustado de M1 aumentou quando da retirada de estações e o de M3 permaneceu o mesmo.

Apesar de algumas estações terem apresentado resíduos padronizados fora do intervalo considerado, como Usina São Miguel e Rive, elas não foram excluídas,



pois foi observado que as exclusões não proporcionaram melhoria significativa nos resultados.

A figura 12 compara os valores dos erros percentuais, antes (M1) e após a exclusão das estações (M1.1). Observa-se que 12 de 21 estações tiveram valores reduzidos, correspondendo a uma melhoria de ajuste em 57% das estações. Entretanto, os ajustes pioraram para 43% das estações.

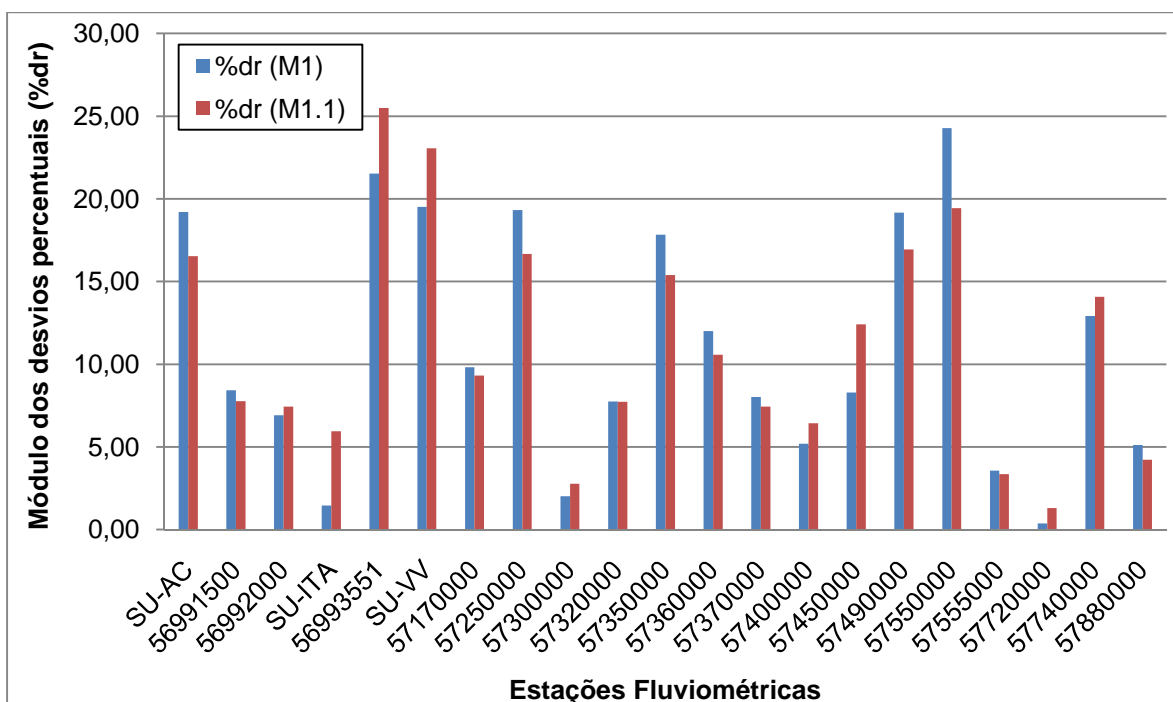


Figura 12 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M1 e M1.1

Na figura 13 pode-se observar os valores dos erros no modelo M3 antes e após a retirada das estações (M3.1). Neste caso, 12 de 22 estações tiveram erros de ajuste reduzidos (55%). Contudo, as outras 10 estações (45%) apresentaram erros aumentados.

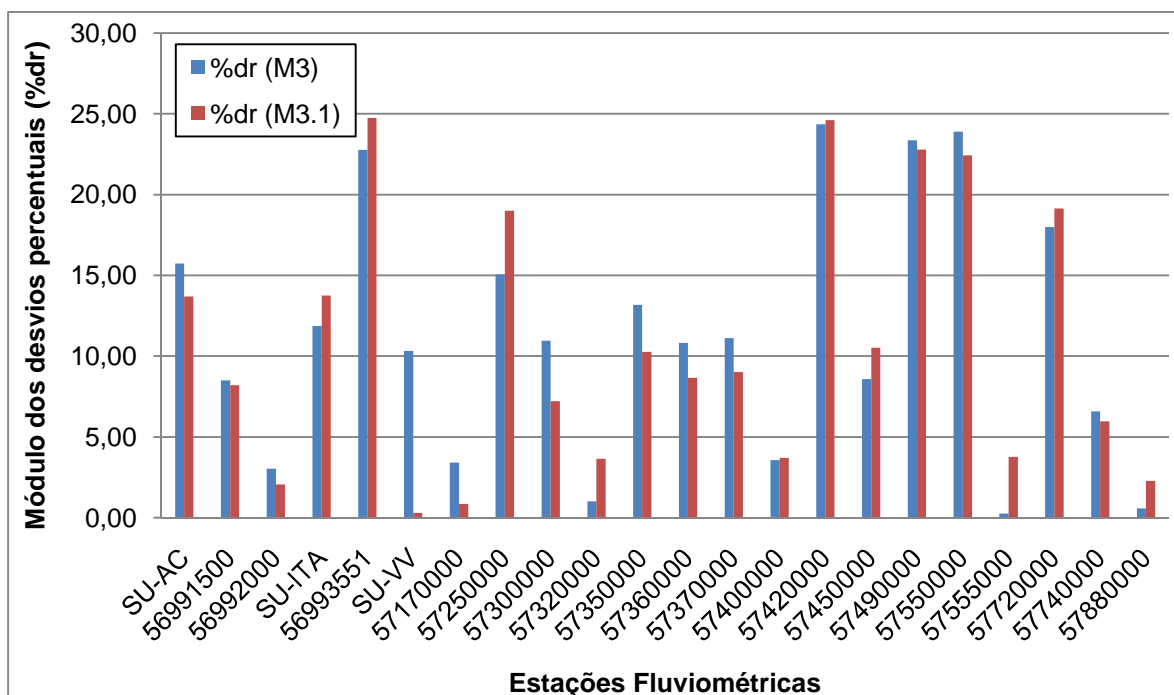


Figura 13 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M3 e M3.1

É possível constatar, também, que a retirada de estações que apresentaram desvios percentuais maiores que 30% não acarretou aumentos significativos nos coeficientes obtidos no ajustamento. No caso do modelo 3.1, o erro médio ficou aproximadamente 9% superior. Relativamente às médias dos desvios percentuais (em módulo) das estações em comum entre os quatro modelos, pode ser observado na figura 14, que ocorreu pequena redução do modelo M3 para M3.1 em aproximadamente 0,5%. O modelo M1 sofreu ligeiro aumento, de menos de 0,1%.

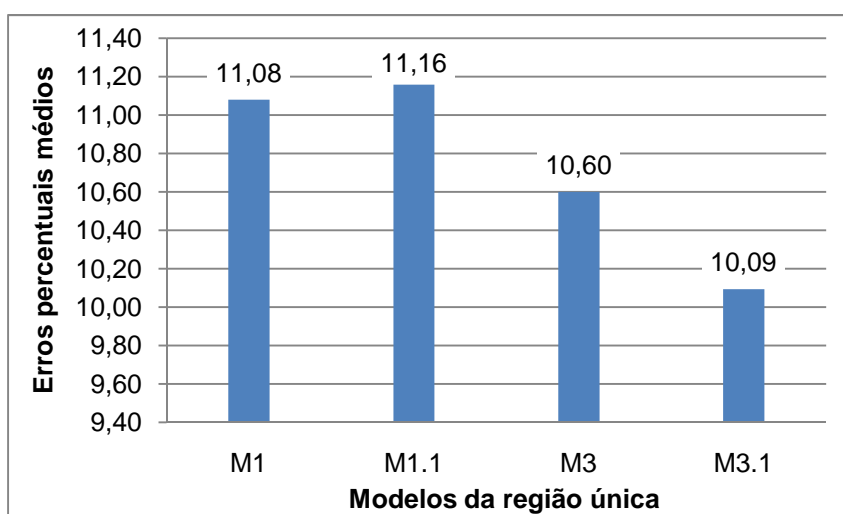


Figura 14 – Gráfico de barras representativo dos erros percentuais médios obtidos com os modelos antes (M1 e M3) e após (M1.3 e M3.1) a retirada de estações

#### 4.6.2 Regionalização considerando a existência de sub-regiões homogêneas

Procurou-se verificar a melhoria de ajustes de equações de regressão considerando, ao invés de uma única, duas regiões homogêneas.

A consideração de uma única região homogênea conduziu a ajustes apresentando desvios percentuais maiores que 30% e resíduos padronizados fora do intervalo adotado de -1,5 a +1,5, para algumas das estações fluviométricas consideradas.

Cabe observar que estes limites são empíricos, tendo sido adotados com base em outros estudos de regionalização, como foi mostrado na tabela 7 do item 3.7.1.

Para início da análise de subdivisão da área de estudo em diferentes regiões homogêneas foram observadas as classes de resíduos dos modelos M1 e M3.

Na análise das classes de resíduos do modelo M1 (tabela D.2 do Anexo D), todas as estações se enquadraram na classe 1, excetuando-se Ibitirama, que se enquadrou na classe 5.

Esta situação pode indicar um comportamento diferenciado desta estação perante as outras. Este comportamento pode ser explicado por Ibitirama possuir a maior vazão específica, entre todas as estações consideradas no estudo. Porém, a existência de apenas um posto de classe diferenciada não indica a necessidade da subdivisão da área em sub-regiões.

Pela análise do modelo M3, todas as estações se enquadraram na Classe 1. Os resultados das classes são apresentados na tabela D.3 do Anexo D.

Iniciou-se, então, a análise de curvas de frequência adimensionais para cada posto, procurando-se verificar os coeficientes angulares de subgrupos de curvas que indicavam tendências próximas, sugerindo a formação de sub-regiões homogêneas.

As distribuições Normal e Lognormal foram ajustadas aos coeficientes angulares das curvas de frequência adimensionalizadas, sendo os resultados apresentados na tabela 16. Nos ajustes da distribuição Normal ocorreram valores do coeficiente de determinação menores que 0,8. Os valores de  $R^2$  obtidos nos ajustes da distribuição Lognormal se apresentaram sempre superiores aos obtidos nos ajustes da distribuição Normal, sendo que apenas para uma estação o valor de  $R^2$  ficou abaixo de 0,9. Desta forma, optou-se pela análise dos valores de coeficientes angulares obtidos considerando-se ajustes com a distribuição Lognormal.

Tabela 16 - Coeficientes angulares (b) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) das curvas de frequência, obtidos considerando-se ajustes com as distribuições Normal e Lognormal

Estação	Código	Normal		Lognormal		Bacia	
		b	R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>		
Laranja da Terra	56991500	0,342	0,793	0,316	0,953	Doce	
Baixo Guandu	56992000	0,314	0,899	0,306	0,977		
Jus. Corrego Piaba	56993551	0,406	0,868	0,385	0,965		
Afonso Cláudio	SU-AC	0,286	0,845	0,266	0,925		
Itaguaçu	SU-ITA	0,459	0,696	0,405	0,930		
Córrego do Galo	57170000	0,260	0,939	0,255	0,988	Jucu	
Matilde	57250000	0,217	0,979	0,218	0,990	Benevente	
Pau D'alho	57300000	0,287	0,976	0,296	0,983	Novo	
Iconha	57320000	0,306	0,956	0,313	0,979		
Valsugana Velha	SU-VV	0,355	0,953	0,359	0,993	Reis Magos	
Usina Fortaleza	57350000	0,277	0,945	0,277	0,978	Itapemirim	
Iúna	57360000	0,324	0,721	0,290	0,902		
Terra Corrida	57370000	0,274	0,947	0,272	0,994		
Itaici	57400000	0,269	0,947	0,266	0,983		
Ibitirama	57420000	0,254	0,953	0,253	0,980		
Rive	57450000	0,281	0,913	0,277	0,973		
Castelo	57490000	0,284	0,956	0,284	0,984		
Usina S. Miguel	57550000	0,266	0,954	0,263	0,990		
Coutinho	57555000	0,346	0,901	0,337	0,972		
Dores R. Preto	57720000	0,280	0,960	0,320	0,812		Itabapoana
Guaçuí	57740000	0,265	0,875	0,252	0,962		
São José Calçado	57770000	0,382	0,876	0,364	0,979		
Mimoso do Sul	57880000	0,333	0,890	0,322	0,964		

Foi analisada, então, a proximidade entre os coeficientes angulares obtidos, considerando-se limites de variações de 20%, 25% e 30% em relação à média dos mesmos. Na tabela 17 são mostrados os intervalos de variações. Pode ser observado que as estações que apresentaram valores de b fora dos intervalos de variação não sugeriram diretamente a existência de sub-regiões homogêneas, independentemente do limite de porcentagem de variação considerado em relação ao valor médio de b. Para o limite percentual mais restritivo, 20%, por exemplo, há indicação de que as duas estações da bacia do rio Doce (Jusante Córrego da Piaba e Itaguaçu) possam constituir uma sub-região homogênea junto às outras que também fazem parte da bacia. No entanto, as quatro estações que apresentaram valores fora do intervalo, sendo duas da bacia do Doce, uma do rio Benevente e uma da bacia do Itabapoana, estão geograficamente distantes e apresentam características hidrológicas diferentes, o que indica que as quatro não pertencem a uma mesma sub-região.

Tabela 17 – Estações apresentando valores de coeficientes angulares (b) fora de diferentes intervalos limites

Limites percentuais relativos ao valor médio de b	Limites inferiores	Valor médio de b	Limites superiores	Estações fora do intervalo
20%	0,240	0,300	0,360	Jusante Córrego da Piaba; Itaguaçu; Matilde; São José do Calçado.
25%	0,225	0,300	0,375	Jusante Córrego da Piaba; Itaguaçu; Matilde.
30%	0,210	0,300	0,390	Itaguaçu.

A observação visual da curva de frequência adimensionalizada para todas as 23 estações, figura 15, indica a existência de dispersão dos dados nas suas extremidades.

Portanto, pela análise da classe dos resíduos não foi possível distinguir diretamente diferentes sub-regiões homogêneas, nem na análise da proximidade dos coeficientes angulares pelos limites percentuais analisados. Contudo, a análise visual das curvas de frequência adimensionalizadas sugeriu a possibilidade de divisão da região.

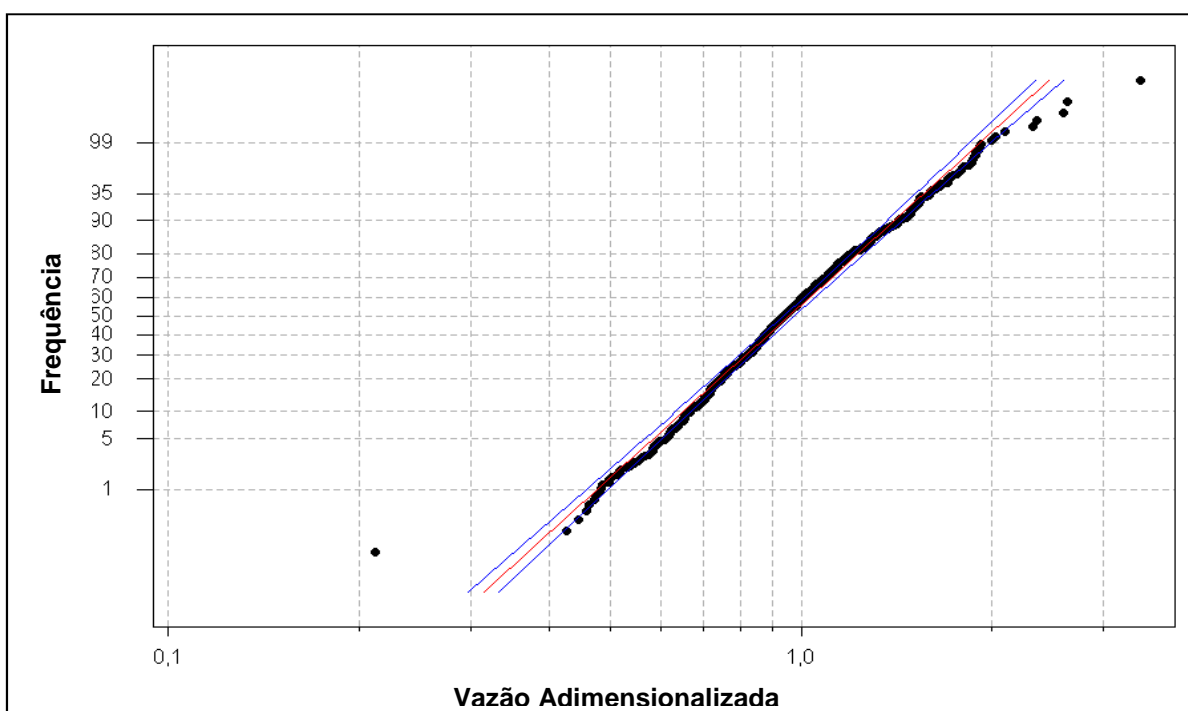


Figura 15 – Gráfico da distribuição de frequência adimensionalizada para a região homogênea única

Considerando a dispersão observada, buscou-se averiguar se a distribuição geográfica das estações, suas características físicas, climáticas e a existência de estações em uma mesma bacia hidrográfica, indicariam possíveis sub-regiões homogêneas.

Com base nesses critérios, adotou-se uma divisão da área de estudo em duas sub-regiões homogêneas, separando-se as estações que se encontravam mais ao Norte daquelas mais ao Sul, conforme mostrado na tabela 18.

Tabela 18 – Subdivisão preliminar da área de estudo em sub-regiões homogêneas

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Sub-região Homogênea</b>	<b>Bacia</b>
Laranja da Terra	56991500	SR 1	
Baixo Guandu	56992000	SR 1	
Jus. Corrego Piaba	56993551	SR 1	Doce
Afonso Cláudio	SU-AC	SR 1	
Itaguaçu	SU-ITA	SR 1	
Valsugana Velha	SU-VV	SR 1 ou 2	Reis Magos
Córrego do Galo	57170000	SR 2	Jucu
Matilde	57250000	SR 2	Benevente
Pau D'alho	57300000	SR 2	
Iconha	57320000	SR 2	Novo
Usina Fortaleza	57350000	SR 2	
Iúna	57360000	SR 2	
Terra Corrida	57370000	SR 2	
Itaici	57400000	SR 2	
Ibitirama	57420000	SR 2	Itapemirim
Rive	57450000	SR 2	
Castelo	57490000	SR 2	
Usina S. Miguel	57550000	SR 2	
Coutinho	57555000	SR 2	
Dores R. Preto	57720000	SR 2	
Guaçuí	57740000	SR 2	
São José Calçado	57770000	SR 2	Itabapoana
Mimoso do Sul	57880000	SR 2	

Os postos situados mais ao Norte foram considerados como inseridos em uma sub-região, denominada SR1, e localizam-se na mesma bacia, do rio Doce. Esta sub-região possui clima mais seco e média de precipitação geralmente inferior às apresentadas na sub-região adotada para as estações situadas mais ao Sul, denominada SR2. Esta sub-região SR2 adotada abrange estações localizadas nas bacias dos rios Jucu, Benevente, Novo, Itapemirim e Itabapoana.

Ocorreu dúvida quanto à posição relativa da estação Valsugana Velha, intermediária, em termos geográficos, em relação às sub-regiões adotadas, SR1 e SR2. Por este motivo, procurou-se comparar ajustes considerando esta estação como pertencente a cada uma delas.

A figura 16 mostra as curvas de frequência adimensionais para as sub-regiões SR1 e SR2, excluindo-se a estação Valsugana Velha. Observa-se que a subdivisão adotada aponta melhorias, apesar das curvas ainda apresentarem alguma dispersão nas extremidades.

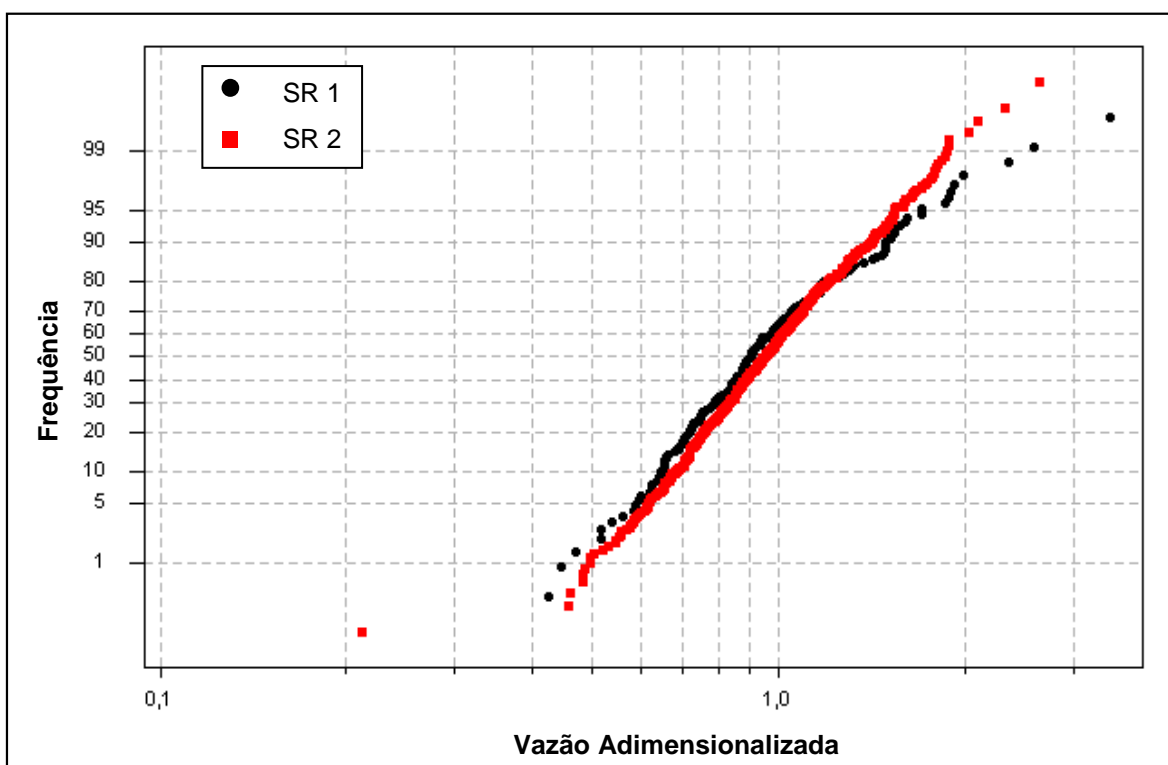


Figura 16 - Gráfico da distribuição de frequência adimensionalizada para as sub-regiões SR1 e SR2 (Vazão adimensionalizada x Frequência)

- Regionalização para a sub-região SR1

Foram ajustadas diversas equações de regressão para a sub-região SR1, que são apresentadas na tabela D.4 do Anexo D. Na tabela 19 estão os modelos com menores erros médios, que apresentaram poucas estações com desvios percentuais inferiores a 30%, e valores significativos de F. Considerou-se a possibilidade de inclusão ou não da estação Valsugana Velha na sub-região.

Quando a estação Valsugana Velha era retirada, na análise da SR1, o modelo de regressão ficava restrito à utilização de apenas uma variável explicativa, devido à limitação do grau de liberdade.

As equações que consideraram Valsugana Velha foram obtidas a partir de uma faixa de área (A) entre 89km<sup>2</sup> e 2.142km<sup>2</sup>; precipitação (P) entre 1097,79mm a 1.582,21mm; declividade média da bacia entre 42,40% e 48,82%.

Tabela 19 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR1

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação retirada
M5	$Q_{mlp} = 0,046 A^{0,802}$	0,905	0,873	1,28	1,63	1	0,001	Valsugana Velha
M6	$Q_{mlp} = 0,055 A^{0,775}$	0,933	0,916	1,24	1,44	1	0,001	-
M7	$Q_{mlp} = 2,365 \cdot 10^{-08} A^{0,981} P^{1,88}$	0,970	0,950	1,22	1,13	0	0,005	-
M8	$Q_{mlp} = 7,226 \cdot 10^{-8} A^{0,735} S m^{3,61}$	0,999	0,998	1,03	0,16	0	0,000	-

O modelo M5, sem Valsugana Velha, apresentou uma estação com desvio percentual maior que 30%, erro médio e erro padrão fatorial maior que o apresentado pelo modelo M6, que também considera apenas a área de drenagem como variável explicativa, mas inclui a estação Valsugana Velha. Além disso, o coeficiente de determinação de M5 foi menor que o de M6. Os modelos M7 e M8 apresentaram erros médios menores que M5 e M6, sendo escolhidos para análise mais detalhada.

Entre os modelos M7 e M8, o que apresentou maiores erros percentuais foi o denominado M7 (figura 17), que considera as variáveis área e precipitação e a estação Valsugana Velha. Possivelmente, esta condição tenha ocorrido devido ao fato das precipitações médias anuais na bacia da estação Valsugana Velha serem muito maiores do que aquelas que ocorrem nas bacias das estações situadas na bacia do rio Doce. A menor média de desvios percentuais correspondeu ao modelo M8 (2,04%), seguido de M7 (11,57%).



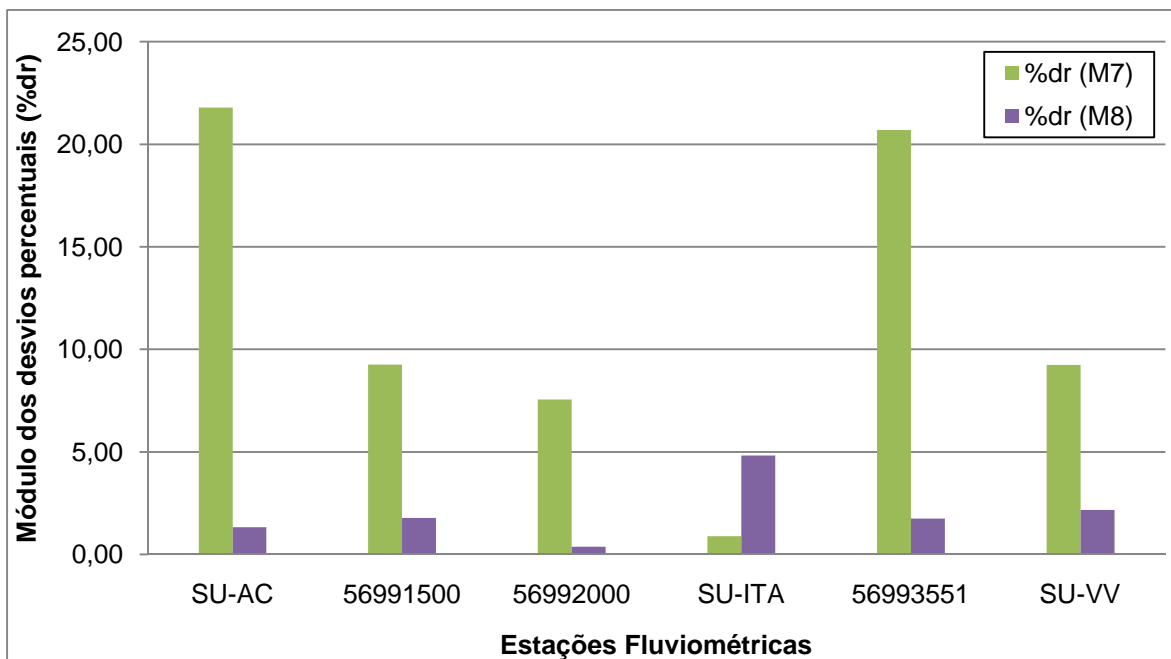


Figura 17 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para os modelos M7 e M8 da sub-região SR1

Comparando-se os desvios percentuais observados para os modelos M7 e M8 com aqueles correspondentes aos modelos M1 e M3 (figura 18), percebe-se que para a maioria dos casos M8 forneceu melhores estimativas, indicando que a subdivisão da área de estudo ocasionou melhoria nos ajustes de modelos e nas estimativas de vazões, no que se refere às estações consideradas na sub-região SR1.

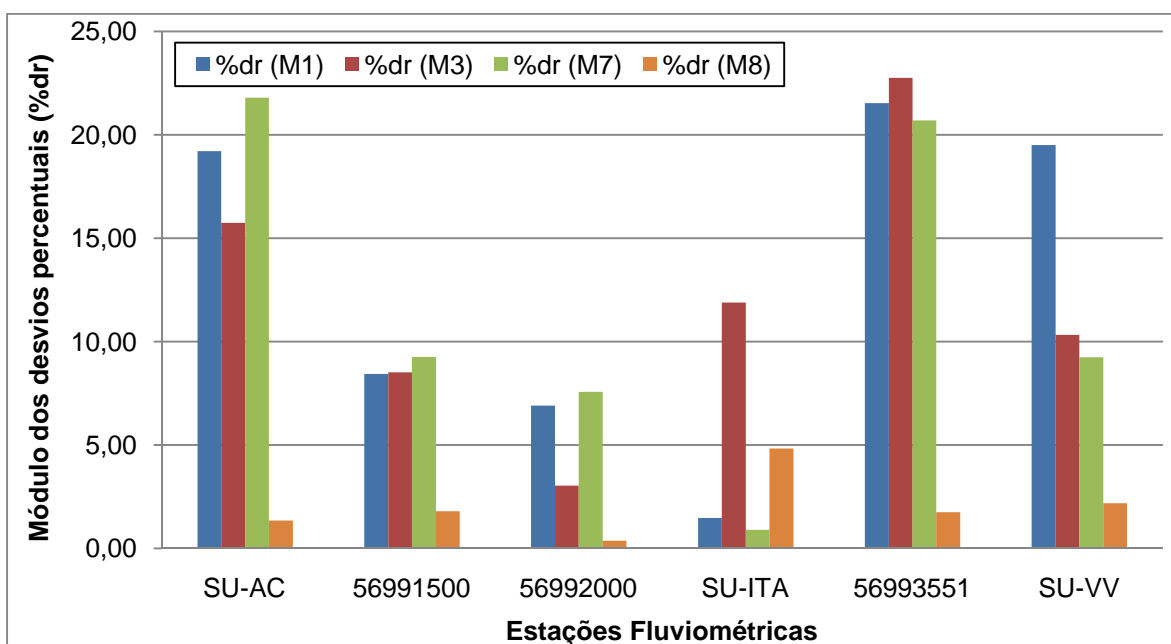


Figura 18 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para os modelos M1, M3, M7 e M8 da sub-região SR1

Ao se analisar as médias dos erros percentuais destes quatro modelos pela figura 19, observa-se que M7 apresentou valor equivalente aos modelos que consideraram a região homogênea única (R). A média obtida para M8 se difere dos demais, apresentando valor notadamente inferior.

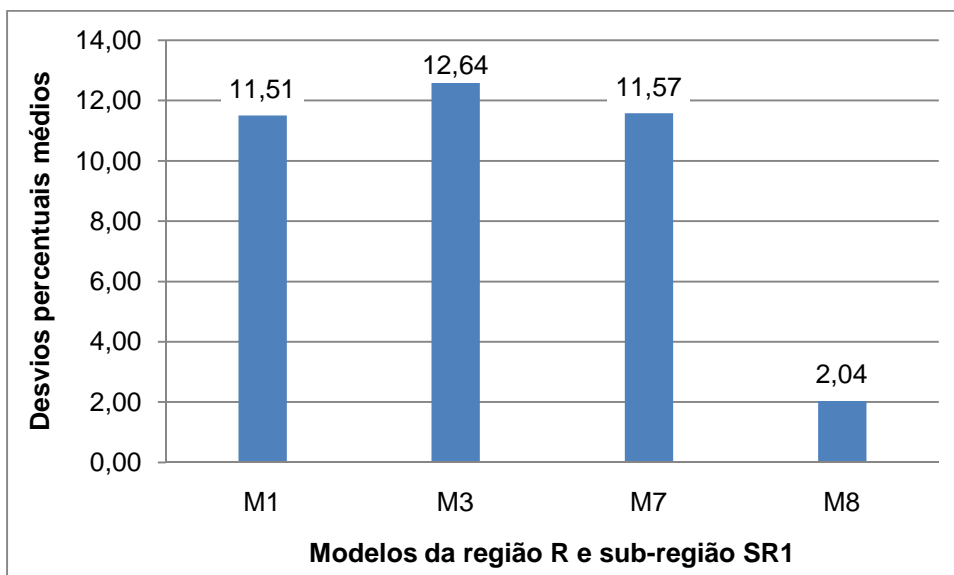


Figura 19 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para os modelos de regressão M1, M3, M7 e M8

A figura 20 apresenta as bacias da SR1, incluindo a bacia referente à estação Valsugana Velha.

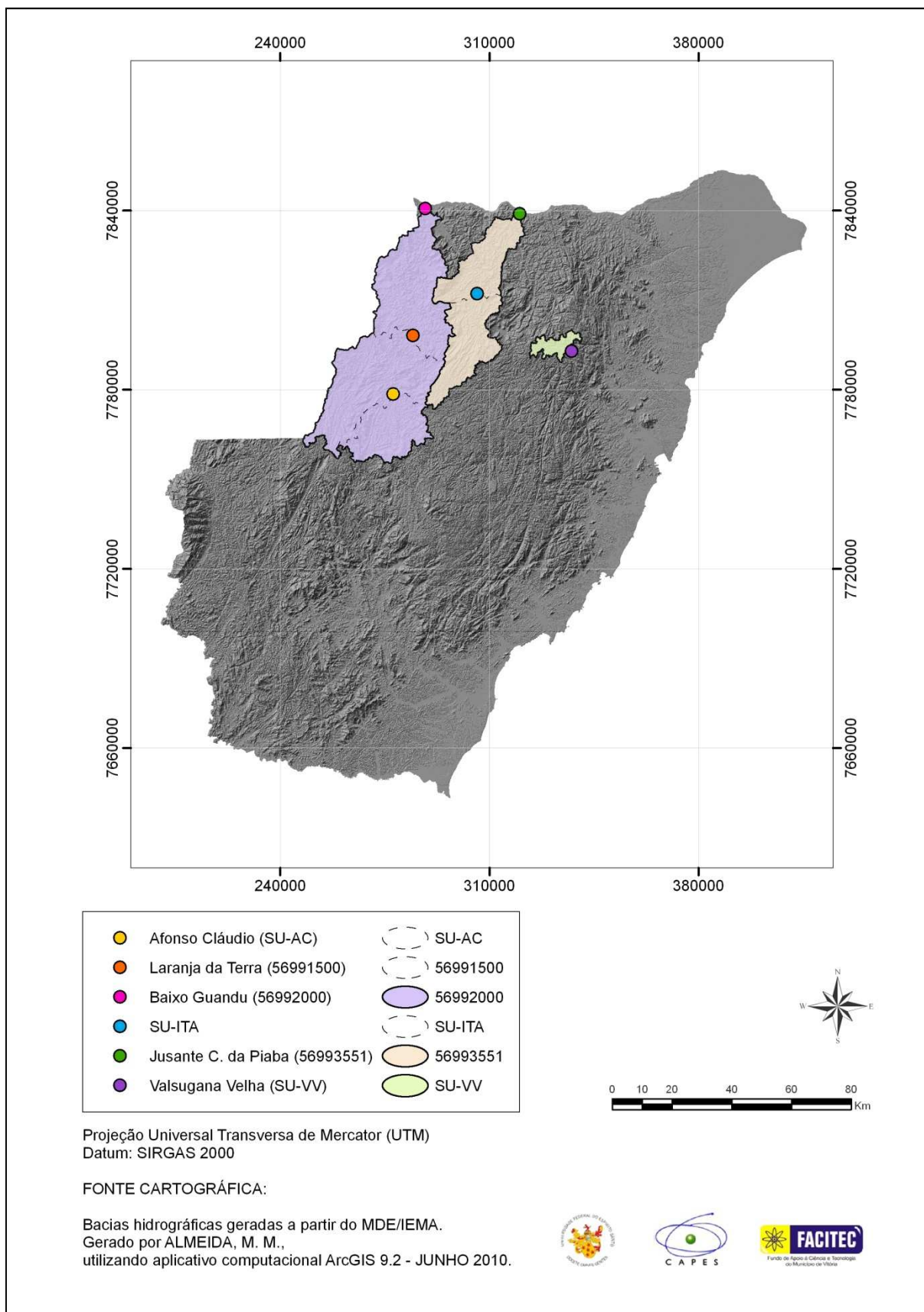


Figura 20 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão SR1, incluindo a bacia referente à estação Valsugana Velha

- Regionalização para a sub-região SR2

Para a sub-região SR2, foram ajustados diversos modelos que estão apresentados na tabela D.5 do Anexo D. Da mesma forma que para a SR1, foram selecionadas as equações de regressão, apresentadas na tabela 20, com menores erros médios, erros padrão fatoriais abaixo de 1,5, coeficientes de ajustamento acima de 0,80 e valores de teste F significativos.

As equações, desconsiderando Valsugana Velha, foram obtidas a partir de uma faixa de área (A) entre 150km<sup>2</sup> e 4.606km<sup>2</sup>; precipitação (P) entre 1.305,75mm a 1.807,81mm; declividade entre a nascente e a foz entre 7,95m/km e 37,97m/km.

Tabela 20 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR2

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação retirada
M9	$Q_{mlp} = 3,500.10^{-08} A^{0,948} P^{1,86}$	0,986	0,984	1,228	1,549	2	0,000	Valsugana Velha
M10	$Q_{mlp} = 2,040.10^{-03} A^{1,10} S_L^{0,583}$	0,985	0,983	1,210	1,869	3	0,000	Valsugana Velha
M11	$Q_{mlp} = 3,091.10^{-08} A^{0,967} P^{1,86}$	0,985	0,983	1,226	1,632	2	0,000	-
M12	$Q_{mlp} = 6,295.10^{-03} A^{1,00} S_L^{0,402}$	0,981	0,978	1,222	2,074	1	0,000	-
M13	$Q_{mlp} = 2,94.10^{-07} A^{1,10} P^{1,26} S_L^{0,450}$	0,988	0,985	1,183	1,361	1	0,000	Valsugana Velha
M14	$Q_{mlp} = 1,74.10^{-07} A^{1,04} P^{1,44} S_L^{0,318}$	0,986	0,983	1,186	1,380	1	0,000	-

Na tabela D.5 do Anexo D, verificou-se a existência de modelos com duas variáveis e erros médios menores. Porém, esses não estão na tabela 20 pois os valores obtidos no teste t foram acima dos limites adotados. No caso dos modelos com três variáveis explicativas, M13 e M14 foram os únicos que apresentaram valores dentro dos limites considerados por este mesmo teste. Os erros padrão fatoriais das regressões apresentaram valores inferiores a 1,5 e os coeficientes de determinação ajustados ficaram superiores a 0,95.

Analisando-se os desvios percentuais das equações de regressão, apresentados na tabela 21, observa-se que, na maior parte dos casos, as estações que se encontravam com erros percentuais acima de 30% foram Ibitirama (57420000) e São José do Calçado (57770000).

Tabela 21 - Valores em módulo dos desvios percentuais (%dr) obtidos para cada estação a partir de modelos de regressão da sub-região SR2

Estação	Código	M9	M10	M11	M12	M13	M14
Córrego do Galo	57170000	11,42	1,95	11,71	7,15	6,36	1,66
Matilde	57250000	18,71	17,99	15,65	13,85	3,06	9,71
Pau D'alho	57300000	1,36	28,05	3,25	21,27	18,83	12,74
Iconha - Montante	57320000	6,83	9,69	9,91	10,13	1,76	0,88
Usina Fortaleza	57350000	15,13	1,23	17,38	4,91	10,63	10,22
Lúna	57360000	9,75	3,21	10,86	7,04	8,40	7,90
Terra Corrida - Montante	57370000	6,18	3,14	6,85	1,90	10,75	8,94
Itaici	57400000	4,34	6,64	4,01	5,82	0,44	1,87
Ibitirama	57420000	35,18	20,24	36,33	25,63	20,90	24,41
Rive	57450000	9,30	10,24	7,63	13,61	7,51	9,32
Castelo	57490000	19,71	31,07	19,99	28,21	26,65	24,34
Usina São Miguel	57550000	23,23	17,22	24,46	14,40	23,36	22,40
Coutinho	57555000	1,10	8,26	4,37	12,80	0,41	2,40
Dores do Rio Preto	57720000	2,24	30,82	0,41	24,90	23,88	19,39
Guaçuí	57740000	12,51	9,82	13,72	11,77	6,49	7,32
São José do Calçado	57770000	57,62	32,38	52,86	50,48	30,95	41,90
Mimoso do Sul	57880000	3,22	12,35	4,70	13,02	3,62	2,82

A figura 21 ilustra o gráfico de barras dos valores correspondentes aos desvios percentuais apresentados na tabela 21.

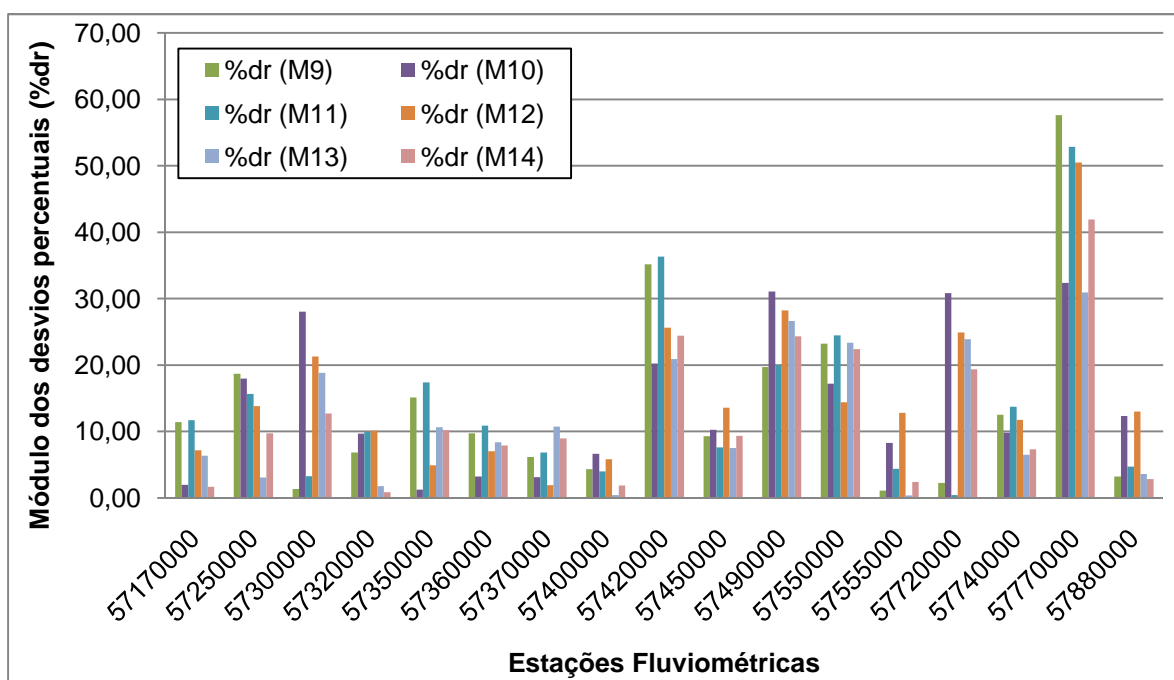


Figura 21 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais em módulo de modelos da sub-região SR2

O modelo com menor média de erros percentuais, comparando-se as estações em comum, foi M13, como pode ser observado na figura 22.

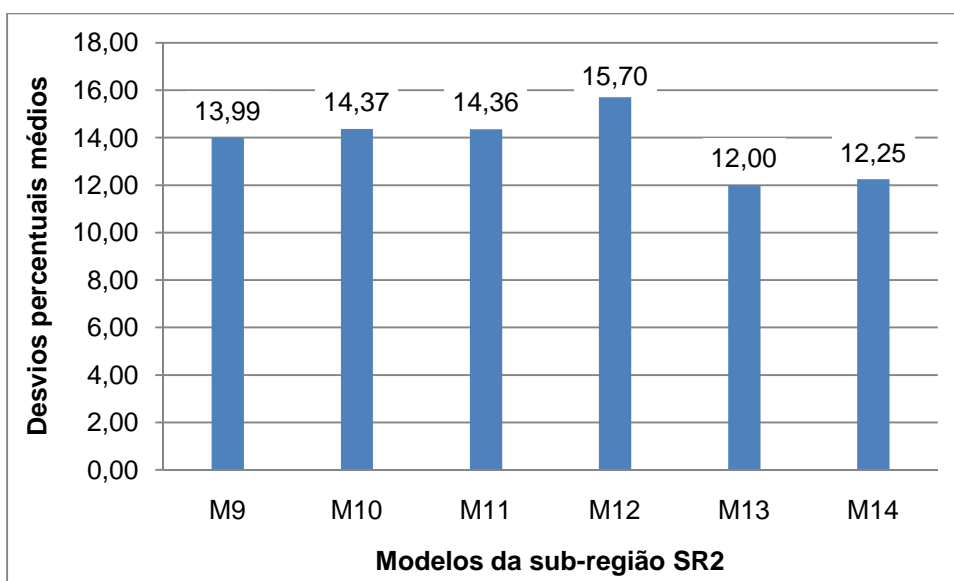


Figura 22 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para modelos de regressão da sub-região SR2

Observa-se que, incluindo M1 e M3 (região R) na análise dos erros percentuais (tabela 22 e na figura 23), alguns dos desvios observados nestes dois modelos foram menores do que aqueles obtidos para as equações de regressão que consideraram apenas estações da SR2.

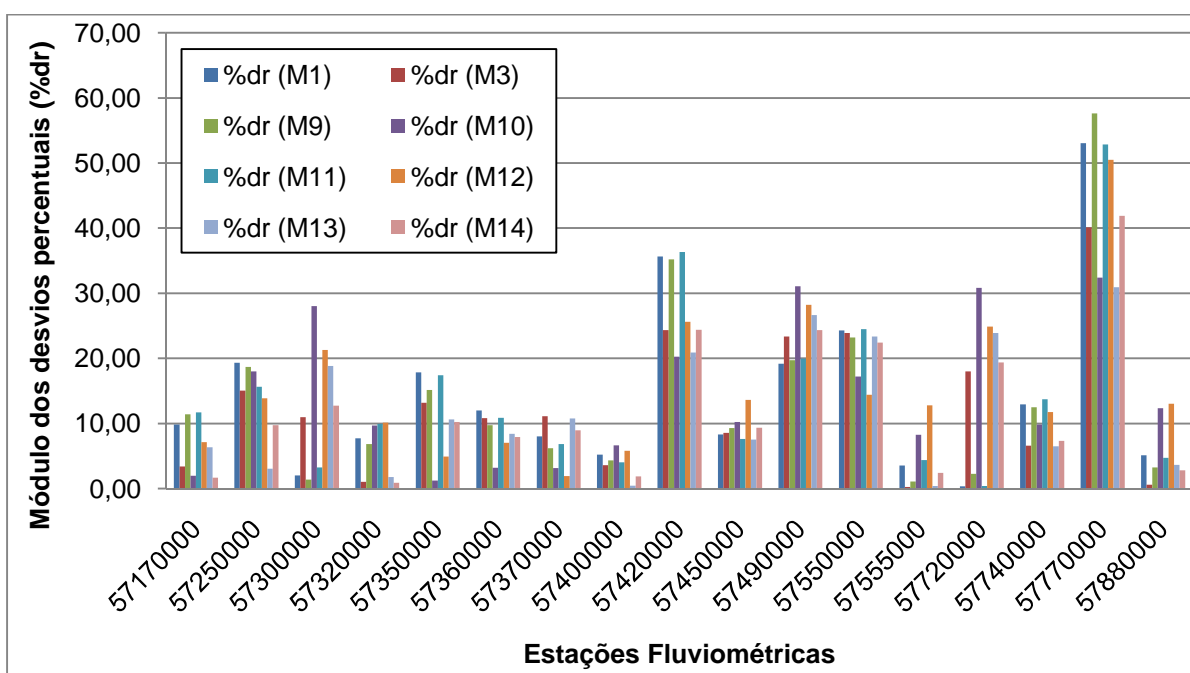


Figura 23 - Gráfico de barras representativo de desvios percentuais em módulo de modelos da região única (R) e da sub-região SR2, considerando as diferentes estações

Tabela 22 - Valores em módulo das porcentagens de desvios percentuais (%dr) obtidas para cada estação, a partir de modelos de regressão da região única (R) e da sub-região SR2

Estação	Código	Região R			Sub-região SR2				
		M1	M3	M9	M10	M11	M12	M13	M14
Córrego do Galo	57170000	9,81	3,41	11,42	1,95	11,71	7,15	6,36	1,66
Matilde	57250000	19,32	15,05	18,71	17,99	15,65	13,85	3,06	9,71
Pau D'alho	57300000	2,01	10,97	1,36	28,05	3,25	21,27	18,83	12,74
Iconha - Montante	57320000	7,74	1,02	6,83	9,69	9,91	10,13	1,76	0,88
Usina Fortaleza	57350000	17,84	13,18	15,13	1,23	17,38	4,91	10,63	10,22
Lúna	57360000	12,01	10,83	9,75	3,21	10,86	7,04	8,40	7,90
Terra Corrida - Montante	57370000	8,01	11,11	6,18	3,14	6,85	1,90	10,75	8,94
Itaici	57400000	5,20	3,58	4,34	6,64	4,01	5,82	0,44	1,87
Ibitirama	57420000	35,65	24,35	35,18	20,24	36,33	25,63	20,90	24,41
Rive	57450000	8,29	8,57	9,30	10,24	7,63	13,61	7,51	9,32
Castelo	57490000	19,17	23,35	19,71	31,07	19,99	28,21	26,65	24,34
Usina São Miguel	57550000	24,28	23,89	23,23	17,22	24,46	14,40	23,36	22,40
Coutinho	57555000	3,56	0,27	1,10	8,26	4,37	12,80	0,41	2,40
Dores do Rio Preto	57720000	0,36	17,99	2,24	30,82	0,41	24,90	23,88	19,39
Guaçuí	57740000	12,92	6,58	12,51	9,82	13,72	11,77	6,49	7,32
São José do Calçado	57770000	53,04	40,10	57,62	32,38	52,86	50,48	30,95	41,90
Mimoso do Sul	57880000	5,11	0,58	3,22	12,35	4,70	13,02	3,62	2,82

Os modelos de regressão M13 e M14 apresentaram as menores médias de erros percentuais (figura 24), o que indica, neste caso, que a inclusão de mais uma variável explicativa melhorou as estimativas de vazões. No entanto, pode-se observar que a diferença entre M13, que apresentou a menor média do desvio, para M3 (região R), e para M12, que apresentou maior desvio, foi de 0,64% e 3,7%, respectivamente. Estes valores indicam que a sub-divisão SR2 apresentou modelos com menores erros percentuais médios, mas não melhorou de forma significativa as estimativas de vazões médias se comparado aos modelos que consideraram a região com um todo (R). Este fato pode ser devido a mais de 70% das estações consideradas na região R fazerem parte de SR2, o que fez com que as estimativas dos modelos de R apresentassem, em média, valores mais próximos aos de SR2.

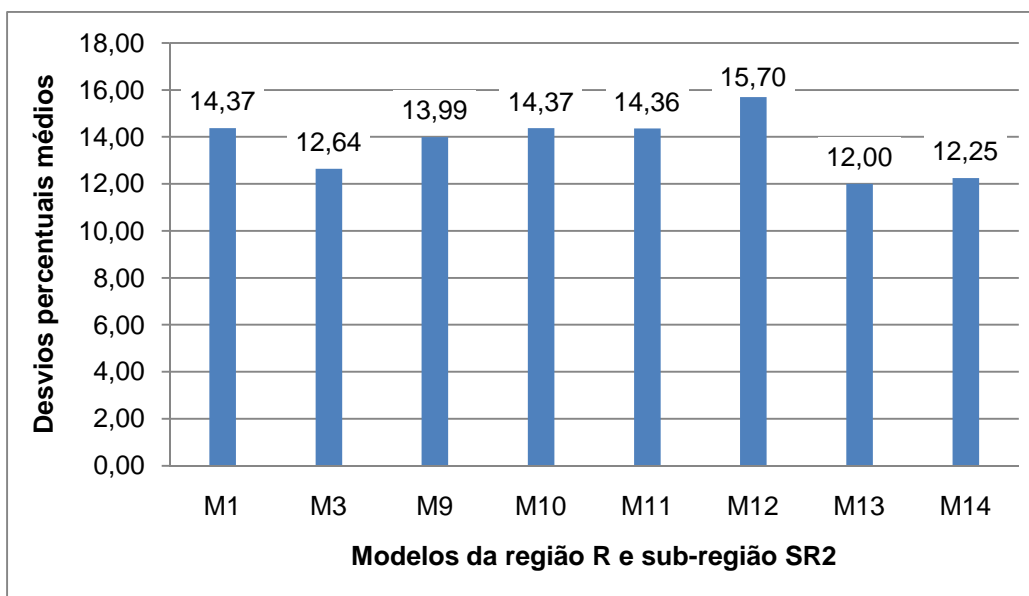


Figura 24 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios em módulo para modelos de regressão da região R e sub-região SR2

Como os modelos da SR2 apresentaram estações com erros percentuais maiores que 30%, realizou-se nova análise, eliminando-se estas estações, como mostra a tabela 23. Dessa forma, buscou-se melhorar o ajustamento e reduzir os erros das vazões estimadas.

No caso do modelo M14.1, com a retirada da estação São José do Calçado, o valor do teste t de uma das variáveis apresentou nível de significância de 92%, diferente do limite de 95% adotado. Todas as equações de regressão apresentadas na tabela 23 tiveram erros padrão fatoriais abaixo de 1,5 e reduções dos respectivos valores de erros quando da retirada de estações. Os coeficientes de determinação ajustados ficaram sempre acima de 0,95, sendo que em quase todas as situações de retirada de estações ocorreram pequenas reduções de valores.



Tabela 23 - Modelos de regressão de SR2 antes e após a retirada de estações

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação Retirada
M9	$Q_{mlp} = 3,500.10^{-08} A^{0,948} P^{1,86}$	0,986	0,984	1,228	1,55	2	0,000	Valsugana Velha
M9.1	$Q_{mlp} = 2,011.10^{-06} A^{0,897} P^{1,35}$	0,988	0,986	1,122	1,72	0	0,000	São José do Calçado e Ibitirama
M10	$Q_{mlp} = 2,040.10^{-03} A^{1,10} S_L^{0,583}$	0,985	0,983	1,210	1,87	3	0,000	Valsugana Velha
M10.1	$Q_{mlp} = 6,183.10^{-03} A^{1,00} S_L^{0,419}$	0,982	0,979	1,189	2,30	0	0,000	São José do Calçado
M11	$Q_{mlp} = 3,091.10^{-08} A^{0,967} P^{1,86}$	0,985	0,983	1,226	1,63	2	0,000	-
M11.1	$Q_{mlp} = 1,436.10^{-06} A^{0,926} P^{1,37}$	0,987	0,985	1,136	1,44	0	0,000	São José do Calçado e Ibitirama
M12	$Q_{mlp} = 6,295.10^{-03} A^{1,00} S_L^{0,402}$	0,981	0,978	1,222	2,07	1	0,000	-
M12.1	$Q_{mlp} = 1,052.10^{-02} A^{0,955} S_L^{0,336}$	0,977	0,974	1,184	2,34	0	0,000	São José do Calçado
M13	$Q_{mlp} = 2,936.10^{-07} A^{1,10} P^{1,26} S_L^{0,45}$	0,988	0,985	1,183	1,36	1	0,000	Valsugana Velha
M13.1	$Q_{mlp} = 1,11.10^{-06} A^{1,00} P^{1,23} S_L^{0,296}$	0,987	0,984	1,158	1,63	0	0,000	São José do Calçado
M14	$Q_{mlp} = 1,74.10^{-07} A^{1,04} P^{1,44} S_L^{0,318}$	0,986	0,983	1,186	1,38	1	0,000	-
M14.1	$Q_{mlp} = 1,09.10^{-06} A^{0,993} P^{1,25} S_L^{0,272}$	0,984	0,980	1,151	1,57	0	0,000	São José do Calçado

Analisando a retirada de estações de M9, observa-se que a média geral dos erros percentuais das estações em comum reduziu em aproximadamente 1%, passando de 9,67% para 8,80%. Na figura 25, verifica-se que 8 estações tiveram os erros percentuais reduzidos no modelo M9.1 se comparado a M9.

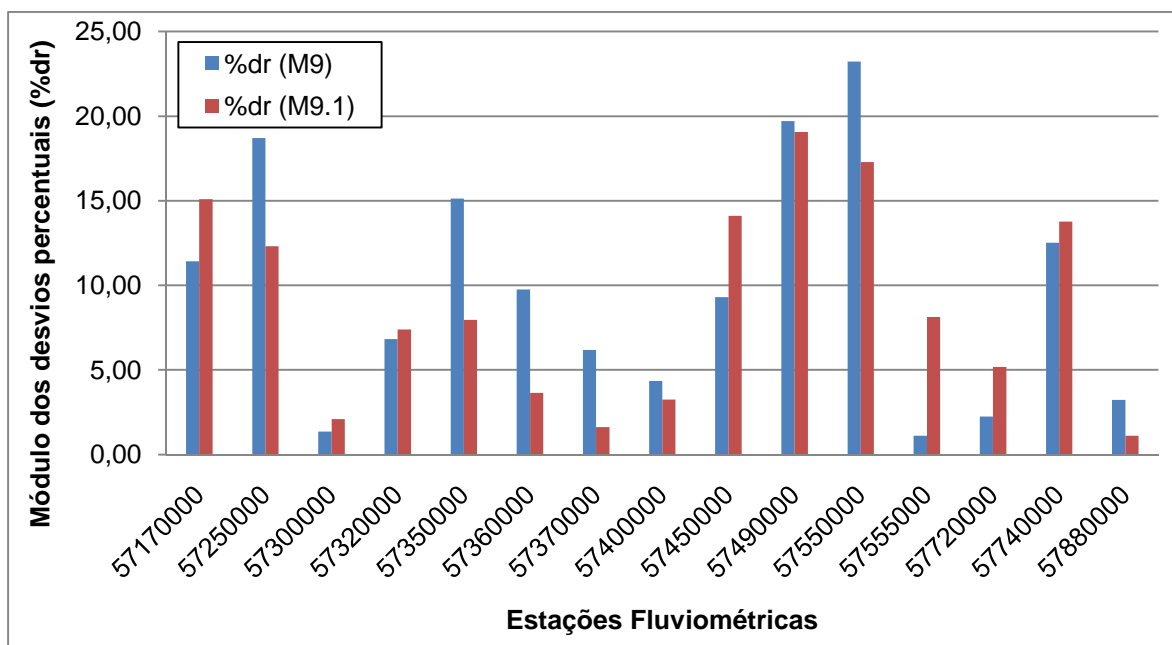


Figura 25 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais para os modelos M9 e M9.1 da sub-região SR2

A mesma análise foi realizada para as outras equações de regressão. O modelo M10.1 apresentou aumento da média do desvio percentual, em relação a M10, da ordem de 0,5%. Comparando-se os erros percentuais das estações em comum, na figura 26, observa-se que 50% das estações apresentaram redução de erros percentuais.

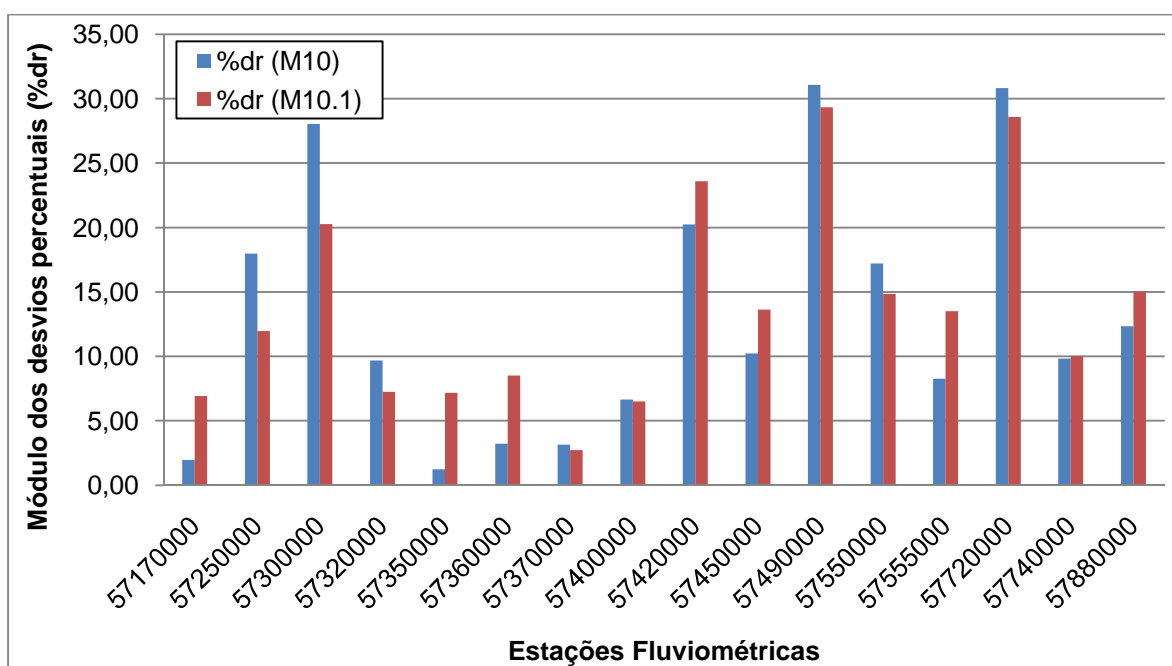


Figura 26 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M10 e M10.1 da sub-região SR2

Comparando-se as estações em comum, o modelo M11.1 apresentou média dos erros percentuais menor que M11, contudo a diferença foi de aproximadamente 1%. A figura 27 mostra a comparação dos módulos dos erros percentuais obtidos nos ajustes dos dois modelos. Foi possível observar que 9 estações apresentaram erro percentual menor quando da retirada de estações.

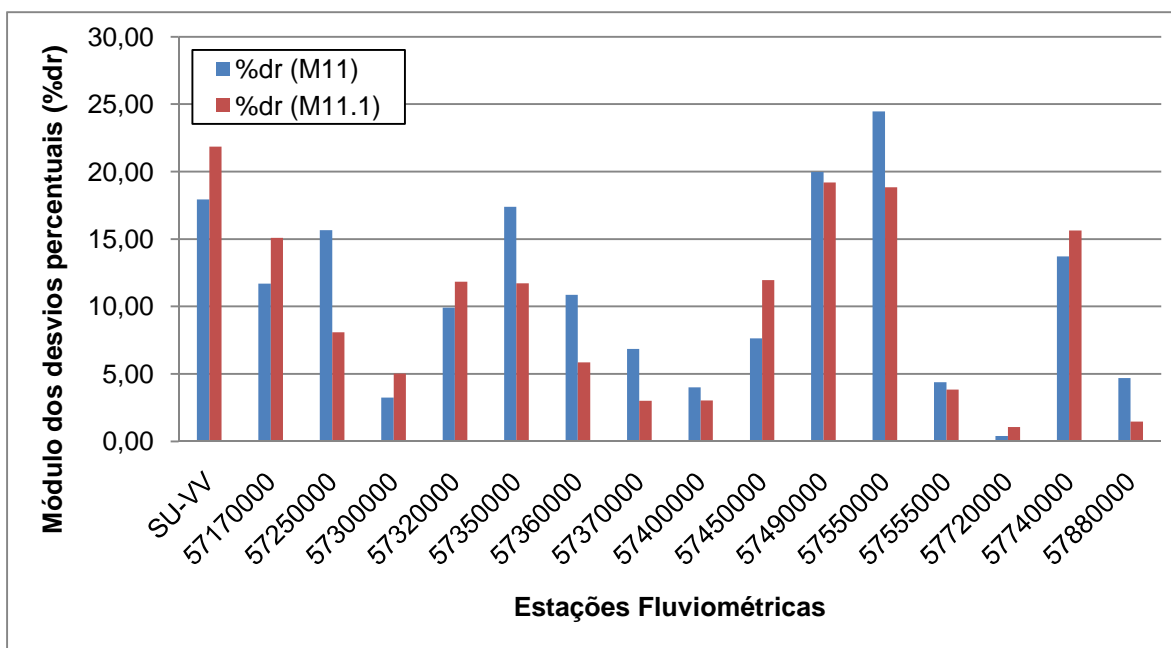


Figura 27 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M11 e M11.1 da sub-região SR2

Para M12.1, a média do erro percentual foi de 13,74%, enquanto a de M12, para as mesmas estações foi de 13,82%, uma diferença de apenas 0,07%. Na figura 28, observa-se que 6 estações em M12.1 apresentaram redução dos erros percentuais.

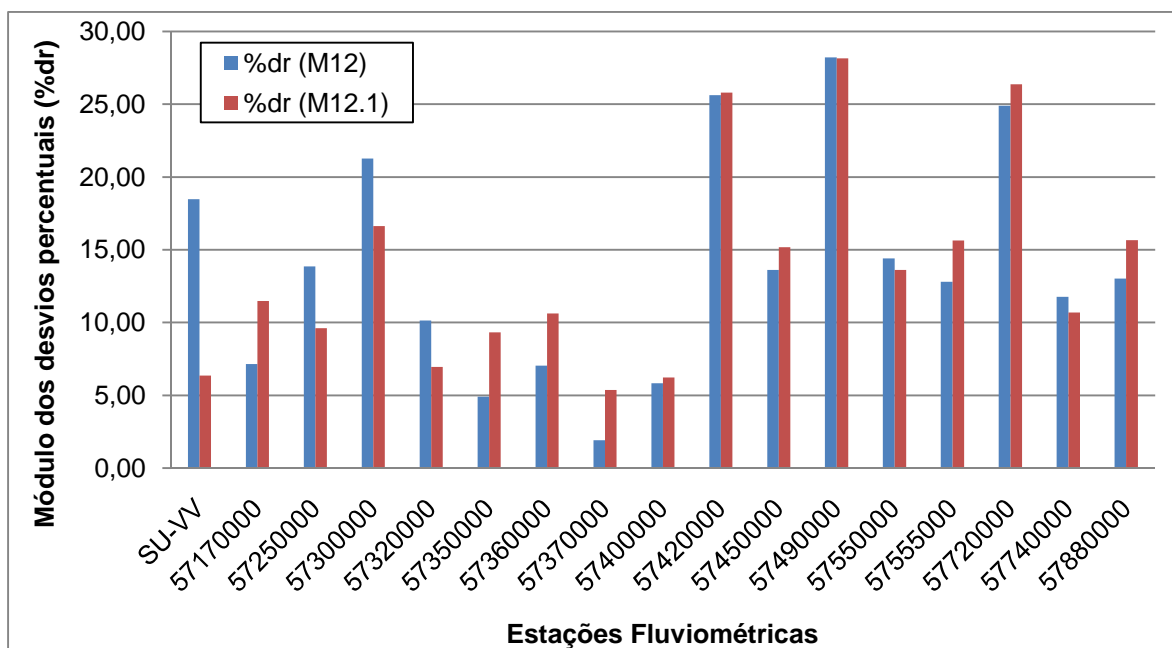


Figura 28 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M12 e M12.1 da sub-região SR2

Com relação à M13.1, verifica-se que a média dos erros percentuais reduziu de 10,82% para 9,98%, considerando-se as estações em comum aos dois modelos. Neste caso, 10 estações apresentaram erros percentuais menores na retirada de estações, como mostra a figura 29.

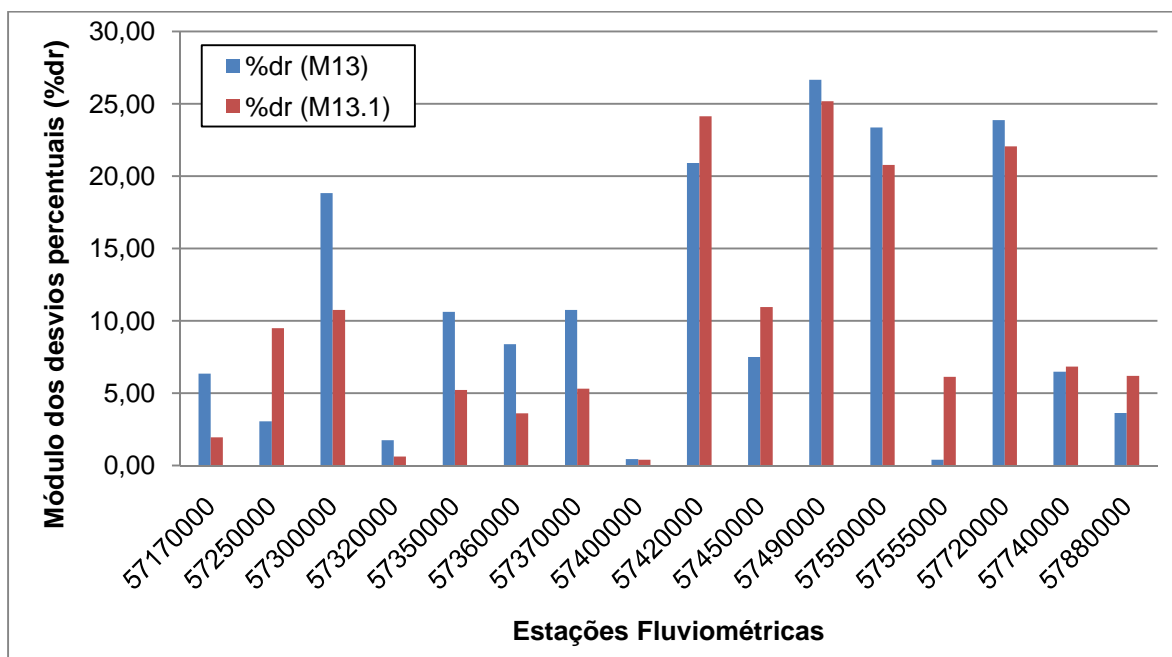


Figura 29 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M13 e M13.1 da sub-região SR2

O modelo M14.1 apresentou média dos desvios percentuais menor que M14. Os valores médios dos desvios foram de 9,53% e 10,49%, respectivamente. Observa-se, na figura 30, que em M14.1, 8 estações apresentaram erros percentuais menores que no M14.

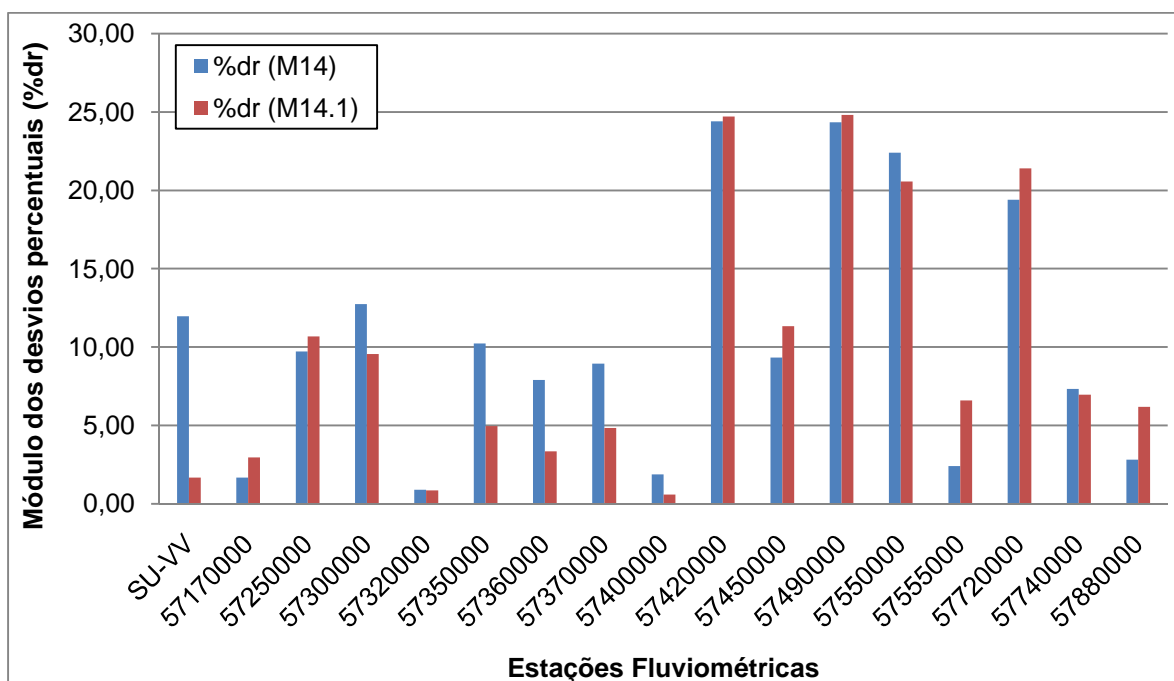


Figura 30 - Gráfico de barras representativo dos módulos dos erros percentuais (%dr) para os modelos M14 e M14.1 da sub-região SR2

De uma forma geral, na maioria dos casos retratados acima, em que foram retiradas estações, os erros percentuais médios sofreram redução. Porém, a redução era pequena, não ultrapassando 1% de diferença em relação ao valor médio dos desvios antes da retirada de estações.

Comparando-se as médias dos erros percentuais das estações em comum dos modelos de SR2 com os da região única (R), considerando ainda os modelos que tiveram estações retiradas, observa-se que a menor média de desvio percentual foi de M9.1, seguido de M13.1, e dos outros modelos da sub-região SR2 que tiveram estações retiradas. Após estes, M9 foi o que apresentou o menor desvio percentual. Verifica-se que M10, M12 e seus respectivos modelos com estações retiradas (M10.1 e M12.1) apresentaram os maiores desvios se comparados aos demais da figura 31. Entre os que consideraram a única região (R), o modelo que forneceu o menor erro percentual médio foi M1.1.

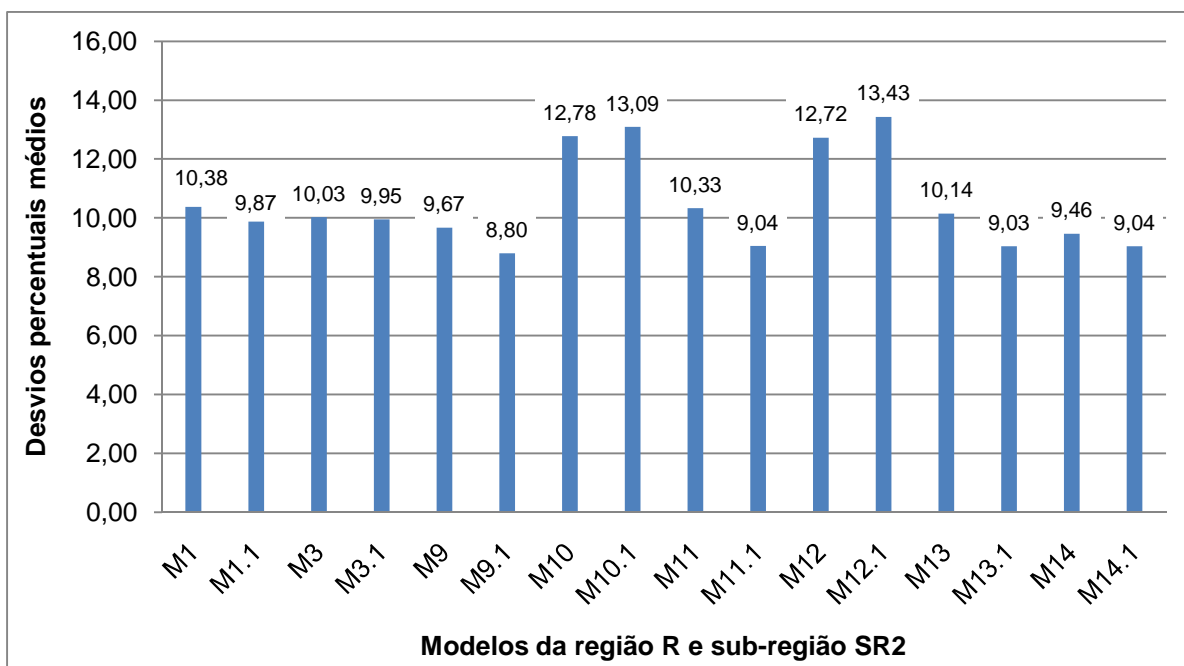


Figura 31 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da região R e sub-região SR2

A diferença observada entre o menor desvio percentual do modelo da sub-região SR2 e o maior da região R, foi aproximadamente 1,5%, o que indica que os valores são próximos. Dessa forma, não se verificou melhoria significativa quando da subdivisão da região de R em SR2.

A figura 32 apresenta as bacias estudadas na sub-região SR2.

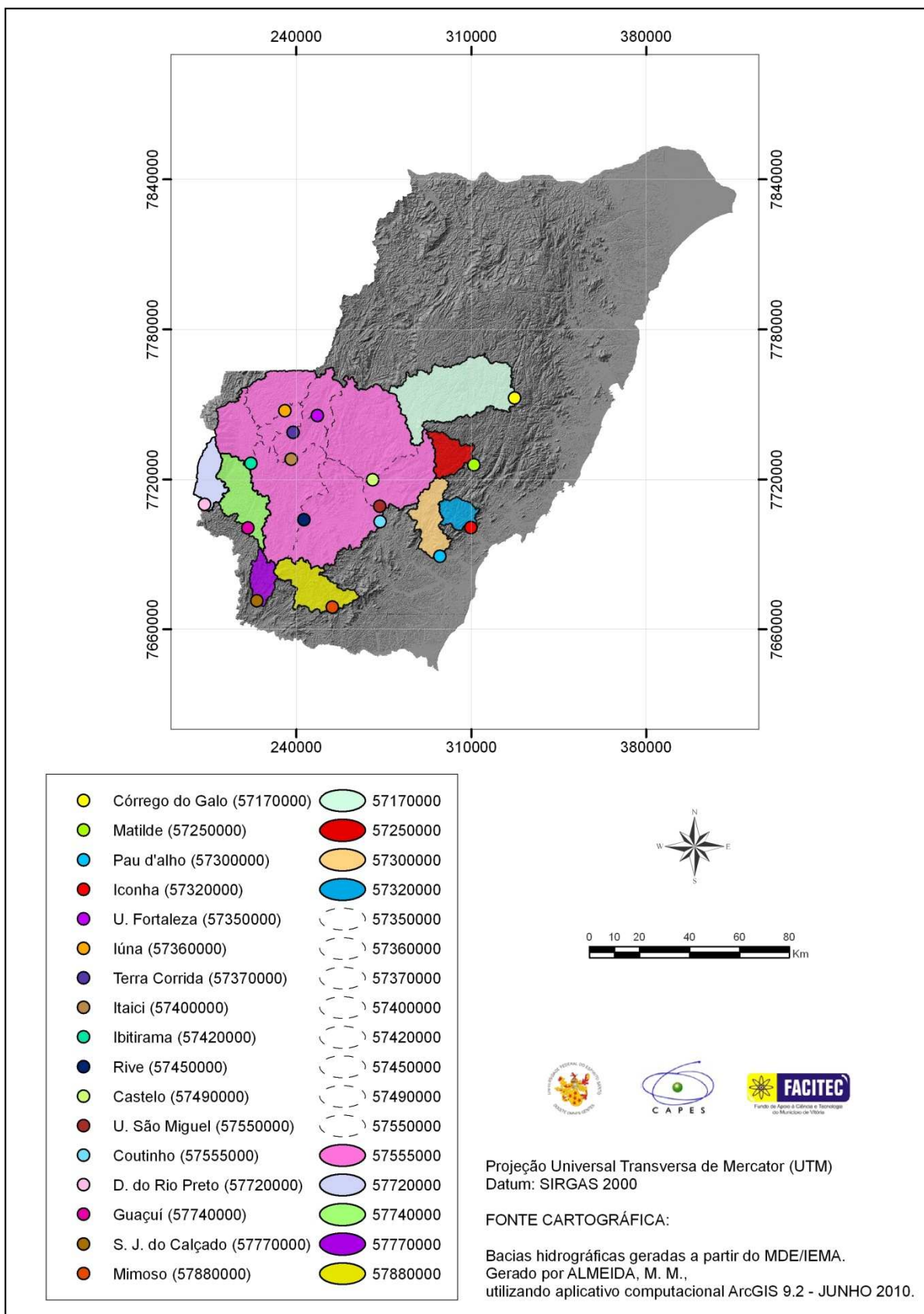


Figura 32 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão SR2, excluindo-se a bacia referente à estação Valsugana Velha

- Sub-região de SR2, SR-Itapemirim

Procurou-se ajustar equações de regressão considerando apenas estações da bacia do Itapemirim, para verificar uma possível melhoria nos ajustes quando da consideração de estações de uma mesma bacia de drenagem na composição de uma sub-região homogênea. Modelos obtidos são apresentados na tabela D.6 do Anexo D.

Na tabela 24 são mostradas as equações de regressão com menores erros médios e que atenderam aos limites adotados para os testes estatísticos realizados. Nenhum modelo com três variáveis explicativas apresentou nível de significância no teste t superior a 90%.

As equações foram obtidas a partir de uma faixa de área (A) entre 222km<sup>2</sup> e 4.606km<sup>2</sup>; precipitação (P) entre 1.329,48mm a 1.564,75mm; declividade entre a nascente e a foz entre 7,95m/km e 34,41m/km.

Tabela 24 - Modelos de regressão considerando a sub-região da bacia do rio Itapemirim

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F
M15	$Q_{mip} = 5,067 \cdot 10^{-02} A^{0,857}$	0,980	0,977	1,265	3,454	1	0,000
M16	$Q_{mip} = 6,501 \cdot 10^{-12} A^{0,833} P^{3,16}$	0,976	0,968	1,184	2,977	1	0,000
M17	$Q_{mip} = 4,732 \cdot 10^{-04} A^{1,20} S_L^{0,862}$	0,985	0,980	1,171	2,699	1	0,000

Os modelos da tabela 24 apresentaram erros padrão fatoriais menores que 1,5, e coeficientes de determinação ajustados maiores que 0,95. Nos modelos M16 e M17, havia estações, uma em cada modelo, que apresentaram erros percentuais acima do limite adotado, porém este valor foi pouco superior a 30%.

Comparando-se os desvios percentuais dos três modelos analisados, de acordo com a figura 33, o que apresentou maiores valores em grande parte das estações foi M15.



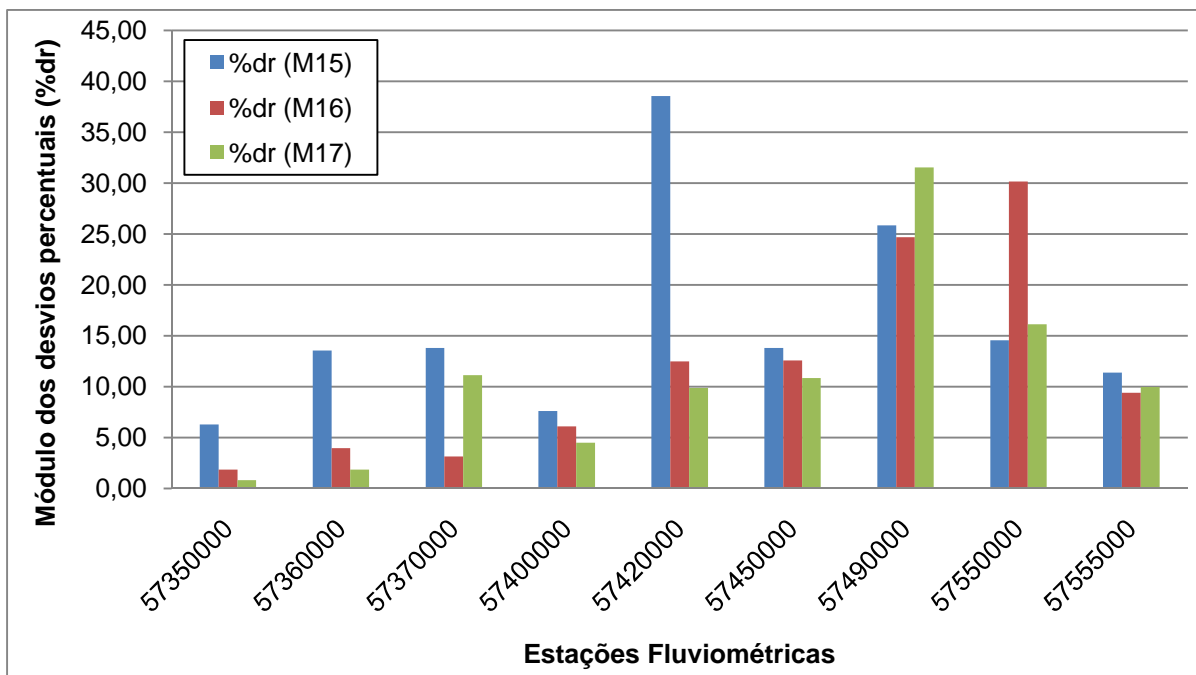


Figura 33 - Gráfico de barras representativo de desvios percentuais (%dr) em módulo de modelos M15, M16 e M17 da sub-região SR-Itapemirim

Na figura 34 é apresentado gráfico de barras das médias dos desvios percentuais para outros modelos que continham as estações da bacia do Itapemirim. Observa-se que três deles possuem médias entre 10 a 12% e, entre estes, dois (M16 e M17) são os modelos para os quais foram consideradas apenas estações da própria bacia. O maior erro percentual médio foi aproximadamente 16% (M15).

A diferença entre a menor média de desvio percentual do modelo que considera apenas a bacia do Itapemirim (M17), para o de maior média do modelo da SR2 (M11) e de R (M1), foi de aproximadamente 4%. Pode ser observado que as diferenças entre as médias dos erros percentuais não é grande, o que indica que a subdivisão, neste caso, não ocasionou melhoria significativa nas estimativas de vazões.

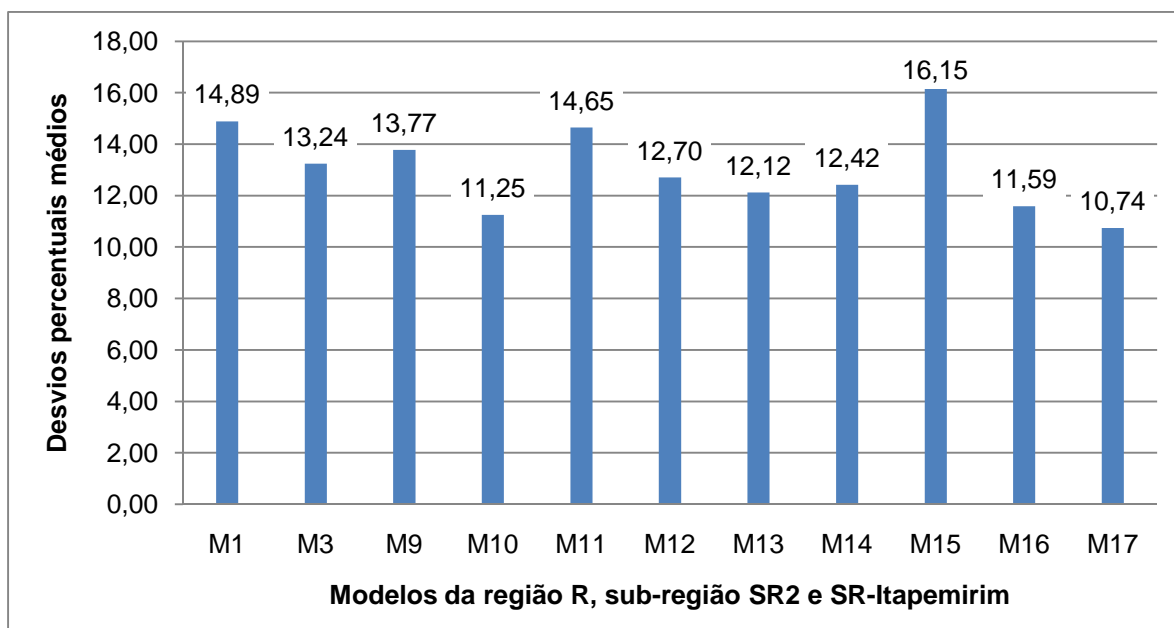


Figura 34 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão que consideraram as estações da bacia do rio Itapemirim

Como os modelos M15, M16 e M17 apresentaram estações com erros percentuais maiores do que 30%, procedeu-se à retirada das mesmas para verificar a possibilidade de melhorias nos ajustes. Alguns dos modelos de regressão obtidos encontram-se na tabela 25.

Tabela 25 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região da bacia do Itapemirim, antes e após a retirada de estações

Nº	Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação Retirada
M15	$Q_{mip} = 5,067 \cdot 10^{-02} A^{0,857}$	0,980	0,977	1,265	3,454	1	0,000	-
M15.1	$Q_{mip} = 2,738 \cdot 10^{-02} A^{0,938}$	0,991	0,996	1,122	2,080	0	0,000	Ibitirama
M16	$Q_{mip} = 6,501 \cdot 10^{-12} A^{0,833} P^{3,16}$	0,976	0,968	1,184	2,977	1	0,000	-
M16.1	$Q_{mip} = 6,033 \cdot 10^{-14} A^{0,852} P^{3,80}$	0,994	0,992	1,136	1,377	0	0,000	Usina São Miguel
M17	$Q_{mip} = 4,732 \cdot 10^{-04} A^{1,20} S_L^{0,862}$	0,985	0,980	1,171	2,699	1	0,000	-
M17.1	$Q_{mip} = 3,609 \cdot 10^{-04} A^{1,23} S_L^{0,912}$	0,991	0,987	1,119	1,961	0	0,000	Castelo

Na figura 35 podem ser observadas as médias de erros percentuais das estações em comum entre os modelos limitados à bacia do rio Itapemirim. O modelo M16.1 apresentou o menor valor médio (3,92%).

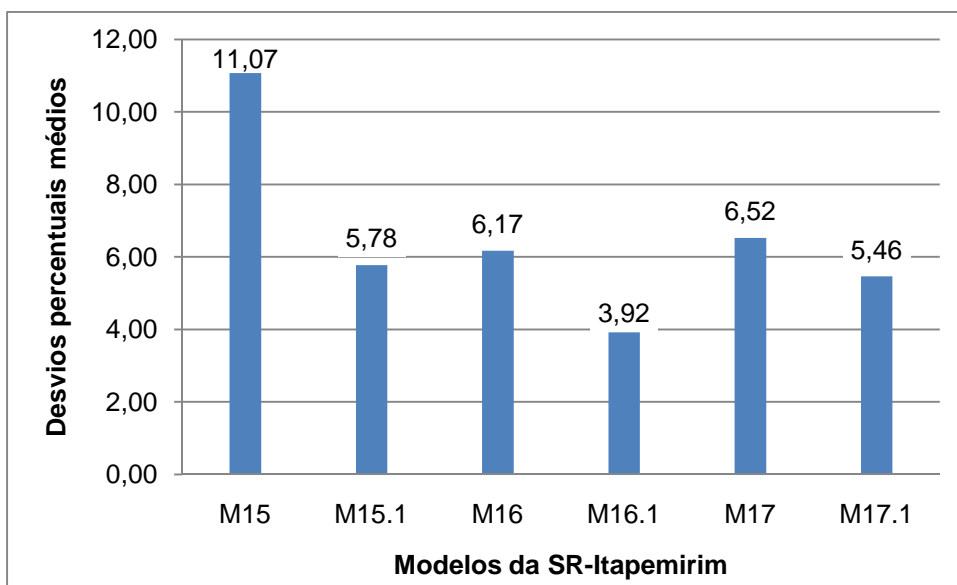


Figura 35 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da sub-região SR-Itapemirim, antes e após a retirada de estações

Comparando-se os modelos obtidos para a sub-região da bacia do rio Itapemirim com aqueles da região única (R) e da SR2 na figura 36, observa-se que M16.1 apresentou a menor média (3,92%). Dos modelos restantes, 11 apresentaram médias de desvios percentuais entre 5 e 7%. Entre estes 11, alguns foram modelos limitados à bacia de Itapemirim e outros de SR2. Os modelos da região única apresentaram médias acima de 7%.

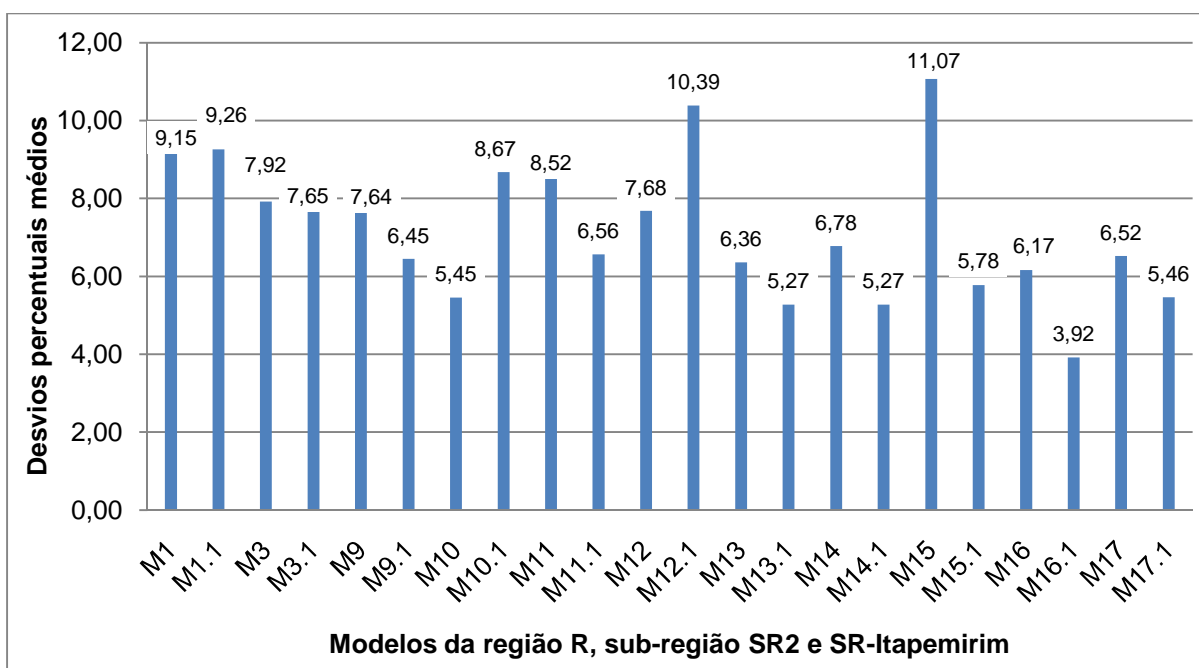


Figura 36 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) em módulo para modelos de regressão da região única (R), de SR2 e SR-Itapemirim

A maioria dos modelos de SR-Itapemirim e de SR2 forneceram resultados melhores que os da região única (R). Porém, observa-se que a diferença entre o modelo que apresentou, entre todos os outros, a menor média de desvio percentual (M16.1), com o modelo da região única (R) que apresentou a maior média (M1.1), é pouco superior a 5%.

A formação de uma sub-região, neste caso, seja ela SR2 ou mesmo limitada à bacia do rio Itapemirim, indicou algumas melhorias nos ajustes das estimativas do que a consideração de uma única região.

A figura 37 apresenta as bacias das estações do rio Itapemirim, consideradas na análise dos modelos para esta sub-região.

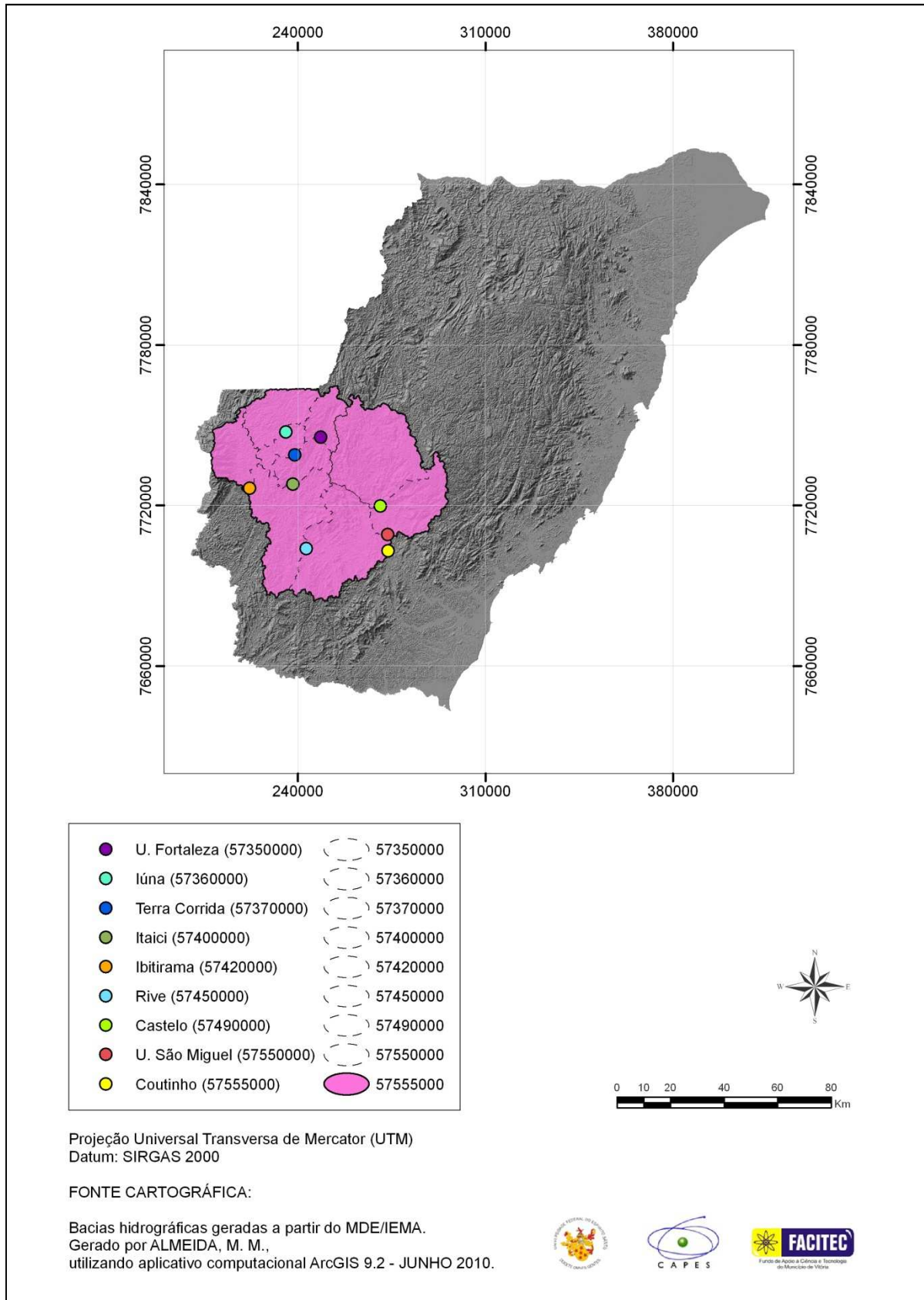


Figura 37 – Áreas de drenagem consideradas na subdivisão restrita às bacias das estações estudadas do rio Itapemirim

- Ajustamento para a estação Valsugana Velha

Para Valsugana Velha, os modelos que forneceram os menores erros percentuais foram os que incluíram esta estação na SR1 (modelos M7 e M8), como pode-se observar na figura 38. Notadamente, o modelo M8 forneceu o melhor resultado.

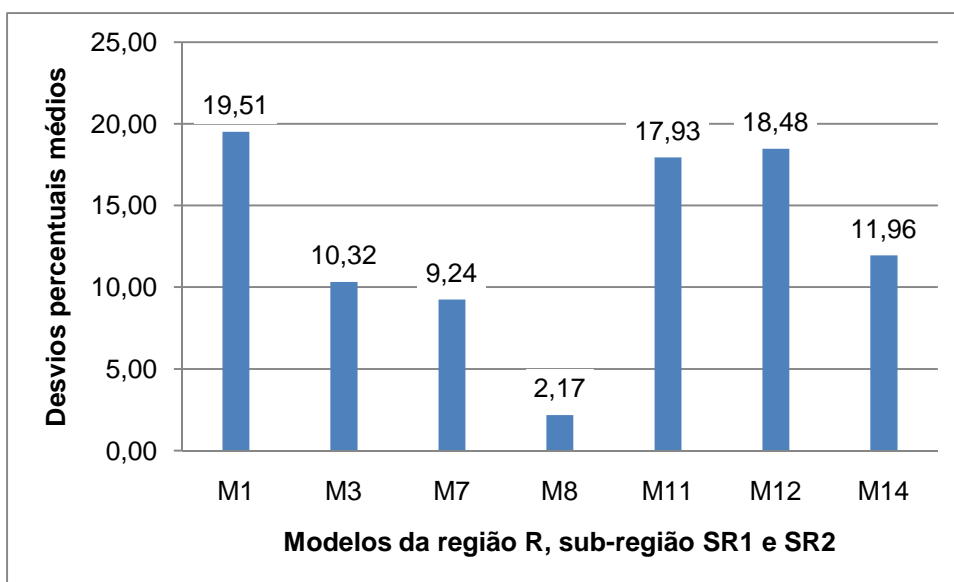


Figura 38 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para modelos de regressão M1, M3, M7, M8, M11, M12 e M14 que consideraram a estação Valsugana Velha

Contudo, após a retirada de estações, o que mais se aproximou da vazão observada foi M3.1, como pode ser observado na figura 39.

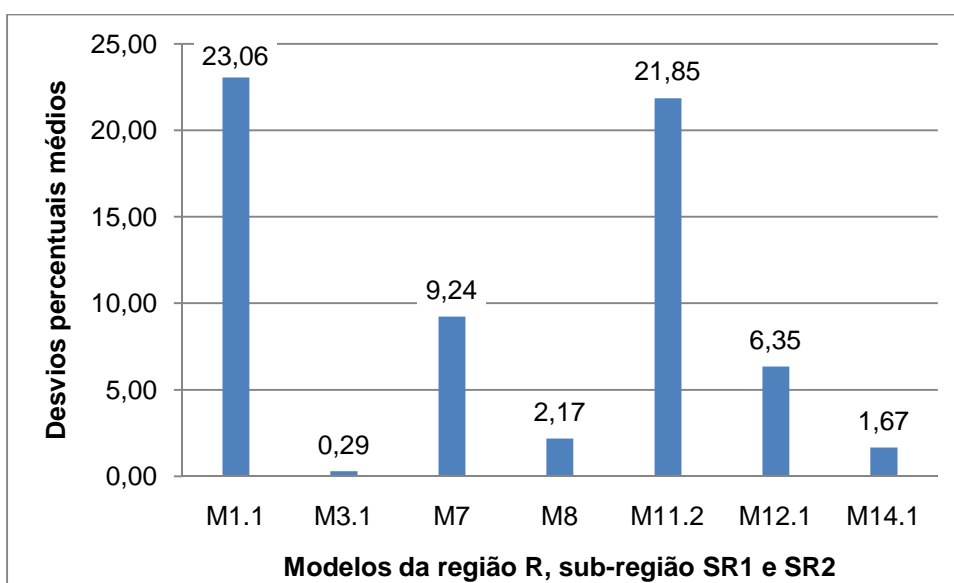


Figura 39 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) em módulo para modelos de regressão M1.1, M3.1, M7, M8, M11.2, M12.1 e M14.1 que consideraram a estação Valsugana Velha

#### 4.6.3 *Análise geral da regionalização pelo método de Eletrobrás (1985a)*

Não se verificou contribuição significativa da análise das classes de resíduos para a definição de sub-regiões homogêneas, uma vez que, geralmente, todas as estações se enquadraram em uma só classe. A análise visual da curva de frequência adimensionalizada foi o procedimento que mais contribuiu para a definição preliminar de sub-regiões, em conjunto com análises relacionadas com localização geográfica das estações e características físicas e climáticas de suas bacias hidrográficas.

Os modelos de R e SR2 que apresentaram a declividade média da bacia como uma das variáveis explicativas, consideraram uma estação a menos, por não ter sido estimado este parâmetro para a bacia de Dores do Rio Preto, que apresenta mais de 10% de sua área fora dos limites territoriais do Espírito Santo, conforme citado anteriormente no item 4.4.

Alguns modelos que incluíram a densidade de drenagem como variável explicativa tiveram bons ajustamentos e apresentaram erros médios menores do que outros modelos analisados. Estes modelos não foram analisados devido à incerteza na obtenção do parâmetro e à possibilidade de que o mesmo tenha sido superestimado, conforme descrito no item 4.4.

Com relação à análise de parâmetros, os modelos geralmente apresentaram estações com resíduos padronizados fora do intervalo limite adotado, de -1,5 a +1,5. Contudo, na retirada dessas estações não se verificou, em termos gerais, melhoria expressiva dos modelos, não sendo constatado progresso dos parâmetros estatísticos, ocorrendo de outros valores de resíduos padronizados se apresentarem fora do intervalo adotado nos ajustes realizados, implicando na retirada de muitas estações, reduzindo significativamente o número de postos considerados no estudo.

O nível de significância de 95% adotado para avaliação da inclusão de variáveis explicativas pelo teste t, limitou a utilização de alguns modelos com altos coeficientes de determinação ajustados, erros padrão fatoriais dentro dos limites adotados e erros médios pequenos. Grande parte desses modelos apresentaram valores correspondentes ao nível de significância entre 90% e 95%.

A análise dos erros padrão fatoriais para os modelos potenciais de vazão média indicaram, geralmente, valores abaixo do limite estipulado, 1,5. Dessa forma,

quando se dispunha de diversos modelos com altos coeficientes de determinação ajustados, erros médios pequenos e erros percentuais médios próximos, a limitação de erros padrão fatoriais em 1,5 não auxiliou na escolha de modelos, tendo sido baseada nos modelos que apresentaram os menores valores para este parâmetro.

Nos processos de exclusão de estações, procurou-se verificar se ocorreram reduções nos erros padrão fatoriais e aumentos nos coeficientes de determinação ajustados. Quando estes valores se apresentavam próximos, a análise das médias dos erros percentuais ajudou na verificação dos ganhos obtidos nos ajustes. Verificou-se, ainda, que, de uma forma geral, as retiradas de estações não indicaram melhorias significativas nos modelos.

Muitos modelos de regionalização da vazão média, quando comparados, apresentaram desvios percentuais médios próximos.

- Modelos aplicáveis para regionalização da vazão média de longo período

A definição do melhor modelo de regressão a ser utilizado envolve certa subjetividade. Não se realizou a indicação de um modelo único. Dessa forma, deve ser feita a análise daqueles que melhor se adéquam ao objetivo do estudo específico.

Os modelos M7 (incluindo as variáveis explicativas área de drenagem e precipitação média anual) e M8 (com as variáveis área de drenagem e declividade média da bacia), apresentados na tabela 19, podem ser utilizados para a SR1, observando-se as considerações realizadas na análise. Ressalta-se, que para esta sub-região, o modelo M8 notadamente apresentou a menor média geral de desvio percentual. Além disso, o modelo M6, com apenas uma variável explicativa, é de simples aplicação.

Da mesma forma, os modelos das tabelas 13, 15, 20 e 23 são aplicáveis na SR2, levando-se em consideração a análise realizada. Podem ser utilizados M1 e M3 da região única (R). Os modelos M9 ou M9.1 (incluíram a área de drenagem e precipitação como variáveis explicativas) forneceram bons resultados para SR2, com menores médias de desvios percentuais e a utilização de duas variáveis explicativas. Outros modelos apresentaram erros percentuais médios pouco abaixo do obtido com M9, porém necessitaram de dados de três variáveis explicativas.



Considerando o caso específico da bacia do rio Itapemirim, os modelos para aplicação obtidos são apresentados nas tabelas 24 e 25. O modelo M16.1 (com as variáveis área de drenagem e precipitação) apresentou o menor desvio percentual médio se comparado aos demais, mas as bacias hidrográficas das estações abrangeram menor percentagem de área total da bacia. O modelo apresentando menor média de desvio percentual, abrangendo maior percentagem da área total foi M17, que considerou a área de drenagem e declividade entre a nascente e a foz do rio principal como variáveis explicativas.

Cabe observar que os modelos deste trabalho são aplicáveis às faixas de valores das variáveis explicativas que compõem as equações de regressão.

- Combinação de variáveis explicativas

Com relação às variáveis explicativas de maior relevância, a tabela 26 mostra um resumo daquelas que foram utilizadas nos modelos de regressão analisados mais detalhadamente. Observa-se que a área de drenagem está presente em todos os modelos.

Tabela 26 - Variáveis explicativas mais utilizadas nos diferentes modelos de regressão analisados

<b>Região única</b>	<b>SR1</b>	<b>SR2</b>	<b>Itapemirim</b>
A	A	A	A
A, P	A, P	A, P	A, P
-	A, Sm	A, S <sub>L</sub>	A, S <sub>L</sub>
A, P, S <sub>L</sub>	-	A, P, S <sub>L</sub>	-

Para as equações de regressão que continham apenas uma variável explicativa, as que consideraram a área de drenagem forneceram os melhores ajustes.

As áreas de drenagem e precipitações pluviométricas fizeram parte de equações que apresentaram mais de uma variável explicativa, para as diferentes regiões consideradas.

As variáveis explicativas declividade média da bacia e área de drenagem, para SR1, e declividade entre a nascente e a foz do rio principal e área de drenagem, para SR2 e Itapemirim, também apresentaram ajustes satisfazendo aos critérios adotados neste trabalho. Para utilização da declividade média da bacia e da declividade entre

a nascente e a foz do rio principal, o SIG teve grande contribuição, tendo em vista que estes parâmetros seriam de difícil obtenção pelos métodos tradicionais.

Considerando modelos apresentando três variáveis explicativas, o que atendeu aos parâmetros estatísticos e forneceu resultados satisfatórios foi a combinação de área de drenagem, precipitação e declividade entre a nascente e a foz do rio principal. Estes modelos foram ajustados para as regiões com maiores números de estações, R e SR2.

#### 4.7 Regionalização de vazões médias pelo método da interpolação linear

A tabela 27 mostra os valores das vazões médias de longo período estimadas e dos erros percentuais relativos ao método de interpolação linear. Pode-se observar que apenas a estação Ibitirama apresentou desvio percentual maior que 30%.

Tabela 27 - Valores de vazão estimada ( $Q_{est}$ ) em  $m^3/s$  para o método de interpolação linear e desvios percentuais (%dr) associados

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Caso</b>	<b><math>Q_o</math></b>	<b><math>Q_{est}</math></b>	<b>%dr</b>
Usina Fortaleza	57350000	4	4,89	3,89	20,45
Lúna	57360000	2	8,10	7,74	4,44
Terra Corrida - Montante	57370000	3	10,51	10,66	-1,43
Itaici	57400000	1	18,21	18,70	-2,69
Ibitirama	57420000	4	12,25	6,60	46,12
Rive	57450000	1	43,66	39,00	10,67
Castelo	57490000	2	14,71	15,26	-3,74
Usina São Miguel	57550000	1	22,77	21,95	3,60
Coutinho	57555000	1	78,91	89,94	-13,98

As estações Terra Corrida, Itaici e Rive, por estarem entre duas outras estações fluviométricas, poderiam ser enquadradas nos três primeiros casos de aplicação das equações, conforme descrito no item 3.7.2 da metodologia. Os casos considerados na tabela 27 são aqueles para os quais foram observados os menores erros percentuais.

A vazão estimada para a estação de Ibitirama, que apresentou o maior desvio percentual, foi obtida com base na aplicação de equações previstas para o caso 4. Cabe observar que a área de drenagem da bacia da confluência, utilizada no cálculo, foi quase 6 vezes maior do que a área da referente estação. Nesta

condição, em que as áreas são muito diferentes, Eletrobrás (1985b) não recomendada a aplicação do método.

Para a estação Usina Fortaleza foi utilizado o mesmo caso de Ibitirama, tendo sido obtido o segundo maior erro percentual, dentre as estações consideradas. Neste caso, a área de drenagem da confluência correspondente é aproximadamente 4 vezes superior à Usina Fortaleza. O erro percentual não ultrapassou 30%.

Deste modo, observa-se que o caso 4 resultou nos maiores erros percentuais. Isto pode ter sido ocasionado pela diferença expressiva entre as áreas de drenagem analisadas e pelo acúmulo de erros resultantes da aplicação dos outros casos na determinação das vazões na seção de confluência.

#### 4.8 Regionalização de vazões médias pelo método de Chaves et al. (2002)

Os resultados obtidos para as estações da bacia do Itapemirim, pelo método de Chaves et al. (2002), são apresentados na tabela 28.

Tabela 28 - Valores de vazão estimada ( $Q_{est}$ ) em  $m^3/s$  para o método de Chaves et al. (2002) e desvios percentuais (%dr) associados

Estação	Código	Caso	$Q_o$	$Q_{est}$	%dr
Usina Fortaleza	57350000	4	4,89	3,93	19,60
Iúna	57360000	2	8,10	7,74	4,44
Terra Corrida - Montante	57370000	3	10,51	10,66	-1,43
Itaici	57400000	1	18,21	18,70	-2,69
Ibitirama	57420000	4	12,25	6,51	46,83
Rive	57450000	1	43,66	39,00	10,67
Castelo	57490000	2	14,71	15,26	-3,74
Usina São Miguel	57550000	1	22,77	21,95	3,60
Coutinho	57555000	1	78,91	89,94	-13,98

As estações que apresentaram resultados diferentes do obtido pelo método de interpolação linear foram Usina Fortaleza e Ibitirama, enquadradas no caso 4. No entanto, estas diferenças não foram expressivas.

Para a estação Terra Corrida foi utilizada a equação correspondente ao caso 3, de Chaves et al. (2002). Porém, não foram constatadas diferenças nos valores de vazões estimadas, até a segunda casa decimal.

As duas estações que apresentaram maiores desvios percentuais foram as enquadradas no caso 4, da mesma forma e pelos mesmos motivos do ocorrido na aplicação do método de vazões específicas.

A melhor estimativa de vazão ocorreu quando da utilização do caso 3, para Terra Corrida. As estações Lúna, Itaiçi, Castelo e Usina São Miguel, enquadradas nos casos 1 e 2, apresentaram erros percentuais inferiores a 5%.

O método de Chaves et al. (2002), inicialmente desenvolvido para vazões mínimas, apresentou bons resultados para a estimativa de vazões médias de longo período, à exceção da estação Ibitirama.

#### **4.9 Comparação entre os métodos e modelos de regionalização de vazão média de longo período**

Foram escolhidos para comparação os resultados do método de interpolação linear, de Chaves et al. (2002), do modelo de regressão ajustado M16.1 do método de Eletrobrás (1985a) e de outros estudos realizados para a mesma área, sendo eles Elesbon et al. (2002), Euclides et al. (2007a) e Andrezza et al. (2009).

O modelo de regressão M16.1 do método Eletrobrás (1985a) utiliza a área de drenagem e precipitação como variáveis explicativas e foi escolhido pois apresentou o menor erro percentual médio entre os outros modelos analisados que consideraram apenas a bacia do Itapemirim ou a sub-região SR2. O modelo M16.1 não contempla a estação Usina São Miguel, assim como a equação de Elesbon et al. (2002) não considerou esta estação nem Usina Fortaleza. Dessa forma, a comparação foi realizada desconsiderando as estações Usina São Miguel (57550000) e Usina Fortaleza (57350000).

A tabela 29 apresenta os valores de vazões estimadas e desvios percentuais, para cada método e equação analisados.

A figura 40 mostra o gráfico apresentando as vazões estimadas, em  $m^3/s$ , pelos diferentes métodos e modelos, e as vazões observadas das estações da tabela 29.

Tabela 29 - Valores de vazões estimadas ( $Q_{est}$ ) em  $m^3/s$  e desvios percentuais (%dr) associados, para diferentes métodos e modelos

Estação	Código	$Q_o$	Interpolação linear		Chaves et al. (2002)		M16.1		Elesbon et al. (2002)		Euclides et al. (2007a)		Andreazza et al. (2009)	
			$Q_{est}$	%dr	$Q_{est}$	%dr	$Q_{est}$	%dr	$Q_{est}$	%dr	$Q_{est}$	%dr	$Q_{est}$	%dr
Iúna	57360000	8,10	7,74	4,44	7,74	4,44	7,68	5,21	7,07	12,72	7,13	11,98	8,66	6,91
Terra Corrida	57370000	10,51	10,66	1,43	10,66	1,43	10,14	3,48	9,76	7,14	9,53	9,32	11,46	9,04
Itaici	57400000	18,21	18,70	2,69	18,70	2,69	17,35	4,72	18,07	0,77	16,65	8,57	19,46	6,86
Ibitirama	57420000	12,25	6,60	46,12	6,51	46,83	11,68	4,65	8,87	27,59	10,97	10,45	8,22	32,90
Rive	57450000	43,66	39,00	10,67	39,00	10,67	40,63	6,93	45,36	3,89	40,28	7,74	40,65	6,89
Castelo	57490000	14,71	15,26	3,74	15,26	3,74	19,06	29,56	18,91	28,55	18,33	24,61	14,22	3,33
Coutinho	57555000	78,91	89,94	13,98	89,94	13,98	77,56	1,71	96,29	22,03	78,92	0,01	78,49	0,53

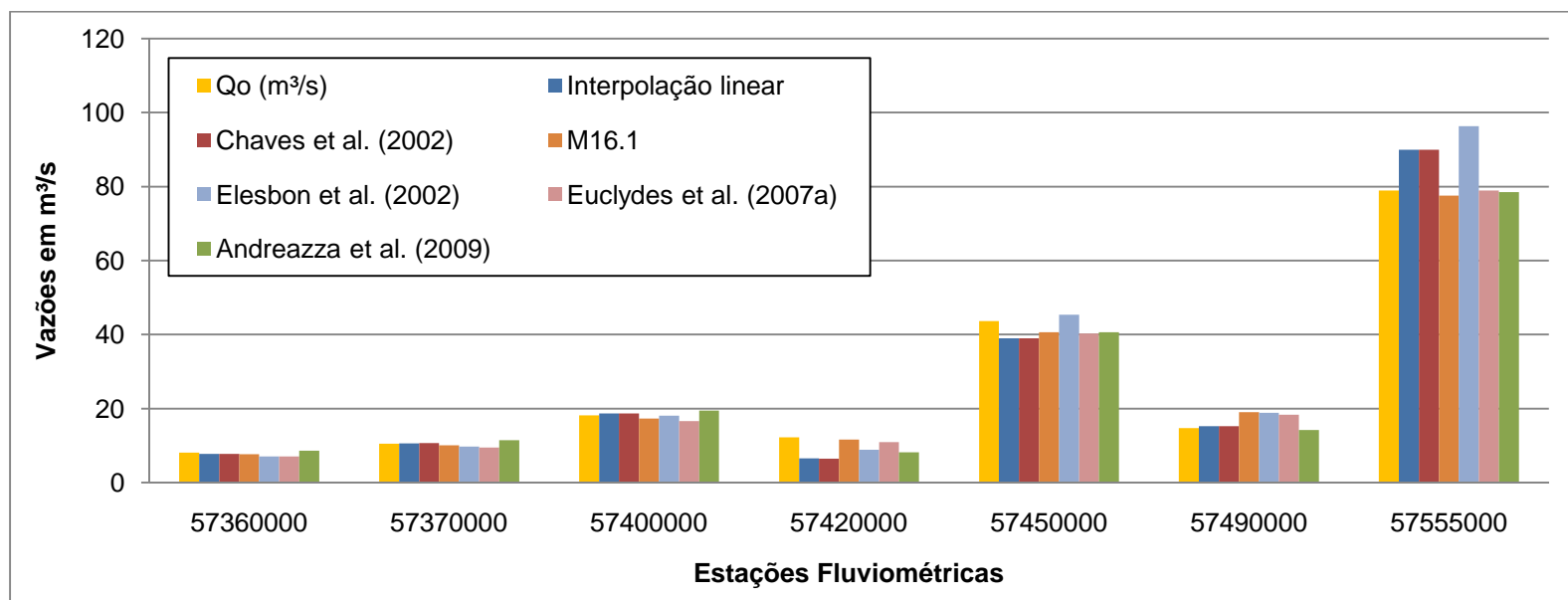


Figura 40 – Gráfico de barras representativo das vazões observadas ( $Q_o$ ) e estimadas ( $Q_{est}$ ) para os diferentes métodos analisados

Observa-se na figura 41, que os métodos de interpolação linear, Chaves et al. (2002) e o modelo de Andrezza et al. (2009) apresentaram maiores erros percentuais para a estação Ibitirama (57420000). Para o modelo M16.1, Elesbon et al. (2002) e Euclides et al. (2007a), a estação com maior desvio percentual foi Castelo (57490000).

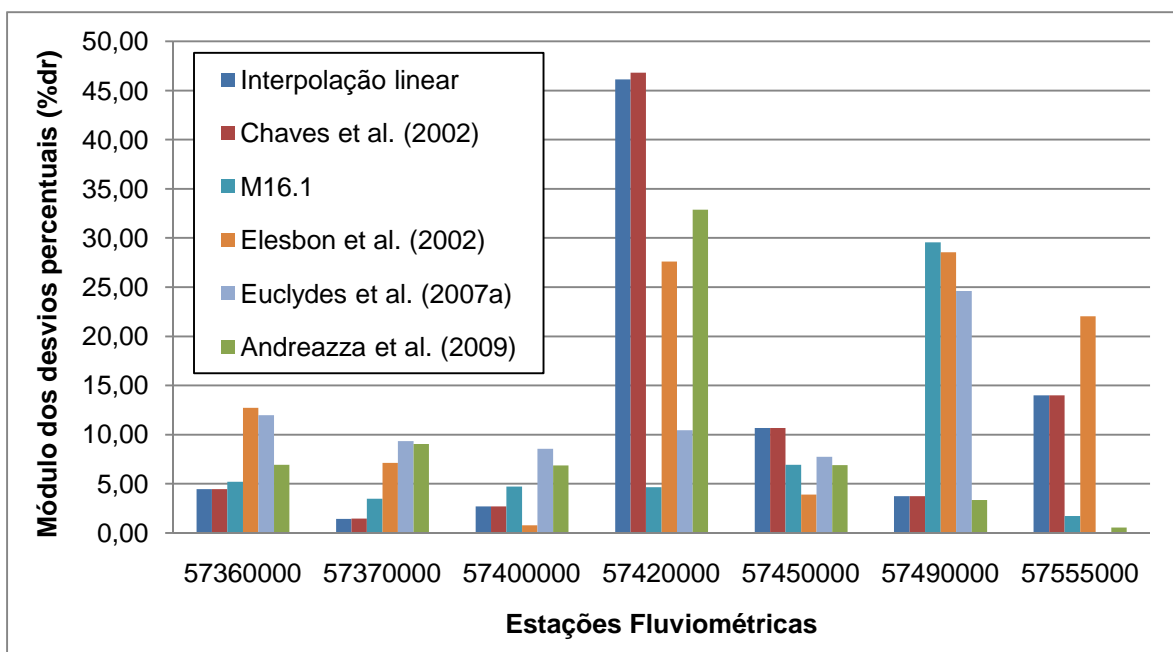


Figura 41 – Gráfico de barras representativo dos erros percentuais (%dr) para os diferentes métodos e modelos analisados

Comparando-se as médias dos desvios percentuais dos métodos e modelos analisados, o que apresentou menor média foi o modelo M16.1, seguido de Andrezza et al. (2009), como mostra a figura 42. A diferença entre a média dos erros percentuais de M16.1 e Andrezza et al. (2009) foi de aproximadamente 1,5%.

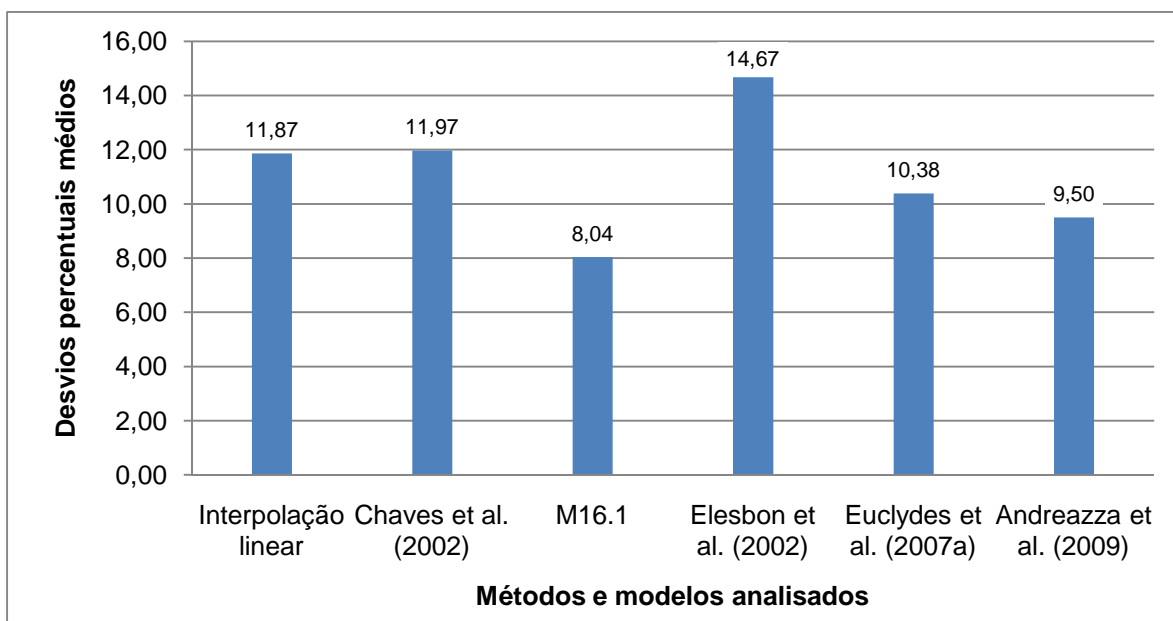


Figura 42 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios para os métodos e modelos analisados

Na análise do coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970), conforme aplicação da equação 17, descrita no item 3.7.4 da metodologia, não foram observadas diferenças expressivas entre os valores obtidos, como se observa na tabela 30.

Tabela 30 - Valores dos coeficientes de Nash e Sutcliffe (1970) obtidos para cada método e modelo analisado

Método Utilizado	Nash e Sutcliffe (1970)
Interpolação linear	0,96
Chaves et al. (2002)	0,96
M16.1	0,99
Elesbon et al. (2002)	0,92
Euclides et al. (2007a)	0,99
Andrezza et al. (2009)	0,99

Os métodos de interpolação linear e Chaves et al. (2002) apresentaram resultados similares, sendo que a interpolação linear mostrou uma pequena melhoria em relação ao outro, correspondente a menos de 0,5% nas médias dos erros percentuais.

Para as estações consideradas na comparação, as vazões estimadas pelas equações de regressão apresentaram as menores médias de erros percentuais, com exceção do modelo apresentado por Elesbon et al. (2002). Cabe observar que a obtenção dos mesmos requer análises mais detalhadas do que os requeridos para

os métodos de interpolação e Chaves et al. (2002), incluindo a definição de regiões homogêneas, e a determinação de duas variáveis explicativas. Contudo, as equações de regressão permitem a estimativa de vazões para regiões consideradas homogêneas, não sendo restrito a rios de uma única bacia.

Os métodos de interpolação linear e Chaves et al. (2002) são de aplicação simplificada, não são realizadas análises e definição de sub-regiões homogêneas, e são limitados para aplicação em rios de uma mesma bacia, necessitando da existência de postos próximos à seção do rio para a qual se deseja fazer estimativas de vazão.

#### **4.10 Regionalização de curvas de regularização**

Na regionalização de curvas de regularização, foram obtidos diversos modelos, a partir da utilização de diferentes intervalos de regularização da vazão média. Inicialmente, foram obtidas curvas individuais para os postos considerados na região de estudo.

As tabelas 31 e 32 apresentam os coeficientes (a e b) das curvas de regularização, para cada posto, além dos respectivos coeficientes de determinação. Os intervalos de variação das vazões de regularização considerados para obtenção das curvas foram: entre 30 e 100%, 40 e 100%, 50 e 100%, 30 e 80%, 40 e 80%, e 50 e 80% da vazão média.

Observa-se nas tabelas 31 e 32 que os coeficientes de determinação obtidos para as diferentes curvas estudadas foram, todos, superiores a 0,90. Observou-se, para distintos intervalos de vazões médias, diferentes valores de coeficientes. Independentemente dos intervalos de percentagens das vazões médias considerados na análise, valores de coeficientes angulares (b) para grupos de estações se apresentaram próximos.

As proximidades foram analisadas, inicialmente, através da fixação de diferentes intervalos limites para b, a exemplo do que foi feito para as curvas de frequência adimensionais, no estudo das vazões médias de longo período.



Tabela 31 - Coeficientes (a e b) das curvas de regularização, para cada posto, nos casos de intervalos de variações das vazões de regularização entre 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100%, e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>)

Estação	Código	30-100%			40-100%			50-100%		
		a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Afonso Cláudio	SU-AC	9,263.10 <sup>-8</sup>	3,539	0,997	3,651.10 <sup>-8</sup>	3,584	0,995	1,534.10 <sup>-7</sup>	3,425	0,994
Laranja da Terra	56991500	2,810.10 <sup>-8</sup>	3,874	0,981	3,716.10 <sup>-8</sup>	3,810	0,964	9,405.10 <sup>-9</sup>	4,123	0,953
Baixo Guandu	56992000	3,606.10 <sup>-7</sup>	3,285	0,978	1,545.10 <sup>-7</sup>	3,482	0,97	3,712.10 <sup>-8</sup>	3,807	0,967
Itaguaçu	SU-ITA	3,009.10 <sup>-6</sup>	2,875	0,932	4,478.10 <sup>-7</sup>	3,315	0,94	3,581.10 <sup>-8</sup>	3,892	0,958
Jusante Córrego da Piaba	56993551	1,159.10 <sup>-5</sup>	2,539	0,966	3,957.10 <sup>-6</sup>	2,788	0,964	9,026.10 <sup>-7</sup>	3,125	0,968
Valsugana Velha	SU-VV	1,412.10 <sup>-7</sup>	3,614	0,997	6,849.10 <sup>-8</sup>	3,781	0,999	7,062.10 <sup>-8</sup>	3,774	0,998
Córrego do Galo	57170000	6,585.10 <sup>-15</sup>	7,301	0,989	6,585.10 <sup>-15</sup>	7,301	0,989	8,493.10 <sup>-14</sup>	6,718	0,991
Matilde	57250000	7,068.10 <sup>-13</sup>	6,167	0,992	7,068.10 <sup>-13</sup>	6,167	0,992	7,068.10 <sup>-13</sup>	6,167	0,992
Pau d'álho	57300000	8,540.10 <sup>-9</sup>	4,179	0,989	2,021.10 <sup>-8</sup>	3,980	0,982	4,474.10 <sup>-9</sup>	4,324	0,984
Iconha Montante	57320000	4,757.10 <sup>-8</sup>	3,756	0,995	5,155.10 <sup>-8</sup>	3,738	0,99	2,081.10 <sup>-8</sup>	3,945	0,988
Usina Fortaleza	57350000	1,724.10 <sup>-8</sup>	3,971	0,993	2,925.10 <sup>-8</sup>	3,848	0,989	1,456.10 <sup>-8</sup>	4,007	0,983
Lúna	57360000	1,076.10 <sup>-9</sup>	4,591	0,985	1,843.10 <sup>-10</sup>	5,000	0,991	7,102.10 <sup>-11</sup>	5,218	0,987
Terra Corrida	57370000	9,159.10 <sup>-9</sup>	4,105	0,993	6,540.10 <sup>-9</sup>	4,183	0,989	1,289.10 <sup>-9</sup>	4,554	0,995
Itaici	57400000	1,139.10 <sup>-7</sup>	3,547	0,989	1,146.10 <sup>-7</sup>	3,546	0,979	2,685.10 <sup>-8</sup>	3,877	0,981
Ibitirama	57420000	1,446.10 <sup>-6</sup>	2,837	0,948	8,061.10 <sup>-7</sup>	3,094	0,933	9,168.10 <sup>-8</sup>	3,590	0,941
Rive	57450000	5,173.10 <sup>-9</sup>	4,263	0,994	5,040.10 <sup>-9</sup>	4,269	0,99	1,672.10 <sup>-9</sup>	4,520	0,989
Castelo	57490000	1,921.10 <sup>-7</sup>	3,497	0,934	3,978.10 <sup>-8</sup>	3,861	0,918	1,978.10 <sup>-9</sup>	4,546	0,928
Usina São Miguel	57550000	2,456.10 <sup>-8</sup>	3,880	0,971	6,042.10 <sup>-8</sup>	3,671	0,948	1,079.10 <sup>-8</sup>	4,065	0,938
Coutinho	57555000	2,900.10 <sup>-8</sup>	3,877	0,994	3,953.10 <sup>-8</sup>	3,805	0,989	1,226.10 <sup>-8</sup>	4,073	0,990
Dores do Rio Preto	57720000	4,501.10 <sup>-5</sup>	2,329	0,997	5,436.10 <sup>-5</sup>	2,285	0,994	5,436.10 <sup>-5</sup>	2,285	0,989
Guaçuí	57740000	1,190.10 <sup>-14</sup>	7,242	0,947	7,486.10 <sup>-12</sup>	5,750	0,981	1,043.10 <sup>-12</sup>	6,200	0,979
São José do Calçado	57770000	1,097.10 <sup>-10</sup>	5,276	0,994	3,071.10 <sup>-10</sup>	5,037	0,992	9,092.10 <sup>-11</sup>	5,315	0,992
Mimoso do Sul	57880000	4,319.10 <sup>-11</sup>	5,386	0,997	4,319.10 <sup>-11</sup>	5,386	0,997	4,214.10 <sup>-11</sup>	5,391	0,993

Tabela 32 - Coeficientes (a e b) das curvas de regularização, para cada posto, nos casos de intervalos de variações das vazões de regularização entre 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80%, e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>)

Estação	Código	30-80%			40-80%			50-80%		
		a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Afonso Cláudio	SU-AC	7,556.10 <sup>-8</sup>	3,593	0,996	4,541.10 <sup>-8</sup>	3,716	0,993	1,101.10 <sup>-7</sup>	3,506	0,987
Laranja da Terra	56991500	1,284.10 <sup>-7</sup>	3,472	0,986	8,188.10 <sup>-7</sup>	3,026	0,999	1,279.10 <sup>-6</sup>	2,920	0,999
Baixo Guandu	56992000	1,795.10 <sup>-6</sup>	2,860	0,999	1,839.10 <sup>-6</sup>	2,855	0,999	1,395.10 <sup>-6</sup>	2,920	0,998
Itaguaçu	SU-ITA	2,857.10 <sup>-5</sup>	2,277	0,945	8,195.10 <sup>-6</sup>	2,578	0,931	9,671.10 <sup>-7</sup>	3,084	0,924
Jusante Córrego da Piaba	56993551	4,630.10 <sup>-5</sup>	2,173	0,992	2,655.10 <sup>-5</sup>	2,307	0,991	1,017.10 <sup>-5</sup>	2,534	0,995
Valsugana Velha	SU-VV	1,633.10 <sup>-7</sup>	3,576	0,995	5,430.10 <sup>-8</sup>	3,841	0,999	4,717.10 <sup>-8</sup>	3,874	0,999
Córrego do Galo	57170000	7,915.10 <sup>-15</sup>	7,256	0,978	7,915.10 <sup>-15</sup>	7,256	0,978	1,935.10 <sup>-12</sup>	5,954	0,998
Matilde	57250000	7,614.10 <sup>-12</sup>	5,601	0,989	7,614.10 <sup>-12</sup>	5,601	0,989	7,614.10 <sup>-12</sup>	5,601	0,989
Pau d'álho	57300000	1,544.10 <sup>-8</sup>	4,024	0,986	1,197.10 <sup>-7</sup>	3,531	0,996	3,907.10 <sup>-8</sup>	3,796	0,999
Iconha Montante	57320000	8,030.10 <sup>-8</sup>	3,619	0,998	1,533.10 <sup>-7</sup>	3,463	0,998	8,139.10 <sup>-8</sup>	3,613	0,999
Usina Fortaleza	57350000	3,218.10 <sup>-8</sup>	3,805	0,991	1,411.10 <sup>-7</sup>	3,45	0,996	1,810.10 <sup>-7</sup>	3,391	0,991
Iúna	57360000	2,922.10 <sup>-9</sup>	4,327	0,979	3,567.10 <sup>-10</sup>	4,833	0,981	1,026.10 <sup>-10</sup>	5,128	0,965
Terra Corrida	57370000	1,815.10 <sup>-8</sup>	3,924	0,992	1,890.10 <sup>-8</sup>	3,914	0,981	2,059.10 <sup>-9</sup>	4,439	0,988
Itaici	57400000	2,742.10 <sup>-7</sup>	3,314	0,988	6,087.10 <sup>-7</sup>	3,122	0,976	1,763.10 <sup>-7</sup>	3,415	0,964
Ibitirama	57420000	1,805.10 <sup>-5</sup>	2,308	0,992	1,713.10 <sup>-5</sup>	2,38	0,982	5,546.10 <sup>-6</sup>	2,588	0,983
Rive	57450000	9,950.10 <sup>-9</sup>	4,090	0,995	1,763.10 <sup>-8</sup>	3,952	0,991	7,310.10 <sup>-9</sup>	4,161	0,985
Castelo	57490000	3,902.10 <sup>-6</sup>	2,699	0,988	4,119.10 <sup>-6</sup>	2,686	0,973	1,223.10 <sup>-6</sup>	2,973	0,962
Usina São Miguel	57550000	1,044.10 <sup>-7</sup>	3,497	0,967	1,856.10 <sup>-6</sup>	2,805	0,993	2,127.10 <sup>-6</sup>	2,772	0,984
Coutinho	57555000	4,117.10 <sup>-8</sup>	3,784	0,990	9,494.10 <sup>-8</sup>	3,583	0,980	2,089.10 <sup>-8</sup>	3,941	0,974
Dores do Rio Preto	57720000	4,752.10 <sup>-5</sup>	2,315	0,997	7,018.10 <sup>-5</sup>	2,221	0,995	1,348.10 <sup>-4</sup>	2,066	0,996
Guaçu	57740000	4,825.10 <sup>-15</sup>	7,482	0,916	1,280.10 <sup>-10</sup>	5,031	0,983	4,351.10 <sup>-11</sup>	5,286	0,967
São José do Calçado	57770000	1,152.10 <sup>-10</sup>	5,262	0,989	6,986.10 <sup>-10</sup>	4,829	0,985	1,339.10 <sup>-10</sup>	5,220	0,979
Mimoso do Sul	57880000	8,032.10 <sup>-11</sup>	5,230	0,997	8,032.10 <sup>-11</sup>	5,23	0,997	1,579.10 <sup>-10</sup>	5,070	0,993

A tabela 33 mostra as estações com valores de b situados fora dos diferentes intervalos limites adotados, considerando vazões de regularização entre 30 e 100% da vazão média. As tabelas E.1 a E.5 do Anexo E apresentam limites percentuais para outras situações estudadas.

Tabela 33 - Estações com valores de b situados fora dos diferentes intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 30 e 100%

<b>Limites percentuais relativos ao valor médio de b</b>	<b>Limites inferiores</b>	<b>Valor médio de b</b>	<b>Limites superiores</b>	<b>Estações fora do intervalo</b>
20%	3,337	4,17	5,005	Jusante Córrego da Piaba, SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado e Mimoso do Sul
25%	3,128	4,17	5,213	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado e Mimoso do Sul
30%	2,920	4,17	5,422	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Dores do Rio Preto e Guaçuí

Foram observadas algumas características semelhantes para algumas estações. Córrego do Galo e Matilde geralmente apresentaram valores mais altos de b. Estas estações se apresentam geograficamente próximas, estando situadas em região montanhosa e com chuvas mais regulares. Matilde não apresentou necessidade de reservatório para vazões de regularização de 30 e 40% da vazão média. Córrego do Galo não apresentou necessidade de reservatório para a vazão de 30%, sendo que para a vazão de regularização de 40%, o volume útil do reservatório foi pequeno, bem menor do que os correspondentes estimados para as demais estações.

Da mesma forma, observou-se proximidade dos valores de b para Pau D'alho e Iconha nos diferentes casos analisados. Estes dois postos estão geograficamente próximos, na bacia do rio Iconha, e em locais apresentando relevo mais plano.

As estações da bacia do rio Itapemirim, em sua maioria, e para todos os casos de porcentagens de vazões médias consideradas, apresentaram valores de b próximos. A principal exceção foi a estação de Ibitirama, que na quase totalidade dos casos

apresentou valores mais discrepantes se comparados aos observados para outras estações.

Para a bacia do Itabapoana, os valores de  $b$  obtidos para diferentes estações também foram próximos, excetuando-se os obtidos para Dores do Rio Preto, que apresentou coeficiente angular sempre menor que os demais.

As estações que se localizam em um mesmo rio ou mesma bacia, comumente apresentaram mesma tendência de inclinação das curvas obtidas, indicando possível comportamento semelhante.

Dessa forma, procurou-se analisar e escolher equações regionais para as curvas de regularização, considerando as diferentes percentagens de vazão de regularização, partindo-se inicialmente de uma região única.

Tendo como base os diferentes intervalos de porcentagens considerados para obtenção das curvas adimensionais individuais, ajustou-se equações regionais inicialmente para toda a área de estudo, apresentadas na tabela 34.

Tabela 34 – Modelos de curvas de regularização considerando a região única (R)

Nº	Intervalo considerado	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
C1	30-100%	$2,150 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9454}$	0,836	98,92
C2	40-100%	$1,156 \cdot 10^{-08} \beta^{4,0890}$	0,845	46,65
C3	50-100%	$3,145 \cdot 10^{-09} \beta^{4,3859}$	0,855	33,26
C4	30-80%	$7,138 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6291}$	0,721	130,73
C5	40-80%	$6,847 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6391}$	0,698	56,03
C6	50-80%	$2,947 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8388}$	0,673	39,08

Observou-se que, quando foram levadas em consideração as vazões de 90 e 100% de regularização para obtenção da curva (modelos C1, C2 e C3), o coeficiente de determinação aumentou quando foram retirados os valores correspondentes às menores porcentagens. O contrário aconteceu quando se iniciou a análise a partir da retirada dos valores correspondentes a 90 e 100%, ocorrendo diminuição nos coeficientes de determinação, que ficaram inferiores a 0,80. As equações que incluíram as vazões de regularização de 30% das vazões médias foram as que apresentaram as maiores médias de erros percentuais.

Os valores dos desvios percentuais, apresentados na tabela 34, representam médias obtidas para todas as porcentagens de vazão de regularização incluídas nos modelos, não indicando diretamente os erros correspondentes às porcentagens individuais.

A tabela 35 mostra as médias de desvios percentuais para cada porcentagem de vazão de regularização, permitindo observação mais detalhada dos erros das estimativas, para cada modelo.

Tabela 35 – Valores de desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas obtidas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para a região R

<b>R</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	444,88	-	-	503,65	-	-
<b>40</b>	128,26	114,52	-	131,70	131,21	-
<b>50</b>	62,37	60,55	57,37	61,20	61,12	69,06
<b>60</b>	43,98	41,23	36,30	37,27	37,25	36,19
<b>70</b>	38,34	37,28	33,29	27,07	27,11	27,37
<b>80</b>	31,15	31,78	31,76	23,47	23,47	23,69
<b>90</b>	17,87	18,47	19,87	-	-	-
<b>100</b>	24,50	22,74	20,98	-	-	-
<b>Média</b>	<b>98,92</b>	<b>46,65</b>	<b>33,26</b>	<b>130,73</b>	<b>56,03</b>	<b>39,08</b>

Observa-se que apesar da média dos desvios ser de 98,92%, para o caso correspondente ao intervalo das vazões de 30 a 100%, a média dos erros das estimativas correspondentes às vazões de 30% foi superior a 440%.

A figura 43 mostra os resultados, para cada estação, da curva de regularização obtida considerando o intervalo das vazões de regularização de 30 a 100% da vazão média. Nesta figura, pode ser observado que os valores correspondentes às vazões de regularização de 30% e 40% das vazões médias, para as estações Guaçuí e Córrego do Galo, apresentaram as maiores discrepâncias (pontos circulados em vermelho na figura 43). Isto pode ter ocorrido pelo fato dos volumes dos reservatórios correspondentes a estas estações serem muito menores do que os obtidos para as demais.

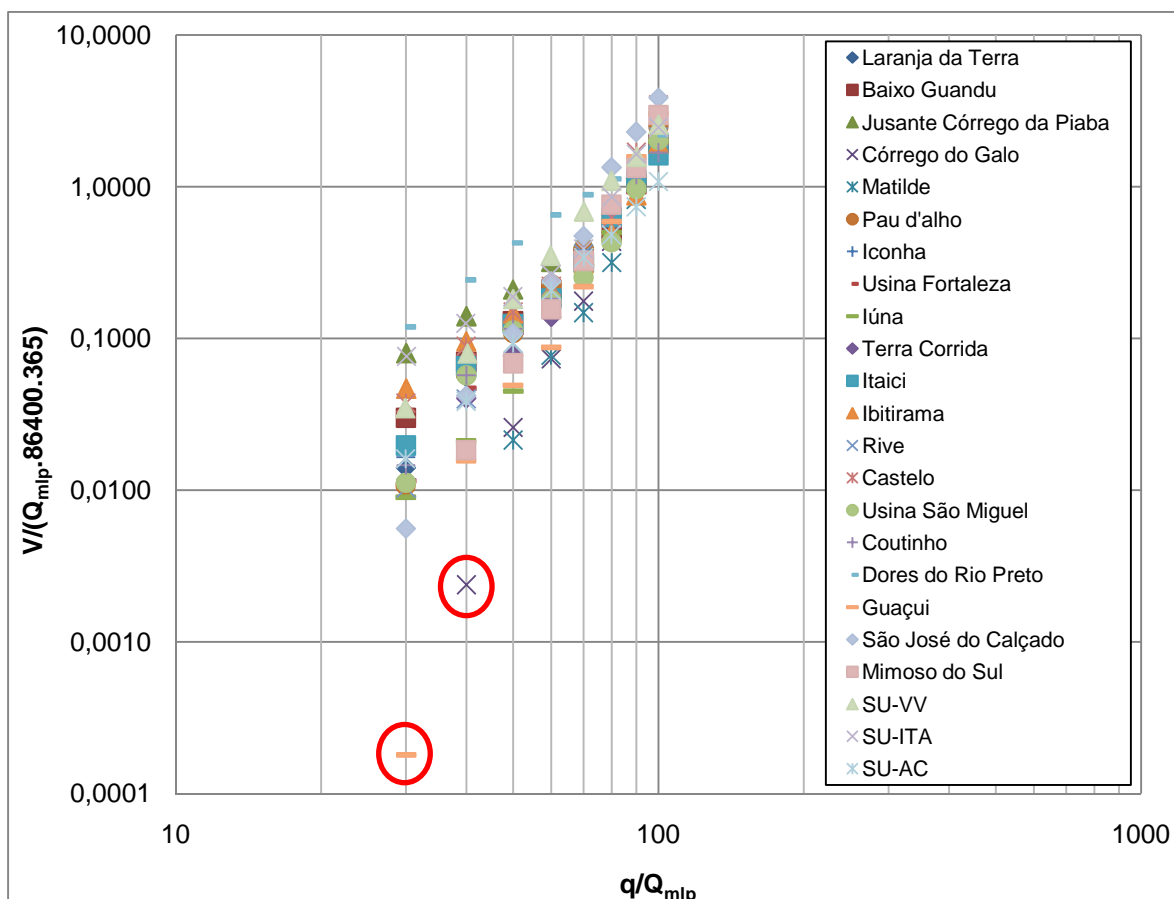


Figura 43 – Gráfico indicando o ajustamento para cada estação da curva de regularização obtida considerando as vazões de regularização de 30 a 100% da vazão média

Procedendo-se a retirada, da análise, dos dois pontos apresentando maiores discrepâncias, ocorreram melhorias significativas nos ajustes, com reduções nas médias gerais dos desvios percentuais, como mostrado na tabela 36.

Tabela 36 - Novos modelos para a região única (R), após a retirada de dois pontos discrepantes

Nº	Intervalo considerado	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
C7	30-100%	$4,610 \cdot 10^{-08} \beta^{3,7704}$	0,877	42,64
C8	40-100%	$1,824 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9850}$	0,862	37,79
C9	30-80%	$7,138 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6291}$	0,790	45,75
C10	40-80%	$1,415 \cdot 10^{-07} \beta^{3,4674}$	0,729	40,69

As curvas correspondentes aos intervalos de vazão de regularização de 50 a 100% e 50 a 80%, não sofreram alterações e, por isso, não foram apresentadas na tabela 36.

Com relação às médias dos desvios percentuais correspondentes às diferentes percentagens de vazão de regularização, observa-se que o valor obtido inicialmente de 444,88% para o modelo correspondente ao intervalo entre 30 e 100%, passou a ser 57,15% para a regularização de 30% da vazão média. Contudo, este desvio percentual pode ser considerado ainda alto, sendo superior ao limite adotado de 30%. Reduções também foram observadas nos desvios percentuais para as estimativas correspondentes aos valores de regularização de 40%. Relativamente aos valores correspondentes a percentagens entre 50 e 100%, alguns sofreram redução dos erros percentuais, enquanto outros aumentaram. Os maiores acréscimos foram da ordem de 5%.

Tabela 37 – Valores de desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas obtidas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para a região R, no caso da retirada de dois pontos discrepantes

<b>R</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	57,15	-	-	68,72	-	-
<b>40</b>	51,59	46,36	-	52,85	51,71	-
<b>50</b>	67,77	62,06	57,37	64,44	63,19	69,06
<b>60</b>	48,61	43,76	36,30	38,54	38,20	36,19
<b>70</b>	40,37	38,72	33,29	26,55	26,91	27,37
<b>80</b>	30,87	31,79	31,76	23,39	23,42	23,69
<b>90</b>	17,76	18,13	19,87	-	-	-
<b>100</b>	27,01	23,71	20,98	-	-	-
<b>Média</b>	<b>42,64</b>	<b>37,79</b>	<b>33,26</b>	<b>45,75</b>	<b>40,69</b>	<b>39,08</b>

Tendo em vista o ganho obtido para as regularizações de 30 e 40% das vazões médias, com a retirada dos dois pontos discrepantes citados acima, prosseguiu-se a regionalização excluindo-se estes pontos da análise.

Com o objetivo de melhoria de estimativas das curvas, que apresentaram erros superiores a 30%, foram buscadas sub-regiões homogêneas definidas a partir de análises dos coeficientes angulares das curvas individuais das estações. Na subdivisão, considerou-se também as características físicas e climáticas das bacias e as posições geográficas das estações fluviométricas consideradas.

As sub-regiões adotadas para análise são apresentadas na tabela 38. A sub-região 1 (SR1) foi composta pelas estações localizadas na bacia do rio Doce. Foi analisada outra sub-região, com tentativa de inclusão da estação Valsugana Velha. A sub-

região 2 (SR2) é composta pelas estações restantes. Foram adotadas, ainda, outras subdivisões.

Tabela 38 - Sub-regiões estudadas na regionalização das curvas de regularização

<b>Referência</b>	<b>Região considerada</b>
R	Todas as estações da região de estudo
SR1	Estações da bacia do Doce
SR1.1	Estações da bacia do Doce e Valsugana Velha
SR2	Córrego do Galo, Matilde, Iconha, Pau d'algo, estações da bacia do Itapemirim e do Itabapoana
SR2.1	Pau d'algo, Iconha, Usina Fortaleza, Terra Corrida, Itaici, Rive, Castelo, Usina São Miguel, Coutinho
SR2.2	Estações da bacia do Itapemirim

- Subdivisões SR1 e SR1.1

As tabelas 39 e 40 apresentam as curvas ajustadas para SR1 e suas sub-regiões, considerando diferentes intervalos de regularização. Os modelos ajustados para SR1 e SR1.1 apresentaram coeficientes de determinação maiores ou iguais a 0,80.

Observa-se, nas tabelas 39 e 40, que os coeficientes de determinação foram maiores nos casos em que foram consideradas as vazões de regularizações de 90 e 100%.



Tabela 39 - Modelos para SR1 e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100% da vazão média

Ref.	30-100%			40-100%			50-100%		
	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
R	$4,610 \cdot 10^{-08} \beta^{3,7704}$	0,88	42,64	$1,824 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9850}$	0,86	37,79	$3,145 \cdot 10^{-09} \beta^{4,3859}$	0,86	33,26
SR1	$5,213 \cdot 10^{-07} \beta^{3,2147}$	0,90	33,91	$2,261 \cdot 10^{-07} \beta^{3,2147}$	0,91	27,07	$6,729 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6847}$	0,91	23,14
SR1.1	$4,184 \cdot 10^{-07} \beta^{3,2818}$	0,91	33,96	$1,856 \cdot 10^{-07} \beta^{3,4699}$	0,91	29,09	$6,701 \cdot 10^{-08} \beta^{3,7024}$	0,90	26,58

Tabela 40 - Modelos para SR1 e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80% da vazão média

Ref.	30-80%			40-80%			50-80%		
	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
R	$7,138 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6291}$	0,79	45,75	$1,415 \cdot 10^{-07} \beta^{3,4674}$	0,73	40,69	$2,947 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8388}$	0,67	39,08
SR1	$1,956 \cdot 10^{-06} \beta^{2,8644}$	0,85	32,87	$1,586 \cdot 10^{-06} \beta^{2,9149}$	0,85	24,77	$1,050 \cdot 10^{-6} \beta^{3,0125}$	0,85	19,53
SR1.1	$1,302 \cdot 10^{-06} \beta^{2,8623}$	0,86	33,35	$9,162 \cdot 10^{-07} \beta^{3,0658}$	0,85	27,73	$6,297 \cdot 10^{-7} \beta^{3,1546}$	0,80	24,95

As tabelas E.6 e E.7 do Anexo E apresentam os valores de desvios percentuais obtidos individualmente para cada sub-região. A tabela 41 apresenta os menores desvios percentuais obtidos para cada região, considerando-se as estações em comum, e os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de vazão de regularização.

Tabela 41 - Menores desvios percentuais (%dr) obtidos para SR1, SR1.1 e R, considerando os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de regularização

Regularização	SR1		SR1.1		R	
	%dr	Intervalo	%dr	Intervalo	%dr	Intervalo
30%	65,36	30-100	65,73	30-100	45,15	30-100
40%	37,92	40-100	38,72	40-100	34,34	40-100
50%	22,80	50-100	24,20	50-100	23,77	30-100
60%	17,59	50-80	20,37	50-100	12,89	30-80
70%	12,70	30-80	18,01	30-80	10,42	30-80
80%	19,87	30-80	24,25	30-80	19,58	30-80
90%	19,02	50-100	19,36	30-100	19,22	30-100
100%	29,20	50-100	26,71	50-100	23,61	50-100

Observa-se que os maiores desvios percentuais médios correspondem às regularizações de 30% da vazão média. O menor valor, para esta porcentagem, foi obtido para o modelo que considerou a região única. Pode-se observar que, independentemente da região considerada, as regularizações de 30, 40 e 50% da vazão média, apresentaram menores valores de desvios percentuais quando o intervalo considerado levou em conta as vazões de 90 e 100% de regularização. Para as regularizações de 60, 70, e 80%, geralmente, os menores valores de erro percentual foram obtidos quando não foram consideradas as vazões de 90 e 100% de regularização.

Exceção às regularizações correspondentes a 50 e 90% da vazão média, todas as outras apresentaram menores desvios percentuais médios quando obtidas a partir dos modelos da região única (R).

A figura 44 apresenta o gráfico de barras dos menores desvios percentuais obtidos para as regiões SR1, SR1.1 e R, correspondentes às regularizações de 30 a 100%.

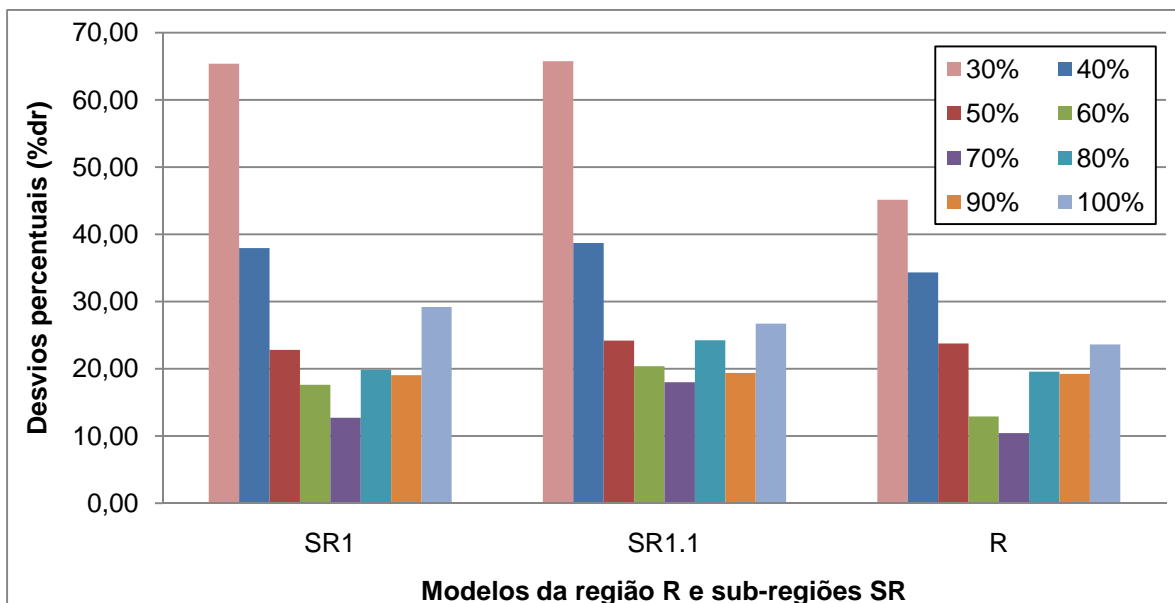


Figura 44 - Gráfico de barras representativo dos menores desvios percentuais das regiões SR1, SR1.1 e R, correspondentes às regularizações de 30 a 100%

Observa-se, na figura 45, que as estimativas correspondentes à regularização de 30% apresentaram desvios percentuais altos. Para esta regularização, a região única apresentou os menores desvios para as estações de Laranja da Terra e Afonso Cláudio (SU-AC), obtidos considerando o intervalo da vazão de regularização de 30 a 100% da vazão média. As estações Itaguaçu (SU-ITA) e Jusante Córrego da Piaba apresentaram menores desvios a partir da SR1, e considerando o intervalo de 30 a 80%. Para Baixo Guandu, o menor desvio percentual foi obtido considerando o intervalo de 30 a 100% e região SR1.1.

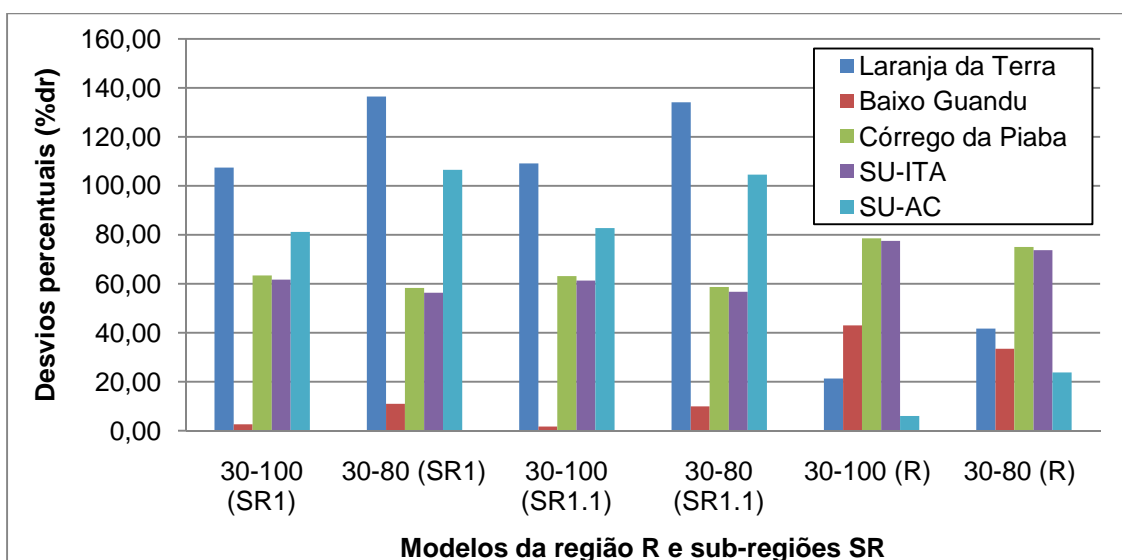


Figura 45 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

De uma maneira geral, os modelos que consideraram a região única (R) apresentaram menores médias de desvios percentuais, como ilustra a figura 46.

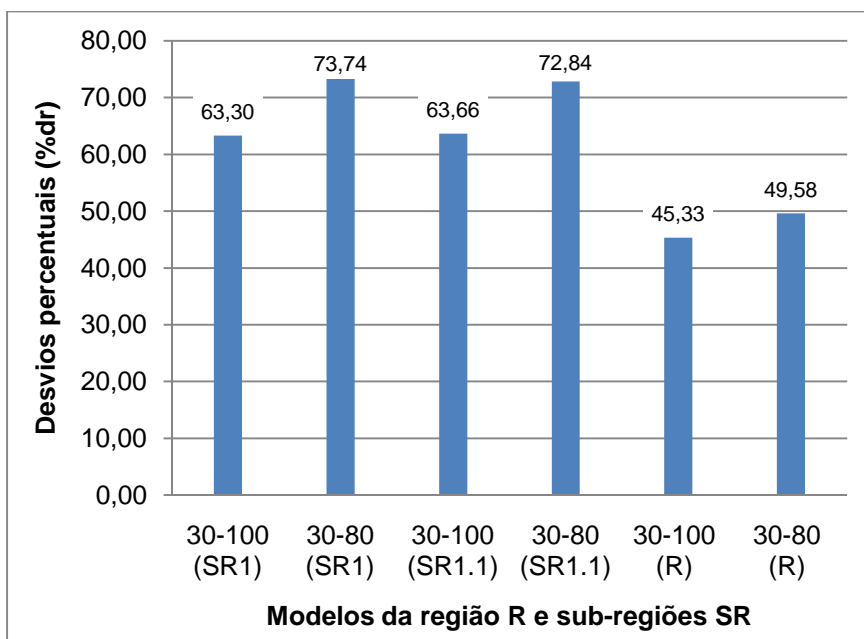


Figura 46 – Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 30% da vazão média

A figura 47 mostra os desvios percentuais para as diferentes estações, considerando a regularização de 40% da vazão média.

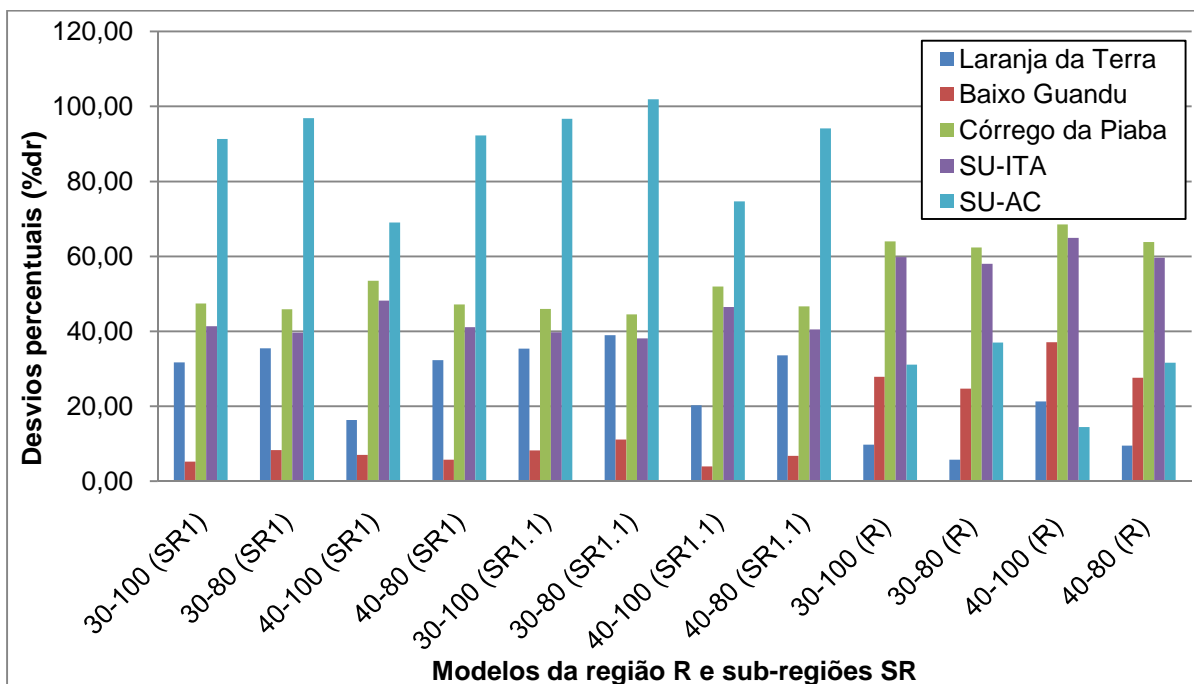


Figura 47 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

Pela figura 47, observa-se que as estimativas correspondentes à regularização de 40% apresentaram altos desvios percentuais, porém menores se comparados à 30%. Para a regularização de 40% da vazão média, a região única apresentou os menores desvios para as estações de Laranja da Terra e Afonso Cláudio (SU-AC). As estações Itaguaçu (SU-ITA), Jusante Córrego da Piaba e Baixo Grandu, apresentaram menores desvios na SR1.1.

Com relação à média geral dos desvios percentuais, figura 48, a região R apresentou os dois menores valores, sendo que o menor deles correspondeu ao intervalo de 30 a 80%.

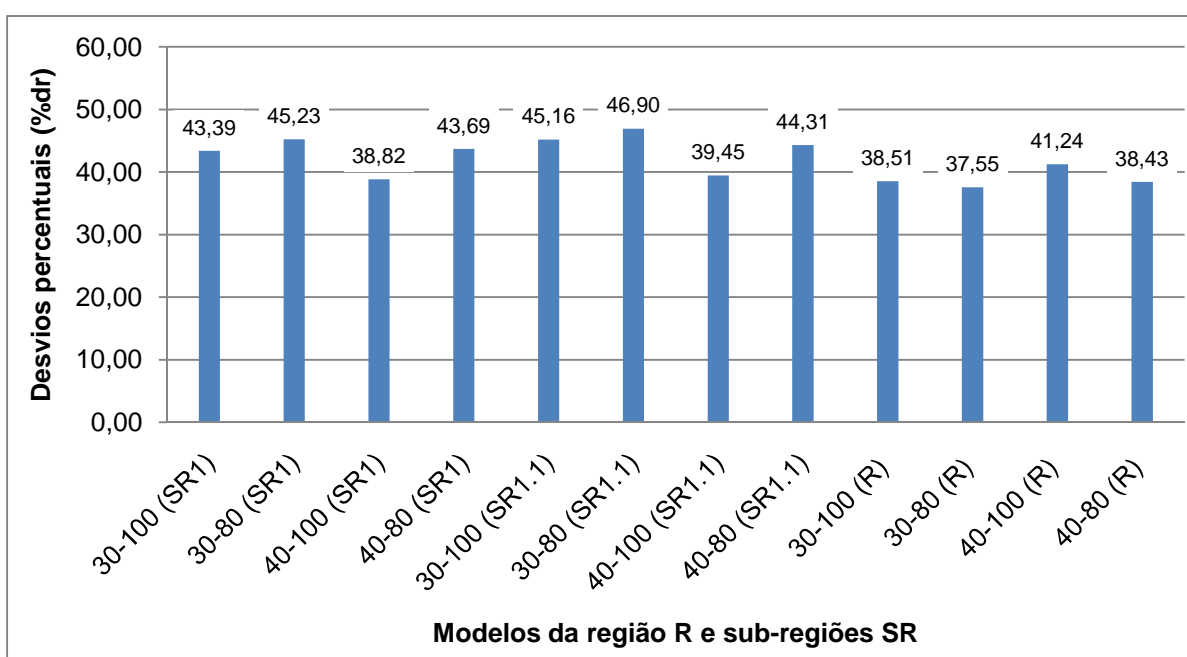


Figura 48 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 40% da vazão média

A figura 49 apresenta os desvios percentuais para regularização de 50% da vazão média, para cada estação.

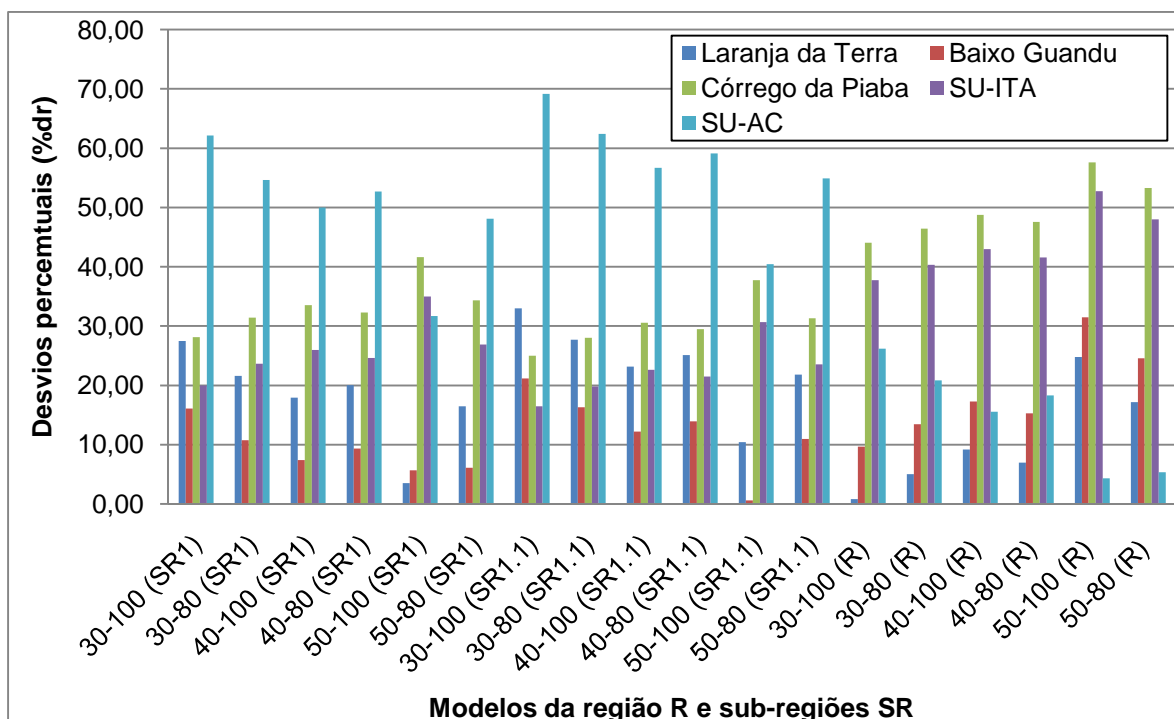


Figura 49 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

No caso da regularização de 50% da vazão média, a região única apresentou os menores desvios para as estações de Laranja da Terra e Afonso Cláudio (SU-AC), como verificado também nas análises relativas a 30% e 40%. As estações Itaguaçu (SU-ITA), Jusante Córrego da Piaba e Baixo Guandu, apresentaram menores desvios quando considerada a SR1.1.

A menor média geral dos desvios percentuais foi correspondente à região de SR1 e ao intervalo 50 a 100%. Na figura 50, pode-se observar que alguns modelos das regiões SR1.1 e R apresentaram valores médios de desvios percentuais próximos aos obtidos para a de menor valor, 23,50%, para SR1.

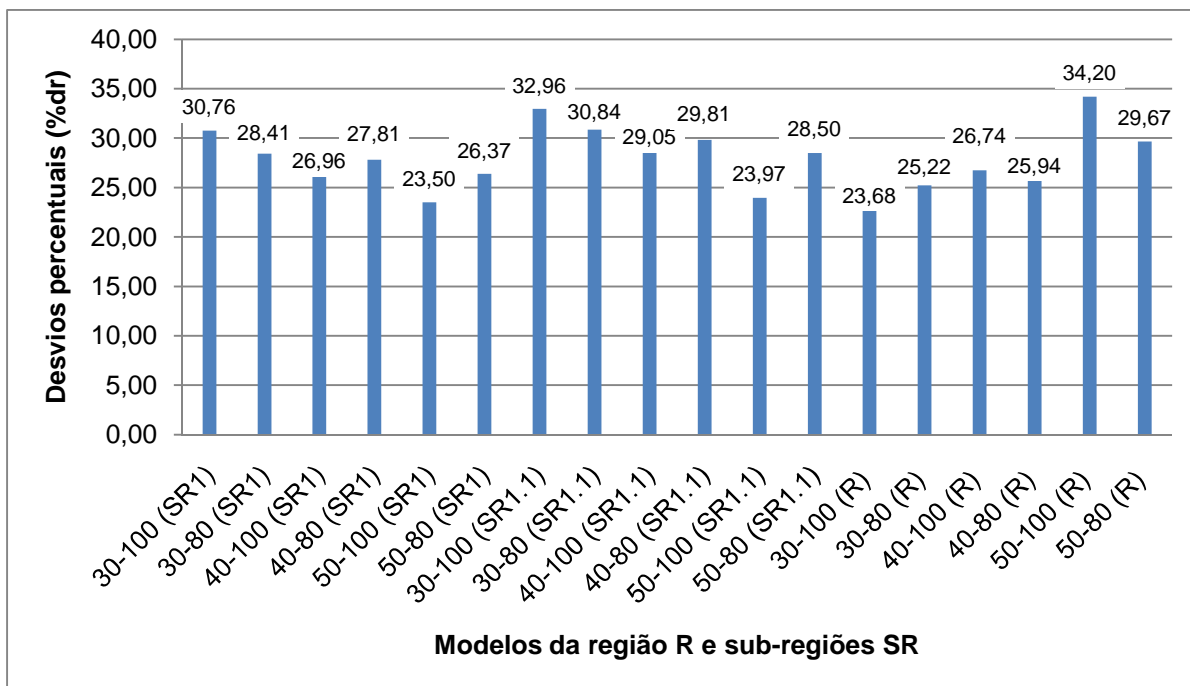


Figura 50 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 50% da vazão média

Observou-se, de uma forma geral, que o modelo que considera a região única (R) e o intervalo de vazão de regularização de 30 a 100%, apresentou menores médias de desvios percentuais. Contudo, esta região apresentou desvios médios superiores a 45% para a regularização de 30% da vazão média e a 35%, para a regularização de 40% da vazão média.

- Subdivisões SR2, SR2.1 e SR2.2

Os modelos ajustados para a SR2, SR2.1 e SR2.2 são apresentados nas tabelas 42 e 43.

Nas tabelas 42 e 43 pode-se observar que os coeficientes de determinação foram maiores nos casos em que foram consideradas as vazões de regularizações de 90 e 100%, assim como na análise da SR1. As subdivisões realizadas apresentaram, geralmente, coeficientes de determinação maiores e desvios percentuais médios menores que os modelos que consideraram a região única (R).

As tabelas E.8 a E.10 do Anexo E apresentam os valores de desvios percentuais obtidos para cada sub-região, individualmente.

Tabela 42 - Modelos de SR2, SR2.1, SR2.2 e R e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 100%, 40 a 100% e 50 a 100% da vazão média

Ref.	30-100%			40-100%			50-100%		
	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
R	$4,610 \cdot 10^{-08} \beta^{3,7704}$	0,88	42,64	$1,824 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9850}$	0,86	37,79	$3,145 \cdot 10^{-09} \beta^{4,3859}$	0,86	33,26
SR2	$1,809 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9790}$	0,88	40,95	$7,384 \cdot 10^{-09} \beta^{4,1863}$	0,86	38,42	$1,046 \cdot 10^{-09} \beta^{4,6321}$	0,86	32,96
SR2.1	$2,579 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8979}$	0,97	18,67	$2,812 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8779}$	0,96	17,11	$6,516 \cdot 10^{-09} \beta^{4,2115}$	0,96	15,08
SR2.2	$3,172 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8417}$	0,95	24,89	$2,255 \cdot 10^{-08} \beta^{3,9208}$	0,94	22,08	$4,861 \cdot 10^{-09} \beta^{4,2708}$	0,95	17,12

Tabela 43 - Modelos para SR2, SR2.1, SR2.2 e R e sub-regiões e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e médias de desvios percentuais (%dr), para os intervalos de 30 a 80%, 40 a 80% e 50 a 80% da vazão média

Ref.	30-80%			40-80%			50-80%		
	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr	Modelo	R <sup>2</sup>	%dr
R	$7,138 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6291}$	0,79	45,75	$1,415 \cdot 10^{-07} \beta^{3,4674}$	0,73	40,69	$2,947 \cdot 10^{-08} \beta^{3,8388}$	0,67	39,08
SR2	$8,590 \cdot 10^{-08} \beta^{3,5702}$	0,80	40,75	$6,486 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6378}$	0,73	41,49	$9,967 \cdot 10^{-9} \beta^{4,0810}$	0,68	38,24
SR2.1	$6,814 \cdot 10^{-08} \beta^{3,6408}$	0,96	18,28	$1,931 \cdot 10^{-07} \beta^{3,3902}$	0,95	14,57	$7,556 \cdot 10^{-8} \beta^{3,6121}$	0,94	13,25
SR2.2	$1,033 \cdot 10^{-07} \beta^{3,5290}$	0,92	25,21	$1,033 \cdot 10^{-07} \beta^{3,4095}$	0,90	20,68	$6,263 \cdot 10^{-8} \beta^{3,6454}$	0,90	16,09



A tabela 44 apresenta os menores desvios percentuais obtidos para cada região, considerando-se as estações em comum (estações da bacia do rio Itapemirim, exceto Lúna e Ibitirama), e os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de vazão de regularização.

Tabela 44 - Menores desvios percentuais (%dr) obtidos para SR2, SR2.1, SR2.2 e R, considerando os intervalos que forneceram estes valores, para cada porcentagem de regularização

Regularização	SR2		SR2.1		SR2.2		R	
	%dr	Intervalo	%dr	Intervalo	%dr	Intervalo	%dr	Intervalo
30%	27,79	30-100	31,56	30-100	32,75	30-100	43,58	30-100
40%	21,72	30-80	21,10	30-80	21,01	30-80	19,30	40-100
50%	16,63	30-100	15,40	40-100	15,97	30-100	15,42	40-80
60%	10,30	50-100	16,83	50-80	12,40	50-80	15,62	50-80
70%	9,27	30-80	11,46	40-80	9,24	40-80	12,08	30-80
80%	12,06	50-80	14,21	40-80	14,26	30-100	11,53	50-80
90%	10,05	30-100	9,71	40-100	10,02	50-100	10,05	30-100
100%	14,08	40-100	14,09	50-100	14,09	50-100	14,09	40-100

É possível observar, pela figura 51, que as maiores médias de desvios percentuais correspondem à regularização de 30% da vazão média, seguida da porcentagem de 40%.

Não se verificou uma prevalência de uma determinada região em fornecer os menores valores de desvios percentuais. Observou-se que a SR2 apresentou os menores desvios para as regularizações de 30%, 60% e 100% da vazão média, sendo que as outras porcentagens de regularização se aproximam dos menores valores. Todos os desvios médios estimados para SR2 foram inferiores a 30%.

As menores médias de desvios percentuais para a regularização de 30% foram obtidas a partir dos intervalos que consideraram as vazões de regularização de 90 e 100% da vazão média. No caso da regularização de 70% da vazão média, as menores médias de erros percentuais não consideraram as vazões de 90 e 100% para sua obtenção. As regularizações de 40 e 60% da vazão média, geralmente, apresentaram menores valores de desvios percentuais quando foram desconsideradas as vazões de 90 e 100% de regularização da vazão média. Para a regularização de 50% da vazão média, os menores valores de desvios encontrados, geralmente, foram na consideração das vazões de 90 e 100% de regularização da vazão média.

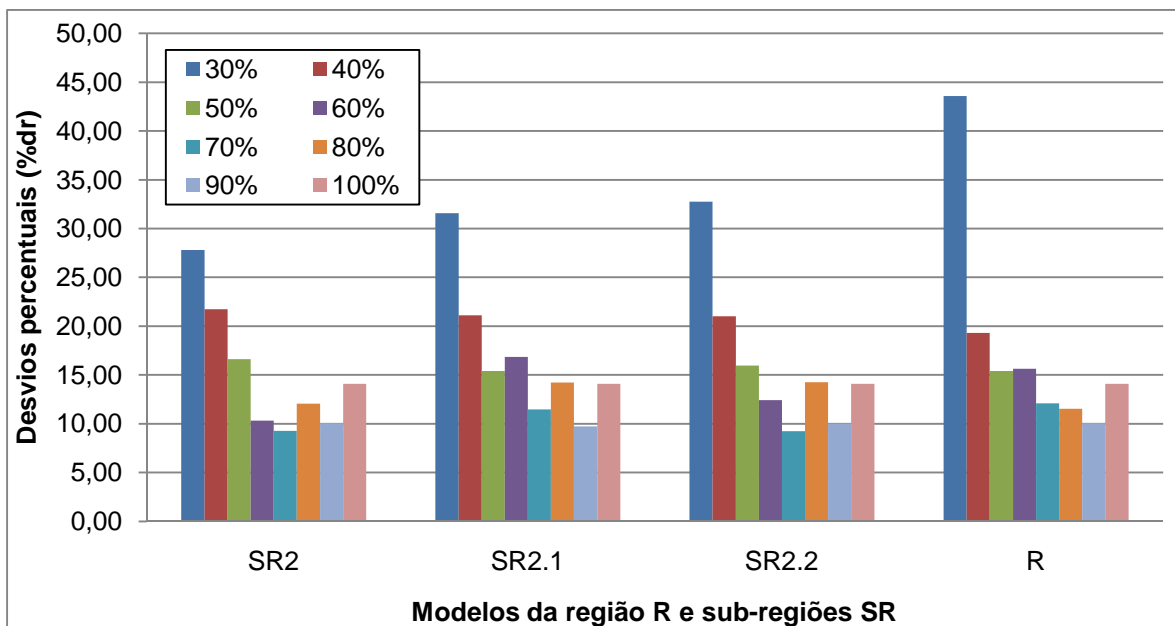


Figura 51 - Gráfico de barras representativo dos menores desvios percentuais (%dr) obtidos para as regiões SR2, SR2.1, SR2.2 e R, correspondentes às regularizações de 30 a 100% da vazão média

Buscou-se analisar o ajustamento individual para as estações. A figura 52, apresenta parte das estações da bacia do rio Itapemirim. Pode-se observar que Castelo apresentou desvios percentuais altos para todas as situações estudadas. Rive, apresentou erros percentuais altos e superiores a 30%, sendo o menor valor encontrado correspondente a SR2 e considerando o intervalo de 30 a 100%. As estações Itaiaci e Coutinho, geralmente, apresentaram valores de desvios percentuais menores que as demais.

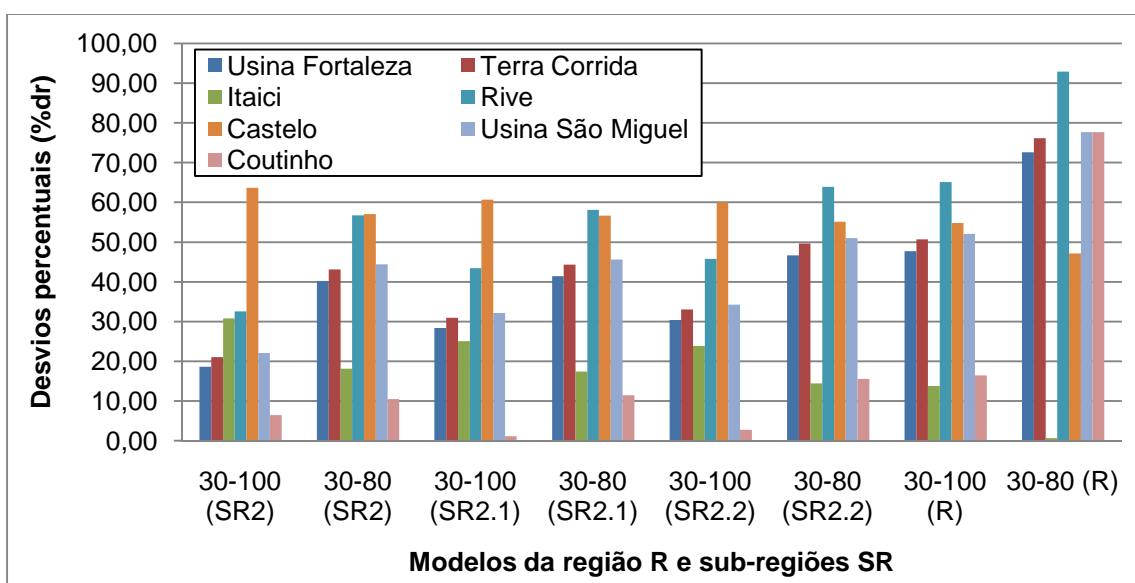


Figura 52 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para cada estação, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

De uma maneira geral, para as estações analisadas na figura 52, a SR2 para o intervalo de 30 a 100%, indica melhores estimativas, podendo-se verificar, na figura 53, que este modelo foi o que apresentou o menor desvio percentual médio dentre os outros.

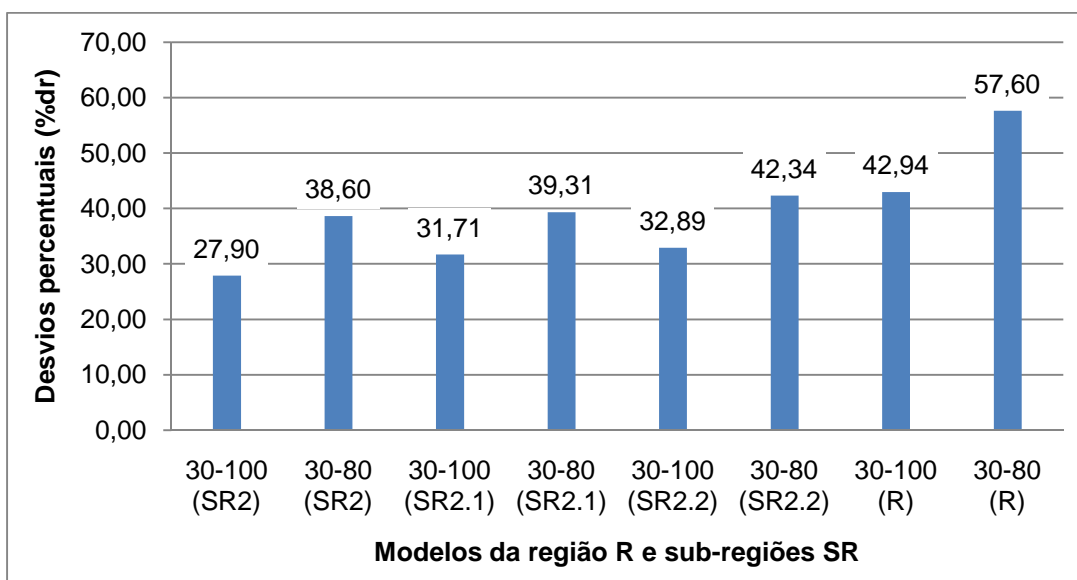


Figura 53 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) para cada intervalo estudado, correspondentes à regularização de 30% da vazão média

Com relação às estações Iconha e Pau d'alho, observa-se, na figura 54, que Iconha geralmente apresenta valores de desvios percentuais menores que 20%. No que se refere à Pau d'alho, o único valor inferior a 30% foi observado na SR2, considerando-se o intervalo de 30 a 100%.

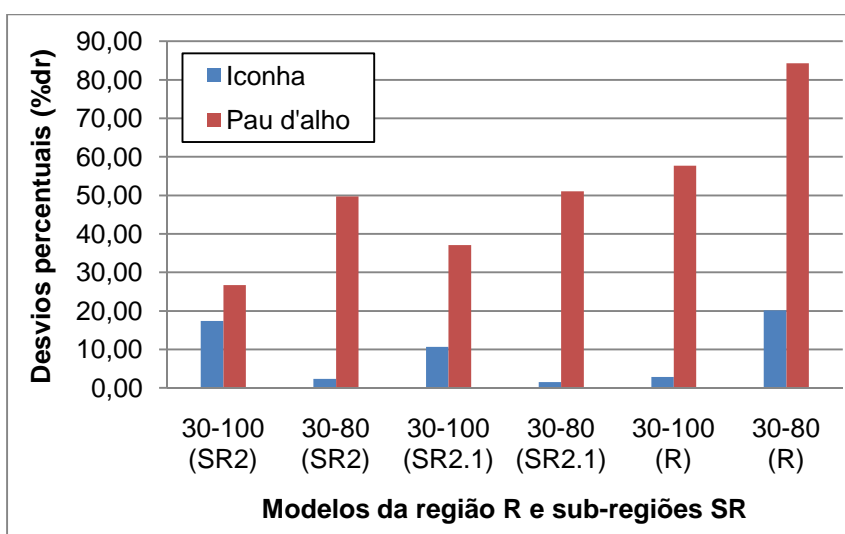


Figura 54 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alho, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

As estações lúna e Ibitirama apresentaram erros percentuais altos em todos os casos estudados, sempre fornecendo valores acima de 40% (figura 55).

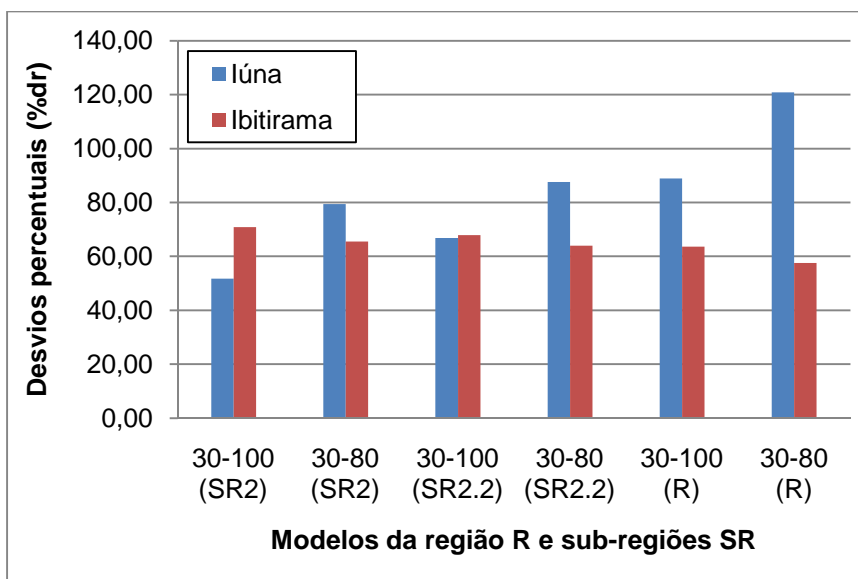


Figura 55 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

Para as estações da bacia do rio Itabapoana, figura 56, São José do Calçado apresentou desvios percentuais sempre acima de 100%. Os erros percentuais de Dores do Rio Preto também foram altos, com valores superiores a 80%.

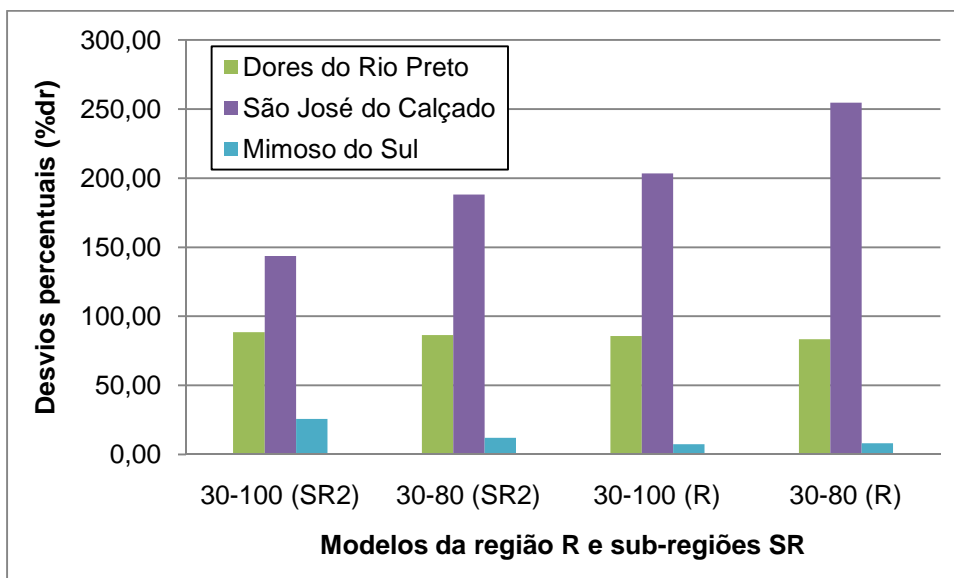


Figura 56 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dores do Rio Preto e São José do Calçado, com relação à regularização de 30%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

No que se refere às regularizações de 40% da vazão média, foram observados desvios percentuais altos, principalmente para a estação Castelo. A figura 57 apresenta os desvios percentuais das estações estudadas da bacia do rio Itapemirim. Além de Castelo, Itaici apresentou, geralmente, erros percentuais superiores a 30%. As outras estações, na maioria dos casos, apresentaram desvios percentuais abaixo de 30%.

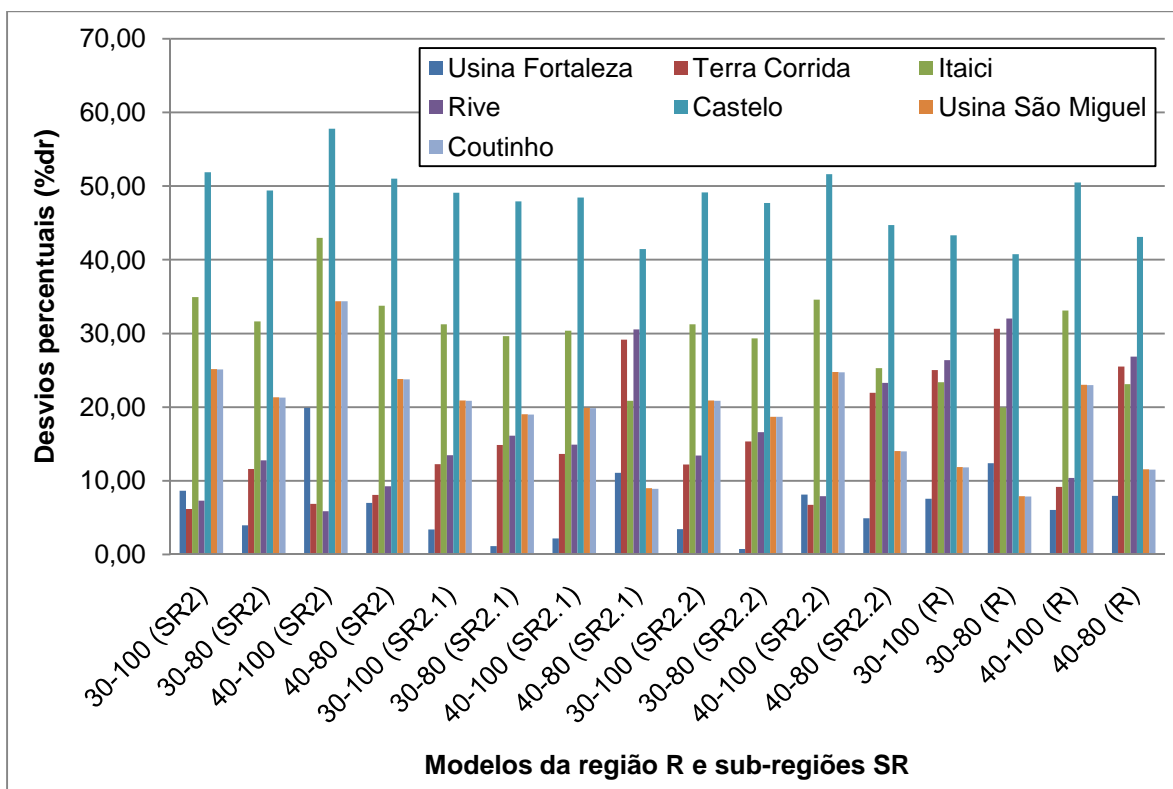


Figura 57 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações estudadas da bacia do rio Itapemirim, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

De uma forma geral, verifica-se, na figura 58, que praticamente todas as médias gerais de desvios percentuais para as estações estudadas do rio Itapemirim, apresentaram valores entre 21 e 23%. A única exceção foi para o modelo de SR2 que considera o intervalo de 40 a 100% das vazões de regularização. O menor valor de desvio percentual médio foi de SR2.2, no intervalo entre 30 a 80%.

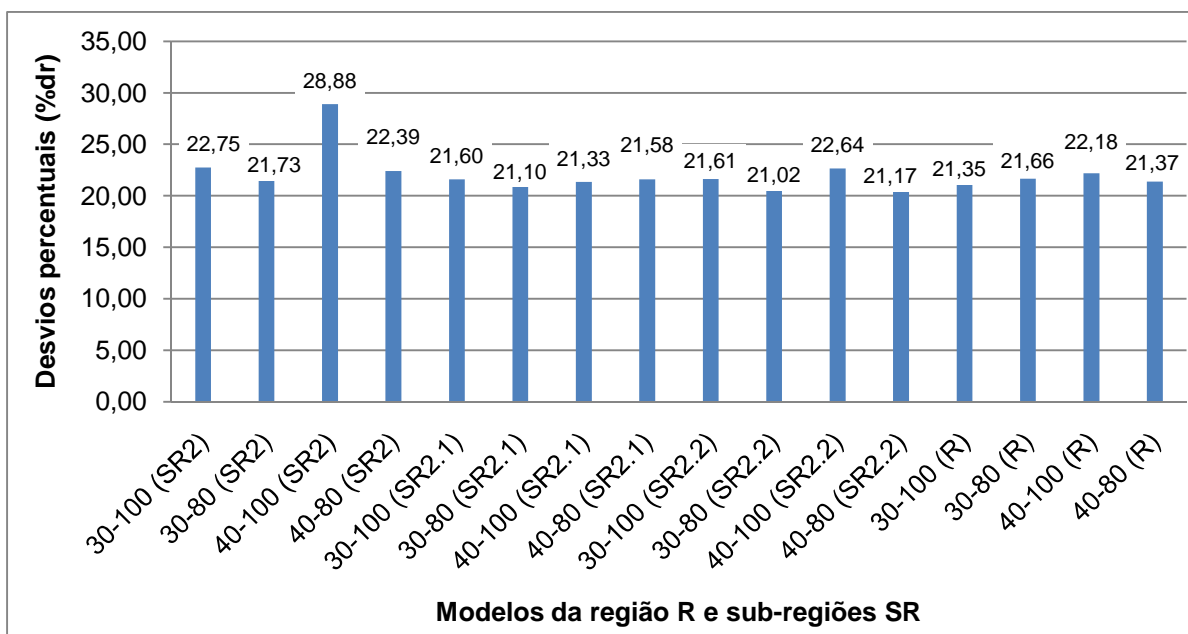


Figura 58 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) das estações estudadas da bacia do Itapemirim, para cada intervalo, correspondentes à regularização de 40% da vazão média

Para as estações Iconha e Pau d'alto, figura 59, o modelo de SR2 correspondente ao intervalo de 40 a 100% de regularização da vazão média, apresentou os maiores desvios percentuais. Os menores desvios foram observados no intervalo 30 a 80%, na região R.

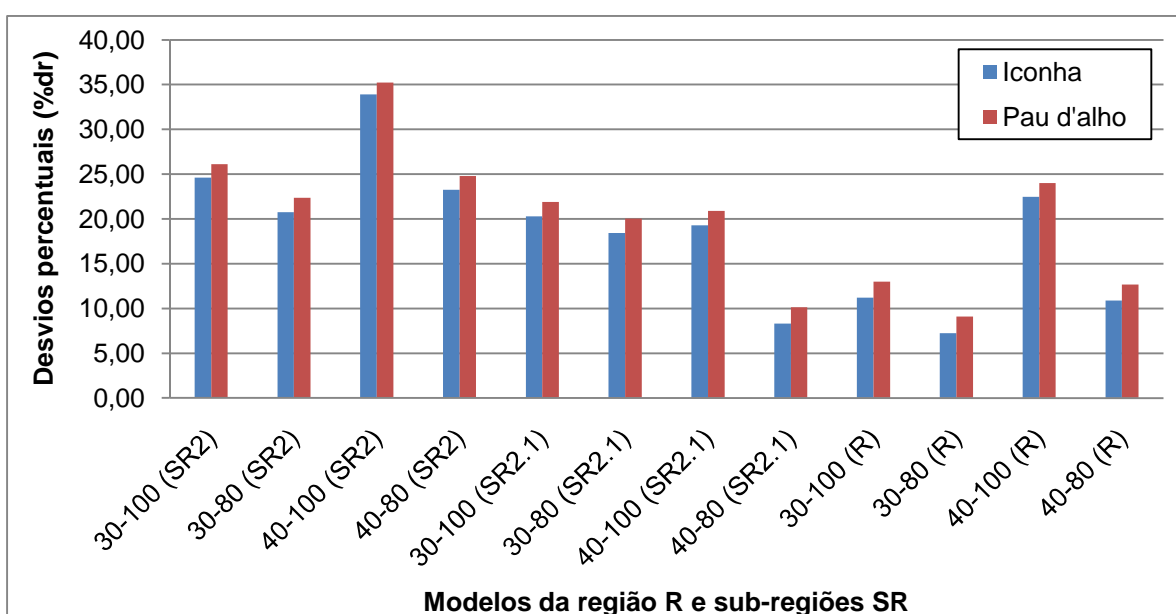


Figura 59 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alto, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

As estações Lúna e Ibitirama apresentaram erros percentuais sempre acima de 40%, como mostra a figura 60.

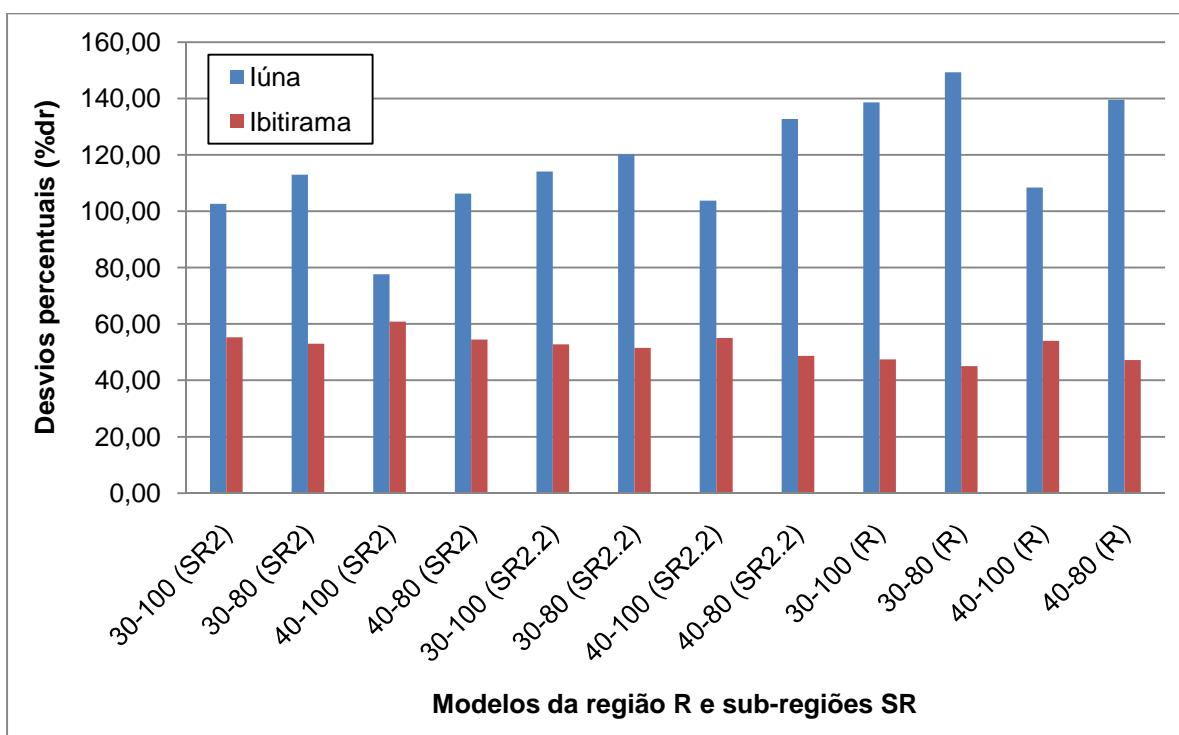


Figura 60 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

A figura 61 mostra que Dores do Rio Preto, Guaçuí e Mimoso do Sul apresentaram desvios altos, superiores a 75%. São José do Calçado apresentou os menores desvios, todos inferiores a 30%.

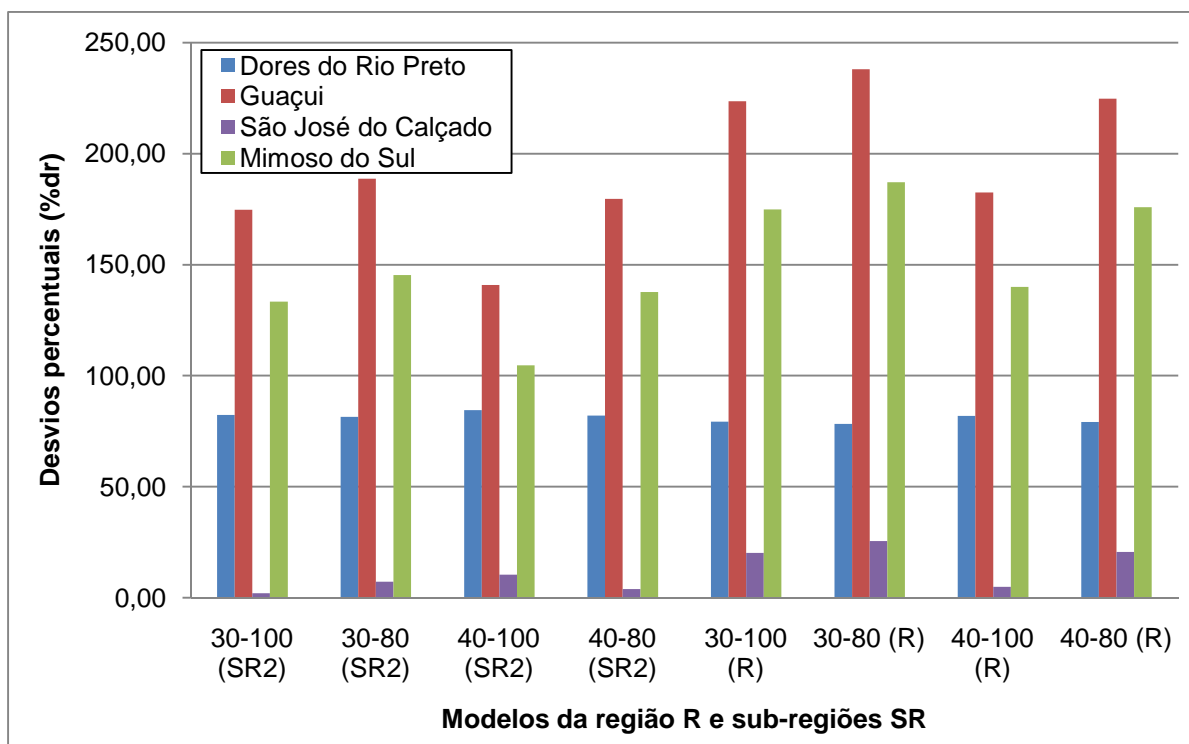


Figura 61 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, e Mimoso do Sul, com relação à regularização de 40%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

Com relação à regularização de 50% da vazão média, a figura 62 apresenta o gráfico de barras das estações do rio Itapemirim. Terra Corrida e Castelo apresentaram, em diversos modelos, valores de desvios percentuais superiores a 30%. As demais estações, geralmente, apresentaram erros abaixo de 30%.

Observa-se, na figura 63, que quase 80% dos modelos apresentaram erros percentuais médios de 15 a 19%. O menor erro observado foi correspondente à região SR2.1, no intervalo considerado de 40 a 100% de regularização da vazão média.



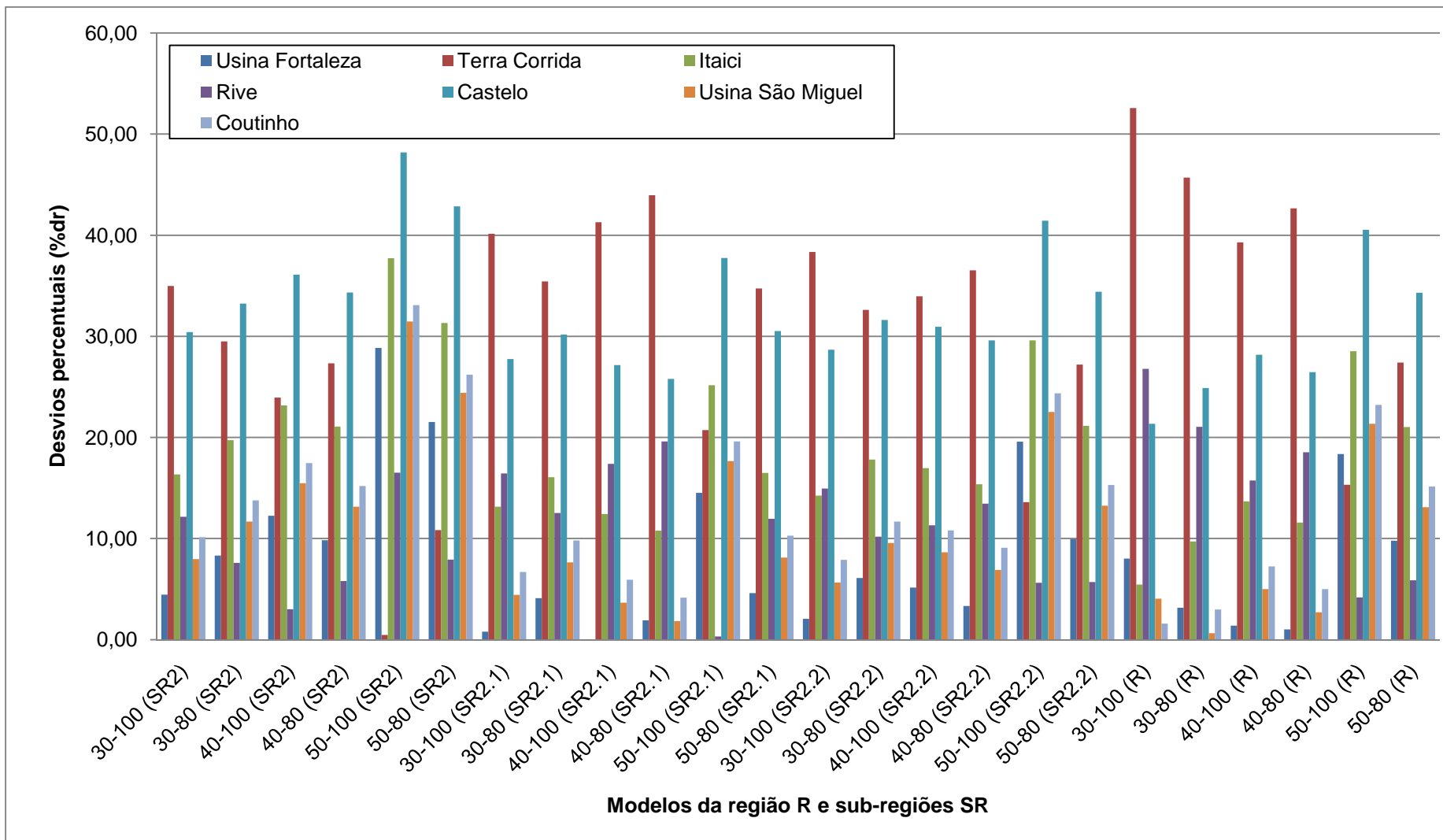


Figura 62 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações estudadas da bacia do Itapemirim, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

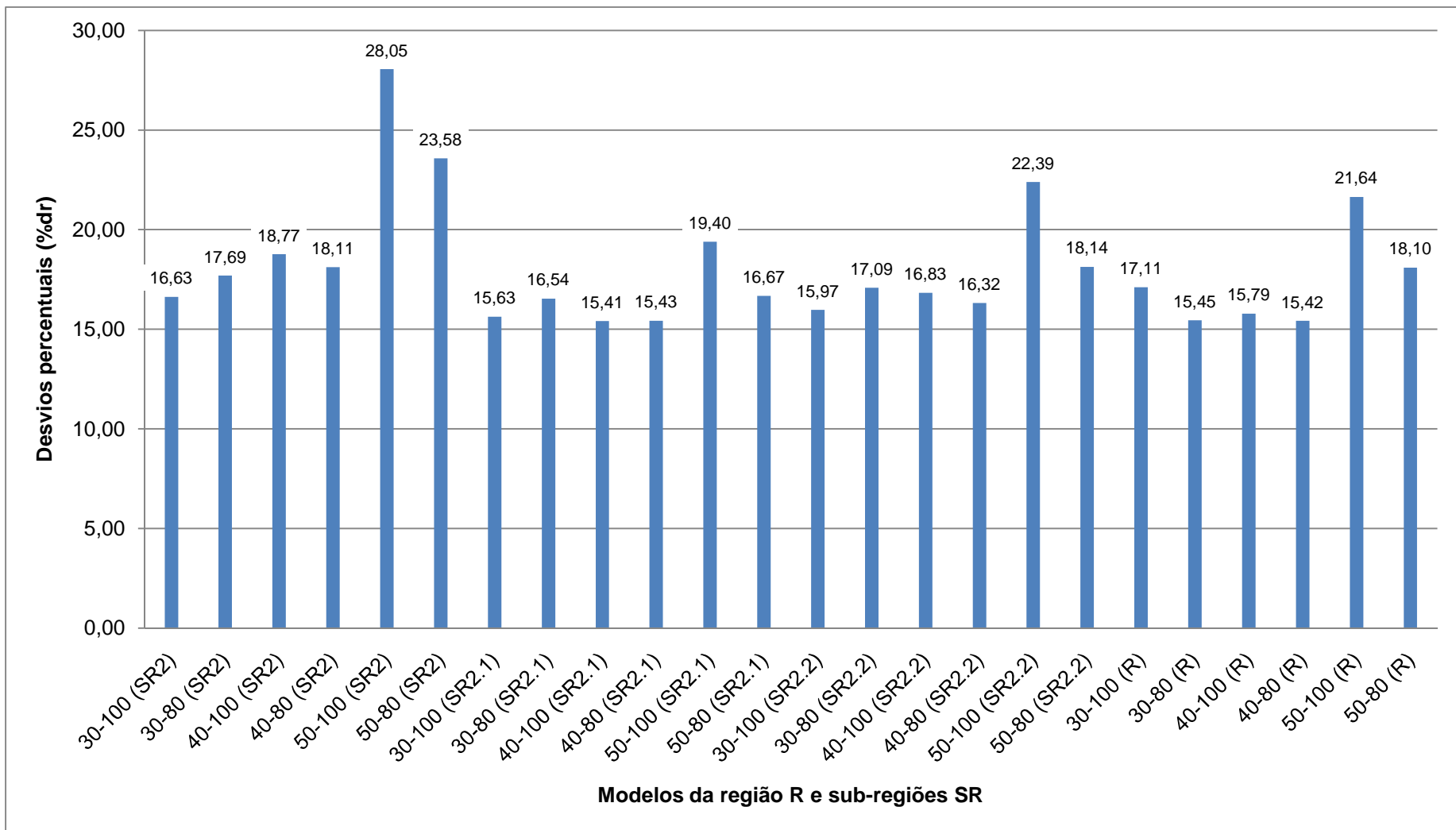


Figura 63 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais médios (%dr) das estações estudadas da bacia do Itapemirim, para cada intervalo, correspondentes à regularização de 50% da vazão média

A figura 64 apresenta gráficos de desvios percentuais das estações de Pau d'alho e Iconha. Pau d'alho, para a regularização de 50% da vazão média, apresentou para todos os casos estudados, desvios percentuais inferiores a 30%. Para Iconha, apenas um dos casos apresentou desvio superior a 30%.

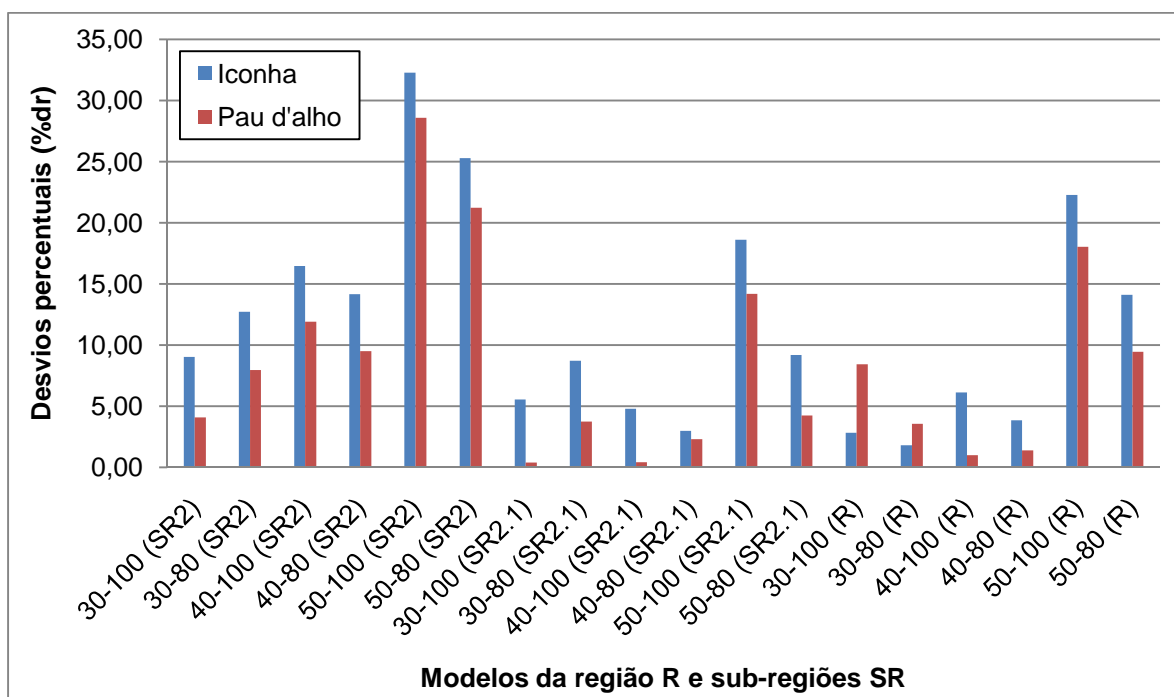


Figura 64 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Iconha e Pau d'alho, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

lúna, a exemplo das situações anteriores, apresentou erros superiores a 60%, como mostra a figura 65. Ibitirama, para a regularização de 50% da vazão média, apresentou casos em que os erros percentuais obtidos foram inferiores a 30%.

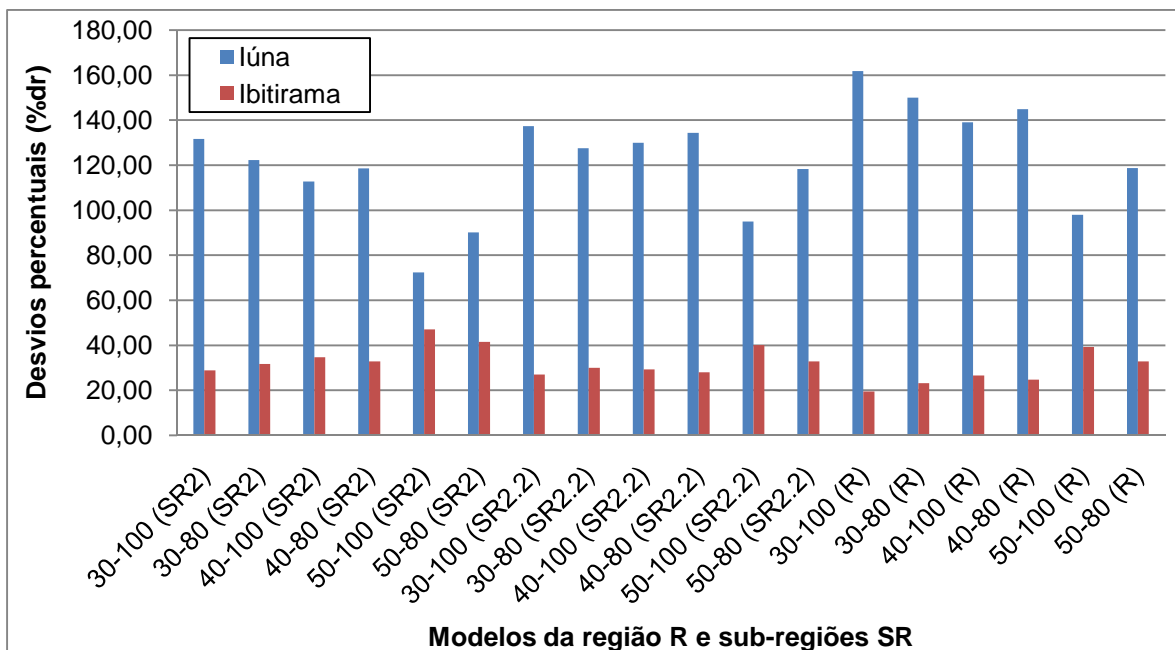


Figura 65 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Lúna e Ibitirama, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

As estações da bacia do rio Itabapoana, Dolores do Rio Preto e Guaçuí, apresentaram desvios percentuais superiores a 60%, como mostra a figura 66. Mimoso do Sul apresentou desvios percentuais inferiores a 30% em três modelos estudados. São José do Calçado apresentou, geralmente, desvios percentuais inferiores a 20%.

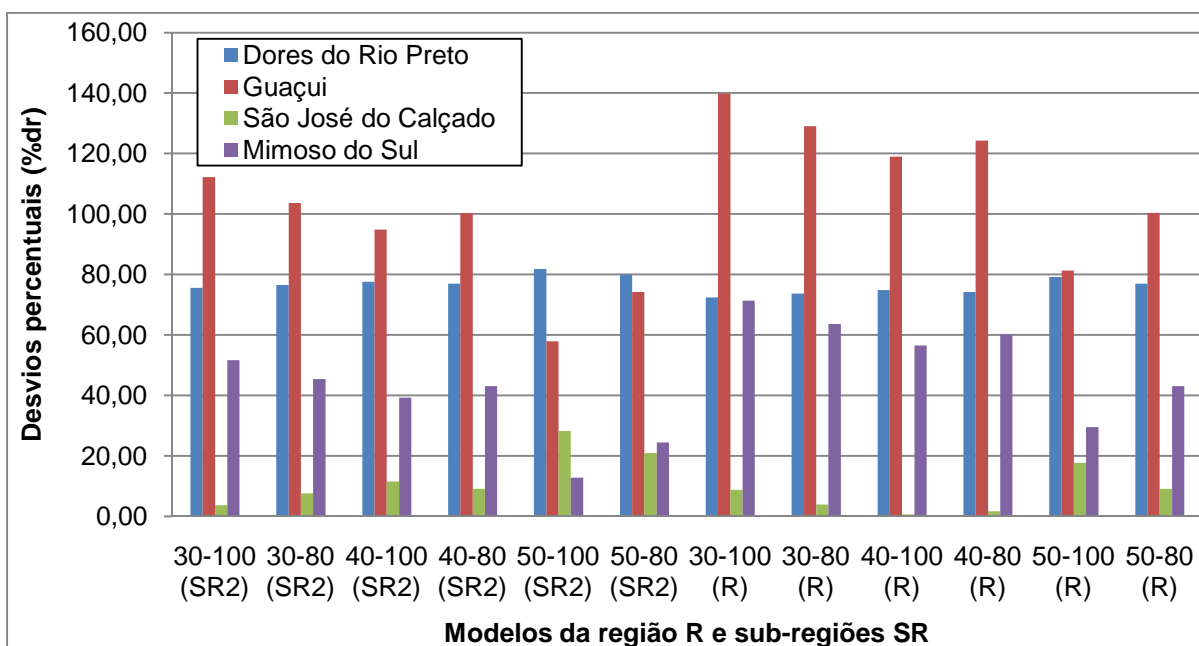


Figura 66 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais (%dr) para as estações Dolores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, e Mimoso do Sul, com relação à regularização de 50%, e diferentes intervalos e regiões consideradas

#### *4.10.1 Análise geral da regionalização de curvas de regularização*

Alguns modelos da região R e da sub-região SR2 apresentaram coeficientes de determinação menores que 0,80. Mesmo assim, foram utilizados para comparação com outros modelos, como forma de contribuição às análises dos resultados para diferentes intervalos de vazões de regularização, considerados no estudo.

Constatou-se que a regionalização das curvas considerando diferentes intervalos de vazão de regularização possibilitou uma série de opções de modelos. A retirada das maiores vazões de regularização não reduziram, necessariamente, os erros do ajustamento. Não foi possível prever, anteriormente à análise de desvios percentuais médios, qual intervalo conduziria a um melhor ajustamento.

A análise dos erros percentuais se mostrou muito importante para a seleção de modelos, uma vez que maiores coeficientes de determinação não garantiram menores erros.

Observou-se que grande parte das estimativas obtidas para as menores percentagens de regularização sofreram variações e apresentaram erros percentuais elevados. Dessa forma, a adoção e escolha de modelos devem ser feitos de forma criteriosa, a partir de análise semelhante à realizada, levando em consideração os erros percentuais observados.

#### *4.10.2 Comparação de modelos*

Procurou-se comparar os modelos ajustados para R e SR2 com aqueles obtidos por Euclides et al. (2007a) para diversos intervalos de regularização da vazão média. As regiões SR2 e R foram escolhidas por incluírem as estações utilizadas por Euclides et al. (2007a). Dentre os intervalos analisados, foram adotados aqueles que apresentaram, em média, menores desvios percentuais. As regularizações utilizadas para comparação foram 30, 40 e 50% da vazão média.

Para a regularização de 30%, dentre os modelos estudados neste trabalho, o que apresentou menor desvio percentual médio foi o que considerou a SR2, para o intervalo de 30 a 100%. A tabela 45 apresenta os desvios percentuais obtidos para este modelo e os referentes ao ajustado por Euclides et al. (2007a).

Tabela 45 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 30%

Estação	Código	%dr	
		SR2 (30-100)	Euclides et al. (2007a)
Pau D'alto	57300000	29,94	11,38
Iconha - Montante	57320000	15,27	27,37
Usina Fortaleza	57350000	21,74	4,35
Íluna	57360000	55,80	33,54
Terra Corrida - Montante	57370000	24,24	6,49
Itaici	57400000	28,96	39,11
Ibitirama	57420000	70,04	74,32
Rive	57450000	36,03	16,59
Castelo	57490000	62,72	68,04
Usina São Miguel	57550000	25,28	7,39
Coutinho	57555000	4,03	17,74
Dores do Rio Preto	57720000	88,27	89,94
São José do Calçado	57770000	150,02	114,30
<b>Média</b>		<b>47,10</b>	<b>39,27</b>

Observa-se que, para a regularização de 30%, o desvio percentual médio do modelo ajustado por Euclides et al. (2007a) apresentou-se menor que o correspondente a SR2, porém, superior a 30%. Pode-se observar, além disso, a existência de diversas estações apresentando erros percentuais acima de 30%, para os dois modelos comparados (figura 67). Os maiores erros percentuais, para os dois modelos comparados, corresponderam à estação São José do Calçado (57770000).

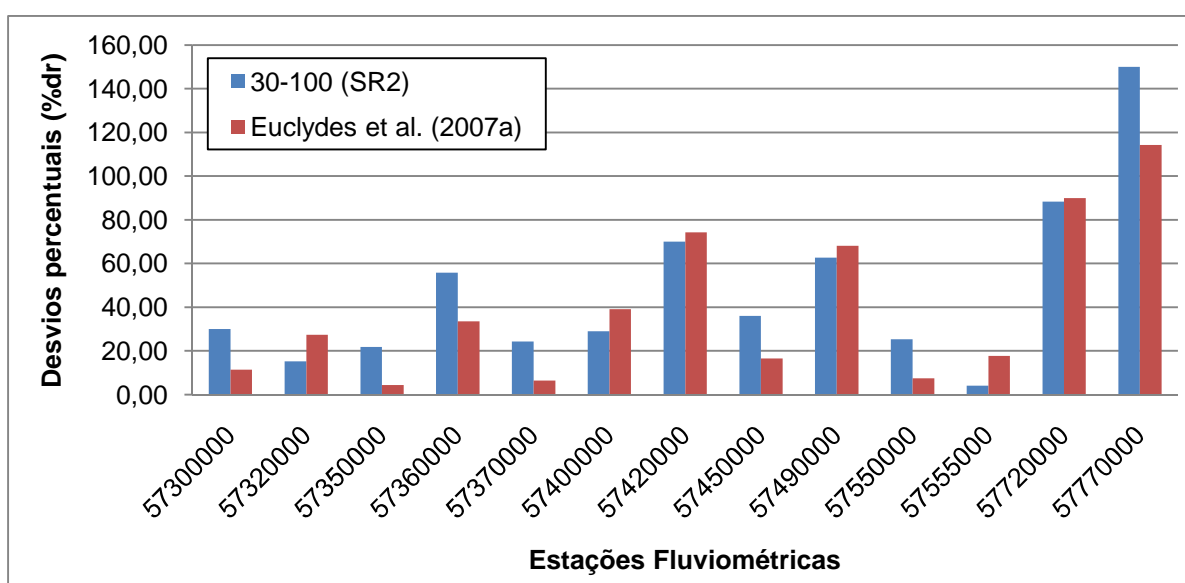


Figura 67 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 30%

A tabela 46 apresenta os desvios percentuais para a regularização de 40% da vazão média. Neste caso, para as estações consideradas na tabela 46, o modelo ajustado neste trabalho apresentou menor erro percentual, para o intervalo de 40 a 100%.

Tabela 46 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 40%

Estação	Código	%dr	
		SR2 (40-100)	Euclides et al. (2007a)
Pau D'alho	57300000	34,49	15,52
Iconha - Montante	57320000	33,14	13,79
Usina Fortaleza	57350000	18,99	4,46
Íluna	57360000	79,66	131,67
Terra Corrida - Montante	57370000	5,85	21,41
Itaici	57400000	42,32	25,62
Ibitirama	57420000	60,38	48,91
Rive	57450000	4,83	22,72
Castelo	57490000	57,31	44,95
Usina São Miguel	57550000	33,65	14,44
Coutinho	57555000	33,61	14,39
Dores do Rio Preto	57720000	84,37	79,84
Guaçuí	57740000	143,56	214,06
São José do Calçado	57770000	9,46	16,76
Mimoso do Sul	57880000	106,98	166,90
<b>Média</b>		<b>49,91</b>	<b>55,70</b>

Na tabela 46 e na figura 68, pode ser observado que diversas estações apresentaram erros superiores a 30%. Guaçuí foi a estação que apresentou maior erro percentual, para os modelos analisados.

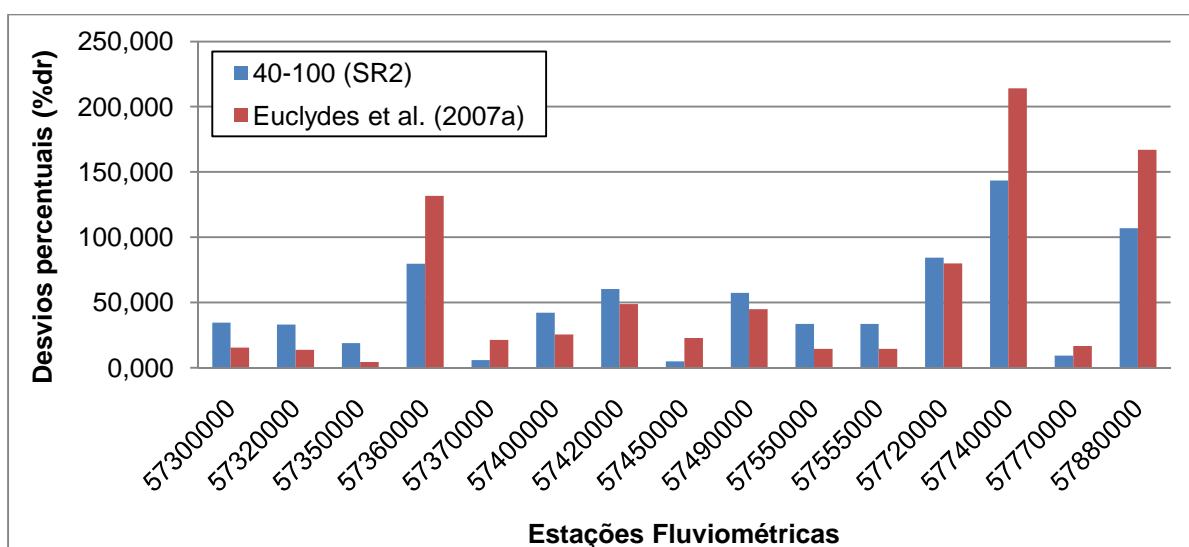


Figura 68 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 40%

Para a regularização de 50%, o modelo que apresentou menor desvio percentual médio foi SR2 com intervalo de 50 a 100%. A tabela 47 mostra os erros percentuais obtidos com o ajuste deste modelo e os obtidos por Euclides et al. (2007a).

Tabela 47 - Valores de desvios percentuais (%dr) para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 50%

Estação	Código	%dr	
		SR2 (50-100)	Euclides et al. (2007a)
Córrego do Galo	57170000	200,51	466,34
Matilde	57250000	264,83	587,56
Pau D'alto	57300000	28,14	35,42
Iconha - Montante	57320000	31,86	28,42
Usina Fortaleza	57350000	28,42	34,90
Lúna	57360000	73,50	226,98
Terra Corrida - Montante	57370000	1,10	90,53
Itaici	57400000	37,34	18,09
Ibitirama	57420000	46,66	0,52
Rive	57450000	15,99	58,32
Castelo	57490000	47,87	1,76
Usina São Miguel	57550000	31,05	29,94
Coutinho	57555000	32,68	26,88
Dores do Rio Preto	57720000	81,73	65,56
Guaçuí	57740000	58,95	199,56
São José do Calçado	57770000	27,88	35,91
Mimoso do Sul	57880000	13,59	114,08
<b>Média</b>		<b>60,12</b>	<b>118,87</b>

O menor erro percentual médio foi obtido a partir do modelo de SR2. Pode-se observar (figura 69) que os maiores erros ocorreram para as estações Córrego do Galo e Matilde. Outras estações também apresentaram erros percentuais elevados.



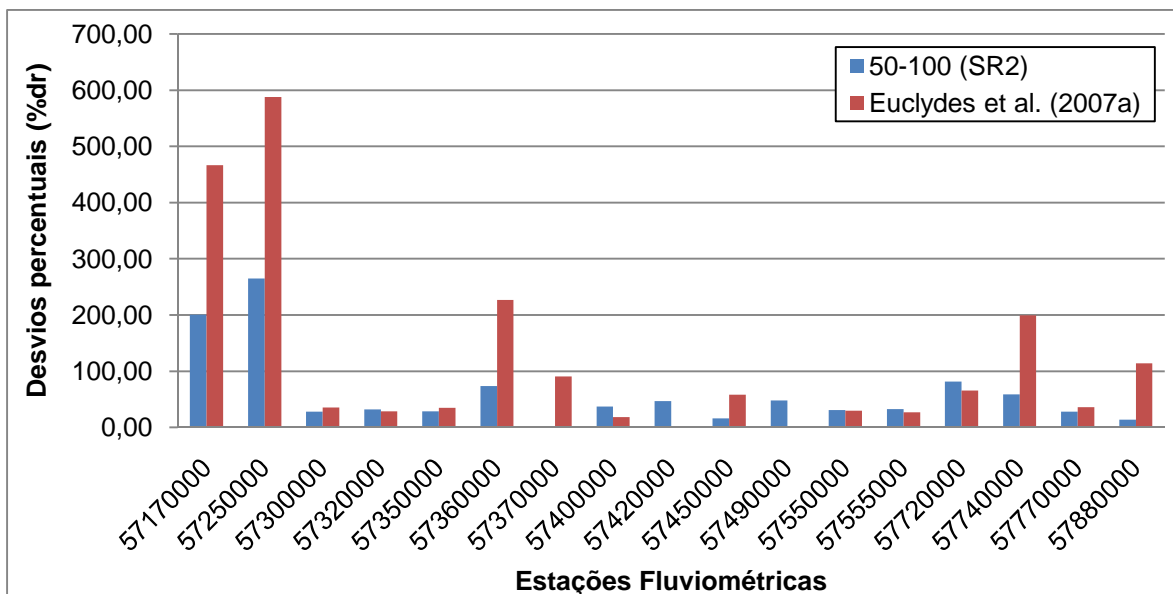


Figura 69 - Gráfico de barras representativo dos desvios percentuais para o modelo SR2 e para o ajustado por Euclides et al. (2007a), considerando a regularização de 50%

A partir da análise realizada, identificou-se que os dois modelos analisados, para as regularizações de 30, 40 e 50%, apresentaram erros percentuais elevados para diversas estações, ocorrendo, inclusive, valores superiores a 100%.

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

Os Modelos Digitais de Elevação gerados foram hidrologicamente consistentes para as áreas de relevo mais acidentado. O mesmo não ocorreu para as áreas próximas às estações Fazenda Jucuruaba e Usina Paineiras.

Com relação à definição de regiões homogêneas pelo método de Eletrobrás (1985a), a área em estudo foi dividida em duas regiões hidrologicamente homogêneas, a sub-região SR1, abrangendo as estações da bacia do Doce e Reis Magos, e a sub-região SR2, compreendendo as bacias dos rios Novo, Jucu, Benevente, Itapemirim e parte da bacia do Itabapoana. Para a sub-divisão adotada, a melhoria mais expressiva nas estimativas de vazão, com relação aos modelos que contemplaram a região como um todo, puderam ser observadas na SR1.

A variável explicativa de maior relevância na regionalização das vazões médias foi a área de drenagem. Em conjunto com área, as variáveis precipitação média anual, declividade média da bacia e declividade entre a nascente e a foz do rio principal foram também importantes.

Os métodos de interpolação linear e Chaves et al. (2002), apresentaram maiores erros nas situações em que as diferenças entre as áreas de drenagem dos postos fluviométricos e as das seções transversais para os quais se desejava fazer estimativas foram mais significativas. As diferenças entre as estimativas obtidas com a utilização dos dois métodos foram pouco expressivas.

Os ajustes que indicaram melhores estimativas e menores desvios percentuais, na região estudada, foram os realizados pela metodologia de equações de regressão regionais.

A consideração de diferentes intervalos de regularização para ajustamento das curvas de regularização permitiu a análise de diversas alternativas de modelos. A análise, para diferentes intervalos, contribuiu na identificação daqueles que forneceram menores erros, para cada percentagem de regularização considerada. Os modelos obtidos apresentaram erros significativos para as regularizações de 30, 40 e 50% da vazão média.

## 5.2 Recomendações

Recomenda-se a realização de estudo comparativo de resultados de regionalização que considerem diferentes escalas para extração de características físicas, para avaliação de influência da escala utilizada sobre os resultados.

Para elaboração do MDE, sugere-se testes com outros interpoladores. Desta forma, pode ser verificado se a adoção de outros métodos implicariam em melhorias nos ajustes às áreas planas e litorâneas pelos MDEs, sendo mantida a qualidade nas regiões montanhosas.

Para melhores estimativas de vazões para seções transversais localizadas em diferentes regiões, recomenda-se a operação e ampliação da rede de monitoramento pluviométrico e fluviométrico.

Tendo em vista a necessidade de estimativas de vazões para seções transversais apresentando bacias hidrográficas de menor porte, propõe-se que sejam implementadas estações em microbacias, de forma que técnicas de regionalização possam ser utilizadas com maior confiança para menores áreas de drenagem.

Na tentativa de melhorar as estimativas de vazões para a bacia do Itabapoana, recomenda-se incluir outras estações, fora do limite do estado do Espírito Santo.

Para a regionalização das curvas de regularização, recomenda-se que, adicionalmente à análise de coeficientes de determinação dos modelos, sejam também realizadas análises de desvios percentuais.

A partir dos resultados do presente estudo, recomenda-se estudar as variações que ocorrem em todas as regiões da curva, observando-se os pontos que se distinguem dos demais e verificando o ajustamento de diferentes situações, para que possam ser obtidos modelos que forneçam menores erros.

Ressalta-se que os modelos de curva de regularização obtidos se referem aos volumes críticos no período de 1970 a 2008, sendo que, caso disponíveis, recomenda-se a consideração, no dimensionamento de reservatórios, de dados relativos ao período crítico ocorrido na década de 1950.

## **CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Disponibilidades e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Vol. 2. 1ª edição. Brasília: ANA, 2007.
- 2 AGRA, S. G. et al. Metodologia de regionalização de vazões: Estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003. CD-ROM.
- 3 ANDREAZZA, A. M. P. et al. **Estudo de Regionalização de Vazões e Metodologia para Determinação de Vazões Insignificantes para as 12 Bacias Hidrográficas do Estado do Espírito Santo**. Vitória: IEMA, 2009, 138 p.
- 4 ANDRADE, E. M. et al. Regionalização de modelos de vazões médias de longo período para o Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, vol. 35, número especial, p. 139 a 148, out. 2004.
- 5 ARAÚJO, C. B. O. **Caracterização física e regionalização hidrológica de vazão máxima na bacia do rio do Carmo, alto Rio Doce**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- 6 ATKINSON, P. M.; LLOYD, C. D. Mapping precipitation in Switzerland with Ordinary and Indicator Kriging. **Journal of Geographic Information and Decision Analysis**. Vol. 2, nº 2, p. 65-76, 1998.
- 7 AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- 8 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. 148 f. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- 9 BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Engenharia na Agricultura**, Jaboticabal, vol. 24, nº 3, p. 612-624, set./dez. 2004.
  - 10 BARBOSA, I. M. B. R. **Contribuição aos estudos de regionalização de vazões a partir do conhecimento do meio físico** – estudo de caso: bacia do rio São Francisco. 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade de Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.
  - 11 BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Brasília, 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 11 ago. 2004.
  - 12 CHAVES, H. et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 07, nº 3, p. 43-51, 2002.
  - 13 CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. 2002. 115 f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
  - 14 CHILDS, C. **Interpolating surfaces in ArcGis spatial analyst**. ESRI Education Services – Arc User: July-September, 2004. Disponível em: <<http://www.esri.com>>. Acesso em: Jan. 2009.
  - 15 CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). **Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001**. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 17 jul. 2006.
  - 16 COMPANHIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO (Brasil). **CESAN aumenta produção de água em Guarapari durante o verão**. Disponível em: <<http://www.cesan.com.br/news.php?item.1307>>. Acesso em: Jan. 2010a.
  - 17 COMPANHIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO (Brasil). **CESAN continua o rodízio de água em Guarapari até domingo**. Disponível em: <<http://www.cesan.com.br/news.php?extend.1325>>. Acesso em: Fev. 2010b.

- 18 COSER, Marisa Cruz. **Regionalização de Vazões  $Q_{7,10}$  no Estado do Espírito Santo**. 2003. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.
- 19 CRISTELO, Vanuza Pratti. **Aplicações de Sistemas de Informações Geográficas na estimativa de vazões máximas de projeto**. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
- 20 EARLS, J.; DIXON, B. **Spatial interpolation of rainfall data using ArcGis: A Comparative Study**. ESRI Users Group Conference, October 2007. Disponível em: <<http://proceedings.esri.com>>. Acesso em: Dez. 2009.
- 21 DARNELL, A. R. et al. Improving user assessment of error implications in digital elevation models. **Computers, Environmental and Urban Systems**. Vol. 32, p. 268-277, 2008.
- 22 DUQUE, J. C. et al. Supervised Regionalization Methods: A Survey. **International Regional Science Review**. American Agricultural Editor's Association, vol. 30, nº 3, p. 195-220, 2007.
- 23 ELESBON, A. A. A. et al. Regionalização de vazões máximas, médias e mínimas para o Estado do Espírito Santo visando futura aplicação em SIG em sua automatização. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2002. CD-ROM.
- 24 ELESBON, Abrahão Alexandre Alden. **Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na regionalização de vazões** – Estudo de Caso: bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus. 2004. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.
- 25 ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **Metodologia para Regionalização de Vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.
- 26 ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. **Manual de Minicentrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.



- 27 EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 06, nº 2, p. 81-105, 2001.
- 28 EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização das Bacias do Rio Grande, Minas Gerais. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7, 2004, Maranhão. **Anais...** Maranhão: ABRH, 2004. CD-ROM.
- 29 EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização Hidrológica das Sub-Bacias do Rio Paranaíba-MG e Uso do SIG na Disposição das Informações, Via Internet. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, Paraíba. **Anais...** Paraíba: ABRH, 2005. CD-ROM.
- 30 EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização hidrológica na região hidrográfica capixaba, compreendida entre os limites da bacia do rio Doce e do rio Itabapoana. In: I Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, 1, 2007a, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABRH, 2007. CD-ROM.
- 31 EUCLYDES, H. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Uso de Geoprocessamento como ferramenta auxiliar na regionalização hidrológica na bacia do Alto Rio Purus, Estado da Amazonas. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2, 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande-MS: ABRH, 2002.
- 32 EUCLYDES, H. P. et al. **RH 4 – Regionalização Hidrológica**. Manual do Programa. Viçosa, MG: UFV/RURALMINAS, 2007b.
- 33 FERREIRA, D. S. et al. Utilização de dados de sensoriamento remoto para obtenção das características físicas da bacia hidrográfica do córrego João Pedro em Linhares – Espírito Santo. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.
- 34 FRANCISCO, C. N.; CARVALHO, C. N. Disponibilidade Hídrica – da visão global às pequenas bacias hidrográficas, no Estado do Rio de Janeiro. **Revista de Geociências**, Niterói, Ano 3, n. 3, Instituto de Geociências, 2004.

- 35 FREITAS, V. A. L. et al. Regionalização Hidrológica nas bacias 46, 47, 48 e 49 do rio São Francisco. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2002. CD-ROM.
- 36 GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.
- 37 GENOVEZ, A. M. Métodos de determinação de volumes de armazenamento de reservatórios para regularização anual. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 223-235.
- 38 GOLDENFUM, Joel Avruch. Pequenas Bacias Hidrográficas: Conceitos Básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-163.
- 39 GOOCH, M. J.; CHANDLER, H. J. Failure prediction in automatically generated digital elevation models. **Computers and Geosciences**. Vol. 27, 8ª edição, p. 913-920. Elsevier: Junho, 2001.
- 40 GOONETILLEKE, A.; JENKINS, G. A. The Role of Geographical Information Systems in Urban Hydrological Modelling. **Journal of Chartered Institution of Water and Environmental Management**. Austrália, vol. 13, nº 3, p. 200-206, 1999.
- 41 KOBOLD, M.; BRILLY, M. Low flow discharge analysis in Slovenia. **Proceedings of the Braunschweig Conference**. In: Flow Regimes from International Experimental and Network Data. Reino Unido: Outubro, 1994.
- 42 LANNA, A. E. et al. Regionalização de vazões mínimas na bacia do rio Jacuí, RS. In: V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 5, 1983, Blumenau – SC. **Anais...** Blumenau: ABRH, 1983.
- 43 LEE, J. Y. et al. Development of integrated GIS interface for characteristics of regional daily flow. **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology Volume**. Vol. 28, p. 180-185, Moscou, Rússia: Abril, 2007.

- 44 LEIPNIK, M. R. et al. Implementation of GIS for Water Resources Planning and Management. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Texas, vol. 119, nº 2, mar./abr. 1993.
- 45 LEMOS, Alysson Feliciano. **Avaliação de Metodologias de Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, a Montante do Reservatório Três Marias**. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- 46 LISBOA, L. et al. Estimativa e Regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Paracatu. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, vol. 16, nº 4, p. 471-479, out./dez. 2008.
- 47 LUKASHEH, A. F. et al. Review of Expert System (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS) and their application in landfill design and management. **Waste Management and Research**. Reino Unido, vol. 19, p. 177-185, 2001.
- 48 MIMIKOU, M. Regional analysis of hydrological variables in Greece. **Proceedings of Ljubljana Symposium**. Reino Unido: nº 191, Abril, 1990.
- 49 MOREIRA, Michel Castro. **Gestão de Recursos Hídricos: Sistema Integrado para Otimização da Outorga de Uso da Água**. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- 50 MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Comparação da metodologia adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para estimativa da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{mld}$  com três metodologias de regionalização de vazões. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande - MS. **Anais...** Campo Grande: ABRH, 2009. CD-ROM.
- 51 NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

- 52 NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282-290, 1970.
- 53 NOVAES, L. F. **Modelo para quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- 54 NOVAES, L. F. et al. Avaliação do Desempenho de Cinco Metodologias de Regionalização de Vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 12, nº 2, p. 51-61, 2007.
- 55 ONTARIO. **Regional Analysis of Low Flow Characteristics** – Central and Southeastern regions. Ontario Ministry of Environment and Energy, Cumming Cockburn Limited: Agosto, 1995.
- 56 PAZ, A. R. et al. Errors in river lengths derived from raster digital elevation model. **Computer and Geosciences**, vol. 34, p. 1584-1596, 2008.
- 57 PERALTA, Alyne da Silva. **Análise de Regionalização de Vazão Máxima para Pequenas Bacias Hidrográficas**. 2003. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- 58 PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. 2004. 125 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- 59 PILON, P. J. The Weibull distribution applied to regional low flow frequency analysis. In: Regionalization in hydrology. **Proceedings of Ljubljana Symposium**. Reino Unido: Abril, 1990.
- 60 RAAFLAUB, L. D.; COLLINS, M. J. The effect of error in gridded digital elevation models on the estimation of topographic parameters. **Environmental Modelling and software**, vol. 21, p. 710-732, 2006.

- 61 RAO, A. R. **Regionalization of Indiana watersheds for flood flow predictions** – Studies in regionalization of watersheds. Escola de Engenharia Civil. Purdue University: Fev. 2004.
- 62 RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. **Journal of Hydrology**, vol. 318, p. 57-79, 2006.
- 63 RIBEIRO, C. B. M. R. et al. Estimativa e Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia do Rio Doce. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, vol. 13, nº 2, p. 103-117, abr./jun. 2005.
- 64 RIGGS, H. C. Estimating flow characteristics at ungaged sites. In: Regionalization in hydrology. **Proceedings of Ljubljana Symposium**. Reino Unido: nº 191, Abril, 1990.
- 65 RODRIGUEZ, Renata Del Giudice. **Proposta Conceitual para a Regionalização de Vazões**. 2008. 195 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- 66 SAGHAFIAN, B. Regional hydrologic mapping of flows in stream networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>>. Acesso em: Junho, 2009.
- 67 SCHUMANN, A. H. et al. Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling. **Journal of Hydrology**, vol. 240, p. 45-61, 2000.
- 68 SEQUEIRA, S. M. **A fotogrametria aplicada ao estudo multi-temporal de movimentos de vertente**. 2006. 207 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia da Terra, Universidade de Lisboa, Portugal, 2006.
- 69 SILVA, D. D. et al. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, vol. 17, nº 5, p. 392-403, set./out. 2009.
- 70 SOTÉRIO, P. W. et al. Mapa de isoietas para o Rio Grande do Sul. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, Paraíba. **Anais...** Paraíba: ABRH, 2005. CD-ROM.

- 71 TRIPATHI, S. et al. On Selection of Features for Regional Hydrologic Studies. In: BABCOCK, R. W.; WALTON, R. **Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress**. Honolulu, Hawaii, USA: ASCE-EWRI, 2008. p. 1-10. 1 CD-ROM.
- 72 TUCCI, Carlos E. M. Vazões Médias. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 113-124.
- 73 TUCCI, Carlos E. M. **Regionalização de Vazões**. 1ª edição. Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- 74 TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª Edição. Porto Alegre: UFRGS/EDUSP/ABRH, 2004.
- 75 VENDRUSCOLO, J.; CRUZ, J. C. Regionalização dos parâmetros do modelo MOPH na parte norte do Rio Grande do Sul. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, Paraíba. **Anais...** Paraíba: ABRH, 2005. CD-ROM.
- 76 VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1975.
- 77 WANG, X.; YIN, Z. Y. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. **Journal of Hydrology**, vol. 210, p. 221-241, 1998.
- 78 YADAV, M. et al. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. **Advances in Water Resources**. ELSEVIER, nº 30, p. 1756-1774, fev. 2007.
- 79 ZARRIN, H. et al. Regional analysis of low flow in Karkheh and Karoon Watersheds. **Journal of Applied Sciences**, vol. 9, ed. 6, p. 1141-1146, 2009.

**ANEXOS**

---

## ANEXO A

Tabela A. 1 - Estações de vazão selecionadas preliminarmente para o estudo

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>
1	56990990	Afonso Cláudio - Montante	Rio Guandu
2	56991000	Afonso Cláudio	Rio Guandu
3	56991200	Ponte Rio Guandu	Rio Guandu
4	56991500	Laranja da Terra	Rio Guandu
5	56992000	Baixo Guandu	Rio Guandu
6	56992001	Baixo Guandu (Cidade)	Rio Guandu
7	56992005	Baixo Guandu	Rio Guandu
8	56992380	UHE Mascarenhas - Montante	Rio Guandu
9	56992900	Itarama	Rio Santa Joana
10	56993000	Itaguaçu	Rio Santa Joana
11	56993002	Itaguaçu - Jusante	Rio Santa Joana
12	56993005	Itaguaçu	Rio Santa Joana
13	56993300	Boa Vista	Rio Santa Joana
14	56993400	Ponte Rio Santa Joana	Rio Santa Joana
15	56993550	Barra do Córrego da Piaba	Rio Santa Joana
16	56993551	Jusante Córrego da Piaba	Rio Santa Joana
17	56993600	Santa Joana	Rio Santa Joana
18	56994000	Santa Maria	Rio Santa Maria
19	56994100	PCH Santa Maria	Rio Santa Maria
20	57020000	Aracruz - Montante	Rio Piraquê-Açú
21	57030000	Cachoeirinha	Rio Piraquê-Açú
22	57035000	Próximo Inonibras	Rio Piraquê-Açú
23	57038000	Fazenda Cachoeirinha Alta	Rio Timbuí
24	57040000	Santa Teresa	Rio Timbuí
25	57040002	Santa Teresa	Rio Timbuí
26	57040003	Santa Teresa - Jusante	Rio Timbuí
27	57040005	Valsugana Velha	Rio Timbuí
28	57040008	Valsugana Velha - Montante	Rio Timbuí
29	57040010	Valsugana Velha - Jusante	Rio Timbuí
30	57050000	Fazenda Licínio	Rio Timbuí
31	57060000	Cachoeira Santa Lúcia	Rio Timbuí
32	57070000	Fundão - Montante	Rio Timbuí
33	57075000	Fundão Jusante	Rio Timbuí
34	57080000	Ponte Soanha	Rio Timbuí
35	57100000	Próximo Emater	Rio Santa Maria da Vitória
36	57115000	Santa Maria De Jetibá	Rio Santa Maria da Vitória
37	57118080	UHE Rio Bonito - Montante	Rio Santa Maria da Vitória
38	57119000	UHE Rio Bonito - Barragem	Rio Santa Maria da Vitória
39	57120000	Cachoeira Suiça	Rio Santa Maria da Vitória
40	57120001	Barragem da Suiça	Rio Santa Maria da Vitória
41	57120080	UHE Suiça - Jusante	Rio Santa Maria da Vitória
42	57125000	Garganta do Funil - Jusante	Rio Santa Maria da Vitória
43	57130000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória
44	57131000	Santa Leopoldina	Rio Santa Maria da Vitória



Tabela A.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>
45	57132000	Captação da Cesan	Rio Santa Maria da Vitória
46	57134000	Barra do Mangaraí	Rio Mangaraí
47	57134100	Lagoa Juara	Lagoa Juara
48	57134500	Efluente Lagoa Jacunem	Rio Jacaraípe
49	57134600	Ponte Estrada Jacaraípe - Serra	Rio Jacaraípe
50	57134700	Atrás Clube Barcelona	Lagoa Jacunem
51	57134800	Antiga Captação da Cesan	Lagoa Jacunem
52	57134900	Petrobrás - Entrada Tubulação	Lagoa Jacunem
53	57135000	Estação de Captania	Rio Santa Maria da Vitória
54	57135100	Bicanga / Manguinhos	Córrego Manguinhos
55	57135500	Bairro Nova Brasília	Rio Caiapozinho
56	57135600	Ponte Estrada Itacibá - Cariacica	Rio Itanguá
57	57136000	Rio Bubu (Ponte do Iesbem)	Rio Bubu
58	57137000	Rio Bubu (Escola Agrícola)	Rio Bubu
59	57138000	Ponte José Sette	Rio Bubu
60	57139000	Contorno de Vitória	Rio Bubu
61	57140000	Bairro Santa Rita	Rio Aribiri
62	57150000	Braço Sul	Lagoa de Carapebus
63	57150005	Saída da Lagoa	Lagoa de Carapebus
64	57151000	Vale do Aconchego	Rio Jucu - Braço Norte
65	57152000	Sítio São Benedito	Ribeirão Do Gordo
66	57155000	PCH São Pedro	Rio Jucu - Braço Norte
67	57165000	Ponte do Jucu	Rio Jucu - Braço Norte
68	57166000	Braço Norte	Rio Jucu - Braço Norte
69	57170000	Córrego do Galo	Rio Jucu - Braço Norte
70	57175000	Cascata do Galo	Rio Jucu - Braço Norte
71	57180000	Marechal Floriano	Rio Jucu - Braço Sul
72	57185000	Marechal Floriano	Rio Jucu - Braço Sul
73	57186000	Usina Jucu	Rio Jucu - Braço Sul
74	57190000	Marechal Floriano	Rio Jucu - Braço Sul
75	57200000	PCH Jucu - Jusante	Rio Jucu - Braço Sul
76	57229000	Luiz Gomes	Rio Jucu
77	57230000	Fazenda Jucuruaba	Rio Jucu
78	57230100	Jabaete	Rio Santo Agostinho
79	57230500	Jucuruaba	Rio Jucu
80	57230600	Calha Principal	Rio Jucu
81	57230800	Aracatiba	Rio Jucu
82	57230900	Jucupitanga	Rio Jucu
83	57231000	Jaguaraçu	Rio Jucu
84	57231400	Caçaroca	Rio Jucu
85	57235000	Formate	Rio Formate
86	57236000	Conjunto Marcílio de Noronha	Rio Formate
87	57236100	Ponte da Divisa	Rio Formate
88	57236200	Bairro São Francisco / Betânia	Rio Formate
89	57236300	Dois km Jusante Ponto Formate	Rio Formate
90	57236400	Caçaroca	Rio Formate

Tabela A.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>
91	57237000	Bairro Bela Aurora	Rio Marinho
92	57238000	Cobi	Rio Marinho
93	57240000	Marinho	Rio Marinho
94	57240002	Fazenda Santa Catarina	Rio Marinho
95	57245000	Vala dos Neves	Rio Vala dos Neves
96	57247000	Jabuti	Rio Jabuti
97	57248000	Ponte BR 101	Córrego Conceição
98	57250000	Matilde	Rio Benevente
99	57255000	PCH São Joaquim - Montante	Rio Benevente
100	57256000	PCH São Joaquim (Iiritimirim)	Rio Iiritimirim
101	57257000	PCH São Joaquim - Jusante	Rio Benevente
102	57260000	ES 146 - Alfredo Chaves	Rio Benevente
103	57260500	Jabaquara	Rio Benevente
104	57270000	Jabaquara	Rio Benevente
105	57270005	Jabaquara	Rio Benevente
106	57280000	Ponte Salinas	Rio Salinas
107	57290000	Fazenda Baixo Pongal	Rio Pongal
108	57295000	Piuna	Rio Novo
109	57300000	Pau d'alho	Rio Novo
110	57300500	Ponte Rio Novo	Rio Novo
111	57300700	Ponte Itapemirim / Rio Novo do Sul	Rio Novo
112	57300800	Captação da Cesan	Rio Novo
113	57302000	Itaputanga	Rio Novo
114	57320000	Iconha - Montante	Rio Iconha
115	57320002	Iconha	Rio Iconha
116	57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo
117	57360000	Iúna	Rio Pardo
118	57370000	Terra Corrida - Montante	Rio Pardo
119	57370010	UHE Muniz Freire - Barragem	Rio Pardo
120	57370020	UHE Muniz Freire - Jusante	Rio Pardo
121	57370030	UHE muniz freire - vaz. Turbinada	Rio Pardo
122	57370040	UHE muniz freire - vaz. Vertida	Rio Pardo
123	57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo
124	57410000	PCH São Simão - Montante	Rio Itapemirim
125	57413000	PCH São Simão - Jusante	Rio Itapemirim
126	57415000	PCH Santa Fé Itaoquena	Rio Braço Norte Direito
127	57420000	Ibitirama	Rio Braço Norte Direito
128	57430000	PCH Santa Fé - Montante	Rio Braço Norte Direito
129	57435000	PCH Santa Fé - Jusante	Rio Itapemirim
130	57440000	PCH Alegre	Rio Alegre
131	57450000	Rive	Rio Itapemirim
132	57460000	Pacotuba	Rio Itapemirim
133	57465000	Ponte Pacotuba / Burarama	Rio Itapemirim
134	57472000	Valão	Rio Itapemirim
135	57474000	Pch Viçosa - Castelo	Rio Castelo
136	57476500	Fazenda Lajinha	Rio Castelo

Tabela A.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>
137	57477000	Laginha	Rio Castelo
138	57480000	PCH São João	Rio Castelo
139	57490000	Castelo	Rio Castelo
140	57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo
141	57550500	Montante Cachoeiro de Itapemirim	Rio Itapemirim
142	57551000	Próximo Usina São Miguel	Rio Itapemirim
143	57552000	PCH Fruteiras	Rio Fruteira
144	57555000	Coutinho	Rio Itapemirim
145	57560000	Cachoeiro de Itapemirim	Rio Itapemirim
146	57560001	Frente Ultra Mar	Rio Itapemirim
147	57560100	Fazenda União	Rio Itapemirim
148	57560200	Fazenda Vista Alegre	Rio Itapemirim
149	57570000	Safra	Rio Itapemirim
150	57570500	Ponte BR 101 - Safra	Rio Itapemirim
151	57571000	Fazenda Ouvidor	Rio Itapemirim
152	57571100	Fazenda Ribeira de Cima	Rio Itapemirim
153	57571200	Fazenda Airizes	Rio Itapemirim
154	57571300	Fazenda Poço Grande	Rio Itapemirim
155	57571400	Fazenda Coqueiro	Rio Itapemirim
156	57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim
157	57581000	Rio Novo do Sul	Rio Itapemirim
158	57583000	Barra Seca	Rio Itapemirim
159	57584000	Fazenda Barra Seca	Rio Itapemirim
160	57584200	Captação do SAAE	Lagoa de Guanandi
161	57584400	Próximo Plantação de Abacaxi	Lagoa de Guanandi
162	57585000	Fazenda da Lancha	Rio Itapemirim
163	57587000	Coroa da Onça	Rio Itapemirim
164	57590000	Barra do Itapemirim	Rio Itapemirim
165	57610000	Fazenda da Glória	Rio Muqui do Norte
166	57620000	Muqui	Rio Muqui do Norte
167	57630000	Atílio Vivacqua	Rio Muqui do Norte
168	57650000	Fazenda Cacheta	Rio Muqui do Norte
169	57660000	Ponte Paraíso	Rio Muqui do Norte
170	57665000	Caixa d'água Muqui	Rio Muqui do Norte
171	57680000	Canal do Pinto	Canal do Pinto
172	57720000	Dores do Rio Preto	Rio Preto
173	57725000	Divisa	Rio Preto
174	57730000	PCH Fumaça Iv - Jusante	Rio Preto
175	57740000	Guaçuí	Rio do Veado
176	57746000	Bairro Macário	Rio Itabapoana
177	57769000	PCH Calheiros - Jusante	Rio Itabapoana
178	57770000	São José do Calçado	Rio Calçado
179	57800000	Apiacá	Rio Boa Visanta
180	57820000	Posto Fiscal	Rio Itabapoana
181	57830000	Ponte do Itabapoana	Rio Itabapoana
182	57840000	Divisa - BR 101	Rio Itabapoana

Tabela A.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>
183	57880000	Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul
184	57880005	Biquinha	Rio Muqui do Sul
185	57890000	Caixa D'água - Mimoso do Sul	Rio Muqui do Sul
186	57900000	Inhuma	Rio Muqui do Sul
187	57930000	Santa Cruz	Rio Itabapoana
188	57940000	Barra Dos Guarulhos	Rio Itabapoana
189	57950000	Fazenda Julio Rocha	Rio Preto

**ANEXO B**

Tabela B. 1 - Estações pluviométricas selecionadas preliminarmente para o estudo

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>UF</b>
1	01939001	Fazenda Caporanga	Linhares	ES
2	01939002	Povoação	Linhares	ES
3	01940000	Itarama	Itarana	ES
4	01940001	São João de Petrópolis	Santa Teresa	ES
5	01940002	Santa Cruz - Litoral	Aracruz	ES
6	01940003	Riacho	Aracruz	ES
7	01940004	Linhares	Linhares	ES
8	01940005	Cavalinho	Ibiraçu	ES
9	01940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	Colatina	ES
10	01940007	Fundão	Fundão	ES
11	01940008	Santa Maria	Colatina	ES
12	01940009	Pancas	Pancas	ES
13	01940010	Valsugana Velha - Montante	Santa Teresa	ES
14	01940012	Itaimbé	Itaguaçu	ES
15	01940013	Novo Brasil	Colatina	ES
16	01940014	Pedra Alegre	Itarana	ES
17	01940016	Barra de São Gabriel	São Gabriel da Palha	ES
18	01940017	Itaguaçu	Itaguaçu	ES
19	01940018	Santa Tereza - Museu de Biologia	Santa Teresa	ES
20	01940019	Mascarenhas	Baixo Guandu	ES
21	01940020	Caldeirão	Santa Teresa	ES
22	01940021	Aracruz	Aracruz	ES
23	01940022	Jacupemba	Aracruz	ES
24	01940023	Rio Bananal	Linhares	ES
25	01940024	São Sebastião da Terra Alta	Linhares	ES
26	01940025	Serraria (Alto do Moacir)	Colatina	ES
27	01940026	Cachoeira do Oito	Colatina	ES
28	01940030	Serra do Limoeiro	Itaguaçu	ES
29	01940031	Fazenda Contendas	Linhares	ES
30	01940033	Fazenda Boa Esperança	Colatina	ES
31	01940034	Esfip	Linhares	ES
32	01940036	Linhares (Estação Experimental)	Linhares	ES
33	01940039	Santa Teresa	Santa Teresa	ES
34	01940042	Aracruz 83038	Aracruz	ES
35	01940043	Itarana	Itarana	ES
36	01940044	Marilândia (Colatina)	Colatina	ES
37	01940046	São João de Petrópolis	Santa Teresa	ES
38	01941000	Ipanema	Ipanema	MG
39	01941001	Mutum	Mutum	MG
40	01941002	Aimorés	Aimorés	MG
41	01941003	Baixo Guandu	Baixo Guandu	ES
42	01941004	Resplendor - Jusante	Resplendor	MG
43	01941006	Assarai - Montante	Pocrane	MG
44	01941008	Laranja da Terra	Afonso Cláudio	ES

Tabela B.1 – Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>UF</b>
45	01941009	Ibituba	Baixo Guandu	ES
46	01941010	São Sebastião da Encruzilhada	Aimorés	MG
47	01941012	Alto Rio Novo	Pancas	ES
48	01941014	Resplendor	Resplendor	MG
49	01941016	Aimorés	Aimorés	MG
50	01941017	Aimorés 83595	Aimorés	MG
51	01941019	Mutum	Mutum	MG
52	01941020	Aimorés	Aimorés	MG
53	02040000	Domingos Martins (DNOS)	Domingos Martins	ES
54	02040001	Fazenda Jucuruaba	Viana	ES
55	02040002	Alfredo Chaves (DNOS)	Alfredo Chaves	ES
56	02040003	Fazenda Fonte Limpa (DNOS)	Serra	ES
57	02040004	Guarapari (DNOS)	Guarapari	ES
58	02040005	Iconha - Montante	Iconha	ES
59	02040006	Usina Paineiras	Itapemirim	ES
60	02040007	Santa Maria De Jetibá (DNOS)	Santa Leopoldina	ES
61	02040008	Garrafão (DNOS)	Santa Leopoldina	ES
62	02040009	Anchieta (DNOS)	Anchieta	ES
63	02040010	Santa Leopoldina	Santa Leopoldina	ES
64	02040011	Matilde (DNOS)	Alfredo Chaves	ES
65	02040012	Marechal Floriano (DNOS)	Domingos Martins	ES
66	02040013	Rio Novo do Sul	Rio Novo do Sul	ES
67	02040014	Duas Bocas (DNOS)	Cariacica	ES
68	02040015	Perobinha (DNOS)	Domingos Martins	ES
69	02040017	Duas Barras (DNOS)	Iconha	ES
70	02040018	Cachoeira Suiça (DNOS)	Santa Leopoldina	ES
71	02040019	Granja São Jerônimo (DNOS)	Domingos Martins	ES
72	02040020	Vila Nova Maravilha	Alfredo Chaves	ES
73	02040022	Ponta da Fruta	Vila Velha	ES
74	02040023	São Rafael	Domingos Martins	ES
75	02040026	Vitória (Escola de Engenharia)	Vitória	ES
76	02040031	Soido	Domingos Martins	ES
77	02040038	Córrego do Galo (DNOS)	Domingos Martins	ES
78	02040039	Canaã	Viana	ES
79	02040042	Alfredo Chaves	Alfredo Chaves	ES
80	02041000	Atílio Vivacqua	Atílio Vivacqua	ES
81	02041001	Guaçuí	Guaçuí	ES
82	02041002	Castelo	Castelo	ES
83	02041003	Rive	Alegre	ES
84	02041004	Cachoeiro do Itapemirim (DNOS)	Cachoeiro de Itapemirim	ES
85	02041005	Caiana	Caiana	MG
86	02041006	Parada Da Independência	Manhumirim	MG
87	02041007	Chalé	Ipanema	MG
88	02041008	Dores do Manhumirim	Manhuaçu	MG
89	02041009	Santana do Manhuaçu	Santana do Manhuaçu	MG
90	02041010	Jaciguá (DNOS)	Cachoeiro de Itapemirim	ES

Tabela B.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Rio</b>	<b>UF</b>
91	02041011	Conceição do Castelo (DNOS)	Conceição do Castelo	ES
92	02041012	Muniz Freire (DNOS)	Muniz Freire	ES
93	02041013	luna	lúna	ES
94	02041014	Dores do Rio Preto	Dores do Rio Preto	ES
95	02041015	Fazenda Monte Alegre	Muqui	ES
96	02041016	Ibitirama	Alegre	ES
97	02041017	Santa Cruz - Caparaó	lúna	ES
98	02041018	Usina Fortaleza	Muniz Freire	ES
99	02041019	Itaici	Muniz Freire	ES
100	02041020	Aracê (DNOS)	Domingos Martins	ES
101	02041021	Burarama	Cachoeiro do Itapemirim	ES
102	02041022	Usina São Miguel	Venda Nova do Imigrante	ES
103	02041023	Afonso Cláudio - Montante	Afonso Cláudio	ES
104	02041024	Terra Corrida (DNOS)	Muniz Freire	ES
105	02041030	luna	lúna	ES
106	02041031	Muqui	Muqui	ES
107	02041032	Pacotuba	Cachoeiro do Itapemirim	ES
108	02041036	Alto Jucu	Domingos Martins	ES
109	02041044	Caparaó 83639	Caparaó	MG
110	02041045	Cachoeiro Do Itapemirim	Cachoeiro de Itapemirim	ES
111	02041046	Varre - Sai	Natividade	RJ
112	02041047	Cachoeiro de Itapemirim	Cachoeiro de Itapemirim	ES
113	02041048	Fazenda Vargem Alegre	Manhuaçu	MG
114	02041049	Alegre	Alegre	ES
115	02041050	Muniz Freire	Muniz Freire	ES
116	02041051	Venda Nova	Venda Nova do Imigrante	ES
117	02042000	Carangola	Carangola	MG
118	02042002	Manhuaçu	Manhuaçu	MG
119	02042025	Manhuaçu 83653	Manhuaçu	MG
120	02140000	Barra do Itapemirim (DNOS)	Itapemirim	ES
121	02140002	Barra do Itabapoana	São João da Barra	RJ
122	02141004	Itaperuna	Itaperuna	RJ
123	02141008	Italva	Italva	RJ
124	02141014	Ponte de Itabapoana	Mimoso do Sul	ES
125	02141015	Mimoso do Sul (DNOS)	Mimoso do Sul	ES
126	02141016	São José do Calçado	São José do Calçado	ES
127	02141017	São José das Torres	Mimoso do Sul	ES
128	02141033	Morro do Coco	Campos dos Goytacazes	RJ
129	02141045	Itaperuna 83695	Itaperuna	RJ

## ANEXO C

Tabela C. 1 - Precipitação média anual para as estações pluviométricas

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Precipitação média anual (mm)</b>
1	01939002	Povoação	1256,9
2	01940000	Itarama	1126,2
3	01940001	São João de Petrópolis	1059,6
4	01940002	Santa Cruz - Litoral	1292,9
5	01940003	Riacho	1189,4
6	01940005	Cavalinho	1346,1
7	01940006	Colatina - Corpo de Bombeiros	1039,8
8	01940007	Fundão	1530,8
9	01940009	Pancas	1175,8
10	01940010	Valsugana Velha - Montante	1889,6
11	01940012	Itaimbé	1099,6
12	01940013	Novo Brasil	1159,4
13	01940016	Barra de São Gabriel	1154,1
14	01940020	Caldeirão	1221
15	01940021	Aracruz	1316,5
16	01940022	Jacupemba	1193,6
17	01940023	Rio Bananal	1213
18	01940025	Serraria (Alto do Moacir)	1232,7
19	01941000	Ipanema	1278,3
20	01941003	Baixo Guandu	877,5
21	01941004	Resplendor - Jusante	1028,3
22	01941006	Assarai - Montante	1068
23	01941008	Laranja da Terra	1083,2
24	01941009	Ibituba	894,2
25	01941010	São Sebastião da Encruzilhada	966,4
26	01941012	Alto Rio Novo	907,1
27	02040001	Fazenda Jucuruaba	1288,6
28	02040003	Fazenda Fonte Limpa (DNOS)	1432,6
29	02040004	Guarapari (DNOS)	1265,5
30	02040005	Iconha - Montante	1617,5
31	02040006	Usina Paineiras	1147,1
32	02040007	Santa Maria de Jetibá (DNOS)	1235,9
33	02040008	Garrafão (DNOS)	1268
34	02040009	Anchieta (DNOS)	1136,1
35	02040010	Santa Leopoldina	1487,4
36	02040011	Matilde (DNOS)	1764
37	02040012	Marechal Floriano (DNOS)	1562,2
38	02040013	Rio Novo do Sul	1291,8
39	02040014	Duas Bocas (DNOS)	1458,5
40	02040015	Perobinha (DNOS)	1264,8
41	02040017	Duas Barras (DNOS)	1645,1
42	02040018	Cachoeira Suíça (DNOS)	1404,1
43	02040020	Vila Nova Maravilha	2118,9



Tabela C.1 - Continuação

<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Precipitação média anual (mm)</b>
44	02040022	Ponta da Fruta	1118,5
45	02040023	São Rafael	1180,6
46	02041000	Atílio Vivacqua	1118,5
47	02041001	Guaçuí	1547,2
48	02041002	Castelo	1299,7
49	02041003	Rive	1362,5
50	02041005	Caiana	1277,8
51	02041008	Dores do Manhumirim	1242,9
52	02041010	Jaciguá (DNOS)	1623,3
53	02041011	Conceição do Castelo (DNOS)	1414,2
54	02041013	Iuna	1203,2
55	02041014	Dores do Rio Preto	1453,9
56	02041015	Fazenda Monte Alegre	1267,1
57	02041016	Ibitirama	1633,4
58	02041017	Santa Cruz - Caparaó	1563,0
59	02041018	Usina Fortaleza	1420,2
60	02041019	Itaici	1387,2
61	02041020	Aracê (DNOS)	1356,7
62	02041021	Burarama	1731,4
63	02041023	Afonso Cláudio - Montante	1103,9
64	02041046	Varre - Sai	1417,6
65	02140000	Barra do Itapemirim (DNOS)	1041,1
66	02141014	Ponte de Itabapoana	1105,2
67	02141015	Mimoso do Sul (DNOS)	1407,9
68	02141016	São José do Calçado	1365,2
69	02141017	São José das Torres	1530,1

## ANEXO D

Tabela D. 1 - Modelos de regressão obtidos para a região única (R)

Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	S	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F
$Q_{mlp} = 0,54 + 0,0160 A$	0,936	0,933	4,326	-	2,79	7	0,000
$Q_{mlp} = 0,052 A^{0,83055}$	0,913	0,909	6,051	1,349	3,26	5	0,000
$Q_{mlp} = 25,7 - 0,0080 P$	0,008	0,000	17,07	-	9,79	16	0,690
$Q_{mlp} = - 4,74 + 0,303 L$	0,516	0,493	11,92	-	6,63	11	0,000
$Q_{mlp} = 2,1 + 0,27 Sm$	0,002	0,000	17,40	-	10,2	15	0,826
$Q_{mlp} = 28,9 - 0,811 S_L$	0,185	0,147	15,47	-	9,48	17	0,040
$Q_{mlp} = - 25,3 + 9,9 Dd$	0,015	0,000	17,01	-	9,95	15	0,583
$Q_{mlp} = - 22,1 + 0,0167 A + 0,0156 P$	0,964	0,960	3,333	-	2,40	9	0,000
$Q_{mlp} = 1,14 \cdot 10^{-08} A^{0,965} P^{2,00}$	0,985	0,984	2,213	1,209	1,53	2	0,000
$Q_{mlp} = 5,91 + 0,0212 A - 0,156 L$	0,975	0,972	2,803	-	2,01	7	0,000
$Q_{mlp} = 0,062 A^{1,17} L^{0,579}$	0,965	0,962	4,083	1,328	2,51	6	0,000
$Q_{mlp} = - 12,9 + 0,0160 A + 0,284 Sm$	0,938	0,932	4,450	-	2,80	4	0,000
$Q_{mlp} = 9,67 \cdot 10^{-06} A^{0,842} Sm^{2,22}$	0,915	0,907	5,839	1,316	3,26	6	0,000
$Q_{mlp} = - 5,40 + 0,0173 A + 0,270 S_L$	0,951	0,946	3,902	-	2,54	7	0,000
$Q_{mlp} = 0,0053 A^{0,988} S_L^{0,467}$	0,954	0,949	5,458	1,292	2,73	3	0,000
$Q_{mlp} = 6,3 + 0,0160 A - 1,44 Dd$	0,937	0,930	4,422	-	2,74	7	0,000
$Q_{mlp} = 0,103 A^{0,835} Dd^{0,50}$	0,914	0,905	6,031	1,357	3,28	5	0,000
$Q_{mlp} = - 61,3 + 0,0362 P + 0,391 L$	0,632	0,595	10,66	-	6,98	17	0,000
$Q_{mlp} = - 5,78 + 0,0203 A + 0,0072 P - 0,119 L$	0,978	0,975	2,656	-	1,88	6	0,000
$Q_{mlp} = 2,531 \cdot 10^{-08} A^{1,05} P^{1,90} L^{-0,157}$	0,986	0,984	2,339	1,213	1,50	2	0,000
$Q_{mlp} = - 21,3 + 0,0171 A + 0,116 S_L + 0,0133 P$	0,966	0,961	3,322	-	2,25	7	0,000
$Q_{mlp} = 2,01 \cdot 10^{-08} A^{1,05} P^{1,74} S_L^{0,298}$	0,987	0,985	2,035	1,178	1,30	1	0,000
$Q_{mlp} = - 19,3 + 0,0167 A + 0,0156 P - 0,69 Dd$	0,964	0,958	3,416	-	1,88	9	0,000
$Q_{mlp} = 1,969 \cdot 10^{-08} A^{0,968} P^{2,00} Dd^{-0,376}$	0,986	0,984	2,214	1,214	1,52	2	0,000
$Q_{mlp} = 2,96 + 0,0212 A + 0,110 S_L - 0,140 L$	0,976	0,973	2,762	-	2,00	8	0,000
$Q_{mlp} = 0,0077 A^{1,21} S_L^{0,416} L^{-0,411}$	0,973	0,969	4,243	1,283	2,27	4	0,000

Tabela D. 2 - Classes de resíduo para o modelo de regressão M1

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b><math>Q_e/(2\sigma_f)</math></b>	<b><math>Q_e/\sigma_f</math></b>	<b><math>Q_e \cdot \sigma_f</math></b>	<b><math>2Q_e \cdot \sigma_f</math></b>	<b>Classe</b>
Afonso Cláudio	SU-AC	2,499	4,999	7,306	14,613	1
Laranja da Terra	56991500	6,794	13,588	19,861	39,721	1
Baixo Guandu	56992000	9,528	19,056	27,853	55,706	1
Itaguaçu	SU-ITA	2,346	4,691	6,857	13,714	1
Jusante Córrego da Piaba	56993551	4,031	8,062	11,784	23,567	1
Valsugana Velha	SU-VV	0,909	1,819	2,659	5,317	1
Córrego do Galo	57170000	6,285	12,571	18,374	36,748	1
Matilde	57250000	2,744	5,487	8,021	16,042	1
Pau D'alho	57300000	2,991	5,982	8,743	17,486	1
Iconha - Montante	57320000	1,732	3,465	5,064	10,128	1
Usina Fortaleza	57350000	1,662	3,323	4,857	9,715	1
Lúna	57360000	2,948	5,895	8,617	17,233	1
Terra Corrida - Montante	57370000	3,998	7,997	11,689	23,377	1
Itaici	57400000	7,140	14,279	20,871	41,743	1
Ibitirama	57420000	3,26	6,52	9,53	19,06	5
Rive	57450000	16,56	33,12	48,41	96,821	1
Castelo	57490000	7,250	14,5	21,194	42,387	1
Usina São Miguel	57550000	11,703	23,407	34,213	68,427	1
Coutinho	57555000	33,797	67,594	98,802	197,603	1
Dores do Rio Preto	57720000	2,034	4,068	5,946	11,891	1
Guaçuí	57740000	3,886	7,772	11,36	22,72	1
São José do Calçado	57770000	1,329	2,658	3,886	7,771	1
Mimoso do Sul	57880000	2,924	5,848	8,547	17,095	1

Tabela D. 3 - Classes de resíduo para o modelo de regressão M3

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b><math>Q_e/(2\sigma_f)</math></b>	<b><math>Q_e/\sigma_f</math></b>	<b><math>Q_e \cdot \sigma_f</math></b>	<b><math>2Q_e \cdot \sigma_f</math></b>	<b>Classe</b>
Afonso Cláudio	SU-AC	2,675	5,35	7,425	14,849	1
Laranja da Terra	56991500	6,967	13,934	19,336	38,672	1
Baixo Guandu	56992000	8,87	17,739	24,617	49,233	1
Itaguaçu	SU-ITA	2,654	5,309	7,367	14,734	1
Jusante Córrego da Piaba	56993551	4,179	8,358	11,598	23,196	1
Valsugana Velha	SU-VV	0,700	1,401	1,944	3,888	1
Córrego do Galo	57170000	5,674	11,348	15,747	31,494	1
Matilde	57250000	2,715	5,43	7,536	15,071	1
Pau d'alho	57300000	2,789	5,578	7,74	15,48	1
Iconha - Montante	57320000	1,947	3,893	5,403	10,805	1
Usina fortaleza	57350000	1,802	3,604	5,001	10,003	1
Lúna	57360000	3,066	6,132	8,509	17,017	1
Terra Corrida - Montante	57370000	3,965	7,931	11,005	22,01	1
Itaici	57400000	7,453	14,906	20,685	41,369	1
Ibitirama	57420000	3,934	7,867	10,917	21,835	1
Rive	57450000	16,943	33,885	47,022	94,044	1
Castelo	57490000	7,702	15,403	21,375	42,75	1
Usina São Miguel	57550000	11,974	23,947	33,231	66,463	1
Coutinho	57555000	33,403	66,805	92,705	185,409	1
Dores do Rio Preto	57720000	2,454	4,908	6,811	13,621	1
Guaçuí	57740000	4,278	8,557	11,874	23,748	1
São José do Calçado	57770000	1,249	2,498	3,466	6,932	1
Mimoso do Sul	57880000	3,181	6,361	8,827	17,654	1

Tabela D. 4 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR1

Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	S	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação retirada
$Q_{mlp} = 1,62 + 0,00985 A$	0,929	0,912	2,27	-	1,60	1	0,002	-
$Q_{mlp} = 2,08 + 0,00954 A$	0,902	0,870	2,58	-	1,78	1	0,013	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,055 A^{0,775}$	0,933	0,916	2,26	1,24	1,44	1	0,001	-
$Q_{mlp} = 0,046 A^{0,802}$	0,905	0,873	2,22	1,28	1,63	1	0,001	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,5 + 0,00998 A + 0,00086 P$	0,930	0,883	2,62	-	1,62	1	0,019	-
$Q_{mlp} = 2,365.10^{-08} A^{0,981} P^{1,88}$	0,970	0,950	1,90	1,22	1,13	0	0,005	-
$Q_{mlp} = 4,20 + 0,0204 A - 0,150 L$	0,983	0,972	1,28	-	0,71	1	0,002	-
$Q_{mlp} = 0,0425 A^{1,60} L^{-1,20}$	0,970	0,950	1,92	1,17	1,02	0	0,003	-
$Q_{mlp} = - 33,1 + 0,00917 A + 0,768 Sm$	0,988	0,980	1,09	-	0,67	0	0,001	-
$Q_{mlp} = 7,226.10^{-8} A^{0,735} Sm^{3,61}$	0,999	0,998	0,26	1,04	0,16	0	0,000	-
$Q_{mlp} = 142 + 0,00940 A - 34,1 Dd$	0,992	0,986	0,89	-	0,53	0	0,001	-
$Q_{mlp} = 6,181.10^6 A^{0,737} Dd^{-13,0}$	0,970	0,965	1,53	1,11	0,73	0	0,001	-
$Q_{mlp} = 0,33 + 0,126 L$	0,791	0,738	3,91	-	2,41	3	0,018	-
$Q_{mlp} = 1,01 + 0,120 L$	0,705	0,607	4,47	-	2,67	3	0,075	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,0916 L^{1,07}$	0,788	0,735	3,97	1,42	2,43	2	0,006	-
$Q_{mlp} = 0,174 L^{0,929}$	0,706	0,608	4,47	1,47	2,79	2	0,088	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 23,5 - 1,03 S_L$	0,409	0,261	6,57	-	4,57	3	0,171	-
$Q_{mlp} = 27,7 - 1,20 S_L$	0,776	0,701	3,91	-	2,33	1	0,049	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 105,848 S_L^{-1,05}$	0,563	0,454	6,07	2,40	4,17	2	0,349	-
$Q_{mlp} = 212,003 S_L^{-1,20}$	0,794	0,725	3,76	1,34	2,20	2	0,037	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 0,64 + 0,0105 A + 0,135 S_L$	0,933	0,888	2,56	-	1,51	0	0,017	-
$Q_{mlp} = 0,0630 A^{0,00163} S_L^{1,36}$	0,884	0,807	3,64	1,33	2,02	1	0,015	-
$Q_{mlp} = 54,0 - 0,0249 P - 1,04 S_L$	0,764	0,607	4,79	-	2,60	2	0,115	-
$Q_{mlp} = 1,83.10^7 P^{-5,00} S_L^{-0,894}$	0,695	0,492	5,51	1,64	2,82	2	0,082	-
$Q_{mlp} = - 27,9 - 0,0242 P + 1,47 Sm$	0,576	0,294	6,42	-	3,71	4	0,276	-
$Q_{mlp} = 9,02.10^4 P^{-5,30} Sm^{7,38}$	0,790	0,650	5,11	1,54	2,98	3	0,053	-
$Q_{mlp} = - 57,3 + 0,121 L + 1,26 Sm$	0,959	0,932	2,00	-	1,02	0	0,008	-
$Q_{mlp} = 6,138.10^{-11} L^{1,03} Sm^{5,56}$	0,971	0,952	1,83	1,10	0,86	0	0,001	-
$Q_{mlp} = 226 + 0,126 L - 55,1 Dd$	0,959	0,931	2,01	-	1,29	1	0,008	-
$Q_{mlp} = 1,038.10^{12} L^{1,03} Dd^{-21,2}$	0,986	0,977	1,27	1,14	0,65	0	0,002	-

Tabela D. 5 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região SR2

Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	S	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação incluída
$Q_{mlp} = 1,31 + 0,0169 A$	0,983	0,982	2,542	-	1,73	2	0,000	-
$Q_{mlp} = 1,23 + 0,0169 A$	0,984	0,982	2,472	-	1,67	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,046 A^{0,869}$	0,977	0,975	3,613	1,29	2,43	3	0,000	-
$Q_{mlp} = 0,040 A^{0,888}$	0,979	0,978	3,145	1,28	2,17	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 13,7 + 0,514 L$	0,826	0,814	8,161	-	6,05	12	0,000	-
$Q_{mlp} = - 12,7 + 0,502 L$	0,826	0,815	8,034	-	5,98	13	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,037 L^{1,45}$	0,825	0,814	8,668	1,46	4,72	9	0,000	-
$Q_{mlp} = 0,030 L^{1,49}$	0,897	0,891	8,002	1,45	4,40	8	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 10,3 + 0,0171 A + 0,0077 P$	0,986	0,984	2,393	-	1,63	3	0,000	-
$Q_{mlp} = - 9,75 + 0,017 A + 0,00728 P$	0,986	0,984	2,346	-	1,62	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 3,500.10^{-08} A^{0,948} P^{1,86}$	0,986	0,984	2,412	1,23	1,55	2	0,000	-
$Q_{mlp} = 3,091.10^{-08} A^{0,967} P^{1,86}$	0,985	0,983	2,477	1,23	1,63	2	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 2,80 + 0,0181 A - 0,0447 L$	0,984	0,982	2,563	-	1,73	2	0,000	-
$Q_{mlp} = 2,32 + 0,0179 A - 0,0344 L$	0,984	0,982	2,510	-	1,70	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 0,046 A^{0,879} L^{-0,018}$	0,977	0,974	3,715	1,30	2,42	3	0,000	-
$Q_{mlp} = 0,040 A^{0,888} L^{0,001}$	0,977	0,974	3,250	1,29	2,17	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 4,3 + 0,0169 A + 0,119 Sm$	0,983	0,981	2,698	-	1,69	2	0,000	-
$Q_{mlp} = - 4,82 + 0,017 A + 0,128 Sm$	0,984	0,981	2,606	-	1,62	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 9,449.10^{-05} A^{0,884} Sm^{1,58}$	0,974	0,970	3,668	1,27	2,43	4	0,000	-
$Q_{mlp} = 6,712.10^{-05} A^{0,895} Sm^{1,65}$	0,973	0,969	3,377	1,26	2,23	4	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 2,40 + 0,0176 A + 0,156 S_L$	0,987	0,985	2,294	-	1,64	3	0,000	-
$Q_{mlp} = - 2,10 + 0,0175 A + 0,147 S_L$	0,987	0,986	2,226	-	1,57	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 2,040.10^{-03} A^{1,10} S_L^{0,583}$	0,985	0,983	2,867	1,21	1,87	3	0,000	-
$Q_{mlp} = 6,295.10^{-03} A^{1,00} S_L^{0,402}$	0,981	0,978	3,473	1,22	2,07	1	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 0,9 + 0,0168 A + 0,57 Dd$	0,983	0,981	2,628	-	1,73	2	0,000	-
$Q_{mlp} = - 0,5 + 0,0169 A + 0,42 Dd$	0,984	0,981	2,552	-	1,68	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 3,850.10^{-02} A^{0,868} Dd^{0,13}$	0,977	0,974	3,749	1,30	2,43	3	0,000	-
$Q_{mlp} = 4,008.10^{-02} A^{0,888} Dd^{0,001}$	0,977	0,974	3,248	1,29	2,17	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 8,7 + 0,0176 A + 0,00711 P - 0,0195 L$	0,986	0,983	2,471	-	1,63	3	0,000	-

Tabela D.5 - Continuação

Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	S	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F	Estação incluída
$Q_{mlp} = - 8,99 + 0,017 A + 0,00697 P - 0,0088 L$	0,986	0,983	2,426	-	1,63	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 3,448.10^{-08} A^{0,980} P^{1,87} L^{-0,059}$	0,986	0,983	2,408	1,24	1,56	2	0,000	-
$Q_{mlp} = 3,055.10^{-08} A^{0,989} P^{1,87} L^{-0,039}$	0,985	0,982	2,498	1,23	1,64	2	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = - 7,58 + 0,0176 A + 0,0040 P + 0,119 S_L$	0,988	0,985	2,327	-	1,62	3	0,000	-
$Q_{mlp} = - 7,66 + 0,0176 A + 0,00413 P + 0,117 S_L$	0,988	0,986	2,242	-	1,54	3	0,000	Valsugana Velha
$Q_{mlp} = 2,936.10^{-07} A^{1,10} P^{1,26} S_L^{0,450}$	0,988	0,985	2,209	1,18	1,36	1	0,000	-
$Q_{mlp} = 1,735.10^{-07} A^{1,04} P^{1,44} S_L^{0,318}$	0,986	0,983	2,204	1,19	1,38	1	0,000	Valsugana Velha

Tabela D. 6 - Modelos de regressão obtidos para a sub-região da bacia do Itapemirim

Modelo de regressão	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>a</sub>	S	σ <sub>f</sub>	EM	%dr >30	F
$Q_{mlp} = 1,40 + 0,0169 A$	0,985	0,982	3,129	-	2,109	1	0,000
$Q_{mlp} = 5,067.10^{-02} A^{0,857}$	0,980	0,977	4,816	1,265	3,454	1	0,000
$Q_{mlp} = - 24,4 + 0,0168 A + 0,0184 P$	0,988	0,984	2,987	-	1,769	0	0,000
$Q_{mlp} = 6,501.10^{-12} A^{0,833} P^{3,16}$	0,976	0,968	4,929	1,184	2,977	1	0,000
$Q_{mlp} = 3,09 + 0,0183 A - 0,051 L$	0,985	0,980	3,333	-	2,177	1	0,000
$Q_{mlp} = 4,189.10^{-02} A^{0,448} L^{0,72}$	0,974	0,965	5,972	1,280	3,723	2	0,000
$Q_{mlp} = - 6,1 + 0,0169 A + 0,160 S_m$	0,985	0,980	3,336	-	2,036	1	0,000
$Q_{mlp} = 3,733.10^{-04} A^{0,853} S_m^{1,28}$	0,975	0,967	5,430	1,266	3,376	2	0,000
$Q_{mlp} = - 4,74 + 0,0180 A + 0,286 S_L$	0,990	0,987	2,679	-	1,664	0	0,000
$Q_{mlp} = 4,732.10^{-04} A^{1,20} S_L^{0,862}$	0,985	0,980	4,449	1,171	2,699	1	0,000
$Q_{mlp} = - 1,5 + 0,0169 A + 0,7 D_d$	0,985	0,980	3,378	-	2,091	1	0,000
$Q_{mlp} = 9,567.10^{-04} A^{0,836} D_d^{2,93}$	0,970	0,960	5,847	1,269	3,600	2	0,000
$Q_{mlp} = - 24,3 + 0,0189 A + 0,0202 P - 0,08 L$	0,989	0,982	3,134	-	1,729	0	0,000
$Q_{mlp} = 4,706.10^{-15} A^{1,51} P^{4,21} L^{-1,20}$	0,982	0,971	4,198	1,179	2,398	0	0,000
$Q_{mlp} = - 21,8 + 0,017 A + 0,030 P - 0,39 S_m$	0,989	0,983	3,120	-	1,735	0	0,000
$Q_{mlp} = - 29,3 A^{0,829} P^{4,37} S_m^{-1,34}$	0,978	0,965	5,100	1,185	2,798	1	0,000
$Q_{mlp} = - 5,0 + 0,018 A + 0,0002 P + 0,28 S_L$	0,990	0,985	2,935	-	1,665	0	0,000
$Q_{mlp} = 1,821.10^{-13} A^{1,13} P^{0,72} S_L^{0,690}$	0,984	0,974	4,919	1,187	2,690	1	0,000
$Q_{mlp} = 57,3 + 0,017 A + 0,0595 P - 34,4 D_d$	0,995	0,992	2,112	-	1,195	0	0,000
$Q_{mlp} = 1,012.10^{-18} A^{0,870} P^{7,07} D_d^{-9,20}$	0,996	0,994	2,381	1,103	1,302	0	0,000

## ANEXO E

Tabela E. 1 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 40 a 100%

Limites percentuais relativos ao valor médio de b	Limites inferiores	Valor médio de b	Limites superiores	Estações fora do intervalo
20%	3,328	4,16	4,992	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado e Mimoso do Sul
25%	3,120	4,16	5,200	SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, e Mimoso do Sul
30%	2,912	4,16	5,408	SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Dores do Rio Preto e Guaçuí

Tabela E. 2 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 50 a 100%

Limites percentuais relativos ao valor médio de b	Limites inferiores	Valor médio de b	Limites superiores	Estações fora do intervalo
20%	3,511	4,39	5,266	Laranja da Terra, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado e Mimoso do Sul
25%	3,291	4,39	5,486	SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Dores do Rio Preto e Guaçuí
30%	3,072	4,39	5,705	Córrego do Galo, Matilde, Dores do Rio Preto e Guaçuí

Tabela E. 3 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 30 a 80%

Limites percentuais relativos ao valor médio de b	Limites inferiores	Valor médio de b	Limites superiores	Estações fora do intervalo
20%	3,147	3,93	4,721	Jusante Córrego da Piaba, SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Castelo, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calado e Mimoso do Sul
25%	2,951	3,93	4,918	Jusante Córrego da Piaba, SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Castelo, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calado e Mimoso do Sul
30%	2,754	3,93	5,114	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Castelo, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calado e Mimoso do Sul

Tabela E. 4 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 40 a 80%

<b>Limites percentuais relativos ao valor médio de b</b>	<b>Limites inferiores</b>	<b>Valor médio de b</b>	<b>Limites superiores</b>	<b>Estações fora do intervalo</b>
20%	2,998	3,75	4,498	Jusante Córrego da Piaba, SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Castelo, Usina São Miguel, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, Mimoso do Sul
25%	2,811	3,75	4,685	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Castelo, Usina São Miguel, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, Mimoso do Sul
30%	2,624	3,75	4,872	SU-VV, SU-ITA, Córrego do Galo, Matilde, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, Mimoso do Sul

Tabela E. 5 - Estações com valores de b situados fora dos intervalos limites adotados, considerando as curvas obtidas a partir do intervalo de variação da vazão de regularização de 50 a 80%

<b>Limites percentuais relativos ao valor médio de b</b>	<b>Limites inferiores</b>	<b>Valor médio de b</b>	<b>Limites superiores</b>	<b>Estações fora do intervalo</b>
20%	3,070	3,84	4,604	Laranja da Terra, Baixo Guandu, Jusante Córrego da Piaba, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Castelo, Usina São Miguel, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, Mimoso do Sul
25%	2,878	3,84	4,796	Jusante Córrego da Piaba, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Usina São Miguel, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, Mimoso do Sul
30%	2,686	3,84	4,988	Jusante Córrego da Piaba, Córrego do Galo, Matilde, Iúna, Ibitirama, Dores do Rio Preto, Guaçuí, São José do Calçado, Mimoso do Sul



Tabela E. 6 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada percentagem de vazão de regularização, para SR1

<b>SR1</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	65,36	-	-	71,69	-	-
<b>40</b>	44,32	37,92	-	46,18	44,62	-
<b>50</b>	31,03	27,21	22,80	28,67	28,06	26,62
<b>60</b>	23,66	20,92	17,68	18,12	17,99	17,59
<b>70</b>	24,24	23,22	20,19	12,70	12,85	12,99
<b>80</b>	29,30	29,90	29,92	19,87	20,32	20,92
<b>90</b>	20,78	19,31	19,02	-	-	-
<b>100</b>	32,60	31,03	29,20	-	-	-
<b>Média</b>	<b>33,91</b>	<b>27,07</b>	<b>23,14</b>	<b>32,87</b>	<b>24,77</b>	<b>19,53</b>

Tabela E. 7 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada percentagem de vazão de regularização, para SR1.1

<b>SR1.1</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	57,29	-	-	60,15	-	-
<b>40</b>	39,24	34,86	-	40,29	38,73	-
<b>50</b>	29,92	27,72	24,84	28,73	28,14	27,42
<b>60</b>	26,68	24,20	21,43	21,73	21,62	21,59
<b>70</b>	30,82	29,54	27,28	21,66	22,09	22,27
<b>80</b>	34,59	35,40	35,38	27,54	28,07	28,51
<b>90</b>	21,34	22,08	22,69	-	-	-
<b>100</b>	31,76	29,83	27,88	-	-	-
<b>Média</b>	<b>33,96</b>	<b>29,09</b>	<b>26,58</b>	<b>33,35</b>	<b>27,73</b>	<b>24,95</b>

Tabela E. 8 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada percentagem de vazão de regularização, para SR2

<b>SR2</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	45,59	-	-	56,91	-	-
<b>40</b>	50,62	49,96	-	39,83	51,18	-
<b>50</b>	71,76	67,34	59,86	63,96	68,70	63,08
<b>60</b>	49,31	44,80	36,72	33,70	39,57	36,58
<b>70</b>	40,63	38,84	33,09	24,62	27,12	27,73
<b>80</b>	28,98	29,99	29,96	25,45	23,16	25,58
<b>90</b>	16,52	16,77	19,04	-	-	-
<b>100</b>	24,22	21,25	19,11	-	-	-
<b>Média</b>	<b>40,95</b>	<b>38,42</b>	<b>32,96</b>	<b>40,75</b>	<b>41,94</b>	<b>38,24</b>

Tabela E. 9 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR2.1

<b>SR2.1</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	29,79	-	-	36,24	-	-
<b>40</b>	21,48	21,05	-	20,68	18,82	-
<b>50</b>	12,82	12,55	18,74	14,26	12,58	14,52
<b>60</b>	21,02	21,42	14,95	15,48	16,23	14,79
<b>70</b>	20,83	21,00	15,70	11,56	11,03	11,16
<b>80</b>	15,16	15,05	15,02	11,50	14,16	12,53
<b>90</b>	9,74	9,67	10,51	-	-	-
<b>100</b>	18,54	19,00	15,57	-	-	-
<b>Média</b>	<b>18,67</b>	<b>17,11</b>	<b>15,08</b>	<b>18,28</b>	<b>14,57</b>	<b>13,25</b>

Tabela E. 10 - Desvios percentuais médios (%dr) para as diferentes curvas e correspondentes a cada porcentagem de vazão de regularização, para SR2.2

<b>SR2.2</b>	<b>30-100</b>	<b>40-100</b>	<b>50-100</b>	<b>30-80</b>	<b>40-80</b>	<b>50-80</b>
<b>30</b>	40,42	-	-	49,61	-	-
<b>40</b>	35,29	35,20	-	35,35	36,56	-
<b>50</b>	30,67	30,75	32,38	30,78	30,70	30,92
<b>60</b>	21,69	19,94	12,31	13,66	14,17	12,03
<b>70</b>	21,32	20,65	15,10	8,32	7,87	8,07
<b>80</b>	17,86	18,34	18,30	13,56	14,09	13,32
<b>90</b>	10,89	10,57	10,60	-	-	-
<b>100</b>	20,96	19,15	14,05	-	-	-
<b>Média</b>	<b>24,89</b>	<b>22,08</b>	<b>17,12</b>	<b>25,21</b>	<b>20,68</b>	<b>16,09</b>

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)