

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AMÁLIA KOEFENDER**

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  E  $Q_{50\%}$   
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ (SUB-BACIA 76)**

Porto Alegre

2015

AMÁLIA KOEFENDER

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  E  $Q_{50\%}$   
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ (SUB-BACIA 76)

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
para obtenção do título de graduação em  
Engenharia Ambiental.

Orientador: Fernando Mainardi Fan

Coorientador: Francisco Fernando Noronha Marcuzzo

Porto Alegre

2015

AMÁLIA KOEFENDER

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  E  $Q_{50\%}$   
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ (SUB-BACIA 76)

Este trabalho foi analisado e julgado adequado para a obtenção de título de graduação em Engenharia Ambiental pelo Orientador e pela Banca Examinadora na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

.....  
Orientador Fernando Mainardi Fan

.....  
Coorientador Francisco F. N. Marcuzzo

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

Juliana Kaiber da Silva – IPH/UFRGS

\_\_\_\_\_

Paulo Rógenes Monteiro Pontes– IPH/UFRGS

\_\_\_\_\_

Fernando Mainardi Fan – IPH/UFRGS

\_\_\_\_\_

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço aos meus pais por todo apoio e dedicação. Foi com a ajuda deles que cheguei até aqui e lhes serei pra sempre grata.

Agradeço a UFRGS e aos professores por tudo o que aprendi durante esta etapa.

Agradeço aos profissionais da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais a ótima experiência como estagiária e o apoio para a realização deste trabalho, principalmente ao Dr. Francisco Fernando Noronha Marcuzzo pela orientação e ensinamentos.

Agradeço ao orientador Fernando Mainardi Fan pelo apoio e paciência durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os amigos e amigas o incentivo e companheirismo desde sempre e aos colegas da Engenharia Ambiental, que fizeram da graduação um período muito mais divertido e memorável.

## Resumo

KOEFENDER, A. **Regionalização de vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$  na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (sub-bacia 76)**. 2015. 94f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

Dados hidrológicos confiáveis são a base de um bom gerenciamento de recursos hídricos, mas é muito difícil que uma rede hidrológica consiga fornecer informações consistentes de todos os pontos de interesse. Sendo assim, um método utilizado para transferir informações entre regiões com comportamento hidrológico semelhante é a regionalização. Nesse trabalho foram desenvolvidas equações de regionalização de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$ ) na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. Estas equações relacionam a vazão de referência com a variável explicativa área de drenagem, obtida através de diferentes Modelos Digitais de Elevação. Primeiramente estudou-se a configuração atual da rede hidrometeorológica, o regime hídrico da sub-bacia 76 e a caracterização da área de estudo. Uma das ferramentas utilizadas no processo foi a construção do Diagrama Unifilar da sub-bacia 76. Após executar a consistência inventarial e selecionar as estações fluviométricas com séries de dados adequadas para o estudo foram definidos o ano hidrológico e as vazões de referência para cada uma das estações. A equação de regressão utilizada foi do tipo potência e as simulações foram realizadas com os valores de área de drenagem obtidos através de quatro diferentes MDE: o SRTM30, ASTER GDEM, TOPODATA e o modelo gerado a partir da base cartográfica vetorial do Rio Grande do Sul de Hasenack e Weber. O agrupamento das estações foi feito através de análise da curva adimensional de permanência e indicadores regionais. Definiu-se três regiões homogêneas para a regionalização das vazões  $Q_{50\%}$  e  $Q_{90\%}$ , enquanto a regionalização da vazão  $Q_{7,10}$  foi desenvolvida com divisão em apenas duas regiões. Na maior parte das simulações os modelos SRTM30 e Hasenack e Weber apresentaram os melhores resultados, com desvio máximo menor de 25%.

## Abstract

Although reliable hydrological data is the basis of a good water resources management, the hydrological network will hardly ever be able to cover all points of interest. A method that can be used to transfer information between regions with similar hydrological behavior is called regionalization. In order to develop regionalization equations of reference flow rates  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{90\%}$  and  $Q_{7,10}$  in sub-basin 76 (Ibicuí river's watershed in RS), different Digital Elevation Models were used to obtain the drainage areas, which is the explanatory variable. The current configuration of hydrometeorological network was studied, as well as the water regime of the sub-basin 76 and other aspects of the study area. One of the tools used in the process was the construction of the Single Line Diagram of sub-basin 76. After checking data consistency and selecting the stations with appropriate sets of data for the study, the hydrological year and reference flow were defined for each station. The grouping of stations was done through the analysis of the adimensional curve and regional indicators. Three homogeneous regions were defined for the regionalization of flow rates  $Q_{50\%}$  and  $Q_{90\%}$ , while the regionalization of  $Q_{7,10}$  flow was divided in two regions. The regression equation used was the power type and the simulations were carried out with the drainage area values obtained from four different DEM: the SRTM30, ASTER GDEM, TOPODATA and the model generated from the vector cartographic base of Rio Grande do Sul developed by Hasenack and Weber. Most of the simulations showed better results with the drainage areas obtained from SRTM30 and Hasenack and Weber models, with maximum deviation lower than 25%.

## Sumário

1	Introdução .....	9
2	Objetivos do Estudo .....	10
2.1.	Objetivo Geral.....	10
2.2.	Objetivos Específicos .....	10
3	Revisão Bibliográfica .....	11
3.1.	Modelos Digitais de Elevação .....	11
3.2.	Dados Hidrológicos .....	14
3.3.	Outorga e Vazão de Referência .....	15
3.3.1.	A vazão de referência $Q_{7,10}$ .....	17
3.3.2.	A vazão de referência $Q_{90\%}$ .....	19
3.3.3.	A vazão de referência $Q_{50\%}$ .....	20
3.4.	Regionalização de Vazões .....	20
3.5.	Variáveis Explicativas .....	21
3.6.	Regressão .....	22
4	Material e Métodos .....	23
4.1.	Caracterização da Área de Estudo .....	23
4.1.1.	Localização e Hidrografia .....	23
4.1.2.	Geologia .....	25
4.1.3.	Hidrogeologia .....	27
4.1.4.	Altimetria e Declividades .....	29
4.1.5.	Dados Populacionais .....	31
4.1.6.	Uso e Ocupação do Solo .....	32
4.2.	Dados Hidrológicos .....	34
4.2.1.	Dados Pluviométricos .....	34
4.2.2.	Dados Fluviométricos .....	35

4.3.	Consistência de Dados Inventarial.....	37
4.3.1.	Informações das Estações .....	38
4.3.2.	Séries Históricas de Descarga Hídrica .....	38
4.3.3.	Pré-seleção das Estações Fluviométricas .....	39
4.4.	Vazões de Referência .....	39
4.4.1.	Ano Hidrológico.....	39
4.4.2.	Vazão $Q_{7,10}$ .....	40
4.4.3.	Vazões $Q_{50\%}$ e $Q_{90\%}$ .....	42
4.5.	CrITÉrios para a Escolha das Estações .....	42
4.6.	Indicadores Regionais .....	43
4.6.1.	Curvas Adimensionais.....	43
4.7.	Regionalização de Vazões .....	44
4.7.1.	Modelos Digitais de Elevação .....	44
4.7.2.	Regressão.....	45
5	Resultados e Discussão .....	46
5.1.	Material Produzido em Alta Resolução .....	46
5.2.	Regime Hídrico da Sub-bacia.....	46
5.2.1.	Fluviogramas e Ano Hidrológico .....	47
5.2.2.	Consistência Inventarial da localização .....	51
5.2.3.	Diagrama Unifilar da sub-bacia 76 .....	54
5.3.	Vazões de Referência e Indicadores Regionais de Vazão .....	56
5.4.	Regionalização das Vazões .....	59
5.4.1.	Agrupamento das Regiões Homogêneas .....	59
5.4.2.	Simulações de Regressão.....	62
5.5.	Equações obtidas e Área de validade .....	66
5.5.1.	Vazão de Referência $Q_{50\%}$ .....	66



5.5.2. Vazão de Referência $Q_{90\%}$ .....	68
5.5.3. Vazão de Referência $Q_{7,10}$ .....	70
6 Conclusão .....	73
7 Recomendações e Limitações .....	75
Referências Bibliográficas .....	76
Apêndice A.....	86
Apêndice B.....	91
Anexo A .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção dos recursos hídricos é de extrema importância, não só para a preservação do meio ambiente e para a dessedentação dos seres vivos, mas também para atividades industriais, agrícolas e de geração de energia. O crescimento demográfico e o desenvolvimento econômico colaboram para o aumento da demanda de água que, conseqüentemente, leva a maiores conflitos de interesses. Visto que a água é um recurso finito, é necessário que haja planejamento para garantir a todos o direito de acesso. A gestão deve se dar de forma a atender os usuários causando o menor impacto possível aos processos naturais. Para garantir os recursos hídricos em qualidade e quantidade para os usuários de uma bacia, a lei nacional 9433 de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) implementa alguns instrumentos legais. Um deles, a Outorga de Direito do Uso de Recursos Hídricos, visa regulamentar e controlar o aproveitamento da água e outras interferências em corpos hídricos. Os critérios para a obtenção da outorga são definidos no Plano de Bacia, elaborado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica. Entre outros aspectos, o Plano define quais os usos que estão sujeitos à outorga, qual a vazão de referência utilizada na concessão de outorgas e qual a vazão máxima outorgável.

A gestão adequada dos recursos hídricos depende do conhecimento hidrológico da região. Sendo assim, é necessário que haja uma ampla rede de monitoramento e um banco de dados consistente. Contudo, por mais completa que esta rede possa ser, é muito difícil que consiga cobrir adequadamente todos os pontos de interesse, principalmente num país de proporções continentais como o Brasil. Para contornar esta dificuldade, busca-se explorar os dados disponíveis ao máximo, a fim de aproveitar as informações existentes para estimar dados em locais sem medição.

O método que será utilizado é a regionalização, que consiste na transferência de informações entre locais com comportamento hidrológico similar. A regionalização normalmente utiliza dados físicos ou hidrológicos como variáveis explicativas, buscando relacioná-las a variável que se pretende regionalizar. Para uma regionalização adequada, é necessário que o banco de dados disponível seja consistente e que as características hidrológicas da região sejam conhecidas.

A Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí, localizada na porção oeste do estado rio Grande do Sul, é o objeto de estudo deste trabalho. Seus recursos hídricos são geridos pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Ibicuí. Foi definida no Plano de Bacia do rio Ibicuí a vazão de referência  $Q_{90\%}$ , com vazão máxima outorgável de 70% da  $Q_{90\%}$ . Ou seja, 70% da vazão presente no corpo hídrico 90% do tempo está disponível para atender os usuários (SEMA, 2012).

Neste contexto, o presente trabalho busca entender a configuração dos corpos hídricos e da rede de monitoramento na sub-bacia 76, a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, a fim de encontrar equações de regionalização para as vazões de referência  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{7,10}$  a partir da variável explicativa área de drenagem. Este processo passa pela caracterização da área de estudo, consistência inventarial dos dados hidrológicos, construção do diagrama unifilar, seleção das séries de dados, cálculo das vazões de referência e análise dos valores de área obtidos a partir de diferentes Modelos Digitais de Elevação. Assim, toma-se como hipótese que estas informações possam colaborar para a melhor gestão dos recursos hídricos, servindo de subsídio para a tomada de decisões.

## 2 OBJETIVOS DO ESTUDO

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é fornecer dados para diferentes tipos de outorga de direito do uso múltiplo dos recursos hídricos superficiais dentro de regiões com comportamento fluviométrico semelhante através da regionalização das vazões  $Q_{90\%}$ ,  $Q_{50\%}$  e  $Q_{7,10}$  na área da sub-bacia 76 (rio Ibicuí).

Como objetivo secundário foi investigado se o modelo digital de elevação com maior precisão de espaço produz as equações com menor desvio entre vazão calculada e vazão observada, testando os diferentes modelos digitais de elevação para a obtenção da variável explicativa área de drenagem.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do estudo podem ser entendidos como a busca para as respostas das seguintes questões:

- Como construir e utilizar um diagrama unifilar para identificar e entender o comportamento sistemático da rede fluviométrica da sub-bacia 76?
- Quais são as características do regime hídrico da sub-bacia 76, qual a distribuição temporal mensal da pluviosidade nas sub-bacias e as vazões dos cursos d'água das estações. Qual o ano hidrológico das sub-bacias e das estações fluviométricas?;
- Quantas são as estações fluviométricas cujas séries de dados atendem os requisitos mínimos para sua utilização no presente estudo?;
- Quais os conjuntos de estações fluviométricas com indicadores regionais mais semelhantes entre si e quais as regiões com comportamento fluviométrico homogêneo para execução das simulações de regressões?;
- Como são as equações de regionalização das vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{50\%}$  na sub-bacia 76 e como se comportam as regressões utilizando os diferentes Modelos Digitais de Elevação?;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre as principais matérias de interesse deste trabalho: modelos digitais de elevação, dados hidrológicos, outorga, e regionalização de vazões. Os Modelos Digitais de Elevação são usados como base para a obtenção da variável explicativa área de drenagem. Estes dados, em conjunto com dados hidrológicos da sub-bacia 76 servem para desenvolver as regressões necessárias para encontrar as equações de regionalização de vazões. As vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$  foram escolhidas para que possam servir de subsídio na tomada de decisões relacionadas à outorga e à vazão de referência da sub-bacia 76. Esta revisão procura analisar trabalhos já produzidos que envolvam os assuntos relacionados a este estudo.

#### 3.1. MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são representações digitais do terreno na forma de células onde cada uma delas possui informação sobre a elevação do terreno. São derivados de dados hipsográficos (curvas de nível) ou métodos de fotogrametria (EARTH EXPLORER, 2015).

O Modelo SRTM 1 Arc-Second Global tem resolução em torno de 30 metros (EARTH EXPLORER, 2014) e foi obtido por interferometria de radar em uma missão de aquisição de dados de um ônibus espacial da NASA (Shuttle Radar Topography Mission) em 2000. Este modelo de elevação é disponibilizado pelo USGS (United States Geological Survey; Serviço Geológico dos Estados Unidos) com o Datum de referência WGS84 (World Geodetic System; Sistema Geodésico Mundial) e abrange cerca de 80% da superfície do planeta. Os dados provenientes do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) apresentam grande potencial de utilização e permitem a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas (FARR *et al.*, 2007; DE SOUZA *et al.*, 2013). Segundo Koch, Heipke e Lohmann (2002), a qualidade dos dados extraídos do modelo do SRTM é melhor do que a prevista antes do início da missão, conferindo aos seus dados um alto grau de confiança. Além disso, o modelo do SRTM apresentou melhor continuidade em comparação com os outros (LANDAU e GUIMARÃES, 2011).

O MDE ASTER GDEM também possui resolução de aproximadamente 30m e foi disponibilizado gratuitamente por parceria entre a NASA e o Ministério de Economia, Comércio e Indústria do Japão (METI). A construção do instrumento óptico que captou as informações, o ASTER, foi de responsabilidade do ministério japonês, e a NASA o levou a bordo de sua espaçonave em 1999. O sistema de referência espacial é o Datum WGS84.

O MDE TOPODATA foi elaborado a partir do método de krigagem através do tratamento das imagens do SRTM com resolução espacial aproximada de 90 metros (VALERIANO e ROSSETTI, 2008). Este método foi aplicado em todo o território brasileiro, o modelo foi então refinado e é disponibilizado com resolução de 30m pelo INPE no sistema de referência Datum WGS84.

As linhas de drenagem e delimitações de bacias processadas em Sistemas de Informações Geográficas, quando comparadas com resultados manualmente obtidos, normalmente apresentam conformidades, tornando as ferramentas de SIG uma consistente e rápida alternativa (JENSON e DOMINGUE, 1988; TALON e KUNTSCHIK, 2011). Sendo assim, a automatização da delimitação de bacias hidrográficas, por meio de dados do SRTM e ambiente SIG, apresenta vantagens em relação ao custo benefício, padroniza o traçado e pode minimizar conflitos quanto à fixação da unidade de gestão dos recursos hídricos

(SOBRINHO *et al.*, 2010). De acordo com Wise (2000), os resultados obtidos utilizando diferentes modelos digitais de elevação para definir redes de drenagem e bacias hidrográficas são satisfatórias em grande escala. No detalhe, porém, podem ser encontradas algumas diferenças importantes. O estudo também conclui que a qualidade dos modelos deve ser testada antes de sua utilização e que os resultados devem ser monitorados para garantir que são todos coerentes.

No estudo feito sobre uma área da Austrália por Hirt, Filmer e Featherstone (2010), afirma-se que a precisão vertical do modelo SRTM é maior que a do modelo ASTER-GDEM. Além disso, alguns dos erros detectados no modelo ASTER-GDEM impedem sua utilização sem prévios tratamentos para algumas aplicações.

Comparações entre os modelos SRTM, TOPODATA e ASTER-GDEM apresentadas por Landau e Guimarães (2011) constataram que, de forma geral, pode-se observar que o MDE ASTER tende a subestimar a altitude, se comparado com os resultados dos MDE SRTM e TOPODATA. No entanto, verifica-se que essas diferenças não apresentam distribuição espacial homogêneas em toda a área de estudo. Áreas mais baixas tendem a apresentar altitudes relativamente maiores no MDE ASTER, como pode ser visualizado na planície costeira. Por outro lado, locais situados em áreas serranas apresentaram altitudes relativamente menores nesse mesmo modelo.

Em Buarque *et al.* (2009) comparou-se a definição de direção de escoamento de vários métodos diferentes. Em todos os casos analisados a rede de drenagem disponibilizada pela ANA apresentou um erro maior que os obtidos pelos métodos estudados. As comparações foram feitas em dois rios de planície, onde normalmente estas diferenças ficam mais evidenciadas. Os resultados deste trabalho mostraram que, em rios largos, os diferentes métodos convergem a uma rede de drenagem que se encontra na calha principal do rio em grande parte de seu comprimento. Em rios mais estreitos, porém, os resultados divergem mais entre si.

Cecílio *et al.* (2013) compara os resultados de delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa do sul do estado do Espírito Santo a partir de diferentes MDE. Verificou-se que o desempenho dos MDE gerados a partir das curvas de nível foi superior aos de MDE originários de imagens de radar para fins de delimitação de bacia. A delimitação automática

das sub-bacias do Taquari-Antas utilizando modelos digitais de elevação obtidos por sensores remotos também apresentou resultados bastante precisos em regiões com declive avançado. A utilização de modelos interpolados provenientes de curvas de nível pode contornar o problema em regiões mais planas (MELATI e MARCUZZO, 2015).

Em um estudo realizado na área da bacia hidrográfica do rio Ibicuí, Koefender e Marcuzzo (2015) analisam as diferenças entre a delimitação automática de áreas de drenagem das estações fluviométricas com base em diferentes MDE. O estudo também mostra que áreas planas e de cabeceiras de bacias podem apresentar comportamentos incoerentes e, portanto devem ser estudadas com maior atenção.

No presente trabalho, o MDE do SRTM com 30m de resolução foi utilizado para a consistência inventarial, visto que tem sua qualidade comprovada por diversos autores e compatibilidade com o modelo utilizado pela Agência Nacional de Águas, que é o modelo do SRTM com 90m de precisão. Para o desenvolvimento das equações foram utilizados quatro Modelos Digitais de Elevação disponíveis gratuitamente: SRTM30, TOPODATA, ASTER GDEM e o modelo gerado a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul de Hasenack e Weber.

### 3.2. DADOS HIDROLÓGICOS

Com o objetivo de quantificar e explicar as diversas fases do ciclo hidrológico, é necessário que se faça a devida coleta de dados básicos que se observam ao longo do tempo e espaço. Os registros gerados a partir destas coletas podem incluir dados climatológicos, pluviométricos, fluviométricos, evaporimétricos, sedimentométricos e de indicadores de qualidade da água, que são definidos como dados hidrológicos. Os dados são coletados em instalações que seguem padrões definidos e são chamadas de postos ou estações. O conjunto destas instalações compõe a rede hidrometeorológica, da qual depende a qualidade dos dados (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A qualidade da informação é de imprescindível importância no estudo de regionalização de vazões, sendo assim, é necessário que se faça uma análise dos dados históricos para verificar sua qualidade. A regionalização de vazões explora as informações de

dados existentes para gerar a equação final e por isso, dados de baixa qualidade ou sem correção de erros podem gerar resultados tendenciosos (TUCCI, 2002).

Tucci (2002) também cita que a análise de informações hidrológicas ajuda a identificar as lacunas na rede de coleta de dados e, portanto, permite aprimorá-la. Lembrando também que a regionalização de vazões não substitui uma rede adequada de monitoramento hidrológico.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), na análise de vazões mínimas é conveniente que se defina o ano hidrológico previamente ao estudo, evitando falhas. O uso do ano civil ou a má definição do ano hidrológico pode dividir um evento de cheia ou estiagem e criar dois valores extremos pertencentes ao mesmo período e dependentes entre si. O ano hidrológico corresponde ao período de 12 meses que começa no início do período chuvoso e se estende até o final do período seco (TUCCI, 1993). Características do clima da região influenciam o ano hidrológico.

### 3.3. OUTORGA E VAZÃO DE REFERÊNCIA

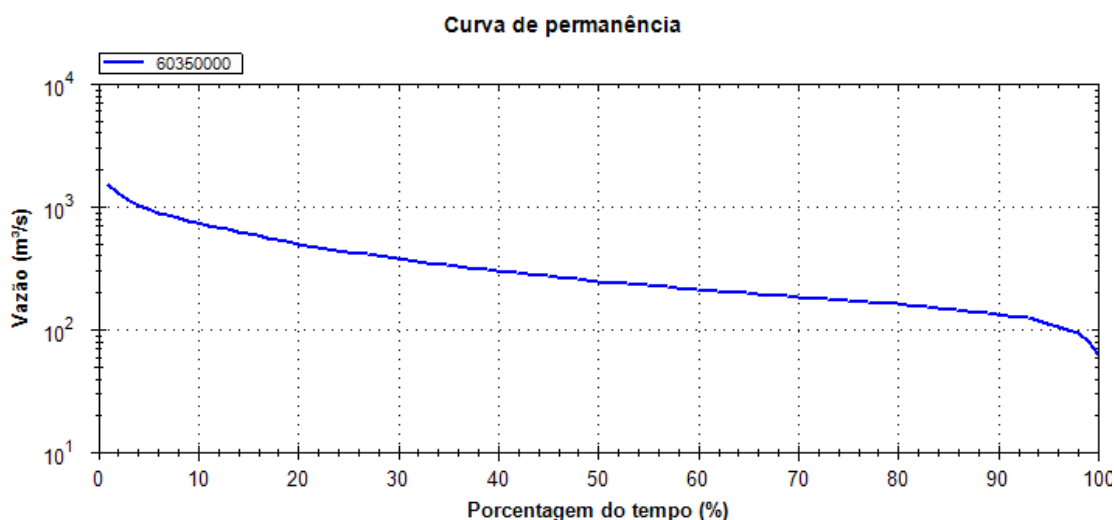
A Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define diversos aspectos do gerenciamento de recursos hídricos, utilizando a definição de bacia hidrográfica como unidade de gestão e estudo. Fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União é uma das atribuições institucionais na Agência Nacional de Águas – ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2010).

A vazão de referência estabelece um valor de vazão limite de captação da água de mananciais. É com base neste valor que são implementados os sistemas de outorga (RIBEIRO, 2000; CÂMARA, 2003). A aplicação do critério de vazão de referência, segundo Harris *et al.* (2000), é um procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de alta permanência.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos deve ser solicitada ao órgão gestor para a captação de água ou realização de intervenções no curso d'água como barragens, dragagens, desvios e outras. Este instrumento serve para garantir uma vazão de água para a realização de atividades, como a agricultura irrigada, reduzindo os riscos aos outros usuários. (SCHVARTZMAN; NASCIMENTO e VON SPERLING, 2002)



A curva de permanência representa a relação entre vazão e frequência diária, semanal, mensal, ou de algum intervalo de tempo para uma determinada bacia hidrográfica. A curva fornece uma estimativa do percentual de tempo em que uma determinada vazão foi igualada ou ultrapassada ao longo de um período histórico. Tem-se assim uma visão simples, porém abrangente, da variabilidade histórica associada à vazão em uma bacia (VOGEL e FENNESSEY, 1994). Um exemplo de curva de permanência é apresentado na Figura 3.1.



**Figura 3.1** - Exemplo de curva de permanência para o posto da ANA 60350000 – Porto Monjolinho, no rio Araguari em Minas Gerais.

O valor da vazão passível de ser outorgada é influenciado pelo método utilizado para a sua obtenção, sendo que diversas metodologias se encontram disponíveis para essa finalidade (MOREIRA *et al.* 2010). Da Silva (2011) afirma que a estimativa das vazões mínimas de referência, baseada em períodos trimestrais, proporciona aumento na disponibilidade hídrica em todos os trimestres. Sendo assim, utilizando períodos trimestrais, diminui-se a segurança da garantia de uma vazão mínima, mas flexibiliza o processo de outorga de uso de água, principalmente nos períodos mais chuvosos. Quando considerada a sazonalidade da disponibilidade hídrica, percebeu-se um aumento considerável da vazão outorgável.

Também foram detectadas diferenças significativas ao utilizar valores de vazões mensais em substituição às anuais. Utilizando como vazão de referência  $Q_{7,10}$ , o potencial de uso aumentou em torno de 10% em meses de menor disponibilidade até mais de 200% em meses de cheias. A mesma comparação, feita para a  $Q_{95\%}$ , apresentou redução de até 37% no potencial durante os meses mais secos até aumento de 100% nos meses de maior

abundância. Sendo assim, o uso da  $Q_{95\%}$  com valores mensais de vazão pode ser um modo mais seguro e racional de administrar os recursos hídricos (PRUSKI *et al.* 2014).

No Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, mas normalmente não apresenta justificativas que expliquem tais valores. O estado do Ceará, por exemplo, estabelece como referência para outorga 90% da vazão regularizada com garantia de 90%, isto é, podem ser outorgados 90% da  $Q_{90\%}$  (CABRAL, 1997; STUDART; CAMPOS e COSTA, 1997).

Segundo Schwartzman, Nascimento e Von Sperling (2002), no estado de Minas Gerais as outorgas são emitidas em função dos usos a que se destinam, podendo ter validade de 20 anos, no caso de uma concessão destinada a abastecimento público, e 5 ou 3 anos para autorização e permissão, respectivamente, para utilização de recursos hídricos com fins privados. Este documento é também necessário no processo de licenciamento de diversas atividades, no requerimento de financiamentos junto a instituições financeiras e na obtenção de certificação de qualidade em empreendimentos industriais. Na região nordeste de Minas Gerais existem conflitos entre irrigantes devido a escassez de água durante os períodos de estiagem. Na bacia do Paracatu também encontram-se problemas com construções irregulares de barramentos que alteram o fluxo normal das águas e prejudicam o abastecimento de usuários a jusante. Em alguns desses casos o instrumento de outorga tem sido utilizado para resolver estas questões, promovendo o compartilhamento dos recursos hídricos e regularizando as intervenções clandestinas (SCHVARTZMAN; NASCIMENTO e VON SPERLING, 2002).

Após vinte anos da aprovação da lei de Política Estadual de Recursos Hídricos no RS, os avanços, quando ocorrem, são lentos. O único instrumento já instituído é a outorga, mas a maioria dos Planos de Bacia ainda não foi implementada. Este instrumento é indispensável para subsidiar as negociações de diferentes interesses junto aos comitês para enfrentar e solucionar os conflitos de usos da água (FOLETO e COSTA, 2014).

### 3.3.1. A VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{7,10}$

Uma das vazões de referência para a estimativa de vazões mínimas é a  $Q_{7,10}$ , que é a vazão de sete dias de duração com dez anos de recorrência. A  $Q_{7,10}$  indica uma situação de

estado mínimo (TUCCI, 2002). Esta vazão mínima espelha o comportamento da contribuição dos aquíferos ao escoamento de base dos rios, em períodos climáticos secos (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2001). Fixou-se a duração de sete dias porque deste modo tem-se um intervalo de tempo que abrange as variações de consumo de dias úteis e finais de semana, possibilitando que os reservatórios absorvam os impactos das variações ocorridas durante a semana. Já o tempo de retorno foi definido como sendo de dez anos pois representa uma probabilidade de 10% de que a vazão fique abaixo do valor mínimo, o que julgou-se aceitável (MENDES, 2007).

A  $Q_{7,10}$  pode ser uma variável bastante complexa, devido a sua relação com o escoamento de base do aquífero e, em consequência, com as características subterrâneas da bacia. Existem casos onde os divisores de água superficial e os divisores do escoamento subterrâneo não são coincidentes e isso pode gerar resultados incoerentes. Um modo de entender o comportamento da inter-relação entre as águas superficiais e subterrâneas, é a análise da superfície de equilíbrio. Devido a complexidade do tema, alguns métodos utilizam dados de recarga, transmissividade e relevo para simular o comportamento da superfície de equilíbrio (FAN; COLLISCHONN e REGINATO, 2014).

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  é recomendada a obtenção de séries históricas com pelo menos trinta anos de registros de vazões diárias. Nos meses de estiagem é importante que não haja falhas nos dados, visto que isto pode prejudicar os resultados. A  $Q_{7,10}$  tem caráter bastante restritivo pois reflete uma situação de severa escassez mas, ainda assim, alguns estados fixam como máxima vazão outorgável apenas uma porcentagem da  $Q_{7,10}$ , assumindo uma postura mais conservadora (MENDES 2007).

No estado de Minas Gerais, por exemplo, o modelo escolhido para a emissão de outorgas foi o da outorga controlada por objetivos. Este modelo fixa a vazão residual mínima que deve ser mantida a jusante de cada captação. A vazão de referência no estado é a  $Q_{7,10}$  e a vazão residual que deve ser garantida a jusante de cada captação deve ser de 70% da  $Q_{7,10}$  (IGAM, 1998). Isto significa que a vazão que deve permanecer no rio é igual ou maior do que 70% da  $Q_{7,10}$ . Em algumas bacias, este critério pode ser adequado para garantir a proteção dos mananciais, mas pode se tornar restritivo em bacias com maior disponibilidade hídrica (SCHVARTZMAN; NASCIMENTO e VON SPERLING, 2002).

Da Silva *et al.* (2006) destaca que os modelos de probabilidade Gumbel e Log-normal a 3 parâmetros se mostraram adequados aos dados de vazões mínima diária anual e mínima média de 7 dias, mas o modelo Log-normal 3 parâmetros produziu ajustes de melhor qualidade. O estudo de Da Silva *et al.* (2006) também não detectou diferenças significativas para a concessão de outorga ao utilizar os diferentes métodos.

Na bacia do Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul, o estudo de regionalização da  $Q_{7,10}$  evidenciou dificuldades na obtenção da equação devido a grande influência da contribuição do sistema hidrogeológico sobre esta vazão mínima. A equação apresentada por Melati e Marcuzzo (2015) possui coeficiente negativo para a variável precipitação, sendo sua utilização não recomendada (MELATI e MARCUZZO, 2015).

### 3.3.2. A VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{90\%}$

A curva de permanência para cada posto fluviométrico pode ser construída organizando todos os registros de vazão diária em ordem decrescente. Assim, pode-se dizer que o valor máximo teve probabilidade de ser igualado ou superado igual ao inverso do número de registros. Seguindo assim, a cada registro é atribuída a probabilidade de excedência, formando a curva de permanência. As curvas de permanência relacionam a vazão com a porcentagem de tempo em que ela é igualada ou superada, como pode ser observado na Figura 3.1. A  $Q_{90\%}$  é uma vazão de permanência, ou seja, reflete a vazão que é igualada ou superada 90% do tempo. A determinação de vazões de permanência também é feita a partir de registros de vazão diária e é preferível que se tenha uma série histórica representativa e com a menor ocorrência de falhas possível (MENDES, 2007).

No estado de Sergipe, a vazão de referência adotada é de 90% da  $Q_{90\%}$  e ainda limita-se a vazão outorgada para cada usuário em 30% da  $Q_{90\%}$ . Esta decisão foi tomada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Sergipe, pela ausência dos Comitês de Bacia e Agência de Água estabelecidos na lei 3.870/97, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sergipe (CONERH/SE, 2001).

A plenária do Comitê Ibicuí, da sub-bacia 76, define a  $Q_{90\%}$  como a vazão de referência (SEMA, 2012). Uma das vantagens da adoção da  $Q_{90\%}$  é que esta já estabelece um

risco a priori de falha, os 10%, além de restringir menos o uso d'água do que a  $Q_{7,10}$  (RIBEIRO, 2003).

### 3.3.3. A VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{50\%}$

A vazão  $Q_{50\%}$  também é uma vazão de permanência, a mediana das vazões. É a vazão extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 50% (JUNIOR, 2003). É importante destacar que a  $Q_{50\%}$  é diferente da vazão média. Por exemplo, em Souza, Santos e Kobiyama, 2009, a vazão média é superior a  $Q_{50\%}$ , devido ao alto valor de vazões máximas.

A vazão mediana do mês de menor vazão do ano é utilizada no método da Vazão Aquática de Base para estabelecer a vazão ecológica, ou seja, a vazão necessária para estabelecer os requerimentos mínimos de vazões em rios. Este método define este valor como o fluxo de base do rio (BENETTI, 2003).

## 3.4. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

A regionalização de vazões é uma técnica de hidrologia que tem por objetivo estimar valores de variáveis hidrológicas em locais onde dados medidos não estão disponíveis. (TUCCI, 2002).

Para um bom gerenciamento dos recursos hídricos é de extrema importância o conhecimento técnico, quantitativo e qualitativo dos processos hidrológicos. A quantificação de tais processos só é possível através da observação das variáveis hidrológicas ao longo do tempo. Visto que é praticamente impossível a manutenção de medições de vazão em todos os pontos necessários, a regionalização auxilia a obtenção de informações hidrológicas em pontos sem dados. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem esta transferência de dados (TUCCI, 2002).

A regionalização de vazões desenvolvida neste trabalho relaciona as vazões de referência à área de drenagem em equação do tipo potencial. Moreira *et al.* (2012) analisa as diferenças entre os resultados da Regionalização de Vazões em uma seção do rio Preto, pertencente a bacia do rio Paracatu, desenvolvidos de acordo com três metodologias diferentes e encontra diferenças entre os resultados obtidos pelos três modelos. Da Silva *et*

*al.* (2009) compara as metodologias: Eletrobras (1985) que utiliza equações de regressão regionais, Chaves *et al.* (2002) que utiliza técnicas de interpolação e extrapolação e a metodologia da vazão específica. As metodologias foram aplicadas na regionalização das vazões mínimas de referência na bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do reservatório Três Marias. O resultado entre as comparações favorece o método proposto pela Eletrobras (1985), que apresentou erro relativo médio de 26,8%.

Uma consideração importante a ser feita é o fato de que, com o objetivo de fornecer subsídios a diferentes tipos de outorgas de direito sobre o uso da água, as vazões mais importantes a ser estimadas são as com permanência mais elevada e, por consequência, menor risco de falha. Sendo assim, as vazões geralmente variam das medianas às mínimas, e são justamente as vazões que dependem mais do comportamento do escoamento subterrâneo. Este escoamento, por sua vez, é mais difícil de ser caracterizado regionalmente, devido à variabilidade das estruturas geológicas e da difícil caracterização do comportamento hídrico subterrâneo (CRUZ, 2001).

Em 'A estimativa e regionalização das vazões mínimas e média na bacia do rio Paracatu', Lisboa *et al.* (2008) analisa os valores observados e estimados e verifica a ocorrência de maiores erros percentuais para as menores áreas de drenagem.

### 3.5. VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Variáveis explicativas são aquelas utilizadas na regionalização de vazão para estimar o valor da vazão a ser regionalizada. Características físicas e climáticas são variáveis comuns para estes fins, mas devem ser escolhidas variáveis que possam ser facilmente determinadas (TUCCI, 2002; OLIVEIRA, 2013).

Expressões com um único parâmetro são preferíveis em estudos comparativos, devido a dificuldade de interpretação da importância relativa de cada variável explicativa. O acréscimo de mais parâmetros, porém, normalmente ajusta melhor a equação aos dados de vazão e portanto são mais indicados em estudos mais detalhados (TALLAKSEN, 1995).

No geral, as variáveis explicativas mais comumente utilizadas em estudos de regionalização de vazões são a área de drenagem, altitude, inclinação de bacias ou canais, média anual ou diária de precipitação e temperatura (RAZAVI; COULIBALY, 2013). A área de

drenagem é a área plana delimitada pelo divisor de águas e é considerada uma das principais variáveis explicativas em quase todos os estudos de regionalização de vazões. Isso ocorre porque a área de drenagem é um ótimo indicador da potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, visto que consiste na área de contribuição de qualquer ponto ao longo de um manancial (AZEVEDO, 2004).

Baena *et. al.* (2002), em um estudo na bacia do rio Paraíba do Sul, verificou que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das vazões médias de longo período para todas as regiões homogêneas e melhor representou a vazão específica máxima, para todos os períodos de retorno estudados.

Em 'Regionalização da  $Q_{7,10}$  na bacia do Taquari-Antas (RS) usando regressão simples e robusta: o problema da variável explicativa precipitação', Melati e Marcuzzo (2015) afirmam que a variável explicativa área de drenagem, sozinha, não é adequada na geração da equação  $Q_{7,10}$  da área. Acrescentando a variável precipitação média anual, foram obtidos os critérios de aceitação da equação, mas esta apresentou coeficiente potencial negativo para a variável precipitação. Isto significaria que para uma mesma região, maiores valores de precipitação gerariam menor vazão e por isso a utilização da equação não é recomendada. O trabalho ressalta a necessidade de estudos mais aprofundados para a utilização da variável explicativa precipitação na regionalização de vazões mínimas, visto que o escoamento de base está fortemente relacionado com a hidrogeologia da bacia.

Mohamoud (2008) afirma que o clima, a geomorfologia do local e o solo podem influenciar fortemente a hidrologia. Mesmo assim, métodos simplificados de regionalização da curva de permanência utilizando a variável área de drenagem são muito promissores na previsão de vazões em locais sem dados.

### 3.6. REGRESSÃO

A equação de regressão é o método pelo qual pode-se encontrar o valor médio de vazão em função das variáveis explicativas (NAGHETTINI e PINTO, 2007). A precisão das equações de regionalização de vazões depende do modelo de regressão selecionado e dos parâmetros utilizados. Comparando nove modelos para relacionar a área de drenagem com as estatísticas de vazão em uma região do Quebec, no Canadá, os modelos não lineares se

mostraram consideravelmente mais adequados do que os modelos lineares (PANDEY e NGUYEN, 1999).

Na regionalização de vazões executada na bacia do rio Paracatu, o modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados foi o potencial, mas os expoentes encontrados ficaram próximos da unidade, caracterizando um comportamento bastante similar ao linear (NOVAES, 2005).

A melhor metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do São Francisco a montante do reservatório de Três Marias foi a tradicional, baseada na utilização de equações de regressão regionais com erro relativo médio de 26,8 % (DA SILVA; MARQUES e LEMOS, 2009).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta o material e os métodos utilizados no presente trabalho, iniciando pela caracterização da área de estudo, passando pelas técnicas utilizadas, e finalizando com os dados usados.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1. LOCALIZAÇÃO E HIDROGRAFIA

Localizada na porção oeste do estado do Rio Grande do Sul, a sub-bacia 76, inserida na bacia do rio Uruguai, divide-se em 9 sub-bacias. No território brasileiro, a bacia do rio Ibicuí é o principal afluente da margem esquerda do rio Uruguai (PAIVA *et al.* 2000). A região leste da sub-bacia 76 faz fronteira com a bacia 8, no Rio Grande do Sul. A porção sudoeste da sub-bacia 76 faz divisa com o Uruguai, onde os limites políticos coincidem quase perfeitamente com a delimitação da sub-bacia. A oeste da sub-bacia 76 encontra-se a sub-bacia 77, ao norte está a 75 e a sudeste a 79.

Em sua parte norte e nordeste estão localizados os principais afluentes do rio Ibicuí: o rio Jaguari e o rio Ibicuí-Mirim. A confluência dos rios Santa Maria e Ibicuí-Mirim forma o rio Ibicuí que, junto com o rio Santa Maria é o rio principal da sub-bacia 76.



Segundo De Paiva (2000), a bacia do rio Ibicuí (Figura 4.1), esta inserida na bacia U60 do Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. A U60 é composta pelas bacias dos rios Butuí, Touro Passo e parte da bacia do rio Ibicuí.



**Figura 4.1** - Localização, hidrografia com o curso d'água principal e limites das sub-bacias.

A determinação do rio principal foi feita com base na metodologia de Otto Pfafstetter (1989). Sob o ponto de vista hidrológico, em cada confluência, o rio principal seria aquele com maior vazão média. Devido a falta de medições e à complexidade de determinação seguindo este método, entende-se que o rio de maior vazão é aquele com a maior área de contribuição. Sendo assim, o rio principal foi definido como aquele com maior área de drenagem.

A divisão das sub-bacias da sub-bacia 76 e sua codificação também segue o método de Otto Pfafstetter (1989), definida como padrão pela Agência Nacional de Águas.

De acordo com a Tabela 4.1, a sub-bacia 76 apresenta uma área total de 47156,49km<sup>2</sup>, onde a sub-bacia com maior área é a 762, formada pelo rio Ibirapuitã, com

7977km<sup>2</sup>, representando 17% da área total da sub-bacia 76. A menor sub-bacia é a 765, com 1634km<sup>2</sup> representando 3,5% da área total. A sub-bacia 76 representa aproximadamente 17% do território do estado do Rio Grande do Sul e 27% da bacia 7. A precipitação média anual da sub-bacia 76 é de 1629mm de acordo com o Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011).

**Tabela 4.1** - Área, perímetro e precipitação média anual das sub-bacias da sub-bacia 76.

Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Perímetro (km)	Precipitação Média Anual (mm)
761	4813	10,3%	599	1594
762	7977	17%	720	1557
763	6705	14,3%	599	1715
764	5139	11%	609	1834
765	1634	3,5%	354	1636
766	5669	12,1%	644	1767
767	2840	6,1%	504	1595
768	5990	12,8%	631	1491
769	6108	13%	655	1510
76	47156		2132	1629

#### 4.1.2. GEOLOGIA

Para a caracterização geológica da sub-bacia 76, utilizou-se o mapa na escala 1:750.000 apresentado por Wildner (2008) para o estado do Rio Grande do Sul, disponibilizado através do banco de dados *GEOBANK* (CPRM, 2015). A Figura 4.2 apresenta os diferentes tipos de sistemas geológicos presentes na sub-bacia.

Segundo Horn e Da Silveira (2015), a estimativa de vazões medianas e mínimas em pequenas bacias hidrográficas é um processo complexo, devido à heterogeneidade do substrato geológico, mesmo em regiões consideradas homogêneas.

Como visto na Figura 4.2, na sub-bacia 76 ocorrem 38 unidades geológicas, onde as unidades localizadas na porção central da sub-bacia pertencem à Bacia Sedimentar do Paraná, as unidades localizadas no extremo oeste da sub-bacia pertencem a Província Paraná e no quadrante sul-sudeste da sub-bacia ficam as unidades pertencentes à Bacia do Camaquã.

As unidades geológicas que ocorrem em maior extensão dentro da sub-bacia são as fácies Alegrete com 20,3% e as Gramado com 10% da área; e a formação Botucatu corresponde a 10,7%. Os depósitos aluvionares perfazem 17% da área da sub-bacia e ocorrem restritamente nas calhas e planícies de inundações dos rios, arroios e drenagens,

pois está relacionado às atividades fluviais e são caracterizados como material superficial sedimentar.

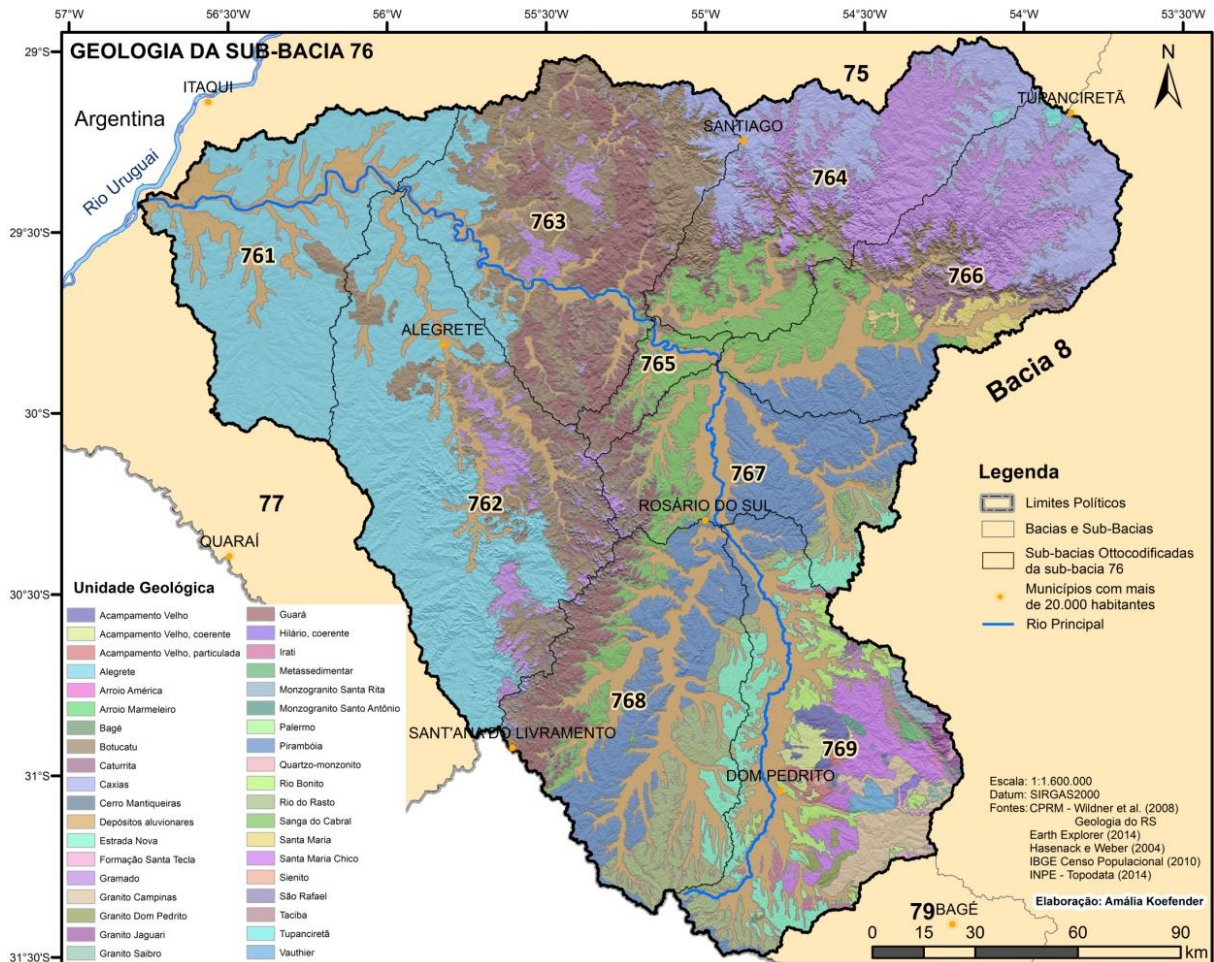
A fácies Alegrete pertence à formação Serra Geral que são derrames vulcânicos de composição intermediária à ácida que formam rochas que variam de andesitos a riódacitos.

A fácies Gramado também pertence à formação Serra Geral e são derrames de composição basáltica, que apresentam textura granular que varia de fina a média, com ocorrência de horizontes vesiculares preenchidos por zeólitas e carbonatos e estruturas de fluxo com intercalações de rochas areníticas da formação Botucatu.

A formação Botucatu são rochas areníticas de composição basicamente quartzosa de granulação variando de fina a média, originada dos grandes depósitos de dunas eólicas formadas no processo de desertificação ocorrido no ainda continente Gondwana ao longo do período Jurássico.

Nos 33% restantes da área da sub-bacia estão distribuídas 34 unidades geológicas com idades que variam do Paleógeno ao Neoarqueano e formadas em diferentes ambientes geotectônicos, gerando rochas sedimentares, ígneas e metamórficas de variadas composições mineralógicas, texturas e estruturas.

No grupo das 34 unidades temos as formações sedimentares de idade Paleógena, dos grupos Rosário do Sul, Passa Dois, Guatá e Itararé de idades que variam do Triássico ao Carbonífero. Temos unidades da Bacia do Camaquã dos Grupos Cerro do Bugio, Bom Jardim e Maricá do Ediacariano; e a ocorrência de rochas pertencentes a suítes graníticas, complexos granítico-gnáissicos e corpos graníticos e monzograníticos de idade Neoproterozóica da Província Mantiqueira como o Campinas, Bagé, Dom Pedrito e Santo Antônio. Nesta sub-bacia, próximo à cidade de Dom Pedrito, tem a ocorrência das rochas mais antigas do Rio Grande do sul pertencentes ao Complexo Granulítico Santa Maria-Chico formado por gnaisses quartzo-feldspáticos e máficos originados no período Neoarqueano e com idade aproximada 2,4 bilhões de anos.

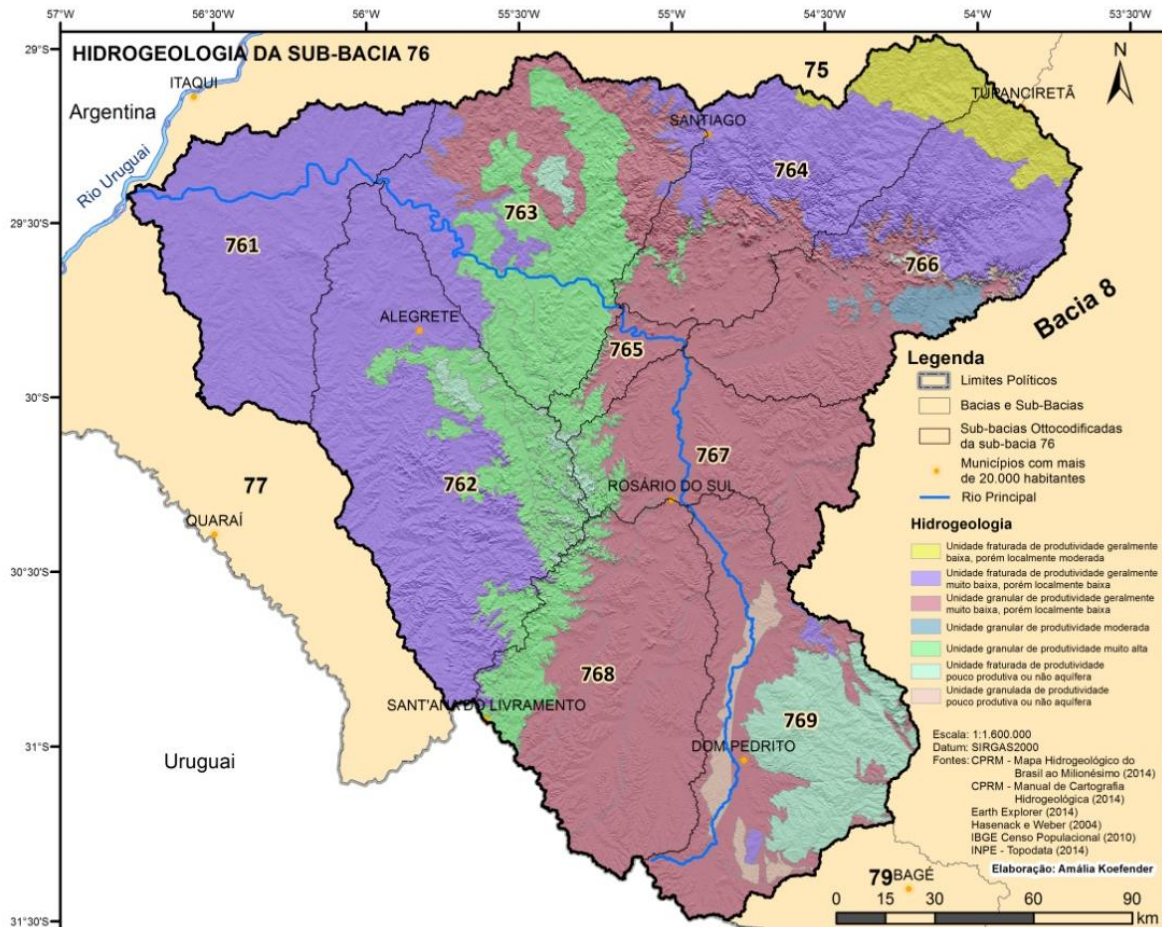


**Figura 4.2** - Mapa geológico regional da área da sub-bacia 76 (Adaptado segundo WILDNER, 2008).

#### 4.1.3. HIDROGEOLOGIA

A caracterização hidrogeológica da sub-bacia 76 foi feita com base no mapa de escala 1:750.000 apresentado por Machado e Freitas (2005) na sua forma simplificada. A Figura 4.3 apresenta os diferentes tipos de sistemas aquíferos presentes na sub-bacia.

A sub-bacia 76 apresenta em sua maior parte porosidade granular com produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa, ocupando uma área correspondente a 38,5% da sub-bacia. Outros 36,6% apresentam a mesma faixa de produtividade, mas em rocha fraturada. Em 13,6% da área da sub-bacia tem-se produtividade muito alta e porosidade granular.



**Figura 4.3-** Mapa hidrogeológico simplificado da sub-bacia 76 (MACHADO e FREITAS, 2005; DINIZ, BOMFIM e FREITAS, 2014a; DINIZ *et al.*,2014b).

O município de Alegrete fica sobre uma área de rocha fraturada com produtividade localmente baixa, enquanto o município de Santana do Livramento se localiza sobre uma área de unidade granular de produtividade muito alta.

**Quadro 4.1** - Características hidrogeológicas da sub-bacia 76 (MACHADO e FREITAS, 2005; DINIZ, BOMFIM e FREITAS, 2014a; DINIZ *et al.*,2014b).

Formação Hidrogeológica	Produtividade para Águas Subterrâneas	Porosidade	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Botucatu e Guará	Muito Alta	Granular	5846,3	13,6%
Santa Maria	Moderada	Granular	359,4	0,8%
Serra Geral	Baixa/Moderada	Fraturada	1291,6	3,0%
Serra Geral e Embasamento Fraturado Indiferenciado	Muito Baixa/Baixa	Fraturada	15707,6	36,6%
Pirambaioa, Taciba, Botucatu, Rio Bonito, Caturrita, Guará, Santa Tecla, Sanga do Cabral, Grupo Passa Dois	Muito Baixa/Baixa	Granular	16521,9	38,5%
Serra Geral e Embasamento Fraturado Indiferenciado	Muito Baixo ou não aquífero	Fraturada	2567,6	6,0%
Palermo, Taciba, Botucatu e Passa Dois	Muito Baixo ou Não Aquífero	Granular	613,6	1,4%

Machado e Marcuzzo (2015), em um estudo sobre a hidrogeologia da sub-bacia 83 (bacia do rio Itajaí, em Santa Catarina), apontam que as regiões com maior pluviosidade estão associadas com maiores altitudes, onde o solo não favorece a recarga dos aquíferos e aumenta a parcela de precipitação que não infiltra no solo. Pode-se então concluir que as variáveis geomorfológicas e hidrológicas, junto com a distribuição demográfica, podem ter relação com as tragédias cíclicas da região.

Kirchheim e Figueira (2012), estudando as principais demandas de água subterrânea na bacia do rio Ibicuí (BH1b) com base nas informações dos poços tubulares disponíveis no SIAGAS da CPRM, concluíram que a maioria dos 1.189 poços é utilizada para atendimento de demandas domésticas urbanas e rurais. As disponibilidades foram estimadas com base em métodos hidrológicos e a partir das propriedades dos aquíferos.

#### 4.1.4. ALTIMETRIA E DECLIVIDADES

A caracterização altimétrica da sub-bacia 76 baseou-se no modelo digital de elevação SRTM com resolução espacial de 30 metros, disponibilizado pela Earth Explorer (2014). De acordo com a Figura 4.4 as maiores altitudes da sub-bacia estão localizadas na sub-bacia 766.

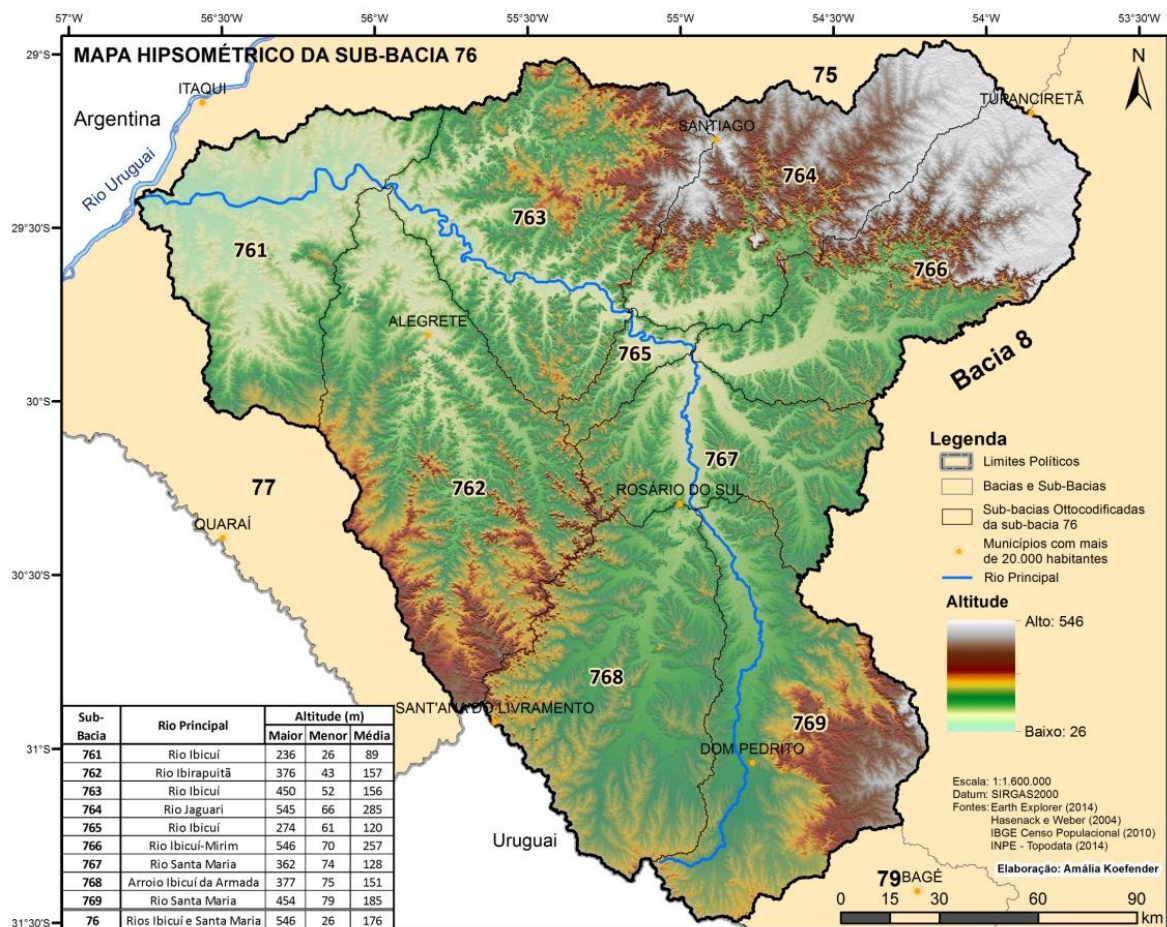
As declividades da sub-bacia 76 foram analisadas com base no mapa de declividades apresentado por Ladeira Neto (2013). A classificação das classes de declividades seguiu os critérios apresentados pela EMBRAPA (2006). A Figura 4.5 apresenta a classificação do relevo da sub-bacia 76.

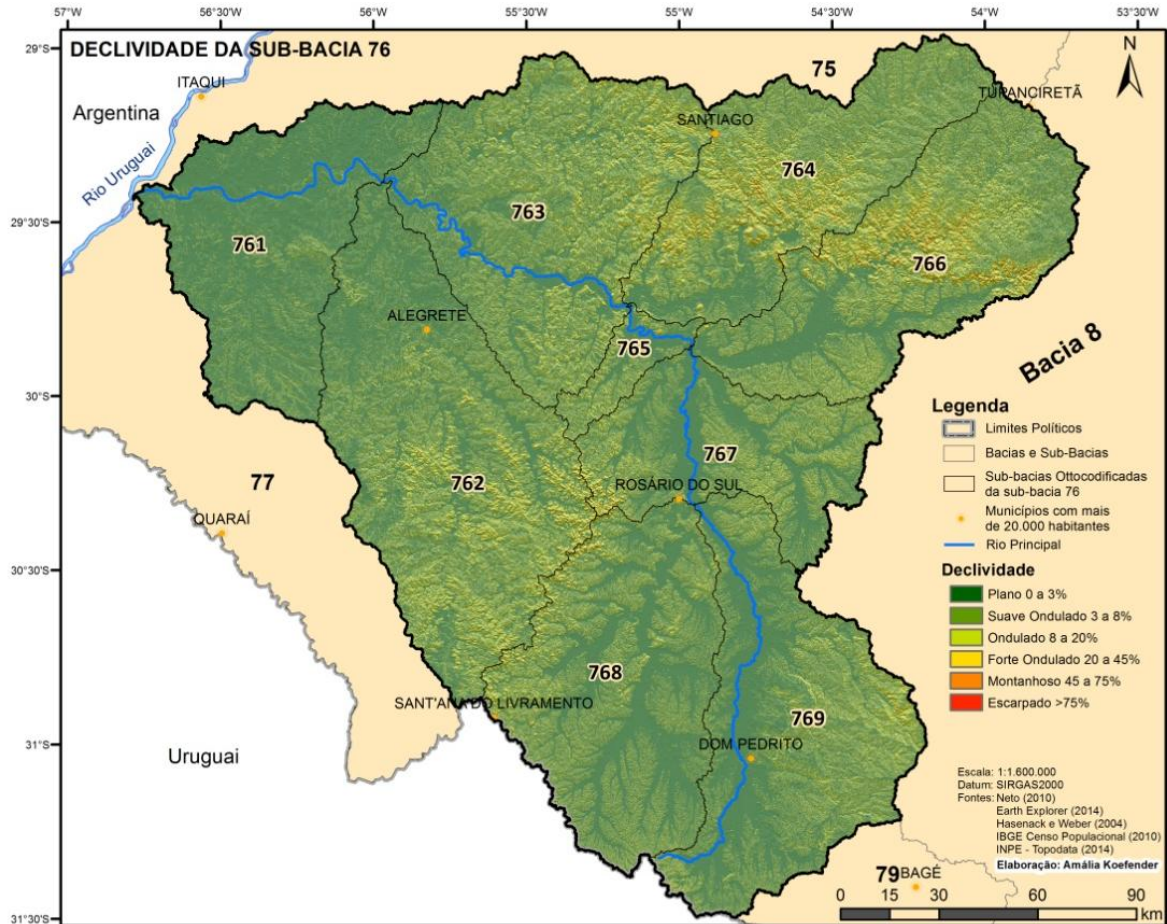
Segundo Scoti et al. (2015), em um estudo das formas do relevo da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada (na parte sul da bacia do rio Ibicuí), em relação a quantificação das classes, observaram que as unidades que predominam são as Colinas Fortemente Onduladas e Suavemente Onduladas, ocupando 40,94% e 37,64% respectivamente, sendo que estão distribuídas em quase toda a área de estudo. Os Morros Isolados são os que cobrem a menor área dentro da nesta região, com apenas 0,15%.

De acordo com a Figura 4.5 e a Tabela 4.2, classificou-se as sub-bacias quanto à declividade do terreno.

**Tabela 4.2 - Classificação do relevo da sub-bacia de acordo com as suas declividades.**

	761	762	763	764	765	766	767	768	769
Plano 0 a 3%	66,38%	55,05%	37,60%	21,80%	4,90%	28,98%	47,23%	49,18%	51,13%
Suave Ondulado 3 a 8%	15,62%	57,63%	56,29%	41,52%	5,53%	43,42%	43,02%	43,11%	41,96%
Ondulado 8 a 20%	0,18%	17,56%	15,19%	16,67%	1,29%	18,07%	8,96%	6,73%	6,72%
Forte Ondulado 20 a 45%		1,79%	1,31%	3,99%	0,03%	4,94%	0,76%	0,96%	0,19%
Montanhoso 45 a 75%		0,01%	0,004%	0,16%	0,001%	0,37%	0,03%	0,03%	0,001%
Escarpado > 75%				0,0003%		0,004%			

**Figura 4.4** Mapa hipsométrico da sub-bacia 76.

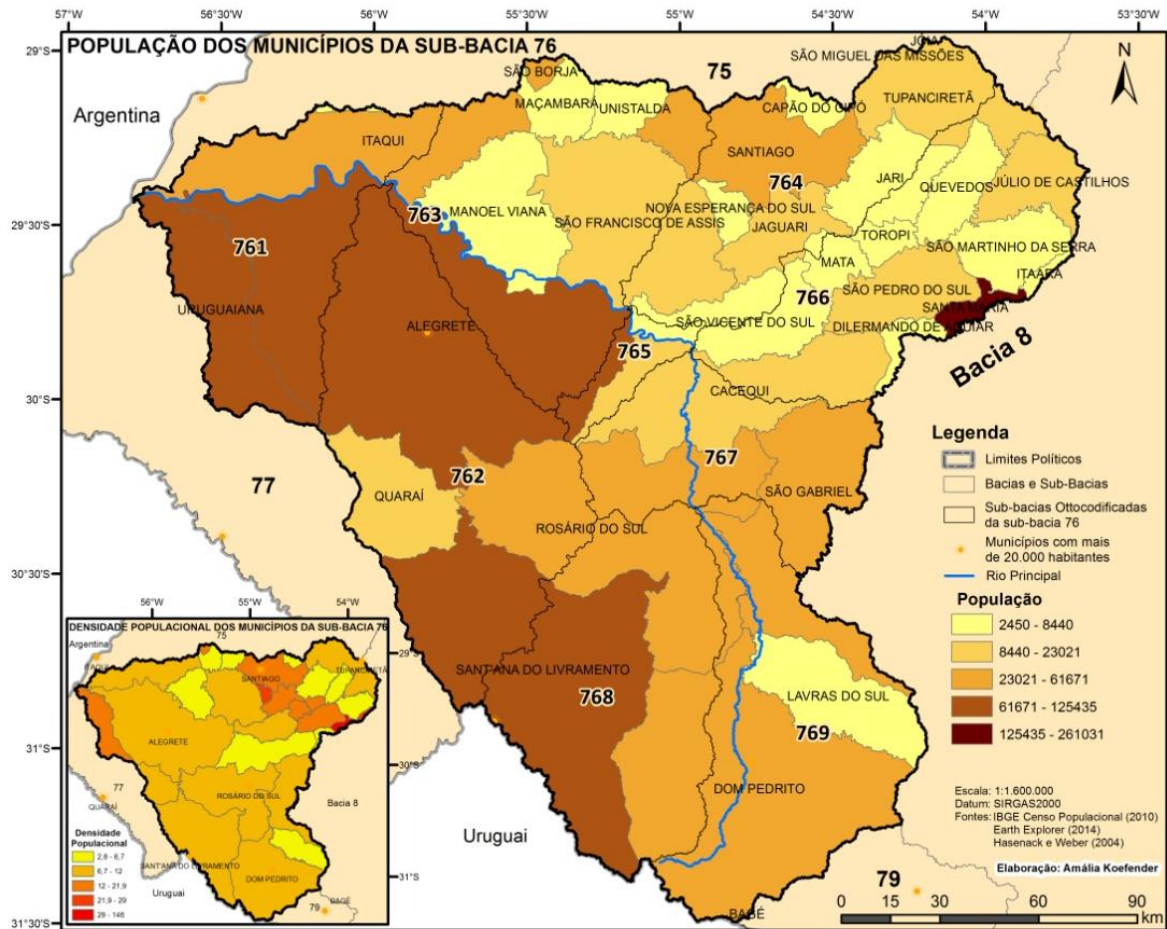


**Figura 4.5** Mapa das declividades da sub-bacia 76 segundo os critérios da EMBRAPA (2006).

#### 4.1.5. DADOS POPULACIONAIS

De acordo com o censo demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município mais populoso da sub-bacia 76 é Santa Maria. O município tem Santa Maria tem uma população de 261.031 habitantes, porém, apenas 10% de sua área se encontra dentro da delimitação da sub-bacia. Após Santa Maria, o município mais populoso é Uruguaiana, com 125.435 habitantes e 26% de sua área dentro da sub-bacia 76. Santana do Livramento tem 69% de sua área dentro da sub-bacia e população de 82.464, enquanto Alegrete aparece com 77.653 habitantes. Em ordem decrescente, os municípios com maior densidade populacional (pessoas/área) são: Santa Maria, Itaara, Nova Esperança do Sul, Uruguaiana e Santiago.





**Figura 4.6** - Mapa de População e densidade populacional dos municípios da sub-bacia 76.

Os resultados de De Paiva (2000) permitiram concluir que na bacia do rio Ibicuí a população humana é abastecida predominantemente de mananciais superficiais, sendo de mananciais subterrâneos o abastecimento nos municípios menores e o da população rural.

#### 4.1.6. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para caracterizar o uso e ocupação do solo utilizou-se dados do IBGE (2013). Na sub-bacia 76, em torno de 43% da área é coberta por uma combinação de pastagem com lavoura temporária, enquanto 20% da área da sub-bacia é utilizada como uma combinação de pastagem e lavoura temporária de arroz, totalizando aproximadamente 63% da área. Uma combinação de pastagem para pecuária bovina, ovina e equina com vegetação campestre ocupa cerca de 13% da sub-bacia 76. Outros 11% são utilizados como lavoura temporária de soja e trigo. É considerada área urbanizada apenas 0,24% da sub-bacia 76.

A sub-bacia 76 abrange parte dos biomas Pampa e Mata Atlântica (IBGE, 2013). O Pampa, bioma predominante na sub-bacia, ocupa 95% de sua área, enquanto a Mata Atlântica cobre os outros 5%.

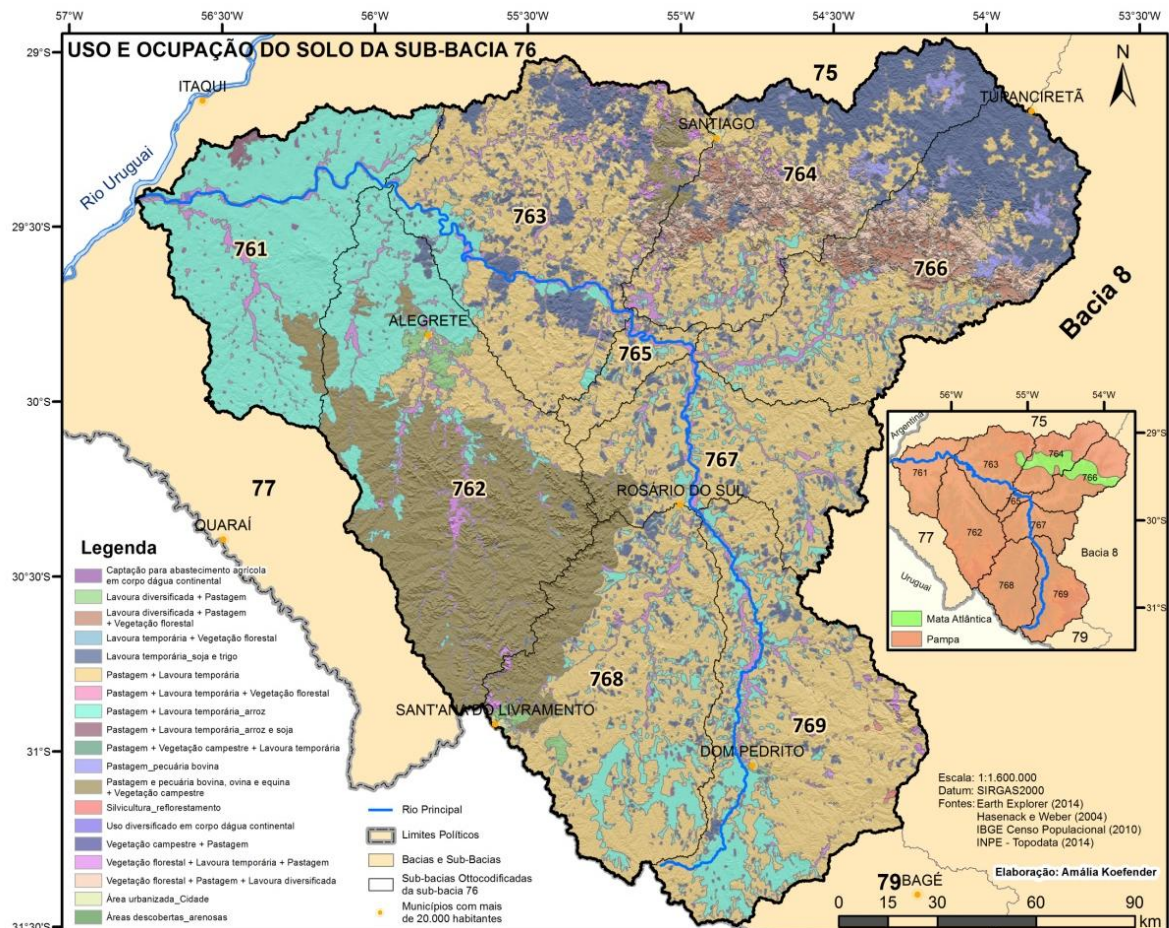


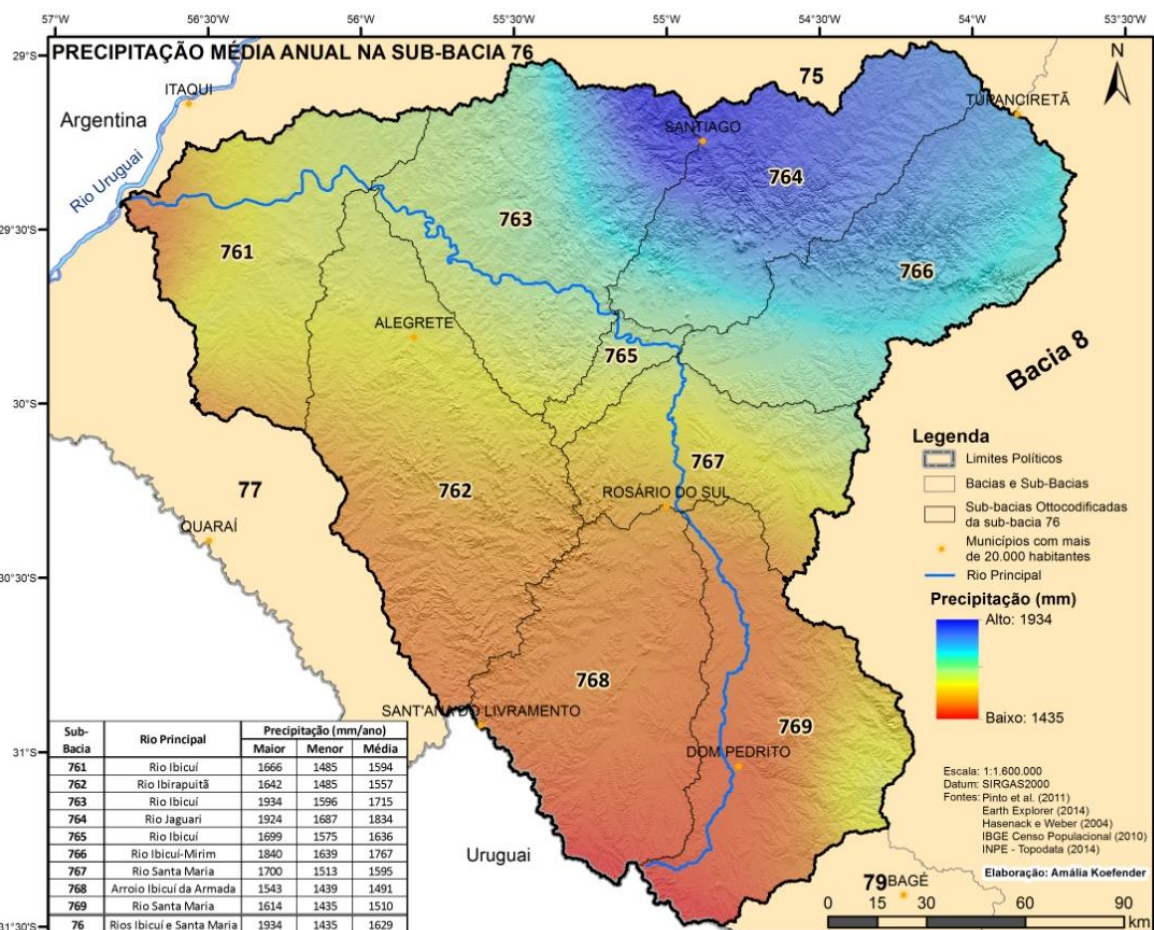
Figura 4.7 Mapa de Uso e Ocupação do Solo e Biomas da sub-bacia 76.

Segundo De Paiva (2000), o abastecimento industrial na sub-bacia 76 é de pouca expressão. A pecuária representa importante papel na economia da bacia e a lavoura de arroz irrigado, por inundação contínua, predomina na região. A área irrigada na safra de 1997/1998 foi de 169.927,6 ha. A menor lavoura de arroz cadastrada foi de 0,17 ha e a maior de 1.045 ha, com média de 66,15 ha. Foram utilizadas 2.637 captações, com total predomínio de captações superficiais. A demanda total de água estimada na bacia do rio Ibicuí somou 2440,066 hm<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, dos quais 9,4% destinados ao consumo humano, 1,6% ao consumo animal e 89,0% à irrigação da lavoura de arroz. Nesta região, o abastecimento urbano, rural e industrial são pouco significativos frente à demanda da irrigação (COMITÊ IBICUÍ, 2015).

## 4.2. DADOS HIDROLÓGICOS

### 4.2.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A caracterização pluviométrica da sub-bacia 76 utilizou o Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011), com dados de precipitação compreendidos entre 1977 a 2006. Para a geração das isoietas apresentadas na Figura 4.8 também foram utilizadas estações pluviométricas vizinhas à sub-bacia 76. Observando a Figura 4.8 pode-se perceber que a região 768 apresenta menores precipitações em relação ao restante da sub-bacias, enquanto que a região da sub-bacia 764 apresenta as maiores precipitações. A Tabela 4.1 apresenta a precipitação média anual de cada uma das sub-bacias da área de estudo.



**Figura 4.8** – Distribuição espacial da precipitação média anual disponibilizada pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011).

A precipitação na bacia do Ibicuí pode ser dividida em duas áreas com dinâmicas climáticas diversas. Uma, localizada no planalto de Uruguiana, no médio-baixo curso do rio, compreendida pelas cidades de Uruguiana e Alegrete, onde as altitudes variam de 80 a 120 metros, marcada por um relevo suavemente ondulado, onde a precipitação anual registra

aproximadamente 1200 milímetros. A outra área é caracterizada pela abrangência da depressão central gaúcha, Escarpa da Serra Geral e Planalto Dissecado do Rio Uruguai, a qual compreende as cidades de Santiago e Santa Maria, com altitudes variando de 130 a 350 metros, onde a precipitação normal atinge 1800 mm anuais (SIMIONI *et al.*, 2015).

#### 4.2.2. DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Os dados fluviométricos da sub-bacia 76 foram obtidos a partir do inventário de estações da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizado através do HidroWeb (BRASIL, 2013), juntamente com as suas séries históricas de vazão média diária.

O inventário utilizado no trabalho foi atualizado pela ANA em 10 de julho de 2015. De acordo com este inventário, a sub-bacia 76 possui 54 estações fluviométricas em seu território, sendo que 20 estão em operação (37%) e 34 já se encontram desativadas (63%). As estações são operadas por diversas entidades, conforme apresentado no Anexo A. Existe atualmente apenas uma pequena central hidroelétrica (PCH) em operação na sub-bacia 76: a PCH Furnas do Segredo na sub-bacia 764. Outras três PCH já tiveram seus projetos básicos aprovados e possuem outorga na sub-bacia 766, portanto se encontram mais próximas de ser construídas. Além disso, também existem outras 12 pequenas centrais hidroelétricas em estudo (ANEEL, 2015).

Entre as 54 estações fluviométricas analisadas, 32 (59%) possuem registro de dados de vazão média diária (Quadros 4.2 e 4.3). O Quadro 4.2 apresenta as estações fluviométricas com medição de descarga líquida na sub-bacia 76, junto com informações disponibilizadas pelo HidroWeb. O Quadro 4.3 compara os dados disponibilizados pela ANA com aqueles obtidos com base no MDE SRTM30.

**Quadro 4.2** - Informações das estações fluviométricas com dados de vazão disponíveis na sub-bacia 76, segundo o inventário da ANA de 10 de julho de 2015.

Código	Nome	Responsável	Operadora	Latitude Sul	Longitude Oeste	Início	Fim
76077000	Usina Quebra Dente	ANA	ANA	29,3833	54,0167	01/11/1976	01/06/1984
76081000	Guaçupi	ANA	ANA	29,4	53,9833	01/11/1976	01/06/1984
76085000	Cachoeira 5 veados	ANA	CPRM	29,4289	54,0542	01/11/1976	Operando
76100000	Vila Clara	ANA	CPRM	29,5561	54,3422	01/11/1941	Operando
76120000	Ponte Toropi	ANA	ANA	29,6536	54,43	01/07/1955	01/06/1984
76200000*	<i>Passo Santa Vitória</i>	ANA	ANA	29,8333	54,8	01/12/1941	01/04/1981
76250000*	<i>Dom Pedrito</i>	ANA	ANA	30,9833	54,6833	01/07/1941	01/06/1979
76251000	Dom Pedrito	ANA	CPRM	30,9703	54,6933	01/04/2000	Operando
76260000	Passo do Guterres	ANA	ANA	30,8444	54,5442	01/02/1976	01/08/1989
76300000	Ponte Ibicui da Armada	ANA	CPRM	30,2808	54,9031	01/05/1967	Operando
76310000	Rosário do Sul	ANA	CPRM	30,2428	54,9169	01/05/1967	Operando
76360001	Azevedo Sodré	ANA	ANA	30,1	54,6333	01/02/1976	01/11/1987
76370000	Azevedo Sodré	ANA	CPRM	30,1056	54,6375	01/07/2004	Operando
76380000	Cacequi	ANA	ANA	29,9	54,8333	01/02/1940	01/08/1979
76395000	Passagem BR-287	ANA	ANA	29,665	54,1067	01/04/2000	01/01/2015
76400000*	<i>Foz do rio Santa Maria</i>	ANA	ANA	29,7833	54,9333	06/09/1972	10/10/1972
76421000*	<i>Passo dos Cardosos</i>	Jaguari	Jaguari	29,2739	54,4381	01/04/2005	01/12/2012
76431000*	<i>PCH Furnas do Segredo Jusante</i>	Jaguari	Jaguari	29,3811	54,5103	01/04/2005	Operando
76440000	Jaguari	ANA	CPRM	29,4989	54,6892	01/11/1941	Operando
76460000	Ernesto Alves	ANA	CPRM	29,3625	54,7353	01/09/1958	Operando
76470000*	<i>Passo do Jaguarzinho</i>	ANA	ANA	29,4833	54,75	01/10/1955	01/12/1971
76490000	Passo do Loreto	ANA	ANA	29,6833	54,95	01/07/1955	01/08/1986
76500000	Jacaqua	ANA	CPRM	29,6853	55,1981	01/11/1941	Operando
76550000	Ponte do Miracatu	ANA	ANA	29,4833	55,2667	01/11/1964	01/01/1984
76560000	Manoel Viana	ANA	CPRM	29,5942	55,4814	01/06/1967	Operando
76600000	Passo do Itaum	ANA	ANA	29,45	55,7333	01/06/1967	01/02/1983
76650000	Passo da Cachoeira	ANA	CPRM	29,3094	55,7058	01/04/1942	Operando
76700000	Passo dos Britos	ANA	ANA	29,9731	55,7478	01/11/1939	01/07/2000
76742000	Passo do Osório	ANA	CPRM	29,9503	55,6025	01/02/1977	Operando
76750000	Alegrete	ANA	CPRM	29,7686	55,7872	01/12/1939	Operando
76800000	Passo Mariano Pinto	ANA	CPRM	29,3092	56,0547	01/10/1941	Operando
85397000*	<i>Corupá</i>	SEMA-RS	MAGNA	29,5508	54,2483	01/10/2003	Operando

\*Estações sem dados de vazão disponíveis pelo HidroWeb

**Quadro 4.3** Comparação das informações das estações fluviométricas com dados de vazão disponíveis na sub-bacia 76, segundo o inventário da ANA de 10 de julho de 2015.

Código	Nome	Altitude ANA(m)	Altitude SRTM30 (m)	Área Drenagem (km <sup>2</sup> ) ANA	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) SRTM30
76077000	Usina Quebra Dente	160	861,95	864	781,98
76081000	Guaçupi	260	574,46	577	521,51
76085000	Cachoeira 5 veados	160	1537,81	1540	1395,55
76100000	Vila Clara	80	2792,76	2790	2534,92
76120000	Ponte Toropi	40	2974,67	3050	2716,47
76200000*	<i>Passo Santa Vitória</i>	800	5572,47	5620	5061,5
76250000*	<i>Dom Pedrito</i>	120	174,68	456	159,58
76251000	Dom Pedrito	130	182,44	462	166,67
76260000	Passo do Guterres	160	575,76	576	525,86
76300000	Ponte Ibicui da Armada	80	5999,92	6010	5476,38
76310000	Rosário do Sul	100	12080,39	12100	11028,43
76360001	Azevedo Sodré	100	1220,02	1230	1110,9
76370000	Azevedo Sodré	100	1220,34	1220	1111,2
76380000	Cacequi	100	1816,81	1810	1654
76395000	Passagem BR-287		471,49	473	428,34
76400000*	<i>Foz do rio Santa Maria</i>	60	21575,74	21600	19660,77
76421000*	<i>Passo dos Cardosos</i>	212	1416,97	1420	1284,87
76431000*	<i>PCH Furnas do Segredo Jusante</i>		1830,35	1830	1660,03
76440000	Jaguari	100	2323,38	2320	2107,67
76460000	Ernesto Alves	300	917,57	926	832,32
76470000*	<i>Passo do Jaguarzinho</i>	100	1252,69	1300	1136,49
76490000	Passo do Loreto	80	4620,74	4600	4193,19
76500000	Jacaqua	20	27441,42	27800	25321,18
76550000	Ponte do Miracatu	100	374,97	377	340,41
76560000	Manoel Viana	80	29345,65	29400	26715,84
76600000	Passo do Itaum	85	31045,21	31000	28260
76650000	Passo da Cachoeira	60	2559,91	2560	2322,19
76700000	Passo dos Britos	100	3197,7	3200	2914,52
76742000	Passo do Osório	100	1164,66	1160	1060,53
76750000	Alegrete	66,2	5943,95	5940	5414,54
76800000	Passo Mariano Pinto	60	42532,97	42500	38707,86
85397000*	<i>Corupá</i>		49,1	0	44,6

\*Estações sem dados de vazão disponíveis pelo HidroWeb

### 4.3. CONSISTÊNCIA DE DADOS INVENTARIAL

Tucci (2002) afirma que a qualidade dos dados hidrológicos é um aspecto essencial para garantir uma regionalização coerente. Os possíveis erros devem ser identificados e

corrigidos, do contrário podem fazer com que a regionalização fique tendenciosa e incorreta. Algumas análises envolvendo a consistência das informações hidrológicas foram desenvolvidas previamente ao estudo. O objetivo da consistência de dados é conferir se as informações obtidas estão realmente corretas, principalmente a localização das estações. Isso foi feito através da análise de diversas informações divulgadas no inventário, como área de drenagem, altitude e município.

#### 4.3.1. INFORMAÇÕES DAS ESTAÇÕES

As áreas de drenagem das estações fluviométricas e as altitudes de todas as estações foram calculadas no software ArcGIS, com base no Modelo Digital de Elevação SRTM30. A projeção utilizada para o cálculo das áreas foi a Lambert Conformal Conic, definindo o meridiano central na longitude -55,209, o primeiro paralelo na latitude -29,308 e o segundo em -31,014. Os resultados foram comparados com as informações disponibilizadas pela ANA no inventário de 10 de julho de 2015. Esta análise serviu para conferir a exata posição das estações e a precisão das informações adquiridas. Ressalta-se que os dados do inventário são, no geral, obtidos com base no MDE SRTM com 90m de precisão, enquanto os dados utilizados no trabalho serão aqueles calculados com 30m de precisão.

#### 4.3.2. SÉRIES HISTÓRICAS DE DESCARGA HÍDRICA

As séries históricas de vazão foram analisadas utilizando a ferramenta *Microsoft Office Excel® 2007*. Todas as estações com séries contendo 5 anos consecutivos de dados ou mais foram utilizadas. Eventuais falhas no banco de dados não foram preenchidas, mas mantidas como dados nulos.

Optou-se por utilizar os dados de vazão já consistidos pela ANA e não os dados brutos. Estes dados estão disponíveis até o ano de 2007; dados posteriores são disponibilizados como dados brutos e não foram utilizados.

Tucci (2002) também indica a análise de continuidade como indicador da qualidade das informações das estações fluviométricas. Esta análise se baseia no fato de que as vazões a montante devem ser menores do que as vazões a jusante. A falta de continuidade em algum trecho pode apontar problemas de sub ou superestimação de vazões.

Um fator que pode afetar os resultados é a não-estacionariedade das séries históricas observadas. Todavia, esta análise excede os objetivos deste trabalho, e desta forma as séries foram consideradas como estacionárias a priori.

#### 4.3.3. PRÉ-SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Na sub-bacia 76 encontram-se 32 estações fluviométricas com medição de descarga líquida, como mostrado anteriormente. Destas, 7 estações não têm dados de vazão disponíveis no Hidroweb e por isso não foram utilizadas no estudo; são elas: 76200000 – Passo Santa Vitória, 76250000 Dom Pedrito, 76400000 – Foz do rio Santa Maria, 76421000 – Passo dos Cardosos, 76431000 – PCH Furnas do Segredo Jusante, 76470000 – Passo do Jaguarzinho e 85397000 – Corupá.

A seleção das estações restantes foi feita com base no pré-requisito mínimo de 5 anos de dados consecutivos de vazão. Todas as estações com menos de 5 anos consecutivos foram retiradas do estudo. A estação 76081000 - Guaçupi tem registros de dados de novembro de 1976 a dezembro de 1980, totalizando 4 anos de dados. A estação 76251000 – Dom Pedrito tem dados de abril de 2000 a novembro de 2006, mas o maior período com dados consecutivos dentro desta série tem pouco mais de 2,5 anos. A estação 76370000 – Azevedo Sodré tem dados consolidados a partir de 2004, com pouco mais de 3 anos de dados. A estação 76395000 – Passagem BR287 tem dados a partir de 2000, mas com lacunas que impedem períodos consecutivos com períodos maiores que 3 anos. A estação 76742000 – Passo do Osório tem série de dados a partir de 1977, mas não possui 5 anos de dados consecutivos devido ao excesso de falhas. Com a retirada destas estações, restaram 20 estações fluviométricas com dados de descarga líquida para utilização no estudo.

Através da consistência dos dados inventariais e dos critérios para seleção de estações para regionalização de vazões, foi definida a pré-seleção de estações fluviométricas utilizadas no prosseguimento do trabalho.

#### 4.4. VAZÕES DE REFERÊNCIA

##### 4.4.1. ANO HIDROLÓGICO

Como o Rio Grande do Sul não apresenta sazonalidade evidente no regime pluvial torna-se difícil a definição do ano hidrológico com base na precipitação (SIMON,



PICKBRENNER E MARCUZZO, 2013). Sendo assim, o ano hidrológico das estações escolhidas foi determinado com base na análise dos hidrogramas de vazões médias diárias.

#### 4.4.2. VAZÃO $Q_{7,10}$

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$ , primeiramente calculou-se a mínima vazão média em 7 dias consecutivos para cada ano da série histórica de vazões de cada estação fluviométrica. A média móvel foi calculada utilizando os valores de vazão do dia, dos três dias anteriores e dos três dias diretamente posteriores, totalizando os 7 dias necessários para o cálculo da média. Encontrou-se então o menor valor para cada ano.

Organizando os valores mínimos em ordem crescente, pode-se calcular a frequência cumulativa destes valores. Como apresentado por Collischonn e Dornelles (2013), a frequência cumulativa pode ser calculada ordenando de forma crescente os valores mínimos. Com os valores assim, a probabilidade de ocorrência de vazões iguais ou menores pode ser calculada com base na metodologia de Weibull através da equação 4.1.

$$P = \frac{m}{N+1} \quad (4.1)$$

em que  $P$  é a probabilidade empírica de ocorrência de vazões iguais ou menores,  $N$  é o número de anos da série histórica utilizados no cálculo da vazão de referência  $Q_{7,10}$  e  $m$  é a posição da vazão no ordenamento crescente de vazões mínimas (para a menor vazão  $m=1$  e para a maior vazão  $m=N$ ).

O tempo de retorno de uma vazão mínima é o tempo médio que se passa entre duas ocorrências subseqüentes de uma vazão igual ou menor (Collischonn e Dornelles, 2013). Ainda, o tempo de retorno é o inverso da frequência cumulativa de cada valor. Utilizando a equação 4.1, o número máximo de anos de retorno a ser definidos dependeria do tamanho da amostra. Como neste trabalho utilizou-se estações com series de dados a partir de cinco anos, seria possível estimar somente até 6 anos de tempo de retorno, por exemplo. Para permitir a extrapolação desta análise para tempos de retorno mais longos com banco de dados pequenos, supõe-se que os valores de vazões mínimas sigam uma distribuição de probabilidade teórica.

A distribuição de Weibull é considerada um modelo estatístico natural para eventos hidrológicos mínimos segundo Naghettini e Pinto (2007). Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  utilizando a distribuição de Weibull, aplicou-se a seguinte equação:

$$x = \bar{x} + KS \quad (4.2)$$

em que  $x$  é a vazão mínima com o tempo de retorno desejado,  $\bar{x}$  é a média das vazões mínimas de todos os anos da série utilizada,  $S$  é o desvio padrão dos dados e  $K$  é calculado para cada valor de tempo de retorno através da equação 4.3.

$$K = A(\lambda) + B(\lambda) \cdot \left\{ \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]^{1/\lambda} - 1 \right\} \quad (4.3)$$

em que  $T$  é o tempo de retorno desejado e  $A$  e  $B$  são calculados a partir das equações 4.4 e 4.5 respectivamente.

$$A(\lambda) = \left[ 1 - \Gamma \cdot \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right] \cdot B(\lambda) \quad (4.4)$$

$$B(\lambda) = \left[ \Gamma \cdot \left( 1 + \frac{2}{\lambda} \right) - \Gamma^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

em que  $\Gamma$  é a função gama e  $\lambda$  é calculado através da equação 4.6.

$$\lambda = \frac{1}{H_0 + H_1 G + H_2 G^2 + H_3 G^3 + H_4 G^4} \quad (4.6)$$

em que

$H_0 = 0,2777757913$   
 $H_1 = 0,3132617714$   
 $H_2 = 0,057567091$   
 $H_3 = -0,0013038566$   
 $H_4 = -0,0081523408$

e  $G$  é o coeficiente de assimetria da distribuição.

O valor da função gama é encontrado a partir da função  $\text{LNGAMA}(x)$  no Excel, que calcula o logaritmo natural da função. A equação da função é:

$$\Gamma(w) = \int_0^{\infty} x^{w-1} \cdot e^{-x} dx \quad (4.7)$$

#### 4.4.3. VAZÕES $Q_{50\%}$ E $Q_{90\%}$

Para o cálculo das vazões  $Q_{50\%}$  e  $Q_{90\%}$  utilizou-se a metodologia apresentada por Collischonn e Dornelles (2013): através da curva de permanência.

A curva de permanência foi elaborada através de planilhas do Excel, usando a função PERCENTIL para encontrar os valores dos quantis de 1 a 99%. O percentil 10% corresponde à vazão  $Q_{90\%}$ , ou seja, a vazão que é igualada ou superada 90% do tempo. Já o percentil 50% informa a  $Q_{50\%}$ , ou seja, a vazão que é igualada ou superada 50% do tempo.

#### 4.5. CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DAS ESTAÇÕES

As estações fluviométricas utilizadas no estudo foram todas aquelas que respeitaram os seguintes pré-requisitos:

- a) Medição de descarga líquida
- b) Dados de vazão disponíveis
- c) Registros de dados de vazão com pelo menos 5 anos de dados consecutivos.

Após esta seleção, as séries históricas de 20 estações fluviométricas foram utilizadas no estudo da regionalização de vazões na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. No Quadro 4.4 é apresentado o resultado da seleção das estações com medição de vazão.

**Quadro 4.4** Resumo da seleção das estações fluviométricas com medição de vazão da sub-bacia 76

Sem dados disponíveis	76200000	Passo Santa Vitória
	76250000	Dom Pedrito
	76400000	Foz do rio Santa Maria
	76421000	Passo dos Cardosos
	76431000	PCH Furnas do Segredo Jusante
	76470000	Passo do Jaguarzinho
Menos de 5 anos de dados consecutivos	85397000	Corupá
	76081000	Guaçupi
	76251000	Dom Pedrito
	76370000	Azevedo Sodré
	76395000	Passagem BR-287
Utilizadas	76742000	Passo do Osório
	76077000	Usina Quebra Dente
	76085000	Cachoeira 5 veados
	76100000	Vila Clara
	76120000	Ponte Toropi
	76260000	Passo do Guterres
	76300000	Ponte Ibicui da Armada
	76310000	Rosário do Sul
	76360001	Azevedo Sodré
	76380000	Cacequi
	76440000	Jaguari
	76460000	Ernesto Alves
	76490000	Passo do Loreto
	76500000	Jacaqua
	76550000	Ponte do Miracatu
	76560000	Manoel Viana
	76600000	Passo do Itaum
	76650000	Passo da Cachoeira
	76700000	Passo dos Britos
	76750000	Alegrete
76800000	Passo Mariano Pinto	

## 4.6. INDICADORES REGIONAIS

### 4.6.1. CURVAS ADIMENSIONAIS

As curvas de permanência variam de acordo com as características da bacia hidrográfica na qual o local de estudo está inserido. As tendências que podem ser observadas nas curvas de permanência estão normalmente relacionadas ao tamanho da bacia e, sendo assim, a análise destas curvas para um grupo de estações não alcança resultados significantes. Apesar disso, é possível extrair importantes correlações a partir da adimensionalização das curvas de permanência das estações escolhidas. Os resultados podem auxiliar na determinação de regiões homogêneas para o estudo da regionalização de vazões (TUCCI, 2002).

As curvas adimensionais de permanência foram elaboradas dividindo as curvas pela vazão média de longo termo ( $Q_{mlt}$ ) das séries de vazões das estações fluviométricas

utilizadas no estudo. Alguns valores específicos de maior importância são relações da curva de permanência:  $RCP_{50}$  e  $RCP_{90}$  que são, respectivamente, as vazões de referência  $Q_{50\%}$  e  $Q_{90\%}$ , divididas por  $Q_{mlt}$ . A análise das curvas adimensionais, junto destes valores de referência, contribuiu para a definição de regiões homogêneas e o consequente agrupamento de estações para a regionalização de vazões.

Outros indicadores também foram analisados buscando agrupar as estações da forma mais eficaz possível. Calculou-se, além da  $Q_{mlt}$ , a vazão média de longo período por unidade de área de drenagem ( $q_{mlt-esp}$ ) para cada estação fluviométrica.

$$q_{mlt\ esp} = \frac{Q_{mlt}}{A} \quad (4.8)$$

em que  $Q_{mlt}$  corresponde a vazão média de longo período em litros por segundo e  $A$  é a área de drenagem da estação fluviométrica obtida com base no MDE SRTM, em  $km^2$ .  $q_{mlt\ esp}$  é dada em  $l.s^{-1}.km^{-2}$ .

#### 4.7. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

A regionalização de vazões foi realizada para as vazões  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{7,10}$ . A variável explicativa deve ser facilmente obtida através de mapas existentes (TUCCI, 1993) e por isso optou-se por utilizar a área de drenagem, que foi obtida através de quatro diferentes Modelos Digitais de Elevação. O agrupamento das estações foi estudado com base nas curvas adimensionais explicadas no item 4.6.1 do presente estudo.

##### 4.7.1. MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Diferentes modelos digitais de elevação foram utilizados na determinação das áreas de drenagem: SRTM30, ASTER GDEM e TOPODATA. Os resultados obtidos foram então comparados com o Modelo Digital de Elevação desenvolvido a partir da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 de Hasenack e Weber (2010). Esta base vetorial foi elaborada a partir de cartas do exército e disponibilizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRGS, tendo como sistema de referência o Datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realizado no ano 2000). Todos os Modelos Digitais de Elevação utilizados em estudos oficiais devem ser convertidos ao

sistema de referência SIRGAS 2000, visto que este foi definido como o sistema de referência legalizado no país (BRASIL, 2005).

#### 4.7.2. REGRESSÃO

A equação de regressão é dada em função da área de drenagem, que é uma característica física da bacia. Como citado anteriormente, a equação do tipo potência é a mais utilizada nestes casos, gerando equações do tipo:

$$Q_{calc} = k \cdot A^w \quad (4.9)$$

Para a regressão foi realizada a linearização da equação

$$\ln(Q_{calc}) = \ln(k) + w \cdot \ln(A) \quad (4.10)$$

onde  $Q_{calc}$  corresponde a vazão de referência ( $Q_{50\%}$ ,  $Q_{90\%}$  ou  $Q_{7,10}$ ),  $\ln(k)$  é o coeficiente linear da reta e  $w$  é o coeficiente angular da reta.

A partir destes resultados são definidos  $k$  e  $w$ , e conseqüentemente a equação de regionalização para cada uma das vazões de referência, no modelo da equação 4.9. Os coeficientes são definidos pelo método dos mínimos quadrados no Excel (BECK e ARNOLD, 1977).

Este procedimento foi realizado para regionalizar as três vazões de referência escolhidas, desenvolvendo equações para o caso da divisão da sub-bacia 76 em uma região homogênea e em três regiões. Todas as regressões foram feitas utilizando como variável explicativa a área de drenagem e o procedimento foi realizado para cada um dos casos nos quatro modelos digitais de elevação estudados. Comparou-se então os resultados encontrados nos diferentes modelos digitais de elevação e definiu-se como mais adequado o modelo que: a) tem o maior desvio abaixo de 25% utilizando o maior número de estações; b) apresenta o menor valor de maior desvio absoluto; c) tem o menor somatório de desvios absolutos. O desvio é a diferença entre o valor de vazão encontrado através da equação e o valor encontrado com base na série de dados de medição.

As equações de regionalização são somente aceitas quando o maior desvio da regressão é menor que 25% e o número de estações utilizadas para o desenvolvimento da equação for igual ou maior a 5.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados desta pesquisa. Inicia-se pelas figuras apresentadas em Material e Métodos, seguidas pelos fluviogramas montados a partir das séries de vazões das estações fluviométricas escolhidas. A definição dos anos hidrológicos, feita com base nos fluviogramas; a consistência inventarial e comparações entre os MDE também são apresentadas. Os resultados são finalizados com o agrupamento de estações fluviométricas, suas equações de regionalização e áreas de validade.

### 5.1. MATERIAL PRODUZIDO EM ALTA RESOLUÇÃO

Como um primeiro produto técnico deste trabalho, as Figuras apresentadas na seção do material e métodos deste trabalho, com melhor resolução, e mapa da Rede Hidrometeorológica da sub-bacia 76 (segundo o inventário da ANA de 10/07/2015), podem ser baixados pelos endereços (“links”) na internet disponibilizados no Quadro 5.1, ou através da solicitação a autora deste trabalho.

**Quadro 5.1** Endereços (“links”) para baixar os mapas e figuras, em PDF (1000dpi) e JPG (1000dpi), com a área de validade e as respectivas equações da regionalização de vazões executadas neste estudo.

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Figura 4.1	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21263&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21263&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.2	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21259&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21259&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.3	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21258&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21258&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.4	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21260&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21260&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.5	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21261&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21261&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.6	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21264&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21264&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.7	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21265&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21265&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Figura 4.8	<a href="https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21262&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp">https://onedrive.live.com/?id=F3E4C2A1EA29981A%21262&amp;cid=F3E4C2A1EA29981A&amp;group=0&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A%21257&amp;o=OneUp</a>
Mapa	<a href="https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=f3e4c2a1ea29981a&amp;page=view&amp;resid=F3E4C2A1EA29981A!255&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A!220&amp;app=WordPdf&amp;wdo=1">https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=f3e4c2a1ea29981a&amp;page=view&amp;resid=F3E4C2A1EA29981A!255&amp;parId=F3E4C2A1EA29981A!220&amp;app=WordPdf&amp;wdo=1</a>

### 5.2. REGIME HÍDRICO DA SUB-BACIA

O entendimento do regime hídrico de bacias hidrográficas é de extrema importância para diversos estudos, como regionalização de vazões e balanço hídrico (SIMON,

PICKBRENNER e MARCUZZO, 2013). Busca-se entender o modelo padrão de distribuição sazonal de um evento hidrológico, por exemplo, vazão.

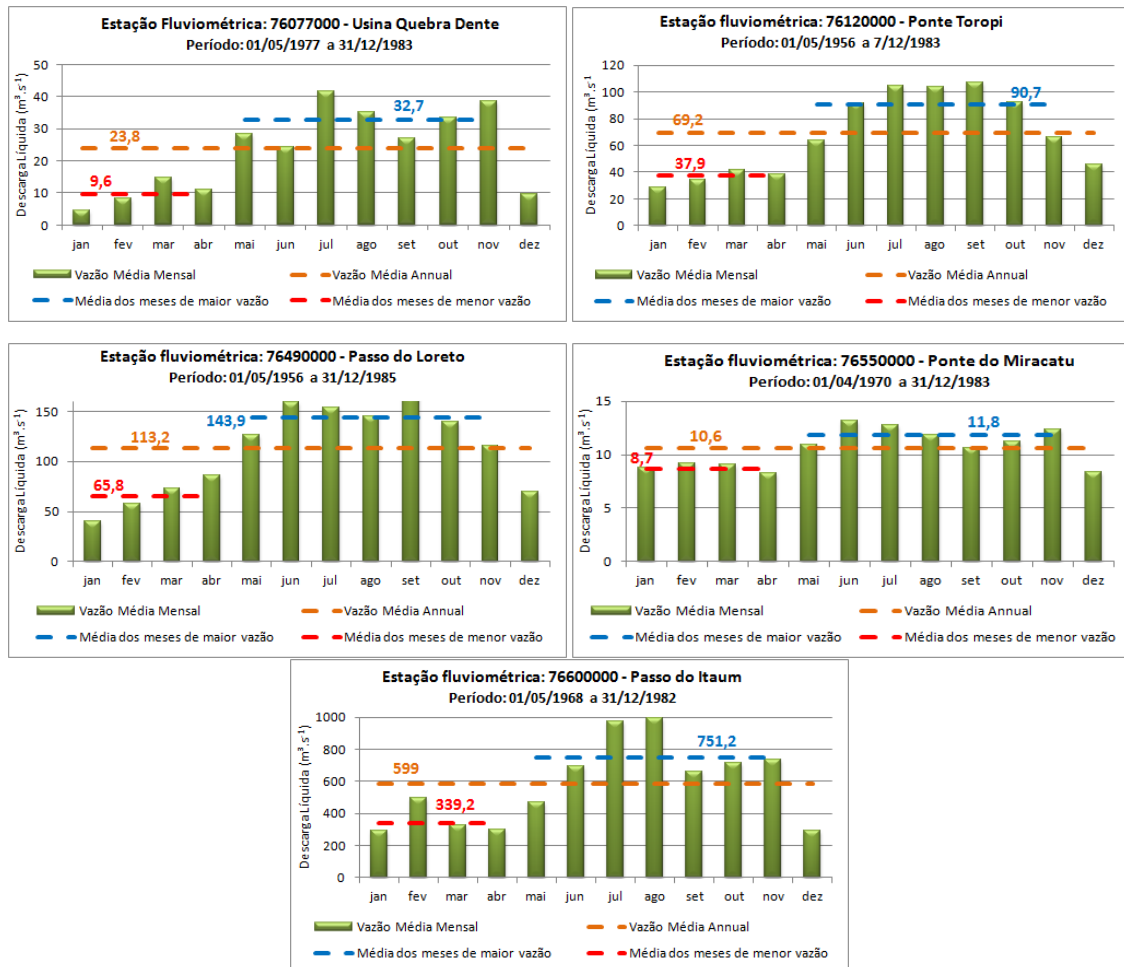
No caso dos itens apresentados a seguir, buscou-se entender o regime de vazões da sub-bacia para definir o ano hidrológico de cada uma das séries de vazões utilizadas, a fim de garantir que eventos extremos sejam contabilizados de forma integral em apenas um ano. Este procedimento foi realizado através das séries de vazões selecionadas para o estudo apresentadas na forma de fluviogramas.

### 5.2.1. FLUVIOGRAMAS E ANO HIDROLÓGICO

O estudo de Buriol, Estefanel e Ferreira (2008), visando analisar a precipitação no Rio Grande do Sul, constatou que as precipitações se distribuem pelos doze meses de tal forma que não é possível estabelecer estações secas e chuvosas. Além disso, Bono e Berlato (1993) destacam que o regime de pluvial do estado do Rio Grande do Sul e suas regiões não mudou nos 78 anos anteriores ao estudo. Sendo assim, o ano hidrológico de cada estação fluviométrica utilizada neste trabalho foi definido com base nos dados de vazões diárias através dos fluviogramas.

As estações 76077000, 76120000, 76490000, 76550000 e 76600000 têm o ano hidrológico começando em maio. O período seco se estende de dezembro a abril. Maior detalhamento do comportamento fluvial destas estações pode ser observado na Figura 5.1.





**Figura 5.1** Fluviogramas médios mensais das estações fluviométricas da sub-bacia 76 com ano hidrológico começando em maio.

O restante das estações utilizadas no trabalho (76085000, 76100000, 76260000, 76300000, 76310000, 76360001, 76380000, 76440000, 76460000, 76500000, 76560000, 76650000, 76700000, 76750000 e 76800000) têm o início do ano hidrológico em abril e período seco começando entre novembro e dezembro. Os fluviogramas das Figuras 5.2 e 5.3, a seguir, detalham melhor o comportamento das vazões durante o ano.

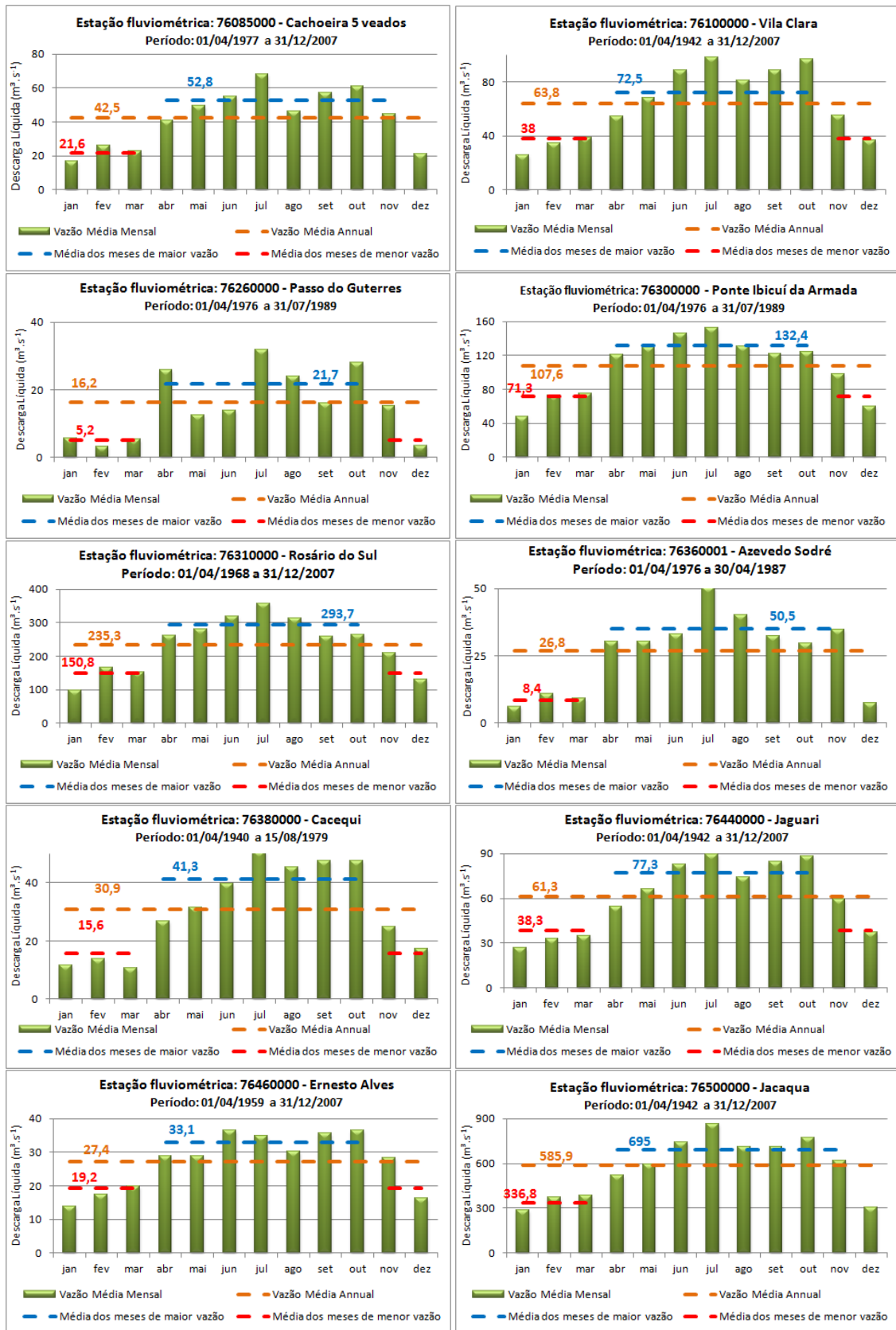
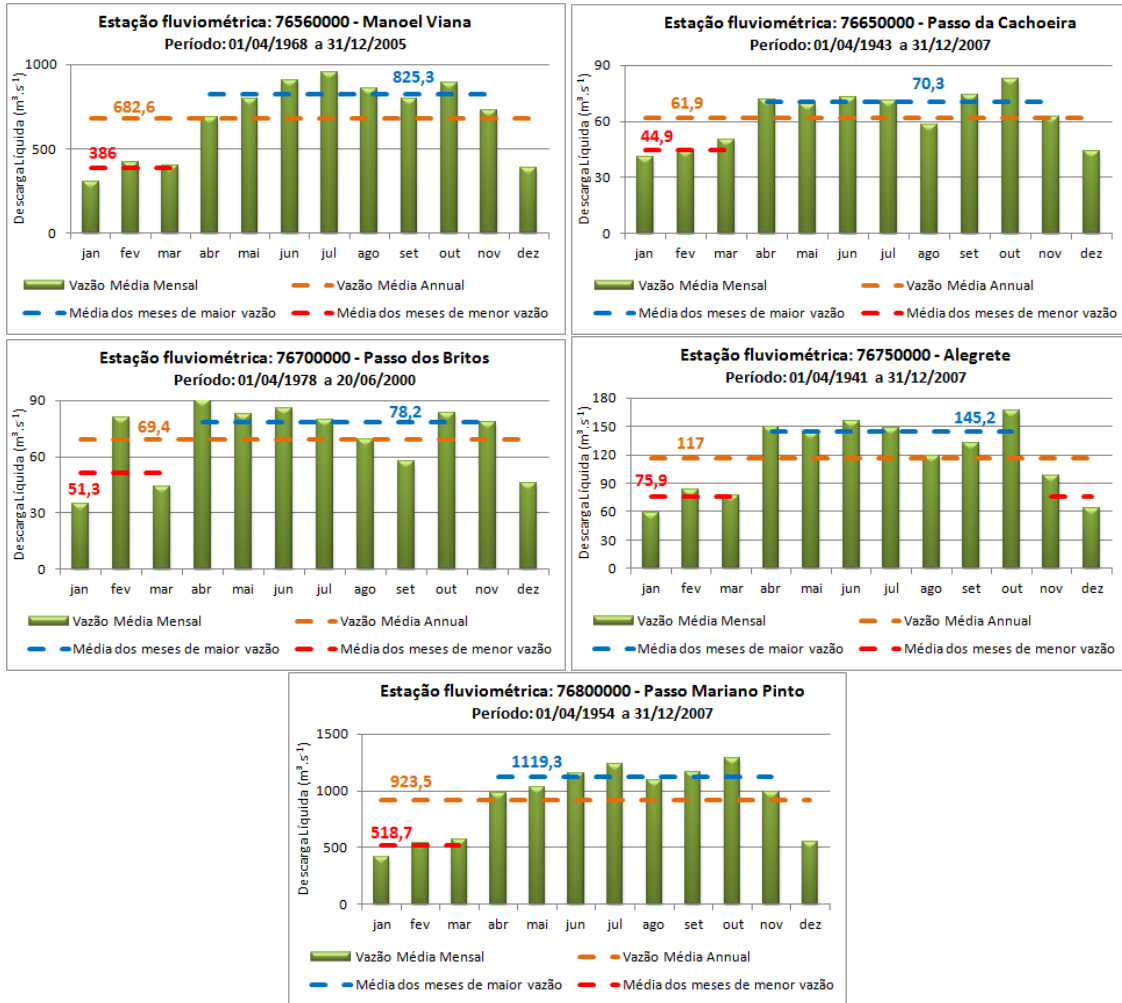


Figura 5.2 Fluviogramas médios mensais das estações fluviométricas da sub-bacia 76 com ano hidrológico começando em abril.



**Figura 5.3** Continuação dos fluviogramas médios mensais das estações fluviométricas da sub-bacia 76 com ano hidrológico começando em abril.

Com base nas séries de vazões disponíveis das estações fluviométricas, definiu-se o ano hidrológico de cada estação e os períodos de dados utilizados no estudo. O ano hidrológico de cada estação fluviométrica com medição de descarga líquida, além da  $Q_{mlt}$  e dos respectivos períodos de vazões disponíveis, são apresentados na Tabela 5.1, a seguir.

**Tabela 5.1** Ano hidrológico das estações fluviométricas com o respectivo período de vazões analisado.

Código	Sub-Bacia	Nome da Estação	Área de Drenagem <sup>1</sup>	Q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Ano Hidrológico	Período de Vazões (anos)
76077000	766	Usina Quebra Dente	861,95	23,82	Maio-Abril	77-83
76085000	766	Cachoeira 5 Veados	1537,81	42,47	Abril-Março	77-91 91-07
76100000	766	Vila Clara	2792,76	63,72	Abril-Março	41-67 67-07
76120000	766	Ponte Toropi	2974,67	69,24	Maio-Abril	55-61 61-83
76260000	769	Passo do Guterres	575,76	16,26	Abril-Março	76-81 84-88 89
76300000	768	Ponte Ibicuí da Armada	5999,92	107,61	Abril-Março	68-06 06-07
76310000	767	Rosário do Sul	12080,39	235,30	Abril-Março	67-07
76360001	767	Azevedo Sodré	1220,02	26,76	Abril-Março	76-86 87
76380000	767	Cacequi	1816,81	30,88	Abril-Março	40-79
76440000	764	Jaguari	2323,38	61,27	Abril-Março	42-49 50-04 04-07
76460000	764	Ernesto Alves	917,57	27,36	Abril-Março	58-06 06-07
76490000	764	Passo do Loreto	4620,74	113,18	Maio-Abril	56 57-58 59-84 85
76500000	763	Jacaqua	27441,42	585,96	Abril-Março	42 43 51-54 55-58 64-66
76550000	763	Ponte do Miracatu	374,97	10,61	Abril-Março	70-78 79-83
76560000	763	Manoel Viana	29345,65	683,69	Abril-Março	68-70 71-05
76600000	763	Passo do Itaum	31045,21	587,74	Maio-Abril	68-82
76650000	763	Passo da Cachoeira	2559,91	61,88	Abril-Março	43-45 47-95 95-07
76700000	762	Passo dos Britos	3197,70	69,43	Abril-Março	77-90 91-00
76750000	762	Alegrete	5943,95	116,96	Abril-Março	40-78 79-86 87-07
76800000	761	Passo Mariano Pinto	42532,97	923,52	Abril-Março	53-91 92-07

<sup>1</sup> Área de drenagem calculada pelo SRTM30.

### 5.2.2. CONSISTÊNCIA INVENTARIAL DA LOCALIZAÇÃO

Previamente ao estudo, julgou-se necessário analisar a exatidão do posicionamento das estações informado no inventário da ANA. Para simplificar esta etapa, buscou-se definir o melhor Modelo Digital de Elevação a ser utilizado para comparação das informações.

Primeiramente foi desenvolvida a rede de drenagem da sub-bacia 76 e a delimitação da área de drenagem das estações fluviométricas, com base nos MDE, através do software ArcGIS. Como subproduto deste estudo foi gerado um tutorial com maiores informações a respeito do procedimento utilizado nesta etapa e a posterior construção dos diagramas unifilares (KOEENDER, 2015).

As áreas de drenagem das 20 estações fluviométricas utilizadas no trabalho foram calculadas com base nos quatro diferentes MDE. As áreas obtidas nos modelos SRTM30, TOPODATA e ASTER GDEM foram comparadas com aquelas delimitadas no modelo gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber. Os resultados são apresentados na Tabela 5.2

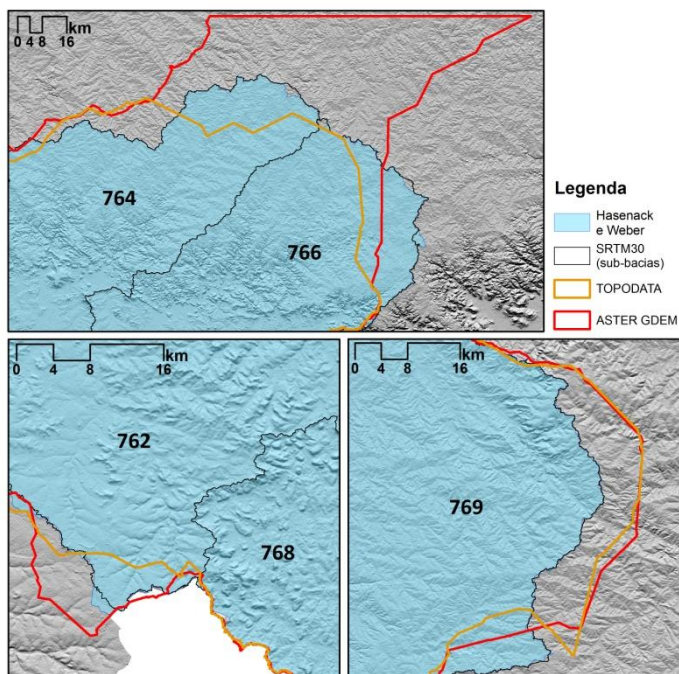
**Tabela 5.2** Áreas de drenagem obtidas por diferentes modelos digitais de elevação.

Estações Fluviométricas	Sub- bacia	Hasenack e Weber	SRTM 30	TOPODATA	ASTER	Hasenack e	Hasenack	Hasenack e
						Weber - SRTM30	e Weber - TOPODATA	Weber - ASTER
----- Área (km <sup>2</sup> ) -----						----- Diferenças -----		
76077000	766	849,12	861,95	62,02	1284,02	1,5%	92,7%	51,2%
76085000	766	1535,68	1537,81	1231,59	4147,29	0,1%	19,8%	170,1%
76100000	766	2736,62	2792,76	2733,10	5485,66	2,1%	0,1%	100,5%
76120000	766	3071,51	2992,59	2918,46	5711,13	2,6%	5,0%	85,9%
76260000	769	573,06	575,76	273,95	329,24	0,5%	52,2%	42,5%
76300000	768	5977,86	5999,92	6032,67	6137,08	0,4%	0,9%	2,7%
76310000	767	12097,25	12080,39	12262,25	12431,17	0,1%	1,4%	2,8%
76360001	767	1211,06	1220,02	1220,08	1220,14	0,7%	0,7%	0,7%
76380000	767	1793,45	1816,81	1808,37	1813,98	1,3%	0,8%	1,1%
76440000	764	2310,81	2323,38	1489,21	1680,68	0,5%	35,6%	27,3%
76460000	764	918,98	917,57	731,57	13,47	0,2%	20,4%	98,5%
76490000	764	4608,68	4620,74	26,60	3966,02	0,3%	99,4%	13,9%
76500000	763	27410,35	27810,36	27119,08	29992,96	1,5%	1,1%	9,4%
76550000	763	377,28	374,97	380,94	376,16	0,6%	1,0%	0,3%
76560000	763	29310,92	29345,65	28634,73	31854,41	0,1%	2,3%	8,7%
76600000	763	30999,75	31045,21	30329,92	33547,90	0,1%	2,2%	8,2%
76650000	763	2559,08	2559,91	2611,64	2695,05	0,0%	2,1%	5,3%
76700000	762	3201,90	3197,70	3163,79	3106,87	0,1%	1,2%	3,0%
76750000	762	5873,70	5943,95	5909,50	5822,26	1,2%	0,6%	0,9%
76800000	761	42486,28	42532,97	41796,94	45037,43	0,1%	1,6%	6,0%
Diferença Média						0,7%	17,1%	32,0%

Nos dados observados da Tabela 5.2 pode-se verificar o cálculo da diferença das áreas de drenagem obtidas para os diferentes modelos digitais de elevação testados em relação ao Hasenack e Weber (2010). Verificou-se através destes valores que o MDE SRTM30 apresentou os melhores resultados, com diferença média de 0,7%. O modelo TOPODATA apresentou diferença de 17,1% enquanto o modelo ASTER teve os piores resultados com 32%.

O modelo digital de elevação ASTER apresentou problemas na identificação da drenagem natural na região nordeste, mais especificamente nas sub-bacias 764 e 766. Tal problema também foi verificado por Koefender e Marcuzzo (2015), em estudo sobre a geração de bacias hidrográficas utilizando modelos digitais de elevação na sub-bacia do rio Ibicuí, na região oeste do Rio Grande do Sul.

A Figura 5.4 mostra as regiões da sub-bacia do rio Ibicuí que apresentaram as maiores diferenças na identificação da drenagem natural e na delimitação da área de drenagem, em comparação com o modelo de Hasenack e Weber.



**Figura 5.4** - Delimitação da sub-bacia 76 a partir de Hasenack e Weber (2010) em comparação com os limites obtidos a partir de diferentes MDE.

O modelo digital de elevação SRTM30 foi escolhido para realizar a consistência inventarial da sub-bacia 76. Além de apresentar as menores diferenças em relação ao modelo de Hasenack e Weber, espera-se que este modelo apresente maior semelhança com os dados de área de drenagem do inventário, que são obtidos através do MDE SRTM com 90m de precisão. Ressalta-se que os dados da ANA também são relativamente imprecisos, mas foram utilizados no trabalho a título de comparação.

Foram observadas estações cujas coordenadas geográficas representavam pontos afastados das linhas de drenagem geradas com base no MDE SRTM30. Verificando o nome do corpo d'água informado no inventário da ANA, analisou-se as diferentes possibilidades de posicionamento e as áreas de drenagem resultantes. Todos estes casos foram relatados à Agência Nacional de Águas e, sempre que possível, corrigidos. Posicionando todas as estações fluviométricas sobre as linhas de drenagem geradas a partir do MDE SRTM30, pode-se então gerar a área de drenagem de cada uma das estações. Como forma de conferir o correto posicionamento, os valores encontrados de área de drenagem foram comparados com os valores divulgados pela ANA. As áreas de drenagem calculadas com base no MDE

SRTM30, os valores de área informados no inventário da ANA e a diferença percentual entre os dados estão na Tabela 5.3, a seguir.

**Tabela 5.3** Áreas de drenagem (km<sup>2</sup>) obtidas pelo MDE SRTM30 em comparação com as áreas de drenagem disponibilizadas pelo inventário da Agência Nacional de Águas (ANA).

Estações	SRTM 30 km <sup>2</sup>	Inventário ANA km <sup>2</sup>	Erro Relativo	Estações	SRTM 30 km <sup>2</sup>	Inventário ANA km <sup>2</sup>	Erro Relativo
76077000	861,95	864	0,24%	76460000	917,57	926	0,91%
76085000	1537,81	1540	0,14%	76490000	4620,74	4600	0,45%
76100000	2792,76	2790	0,10%	76500000	27810,36	27800	0,04%
76120000	2992,59	3050	1,88%	76550000	374,96	377	0,54%
76260000	575,76	576	0,04%	76560000	29345,65	29400	0,18%
76300000	5999,92	6010	0,17%	76600000	31045,21	31000	0,15%
76310000	12080,39	12100	0,16%	76650000	2559,91	2560	0,00%
76360001	1220,02	1230	0,81%	76700000	3197,69	3200	0,07%
76380000	1816,81	1810	0,38%	76750000	5943,95	5940	0,07%
76440000	2323,38	2320	0,15%	76800000	42532,97	42500	0,08%

Na Tabela 5.3 verifica-se que das 20 estações fluviométricas analisadas, 19 apresentaram um erro relativo menor ou igual a 1%. O maior erro relativo foi encontrado para a estação 76120000 – Ponte Toropi: 1,88%. Como as diferenças foram baixas, esta etapa não apresentou objeções a utilização de nenhuma das estações previamente selecionadas.

### 5.2.3. DIAGRAMA UNIFILAR DA SUB-BACIA 76

Visando o completo entendimento do comportamento sistemático da rede fluviométrica da sub-bacia 76, elaborou-se o diagrama unifilar de sua totalidade. Devido ao tamanho da sub-bacia, o diagrama unifilar foi dividido em 4 partes. O rio principal, formado pelo rio Ibicuí e pelo rio Santa Maria, foi dividido entre as partes 1 e 2. A parte 3 engloba parte do rio Ibicuí, o rio Toropi e o rio Ibicuí-Mirim, enquanto a parte 4 representa o rio Jaguari. Os diagramas unifilares apresentados na Figura 5.5 podem ser observados com maior detalhe nos Apêndices deste estudo, e o processo de construção dos mesmos pode ser verificado em Koefender e Marcuzzo (2015b).

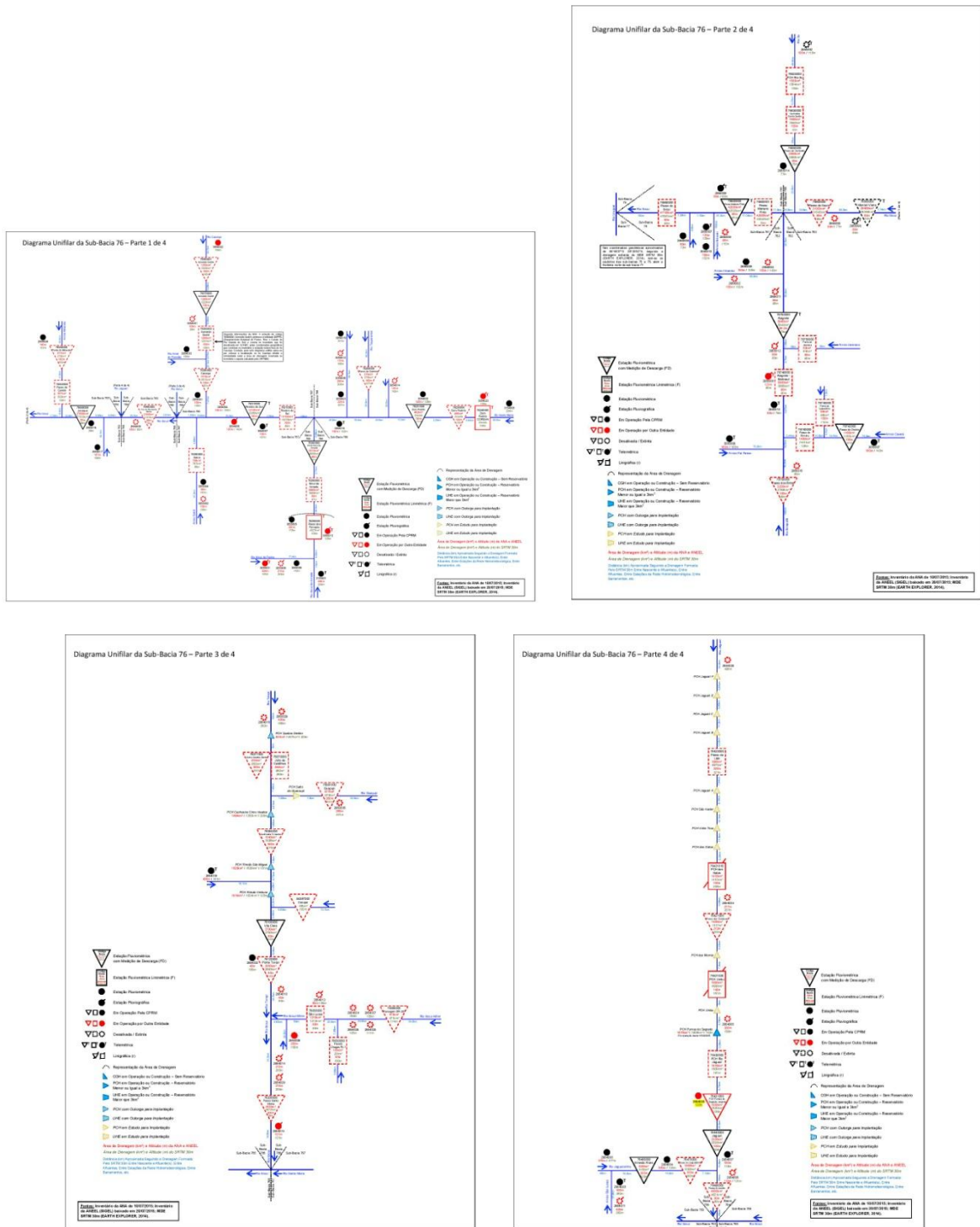


Figura 5.5 Configuração das quatro partes do Diagrama Unifilar da sub-bacia 76

No diagrama foram representadas todas as estações fluviométricas com medição de descarga (FD) e com medição de nível (F); estações pluviométricas (P) e pluviográficas (Pr) da sub-bacia 76; assim como todas as PCH – inclusive aquelas que ainda se encontram na fase de estudo. Estes elementos estão divididos entre as quatro partes do diagrama como mostrado na Tabela 5.4.



**Tabela 5.4** Distribuição das estações e PCH da sub-bacia 76 nas quatro partes do diagrama unifilar

	Estações F	Estações FD	Estações P	Estações Pr	PCH
Parte 1	7 (32%)	11 (34%)	18 (36%)	10 (46%)	0
Parte 2	8 (36%)	7 (22%)	13 (26%)	6 (27%)	0
Parte 3	3 (14%)	8 (25%)	11 (22%)	4 (18%)	5 (31%)
Parte 4	4 (18%)	6 (19%)	8 (16%)	2 (9%)	11 (69%)
Total	22	32	50	22	16

### 5.3. VAZÕES DE REFERÊNCIA E INDICADORES REGIONAIS DE VAZÃO

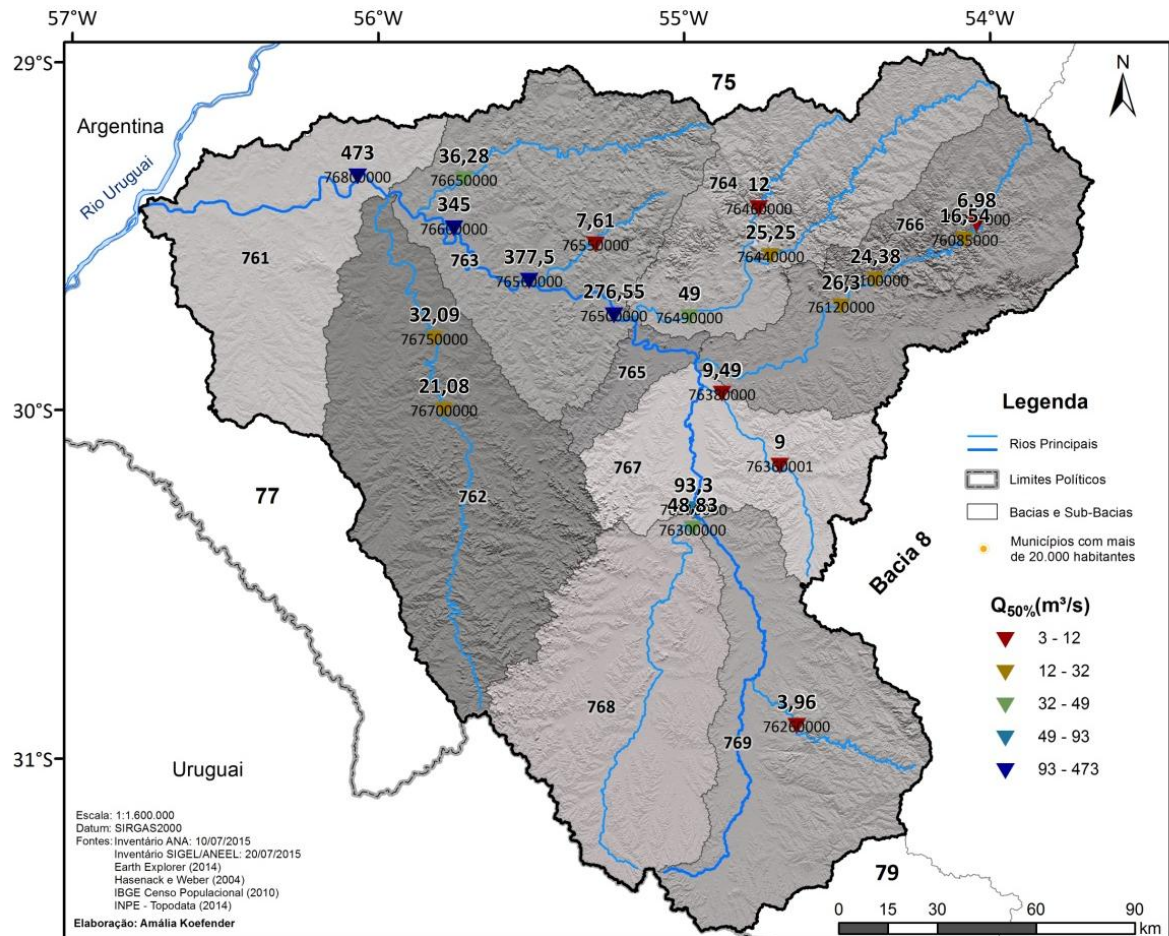
As vazões de referência  $Q_{50\%}$  e  $Q_{90\%}$  foram encontradas através da curva de permanência e a  $Q_{7,10}$  foi definida com base na distribuição de Weibull. Estes valores, junto dos indicadores regionais vazão média específica ( $q_{mit\ esp}$ ) e relações da curva de permanência  $RCP_{50}$  e  $RCP_{90}$ , são apresentados na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** Vazões de referência e indicadores regionais das estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Nome	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{mit}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{90\%}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{50\%}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{mit\ esp}$ (l/s.km <sup>2</sup> )	$RCP_{50}$	$RCP_{90}$
76077000	Usina Quebra Dente	766	862	23,8	1,02	7,0	0,132	27,6	0,29	0,04
76085000	Cachoeira 5 Veados	766	1538	42,5	2,49	16,5	0,019	27,6	0,39	0,06
76100000	Vila Clara	766	2793	63,7	4,03	24,4	0,310	22,8	0,38	0,06
76120000	Ponte Toropi	766	2993	69,2	4,70	26,3	10*	23,1	0,38	0,07
76260000	Passo do Guterres	769	5572	16,3	0,63	4,0	0,022	2,9	0,24	0,04
76300000	Ponte Ibicuí da	768	6000	107,6	8,20	48,8	0,347	17,9	0,45	0,08
76310000	Rosário do Sul	767	12080	235,3	13,48	93,3	1,807	19,5	0,40	0,06
76360001	Azevedo Sodré	767	1220	26,8	0,98	9,0	10*	21,9	0,34	0,04
76380000	Cacequi	767	1817	30,9	1,25	9,5	0,216	17,0	0,31	0,04
76440000	Jaguari	764	2323	61,3	3,86	25,3	0,286	26,4	0,41	0,06
76460000	Ernesto Alves	764	918	27,4	2,15	12,0	0,260	29,8	0,44	0,08
76490000	Passo do Loreto	764	4621	113,2	8,83	49,0	10*	24,5	0,43	0,08
76500000	Jacaqua	763	27810	586,0	46,74	276,5	11,898	21,1	0,47	0,08
76550000	Ponte do Miracatu	763	375	10,6	5,30	7,6	4,344	28,3	0,72	0,50
76560000	Manoel Viana	763	29346	683,7	78,40	377,5	14,657	23,3	0,55	0,11
76600000	Passo do Itaum	763	31045	587,7	93,90	345,0	34,509	18,9	0,59	0,16
76650000	Passo da Cachoeira	763	2560	61,9	20,21	36,3	12,869	24,2	0,59	0,33
76700000	Passo dos Britos	762	3198	69,4	3,93	21,1	10*	21,7	0,30	0,06
76750000	Alegrete	762	5944	117,0	6,30	32,1	1,631	19,7	0,27	0,05
76800000	Passo Mariano Pinto	761	42533	923,5	107,48	473,0	28,966	21,7	0,51	0,12

\*Valores em litros por segundo (L.s<sup>-1</sup>)

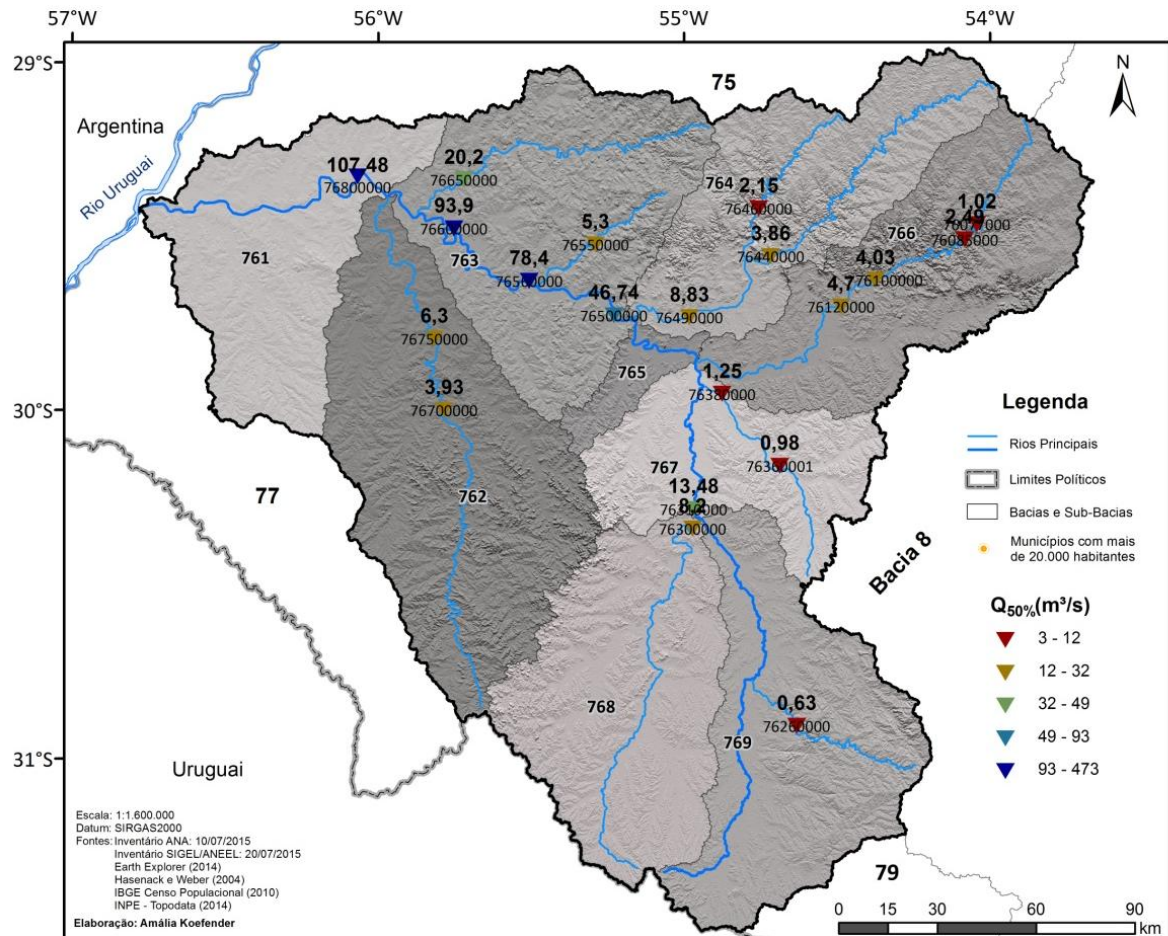
Na Figura 5.6 estão representadas todas as estações fluviométricas cujas séries de vazões foram utilizadas no estudo. Na figura estão indicados os valores da vazão de referência  $Q_{50\%}$  de cada um dos postos de medição de vazões.



**Figura 5.6** Estações fluviométricas utilizadas no estudo com suas respectivas vazões de referência Q<sub>50%</sub>

Pode-se observar que somente uma estação não está de acordo com o princípio da continuidade, que afirma que as vazões a montante são sempre menores do que aquelas a jusante. Analisando a curva Área x Q<sub>50%</sub>, constatou-se que esta estação é a 76560000 – Manoel Viana. Todos os outros postos fluviométricos apresentam valores coerentes com a análise da continuidade.

A Figura 5.7 apresenta a vazão de referência Q<sub>90%</sub> de todos os postos fluviométricos da sub-bacia 76 cujos dados foram utilizados no estudo da regionalização. Pode-se observar que todos os valores apresentam continuidade de vazões.

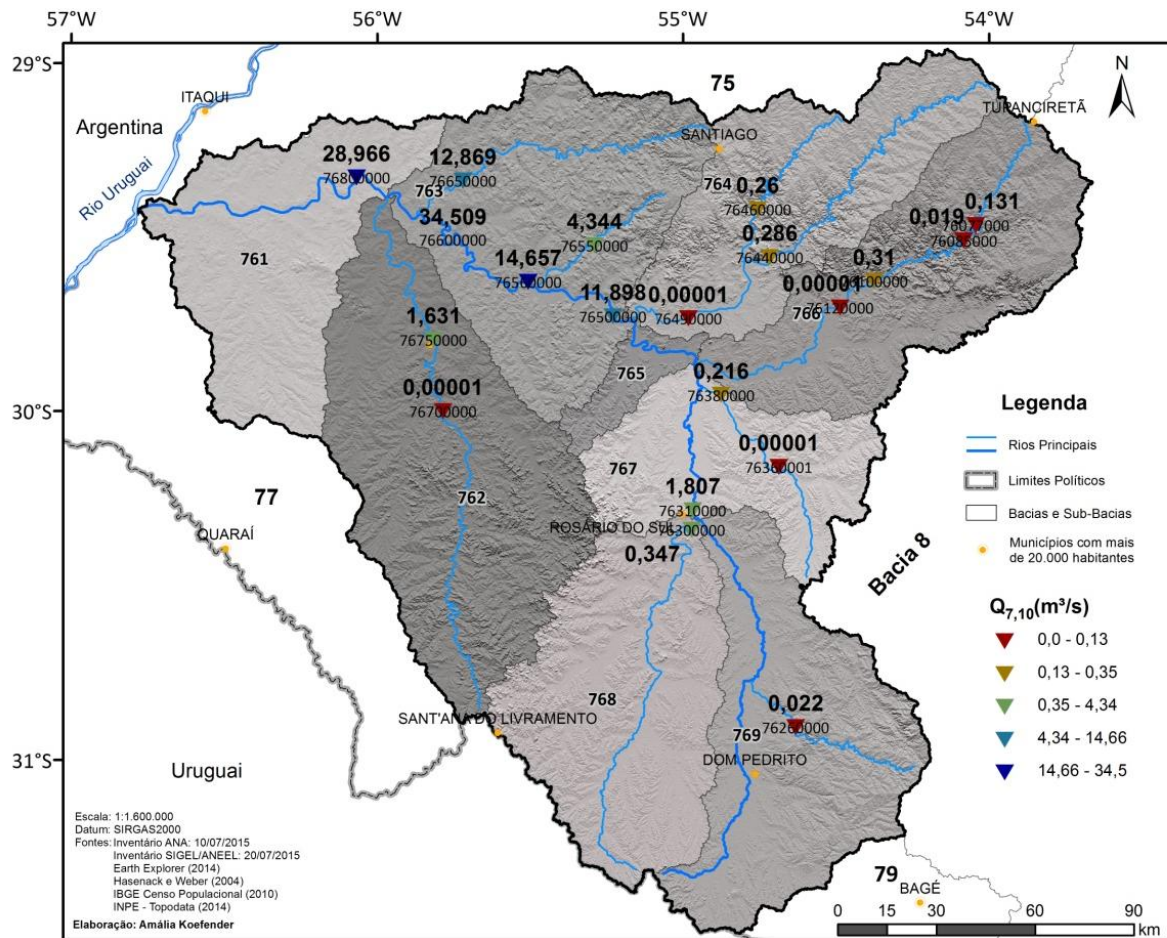


**Figura 5.7** Estações fluviométricas utilizadas no estudo com suas respectivas vazões de referência  $Q_{90\%}$

Na Figura 5.8 são informados os valores da vazão de referência  $Q_{7,10}$  para todas as estações fluviométricas. Estes valores foram obtidos através da distribuição de Weibull. Ressalta-se que os valores  $0,00001m^3.s^{-1}$  encontrados no estudo não foram utilizados nos cálculos de regressão pois não são coerentes. Por este motivo, as estações 76120000 – Ponte Toropi, 76360001 – Azevedo Sodrê, 76490000 – Passo do Loreto e 76700000 – Passo dos Britos não foram utilizadas para a regionalização da vazão de referência  $Q_{7,10}$ .

Mesmo com a retirada dos dados discrepantes, a distribuição dos valores de vazão  $Q_{7,10}$  ainda apresenta problemas na análise de continuidade. É importante ressaltar que, como os valores da vazão  $Q_{7,10}$  são bastante baixos, esta vazão tende a sofrer maior influência de características hidrogeológicas. Mattiuzi (2013), em um estudo de recarga de aquífero na bacia do rio Ibicuí, diz que os mananciais subterrâneos e superficiais não devem ser abordados separadamente, pois existe uma interferência mútua entre ambos. Segundo Simon (2014), a bacia do rio Ibicuí apresenta valores de recarga diferenciados, provavelmente devido a variáveis hidrogeológicas. Mattiuzi *et al.* (2014) conseguiu

relacionar as taxas de recarga com dados de precipitação e distribuição das unidades geológicas e de solo.



**Figura 5.8** Estações fluviométricas utilizadas no estudo com suas respectivas vazões de referência Q<sub>7,10</sub>

#### 5.4. REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES

Foram investigadas possibilidades de regressões simples potenciais relacionando as áreas de drenagem dos quatro MDE com as vazões de referência Q<sub>7,10</sub>, Q<sub>90%</sub> e Q<sub>50%</sub>. Buscou-se inicialmente a definição de equações de regionalização para grupos de estações e em seguida para a sub-bacia 76 integralmente.

##### 5.4.1. AGRUPAMENTO DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

Após alguns testes iniciais de regressão e análise dos indicadores regionais, a sub-bacia foi dividida em três regiões distintas. Durante os primeiros testes pode-se distinguir diferentes comportamentos, que resultaram em uma primeira divisão em três regiões homogêneas. Comparando estas divisões com os indicadores calculados, observou-se que a

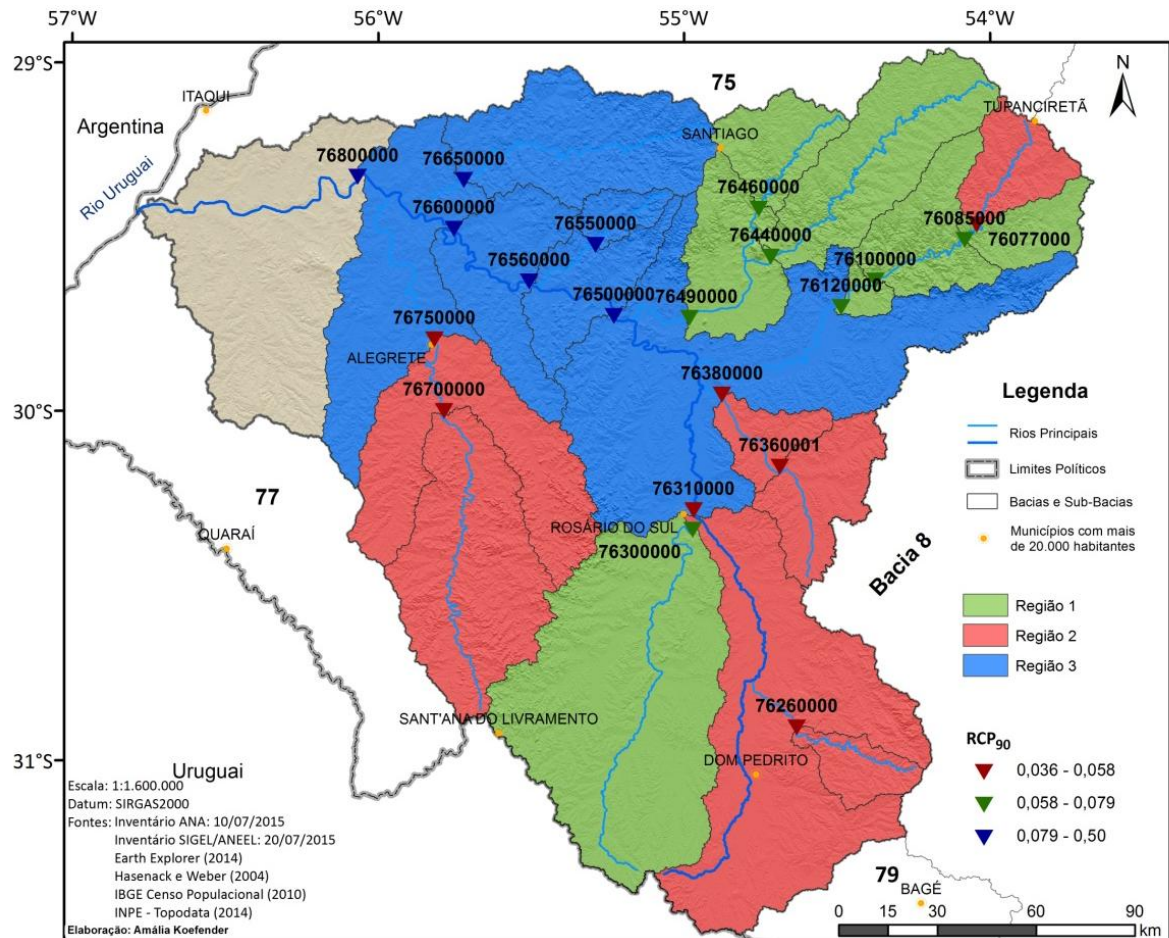
configuração que se comportou de forma mais coerente é fortemente associada à  $RCP_{90}$ . A divisão foi ajustada com base neste indicador e os testes resultaram em regressões melhores. Esta configuração foi então adotada para o restante do trabalho e é apresentada na Tabela 5.6 e na Figura 5.9.

**Tabela 5.6** Distribuição dos postos fluviométricos utilizados no trabalho em três regiões homogêneas com seus indicadores regionais

	<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b><math>Q_{mlt}</math></b>	<b><math>Q_{50\%}</math></b>	<b><math>Q_{90\%}</math></b>	<b><math>q_{mlt\ esp}</math></b>	<b><math>RCP_{50}</math></b>	<b><math>RCP_{90}</math></b>
<b>Região 1</b>	Usina Quebra Dente	76077000	23,82	6,98	1,02	27,63	0,293	0,043
	Passo do Guterres	76260000	16,26	3,96	0,63	2,92	0,244	0,039
	Rosário do Sul	76310000	235,30	93,30	13,48	19,48	0,397	0,057
	Azevedo Sodré	76360001	26,76	9,00	0,98	21,93	0,336	0,036
	Cacequi	76380000	30,88	9,49	1,25	17,00	0,307	0,040
	Passo dos Britos	76700000	69,43	21,08	3,93	21,71	0,304	0,057
	Alegrete	76750000	116,96	32,09	6,30	19,68	0,274	0,054
<b>Região 2</b>	Cachoeira 5 Veados	76085000	42,47	16,55	2,49	27,62	0,390	0,059
	Vila Clara	76100000	63,72	24,38	4,03	22,82	0,383	0,063
	Ponte Toropi	76120000	69,25	26,30	4,70	23,14	0,380	0,068
	Ponte Ibicuí da Armada	76300000	107,61	48,83	8,20	17,94	0,454	0,076
	Jaguari	76440000	61,27	25,25	3,86	26,37	0,412	0,063
	Ernesto Alves	76460000	27,36	12,00	2,15	29,82	0,439	0,079
	Passo do Loreto	76490000	113,18	49,00	8,83	24,49	0,433	0,078
<b>Região 3</b>	Jacaqua	76500000	585,96	276,55	46,74	21,07	0,472	0,080
	Ponte do Miracatu	76550000	10,61	7,61	5,30	28,30	0,717	0,499
	Manoel Viana*	76560000*	683,69	377,50	78,40	23,30	0,552	0,115
	Passo do Itaum	76600000	587,74	345,00	93,90	18,93	0,587	0,160
	Passo da Cachoeira	76650000	61,88	36,29	20,21	24,17	0,586	0,327
	Passo Mariano Pinto	76800000	923,52	473,01	107,48	21,71	0,512	0,116

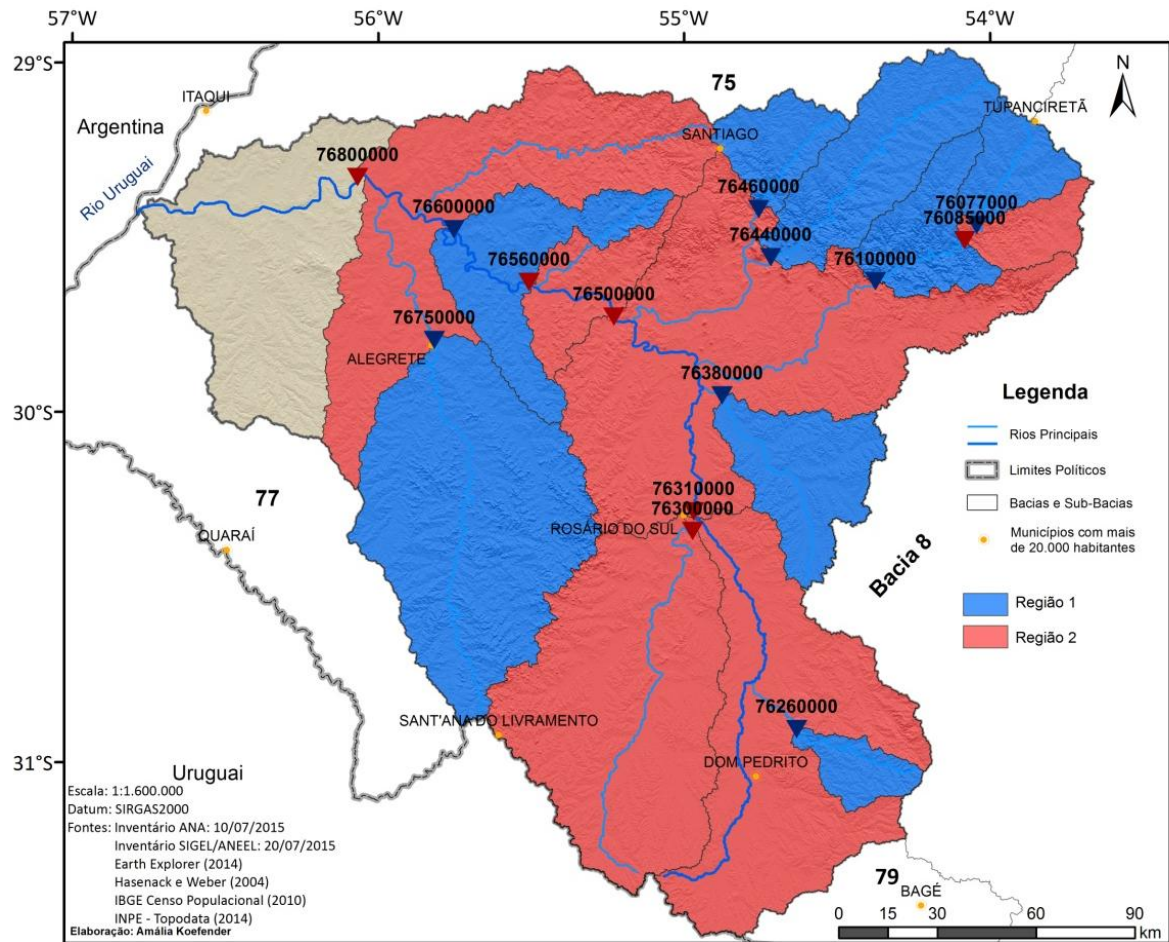
\*Retirada nas simulações de regressões da vazão  $Q_{50\%}$  por não respeitar o princípio da continuidade.

A primeira região homogênea é formada por estações com  $RCP_{90}$  de 0,036 à 0,057. A segunda região homogênea tem valores de  $RCP_{90}$  de 0,059 a 0,079. A terceira região homogênea abrange as estações como  $RCP_{90}$  maior de 0,08.



**Figura 5.9** Divisão da área da sub-bacia 76 em três regiões homogêneas

Como na da regionalização da vazão  $Q_{7,10}$  quatro estações foram removidas por apresentarem resultados inconsistentes, o agrupamento foi feito de outra forma. Foram definidas duas regiões homogêneas, como mostrado abaixo na **Figura 5.10**.



**Figura 5.10** Divisão da área da sub-bacia 76 em duas regiões homogêneas

#### 5.4.2. SIMULAÇÕES DE REGRESSÃO

As simulações de regressão foram realizadas testando várias configurações com o objetivo de encontrar uma equação que resultasse em desvio máximo menor que 25%, utilizando os dados de pelo menos 5 postos fluviométricos. Iniciou-se simulando uma regressão com todas as estações e foram retiradas estações gradativamente, de modo a diminuir o desvio entre as vazões obtidas com base no banco de dados e aquelas calculadas pela equação de regionalização. Muitas configurações foram testadas, retirando e recolocando estações. As tabelas a seguir apresentam os resultados finais.

**Tabela 5.7** Simulações das regressões da vazão  $Q_{50\%}$  nas três regiões homogêneas para todos os MDE analisados

Q50% - Área													
Simulação	MDE	k	w	R <sup>2</sup>	Cor-relação	N° de Postos	Soma do Desvio Absoluto	Desvio Médio Absoluto	Maior Desvio (%)	Menor Desvio (%)	Maior Área (km <sup>2</sup> )	Menor Área (km <sup>2</sup> )	Estação retirada
Considerando Três Regiões Homogêneas - <b>Primeira</b> Região Homogênea													
1	S30	0,0495	0,7967	0,960	0,967	7	18,31	2,62	<b>16,09%</b>	3,43%	6000	918	
	HW	0,0494	0,7969	0,958	0,966		18,53	2,65	16,20%	3,38%	5978	919	
2	T	0,0355	0,6163	0,928	0,973	6	2,49	0,42	17,13%	3,03%	6033	732	76490000
4	A	6,78E-10	2,6347	0,847	0,893	4	3,36	0,84	20,99%	7,28%	6137	4147	76490000, 76440000, 76460000
Considerando Três Regiões Homogêneas - <b>Segunda</b> Região Homogênea													
2	S30	0,0092	0,9637	0,986	0,986	6	24,29	4,05	24,36%	3,56%	12080	576	76380000
	HW	0,0094	0,9615	0,986	0,986		23,90	3,98	<b>23,41%</b>	3,55%	12097	573	
4	A	0,0049	0,8328	0,998	0,997	4	1,33	0,33	6,91%	1,57%	12431	329	76380000, 76360001,
	T	0,0072	0,7891	0,996	0,994		2,13	0,53	9,88%	3,62%	12262	274	76077000
Considerando Três Regiões Homogêneas - <b>Terceira</b> Região Homogênea													
1	S30	0,0433	0,8653	0,998	0,9948	5	75,5963	15,1193	9,68%	3,30%	42533	375	
	A	0,0459	0,8539	0,998	0,993		82,52	16,50	10,24%	2,76%	45037	376	
	T	0,0403	0,8738	0,998	0,9954		73,7676	14,7535	8,98%	3,67%	41797	380,9	
	HW	0,0425	0,8675	0,999	0,9956		69,9617	13,9923	<b>8,80%</b>	2,96%	42486	377,3	
Considerando Apenas Uma Região Homogênea													
8	S30	0,0048	1,0781	0,993	0,999	12	56,73	4,73	20,28%	0,06%	42533	576	76550000, 76750000, 76380000, 76700000, 76650000, 76460000, 76310000
	HW	0,0049	1,0776	0,993	0,999		53,36	4,45	<b>20,00%</b>	0,14%	42486	573	
12	A	0,0013	1,1949	0,996	0,999	8	60,81	7,60	23,22%	1,39%	45037	1284	76077000, 76310000, 76380000, 76500000, 76600000, 76700000, 76750000, 76800000*
13	T	0,1144	0,6967	0,985	0,992	7	21,74	3,11	16,26%	0,77%	12262	381	76085000, 76100000, 76120000, 76300000, 76310000, 76460000, 76550000*

\*Estações Utilizadas



**Tabela 5.8** Simulações das regressões da vazão Q90% nas três regiões homogêneas para todos os MDE analisados

Q90% - Área													
Simulação	MDE	k	w	R <sup>2</sup>	Cor-relação	Nº de Postos	Soma do Desvio Absoluto	Desvio Médio Absoluto	Maior Desvio (%)	Menor Desvio (%)	Maior Área (km <sup>2</sup> )	Menor Área (km <sup>2</sup> )	Estação retirada
Considerando Três Regiões Homogêneas - Primeira Região Homogênea													
1	S30	0,0071	0,8169	0,932	0,950	7	3,80	0,54	21,1%	2,88%	6000	917,6	
	HW	0,0070	0,8182	0,934	0,951		3,82	0,55	21,2%	2,48%	5978	919	
2	T	0,0355	0,6163	0,928	0,973	6	2,49	0,42	17,1%	3,03%	6033	731,6	76490000
4	A	1,5877	0,1176	0,967	0,969	4	0,72	0,18	8,5%	0,26%	5711	13,47	76300000, 76490000, 76085000
Considerando Três Regiões Homogêneas - Segunda Região Homogênea													
3	S30	0,0012	0,9921	0,998	0,999	5	0,82	0,16	7,9%	0,38%	12080	575,8	76380000, 76360001
	A	0,0003	1,1457	0,984	0,995		2,53	0,51	22,3%	0,48%	12431	1220	76380000, 76260000
	T	0,0002	1,1790	0,974	0,994		2,55	0,51	24,2%	0,66%	12262	1220	76260000, 76077000,
	HW	0,0012	0,9897	0,998	0,999		0,80	0,16	7,3%	0,72%	12097	573,1	76380000, 76360001
Considerando Três Regiões Homogêneas - Terceira Região Homogênea													
2	S30	0,1350	0,6273	0,997	0,995	5	14,98	3,00	9,3%	0,59%	42533	375	
	A	0,1409	0,6189	0,997	0,995		15,08	3,02	10,0%	0,61%	45037	376,2	
	T	0,1282	0,6335	0,997	0,995		15,00	3,00	8,8%	0,88%	41797	380,9	76500000
	HW	0,1339	0,6281	0,997	0,995		15,07	3,01	9,3%	0,64%	42486	377,3	
Considerando Apenas Uma Região Homogênea													
12	S30	0,0006	1,1090	0,987	0,998	9	8,95	0,99	21,33%	1,33%	27810	575,8	76077000, 76100000, 76120000, 76260000, 76300000, 76440000, 76490000, 76500000, 76700000*
	HW	0,0006	1,1098	0,988	0,998		8,41	0,93	21,16%	3,07%	27410	573,1	
13	A	6,85E-05	1,3368	0,994	0,997	8	15,62	1,95	24,38%	3,31%	45037	1220	76077000, 76300000, 76360001, 76380000, 76560000, 76700000, 76750000, 76800000*
14	T	7,78E-05	1,3179	0,992	0,992	7	21,93	3,13	22,09%	6,81%	41797	1220	76300000, 76360001, 76380000, 76500000, 76750000, 76800000, 76700000*

\*Estações Utilizadas

**Tabela 5.9** Simulações das regressões da vazão  $Q_{7,10}$  nas três regiões homogêneas para todos os MDE analisados

Q7,10 – Área													
Simulação	MDE	k	w	R <sup>2</sup>	Cor-relação	N° de Postos	Soma do Desvio Absoluto	Desvio Médio Absoluto	Maior Desvio (%)	Menor Desvio (%)	Maior Área (km <sup>2</sup> )	Menor Área (km <sup>2</sup> )	Estação retirada
Considerando Duas Regiões Homogêneas - <b>Primeira</b> Região Homogênea													
	<b>S30</b>	2,03E-07	1,8325	0,999	1,000	5	0,22	0,04	<b>11,59%</b>	0,41%	31045	576	76460000, 76077000, 76100000
4	A	1,82E-06	1,5969	0,996	1,000	5	4,15	0,83	27,18%	10,20%	33548	329	76380000, 76100000, 76460000
	HW	2,09E-07	1,8306	0,999	1,000	5	0,44	0,09	12,40%	1,06%	31000	573	76460000, 76077000, 76100000
5	T	2,53E-06	1,5640	0,988	1,000	4	9,08	2,27	45,84%	23,04%	30330	274	76460000, 76077000, 76440000, 76100000
Considerando Duas Regiões Homogêneas - <b>Segunda</b> Região Homogênea													
1	S30	1,29E-09	2,2411	0,999	0,997	6	3,10	0,52	9,38%	0,70%	42533	1538	
	HW	1,27E-09	2,2434	0,999	0,997	6	3,54	0,59	<b>9,12%</b>	1,78%	42486	1536	
2	A	1,37E-09	2,2224	0,999	0,999	5	2,25	0,45	4,87%	2,51%	45037	6137	76085000
	T	5,86E-09	2,0973	0,998	0,998	5	2,42	0,48	21,86%	0,49%	41797	1232	76300000
Considerando Apenas Uma Região Homogênea													
	S30	9,75E-07	1,6081	0,997	0,996	7	4,03	0,58	21,32%	1,64%	42533	576	76100000, 76260000, 76380000, 76440000, 76500000, 76560000, 76800000*
6	A	4,71E-06	1,4537	0,996	0,996	7	3,83	0,55	<b>19,76%</b>	3,06%	45037	329	76077000, 76260000, 76380000, 76440000, 76560000, 76750000, 76800000*
	HW	1,00E-06	1,6063	0,997	0,997	7	3,76	0,54	22,01%	2,56%	42486	573	76100000, 76260000, 76380000, 76440000, 76500000, 76560000, 76800000*
8	T	6,26E-06	1,4266	0,997	0,990	5	6,22	1,24	28,62%	3%	41797	274	76260000 76380000 76500000 76560000 76800000*

\*Estações Utilizadas

## 5.5. EQUAÇÕES OBTIDAS E ÁREA DE VALIDADE

Com base nos resultados das simulações apresentadas anteriormente, pode-se definir cada uma das equações de regionalização com base nos diferentes Modelos Digitais de Elevação. Para cada região homogênea e cada vazão de referência foi definido o melhor MDE para obtenção dos valores de área, a equação de regionalização correspondente e sua área de validade.

### 5.5.1. VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{50\%}$

Para a regionalização da vazão de referência  $Q_{50\%}$ , com três regiões homogêneas, os melhores resultados foram encontrados utilizando o modelo SRTM30 e o modelo gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber.

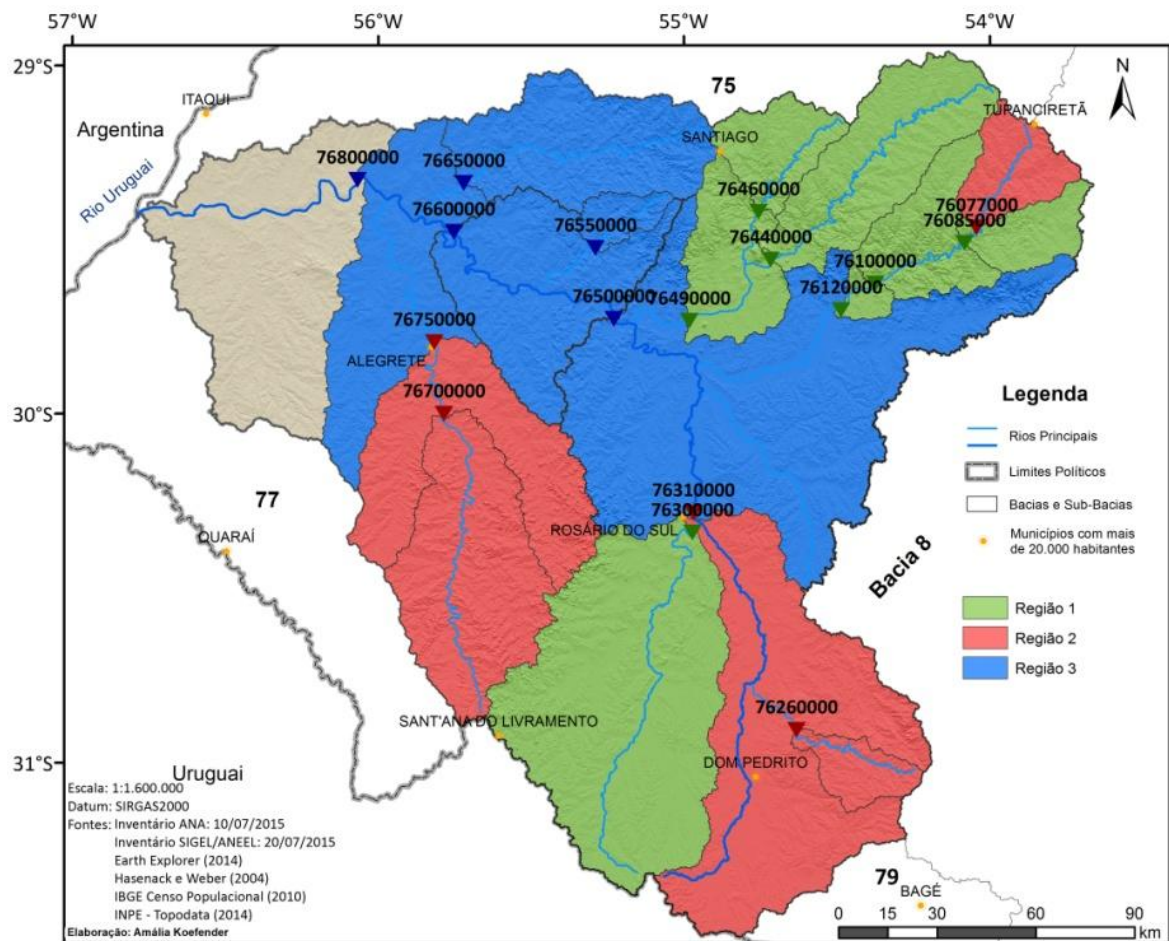
Utilizando os dados de área de drenagem obtidos através do modelo SRTM30, encontrou-se a seguinte equação de regionalização para a região 1:

$$Q_{50\% R1} = 0,0495 \cdot A^{0,7967} \quad (5.1)$$

Com o modelo proveniente das curvas de Hasenack e Weber, tem-se as seguintes equações para a regionalização da vazão  $Q_{50\%}$  nas regiões homogêneas 2 e 3:

$$Q_{50\% R2} = 0,0094 \cdot A^{0,9615} \quad Q_{50\% R3} = 0,0425 \cdot A^{0,8675} \quad (5.2 \text{ e } 5.3)$$

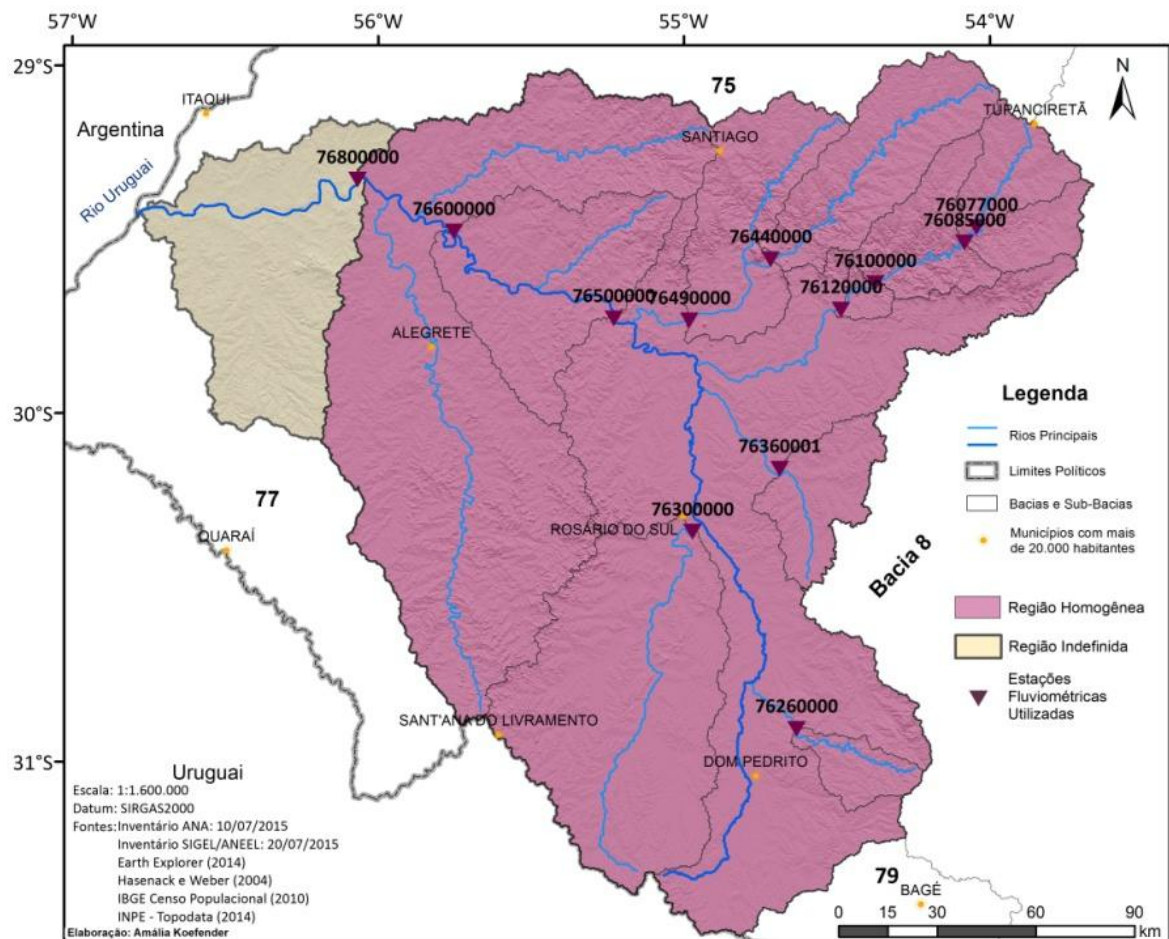
A área de validade destas equações, válidas para áreas de drenagem dentro dos limites de tamanho especificados na Tabela 5.7, está representada na Figura 5.11.



**Figura 5.11** Área de validade das equações de regionalização da vazão  $Q_{50\%}$  em três regiões homogêneas

Na definição de uma equação de regionalização da vazão  $Q_{50\%}$  para a sub-bacia 76, sem a subdivisão em regiões, os melhores resultados foram encontrados com os dados do MDE gerado a partir das curvas de Hasenack e Weber. A equação foi desenvolvida com dados de 12 postos fluviométricos e é válida para áreas de  $573\text{km}^2$  a  $42.486\text{km}^2$ . A área de validade da equação pode ser observada na Figura 5.12.

$$Q_{50\%} = 0,0049 \cdot A^{1,0776} \quad (5.4)$$



**Figura 5.12** Área de validade da equação de regionalização da vazão  $Q_{50\%}$  em uma região homogênea

### 5.5.2. VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{90\%}$

A regionalização da vazão de referência  $Q_{90\%}$  em três regiões homogêneas apresentou os melhores resultados com diferentes MDE em cada uma das regiões. A regressão dos dados da Região 3 apresentou o menor valor de desvio máximo percentual com o modelo TOPODATA e, de acordo com os parâmetros definidos na seção 4.7.2, estes resultados seriam os mais satisfatórios. Para melhor entendimento, os resultados aqui apresentados são referentes aos modelos de Hasenack e Weber e SRTM30. Na Região 3 o modelo SRTM30 obteve o menor valor para a soma de desvios absolutos e por isso este resultado será aqui apresentado.

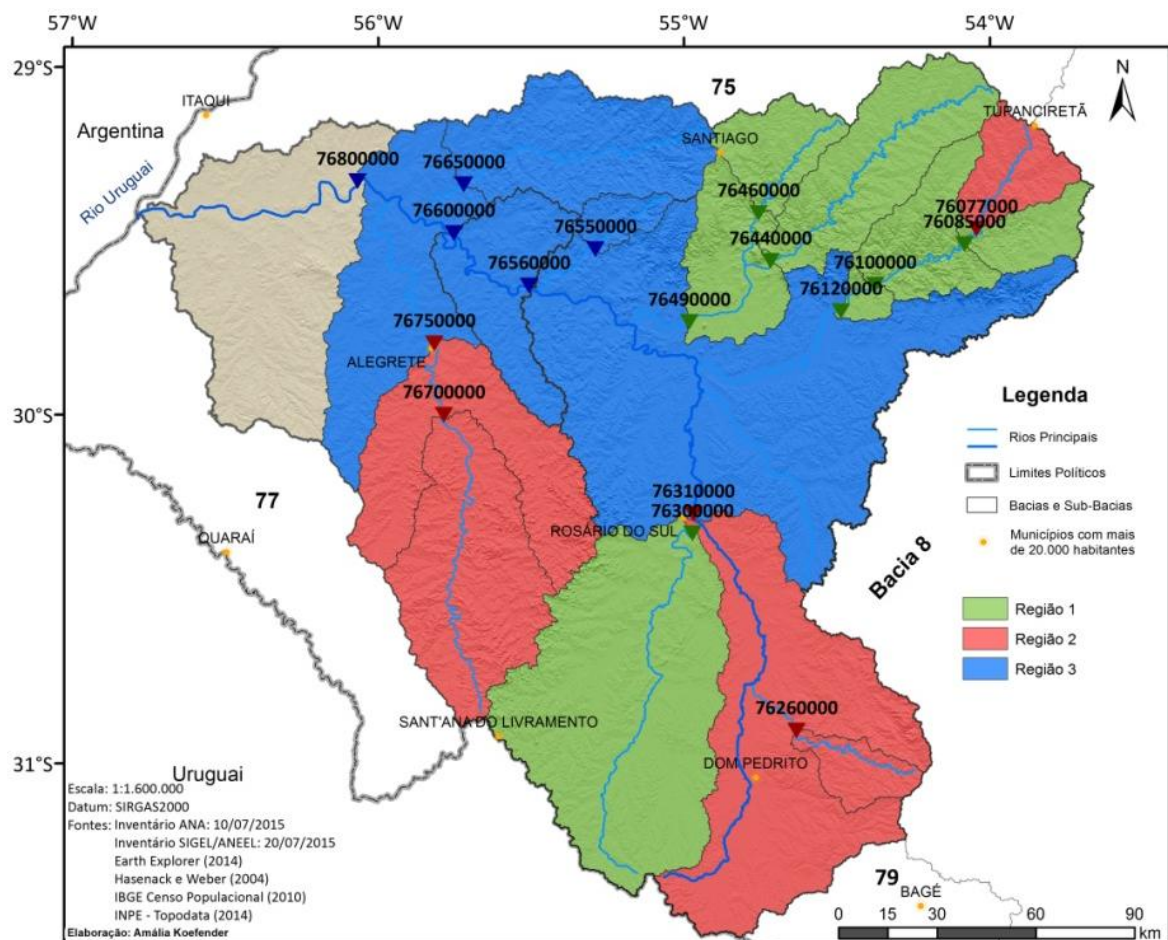
Obtendo os valores de área de drenagem a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM30, as melhores equações de regionalização da vazão  $Q_{90\%}$  encontradas para as regiões 1 e 3 foram:

$$Q_{90\% R1} = 0,0071 \cdot A^{0,8169} \qquad Q_{90\% R3} = 0,1350 \cdot A^{0,6273} \qquad (5.5 \text{ e } 5.6)$$

Com os valores de área de drenagem obtidos através do MDE gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber, a equação de regionalização da vazão de referência  $Q_{90\%}$  encontrada para a região homogênea 3 foi:

$$Q_{90\% R2} = 0,0012 \cdot A^{0,9897} \quad (5.7)$$

A área de validade das equações de regionalização da vazão  $Q_{90\%}$  em três regiões homogêneas está representada na Figura 5.13. Cada equação é válida para áreas de drenagem dentro do intervalo definido entre a menor e maior área de drenagem especificada na Tabela 5.8.

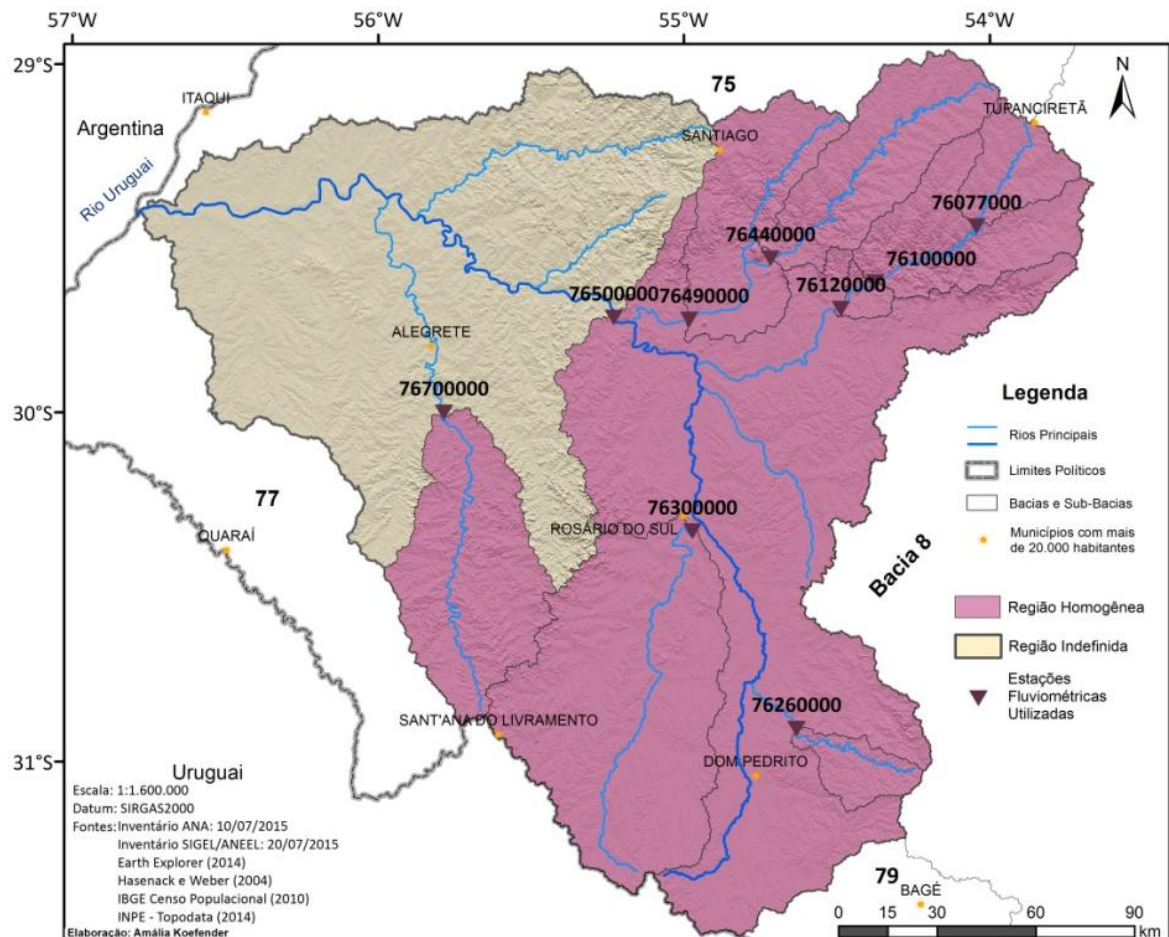


**Figura 5.13** Área de validade da equação de regionalização da vazão  $Q_{90\%}$  em três regiões homogêneas

A equação de regionalização da vazão de referência  $Q_{90\%}$  para uma região homogênea apresentou os melhores resultados com os valores de área calculados com base no modelo gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber. O desenvolvimento da equação utilizou os dados de 9 estações fluviométricas e o resultado é válido para bacias

entre 573km<sup>2</sup> e 27410km<sup>2</sup>, dentro da área de validade apresentada na Figura 5.14. A equação de regionalização da vazão Q<sub>90%</sub> nesta área é:

$$Q_{90\%} = 0,0006 \cdot A^{1,1098} \quad (5.8)$$



**Figura 5.14** Área de validade da equação de regionalização da vazão Q<sub>90%</sub> em uma região homogênea

### 5.5.3. VAZÃO DE REFERÊNCIA Q<sub>7,10</sub>

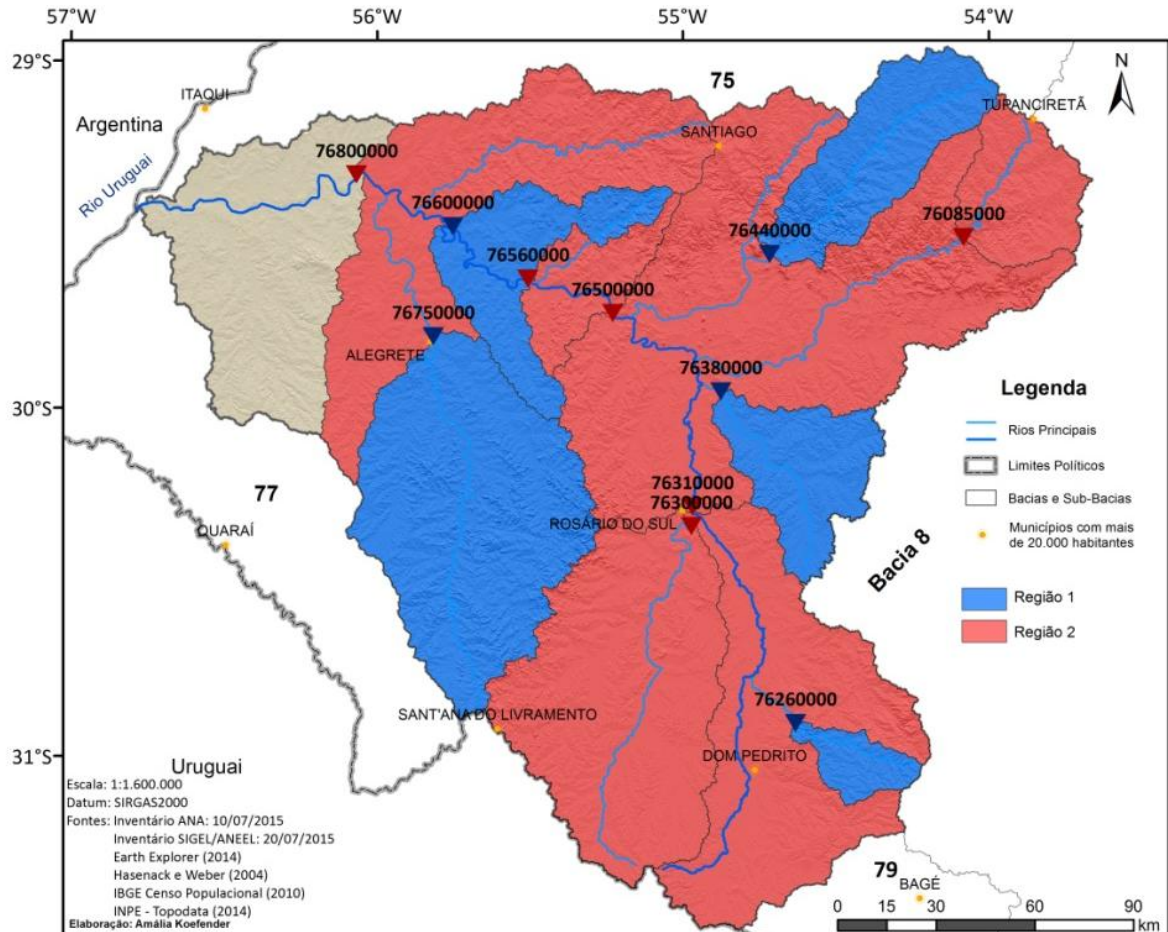
A regionalização da vazão Q<sub>7,10</sub> em duas regiões homogêneas apresentou os melhores resultados em dois diferentes MDE: SRTM30 e Hasenack e Weber. A equação de regionalização da vazão Q<sub>7,10</sub> na região homogênea 1, utilizando o modelo SRTM30 para a obtenção dos valores de área de drenagem é:

$$Q_{7,10-R1} = 2,03 \times 10^{-7} \cdot A^{1,8325} \quad (5.9)$$

Esta equação foi formulada com valores de área entre 576km<sup>2</sup> e 31045km<sup>2</sup>. A equação de regionalização da vazão de referência Q<sub>7,10</sub> para a segunda região homogênea, utilizando valores de área obtidos através do MDE desenvolvido a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber é apresentada abaixo. A equação é válida para áreas de drenagem

entre 1536km<sup>2</sup> e 42286km<sup>2</sup>. A Figura 5.15 representa as áreas de validades das equações 5.9 e 5.10.

$$Q_{7,10-R2} = 1,27 \times 10^{-9} \cdot A^{2,2434} \quad (5.10)$$

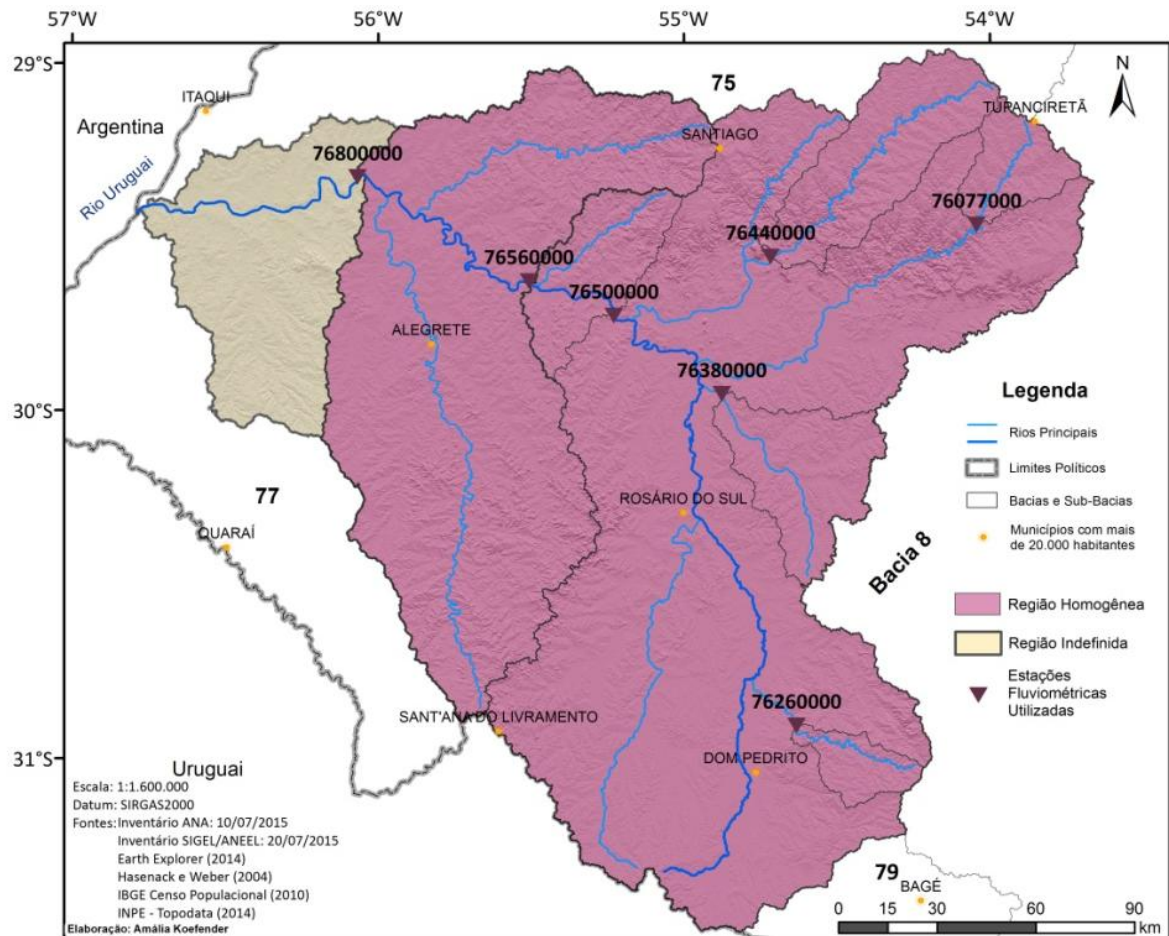


**Figura 5.15** Área de validade das equações de regionalização da vazão  $Q_{7,10}$  em duas regiões homogêneas

A vazão  $Q_{7,10}$  foi regionalizada em uma região homogênea gerando equações de regionalização. O melhor resultado foi encontrado utilizando os valores de área de drenagem obtidos como modelo ASTER GDEM. A equação foi encontrada utilizando os dados de 7 estações fluviométricas e é válida para locais com área de drenagem entre 329km<sup>2</sup> e 45037km<sup>2</sup>, dentro da área de validade apresentada na Figura 5.16. A equação de regionalização da vazão de referência  $Q_{7,10}$  encontrada com base nos valores de área de drenagem do modelo ASTER GDEM é:

$$Q_{7,10} = 4,71 \times 10^{-6} \cdot A^{1,4537} \quad (5.11)$$





**Figura 5.16** Área de validade da equação de regionalização da vazão  $Q_{7,10}$  em uma região homogênea

Como apresentado no Quadro 5.2, a seguir, o MDE gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber e o modelo SRTM30 forneceram os valores mais adequados de área de drenagem para o cálculo da vazão de referência na maior parte das simulações de regressão.

**Quadro 5.2** Resumo dos melhores MDE para obtenção dos valores de área de drenagem cada uma das regressões.

		$Q_{50\%}$	$Q_{90\%}$	$Q_{7,10}$
Regiões	1	SRTM30	SRTM30	SRTM30
	2	Hasenack e Weber	Hasenack e Weber	Hasenack e Weber
	3	Hasenack e Weber	TOPODATA	-----
Única		Hasenack e Weber	Hasenack e Weber	ASTER GDEM

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo visou fornecer subsídios para a gestão de recursos hídricos e facilitar a definição das vazões de referência na região da Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí.

As principais conclusões do presente trabalho são apresentadas a seguir, na forma de respostas para as perguntas dos objetivos específicos:

– Como construir e utilizar um diagrama unifilar para identificar e entender o comportamento sistemático da rede fluviométrica da sub-bacia 76?

O diagrama unifilar, resultante da análise do inventário da Agência Nacional de Águas e da Agência Nacional de Energia Elétrica, é uma ótima ferramenta para entender a distribuição da rede hidrometeorológica ao longo da sub-bacia 76. O diagrama pode servir de base para diversos tipos de estudo, pois nele se tornam mais evidentes os pontos onde as medições de vazão podem sofrer influência de barramentos a montante e quais medições de precipitação estão associadas a cada medição de descarga líquida. Além disso, o diagrama também informa: os valores de área e altitudes divulgados no inventário, aqueles calculados com base no modelo SRTM30; e a distância aproximada entre elementos da sub-bacia. A construção do diagrama unifilar também auxilia muito a consistência inventarial dos dados. A detalhada construção do diagrama pode ser vista em KOEFENDER (2015).

– Quais são as características do regime hídrico da sub-bacia 76, qual a distribuição temporal mensal da pluviosidade nas sub-bacias e as vazões dos cursos d'água das estações. Qual o ano hidrológico das sub-bacias e das estações fluviométricas?

No Rio Grande do Sul a distribuição de pluviosidade é bastante regular durante o ano. Por isso o ano hidrológico das estações fluviométricas utilizadas no estudo foi definido com base nos fluviogramas, montados com os bancos de dados da ANA. Entre as 20 estações utilizadas, 5 têm o ano hidrológico definido de maio a abril, e as outras 15 estações de abril a março. Com base na distribuição de vazões ao longo do ano, pode-se concluir que na sub-bacia 76 o período de cheias começa entre abril e maio, já o período seco começa mais perto do final do ano.

– Quantas estações fluviométricas cujas séries de dados atendem os requisitos mínimos para sua utilização no presente estudo?;

A sub-bacia 76 possui 32 estações fluviométricas com medição de descarga líquida, das quais somente 20 atenderam os pré-requisitos e foram utilizadas no estudo. Não fizeram parte do estudo as estações com menos de 5 anos consecutivos de dados e aquelas cujos dados de vazão não estavam disponíveis no HidroWeb da ANA.

– Como fazer a divisão das regiões com comportamento fluviométrico homogêneo para execução das simulações de regressões?;

Para a regionalização das vazões  $Q_{90\%}$  e  $Q_{50\%}$  foram definidas duas regiões homogêneas na sub-bacia 76. Como a regionalização da vazão  $Q_{7,10}$  foi realizada com menor número de estações, a divisão se deu em somente duas regiões homogêneas. As configurações utilizadas foram definidas a partir das curvas adimensionais de permanência, da localização das estações e de testes com diferentes agrupamentos.

– Como são as equações de regionalização das vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{50\%}$  na sub-bacia 76 e como se comportam as regressões utilizando os diferentes Modelos Digitais de Elevação?;

Foram encontradas equações de regionalização para as vazões de referência  $Q_{50\%}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{7,10}$  para a sub-bacia 76 na sua totalidade e com a divisão de regiões homogêneas. Para cada um dos casos foi definido o melhor Modelo Digital de Elevação para a obtenção dos valores de área de drenagem, variável explicativa utilizada nas equações. Os resultados finais são válidos dentro das áreas de abrangência apresentadas e devem fornecer desvios máximos menores de 25%. As três vazões de referência estudadas apresentaram resultados melhores com a divisão em regiões homogêneas, pois assim as equações foram formuladas utilizando dados de um maior número de estações.

Entre as 11 equações de regionalização desenvolvidas, 9 foram encontradas com base nos valores de área de drenagem dos modelos SRTM30 e aquele gerado a partir das curvas de nível de Hasenack e Weber. Ambos os modelos possuem 30m de precisão e podem ser obtidos gratuitamente. Sendo assim, recomenda-se a utilização destes modelos para estudos mais aprofundados de regionalização de vazões. É importante ressaltar que o Modelo Digital de Elevação SRTM30 abrange cerca de 80% da cobertura do Planeta,

enquanto a base cartográfica vetorial contínua de Hasenack e Weber foi desenvolvida somente para o estado do Rio Grande do Sul.

## 7 RECOMENDAÇÕES E LIMITAÇÕES

As principais limitações deste trabalho foram: As séries usadas foram consideradas estacionárias a priori; Não necessariamente o mesmo período foi usado em todas as análises; e somente foi testada uma regressão simples com equação do tipo potência. Outra limitação importante é a reprodução da metodologia em locais com poucos dados.

Assim, recomenda-se o aprofundamento destes estudos aqui apresentados visando sanar estas limitações. Por exemplo, analisando a não estacionariedade das séries, testando análises sempre com o mesmo período de dados, e testando outras formas de regressão. Outros indicadores também poderiam ser analisados, como a razão  $Q_{50\%}/Q_{90\%}$ , que pode influenciar a divisão da sub-bacia em regiões homogêneas. Também é interessante analisar até que ponto é válida a utilização da regionalização ao invés da modelagem hidrológica em uma bacia com muitos dados.

Por fim, recomenda-se a atualização das equações à medida que os bancos de dados hidrológicos aumentarem em disponibilidade temporal e espacial na bacia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Resolução nº662, de 29 de novembro de 2010. Estabelece procedimentos acerca das atividades de fiscalização do uso de recursos hídricos em corpos d'água de domínio da União exercidas pela Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2010/662-2010.pdf>>. Acesso em 20 set. 2015.

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

BAENA, L. G. N; DA SILVA, D. D; PRUSKI, F. F; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. Eng. Agríc., v. 24, p. 612-624, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162004000300013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000300013&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 20 set. 2015.

BECK, James Vere; ARNOLD, Kenneth J. **Parameter estimation in engineering and science**. James Beck, 1977. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qAYgYN87UQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=BECK,+J.+V.%3B+ARNOLD,+1977&ots=UkiIGZCA6n&sig=GT76ZBFEVT2QlvtrH2wDe8KD6kw&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qAYgYN87UQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=BECK,+J.+V.%3B+ARNOLD,+1977&ots=UkiIGZCA6n&sig=GT76ZBFEVT2QlvtrH2wDe8KD6kw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 20 nov. 2015.

BENETTI, A. D; LANNA, E; COBALCHINI, M.S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, p149-160, 2003. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/a1384f4f13ac47c26c76e5265737e49466e9e9e19e31efcbb5b22c97767577.pdf>>. Acesso em 20 set. 2015.

BONO, Leticia; BERLATO, Moacir Antonio. Tendência temporal da precipitação pluvial anual do Rio Grande do Sul. **Salão de Iniciação Científica (5.: 1993: Porto Alegre).[Resumos]. Porto Alegre: UFRGS, 1993.**, 1993. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/118103/000168714.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

BRASIL, Decreto n. 5.334, de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm)>. Acesso em: 30 set. 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a nº 7.990, de 28/12/1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 23 set. 2014.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Topodata. São José dos Campos, SP, 2011. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. SIGEL/ANEEL, Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. GeoNetwork opensource: limites estaduais do Brasil. Brasília, s.d. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm?7gqshfl1kdsrvccrb2ga21i05>> Acesso em: 05 dez. 2014.

BUARQUE, D.C; FAN, F. M; DA PAZ, A. R; COLLISCHONN W. Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, p. 91-103, 2009. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/d19ff6907cb63d2ddec3da58a317a9c43718398abda483bb78cc4b1c63ae540.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

BURIOL, Galileo A.; ESTEFANEL, Valduíno; FERREIRA, Mario. Cartas mensais e anual das chuvas do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 7, n. 1, 2008. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/revistaccr/index.php/RCCCR/article/view/214/218>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

CABRAL, B. Legislação Federal de Recursos Hídricos. Senado Federal, Brasília, 1997. Cadernos Legislativos nº 002/97.

CAMARA A. C. F. C. Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB). Porto Alegre: UFRGS. 2003. 219p.

CECÍLIO, R. A; COUTINHO, L. M; XAVIEL, A. C; MOREIRA, M. C; ZANETTI, S. S; GARCIA, G. DE O. Delimitação de Bacia Hidrográfica em Região Montanhosa a partir de Diferentes Modelos Digitais de Elevação. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, p. 2007-2024, 2013. Disponível em: <[http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10861/pdf\\_53](http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10861/pdf_53)>. Acesso em: 24 set. 2015.

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

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: ABRH, 336p, 2013.

COMITÊ IBICUI. Região Hidrográfica do Uruguai. 2015. Disponível em: <[http://www.comiteibicui.com.br/bh\\_002.php](http://www.comiteibicui.com.br/bh_002.php)>. Acesso em: 22 set. 2015.

CONERH/SE. Resolução nº01/2001 de 19 de abril de 2001. Sergipe, 2001.

CRUZ, J. C. Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de aspectos técnicos e conceituais. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2602/000323130.pdf>>. Acesso em 18 set. 2015.

DA SILVA, A. M; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 10,p. 374-380, 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662006000200019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000200019&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 17 set 2015.

DA SILVA, A. M; OLIVEIRA, P. M; MELLO, C. R; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 374-380, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a19.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2015.

DA SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. Revista Engenharia na Agricultura, v. 17, p. 392-403, 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/166/81>>. Acesso em: 17 set. 2015.

DA SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das Vazões Mínimas de Referência com a Adoção do Período Trimestral. Revista Engenharia na Agricultura, v.19, p. 224-254, 2011. Disponível em <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/309/168>>. Acesso em: 17 set. 2015.

DE PAIVA, J.B.D; DE PAIVA, E. M. C. D; GASTALDINI, M. C. C; IRION, C. A. O; DIAS, J. R; DA COSTA, L. C. M. Quantificação da demanda de água na bacia do rio Ibicuí – RS. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, p. 93 – 111, 2000. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/6851b6c910abb26b42b4f6367a47a92e\\_683fedd5aea0dee55071b4710bf66385.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/6851b6c910abb26b42b4f6367a47a92e_683fedd5aea0dee55071b4710bf66385.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2015.

DE SOUZA, C. H. W; BAZÍLIO, S; WRUBLACK, S. C; MERCANTE, E; VILAS BOAS, M. A. Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, através de dados SRTM. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 – 18 abril 2013, Anais... INPE, v. 1, p. 5515 – 5522, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0277.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

DINIZ, J. A. O.; BOMFIM, L. F. C.; FREITAS, M. A. de (Coord.). Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Recife: CPRM , 2014a. Escala 1:1.000.000. Programa de Cartografia Hidrogeológica. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=756&sid=9>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. de C. da; PAULA, T. L. F. de. Manual de cartografia hidrogeológica. Recife: CPRM, 2014b. 120 p. Programa de Cartografia Hidrogeológica. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=756&sid=9>>. Acesso em: 15 mai. 2015.

DOS SANTOS, C. A; ARAUJO, I. B; WANZELER, R. T. S; SERRÃO, E. A. O.; FARIAS, M. H. C.S; DE LIMA, A. M. M. Regionalização hidroclimatológica da bacia hidrográfica do rio tapajós.

Revista Geográfica Acadêmica, v.9, p. 32-51, 2015. Disponível em: <<http://revista.ufrr.br/index.php/rga/article/view/2929>>. Acesso em: 17 set. 2015.

EARTH explorer. Desenvolvido por U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2014. Permit your search in area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the help documentation), and/or choose a date range. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Manual de minicentrais hidrelétricas. Rio de Janeiro, 1985b.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro, 1985a. 202p.

FAN, F. M; COLLISCHONN, W; REGINATO, P. A. R. Simulação da Superfície de Equilíbrio de Água Subterrânea Aproximada em Escala Regional. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 263-276, 2014. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/e9a33ae03ad806a7d7023902bd8925dc\\_6f763d38c305b9d9e9726b6773078f6c.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/e9a33ae03ad806a7d7023902bd8925dc_6f763d38c305b9d9e9726b6773078f6c.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2015.

FARR, T. G; ROSEN, P. A; CARO, E; CRIPPEN, R; DUREN, R; HENSLEY, S; KOBRICK, M; PALLER, M; RODRIGUEZ, E; ROTH, L; SEAL, D; SHAFFER, S; SHIMADA, J; UMLAND, J; WERER, M; OSKIN, M; BURBANK, D; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, v. 45, n. 2, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2005RG000183>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

FOLETO, E. M; COSTA, F. S. A implantação dos instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul/Br. 12º Congresso da Água, do 16º Encontro Nacional de Engenharia Sanitária (ENASB) e do XVI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Portugal, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/34278>>. Acesso em: 23 set. 2015.

HARRIS, N. M.; GURNELL, A. M.; HANNAH, D. M.; PETTS, G. E. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: John Wiley & Sons, Hardcover: Hydrological Processes. 2000, v.14, p.2831-2848.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD). Disponível em: <[http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=123:base50krs&catid=14:download-non-visible](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=123:base50krs&catid=14:download-non-visible)> Acesso em: 23 Fev. 2015.

HIRT, C.; FILMER, M. S.; FEATHERSTONE, W. E. Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia. Australian Journal of Earth Sciences, Australia, v. 57, p. 337-347, 2010.



IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portaria Administrativa nº 010/98, Diário Oficial de Minas Gerais, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas Interativos. Brasília, 2013. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_interativos/](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_interativos/)>. Acesso em: 5 dez. 2014.

JENSON, S.K., DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 54, p. 1593-1600, 1988. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.138.6487&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

JUNIOR, O. B. S; BUENO, E. O; TUCCI, C. E. M; CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial da Regionalização da Vazão. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v8, p. 21-37, 2003. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/7f3a06b43f7476eb6faf67917ebe181b1432410afffc24f388e7f1d757688e9.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

KIRCHHEIM, R. E; FIGUEIRA, S. V. Diagnóstico Hidrogeológico na bacia do Ibicuí, RS: O SIAGAS como ferramenta de análise. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 17, 2012. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27716/17967>>. Acesso em 30 nov. 2015.

KOCH, A.; HEIPKE, C.; LOHMANN, P. Analysis of SRTM DTM–Methodology and practical results. The. In: International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Com. IV. 2002.

KOEFENDER, A. Como Baixar Imagens SRTM30 (2014), Mosaicar, Calcular Área de Drenagem, Extrair Altitude, Gerar MDE e Criar Mapa de Declividade. 2015. 29 p. Tutorial. Manual desenvolvido durante estágio no projeto de regionalização de vazões na CPRM-PA/GEHITE. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=F3E4C2A1EA29981A&resid=f3e4c2a1ea29981a%21222&app=WordPdf&wdo=1>>. Acesso em: 01 set. 2015.

KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. Análise de diferentes MDE no cálculo de área de drenagem e perímetro de Estações F e FD na Sub-Bacia 76. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21. 2015, Brasília. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2015. Artigos, p. 1-8. CD-ROM. Disponível em: <[https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg\\_aVgOZIN4UF9WdVFHSWc/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOZIN4UF9WdVFHSWc/view?usp=sharing)>. Acesso em: 23 set. 2015.

KOEFENDER, A.; MARCUZZO, F. F. N. A concepção de diagrama unifilar de bacia hidrográfica para estudos de interesse hidrológico: O passo a passo de como obter as informações, como montar o diagrama unifilar e como verificar e corrigir seus dados inventariais básicos. 2015b. 35 p. **Tutorial**. Manual desenvolvido durante estágio no projeto de regionalização de vazões na CPRM-PA/GEHITE. Porto Alegre, 2015b. Disponível em: <<https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=f3e4c2a1ea29981a&page=view&resid=F3E4C2A1EA29981A!236&parId=F3E4C2A1EA29981A!220&app=WordPdf&wacqt=undefined>>. Acesso em: 04 set. 2015.

LADEIRA NETO, José Francisco. Mapa de declividade em percentual do relevo brasileiro. Rio de Janeiro: CPRM, 2010. Disponível em:<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=1481&sid=9>>. Acesso em: 23 fev. 2015.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), v. 15, p. 4003, 2011. Disponível em:<<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.13.40/doc/p1537.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2015.

LISBOA, L; MOREIRA, M. C; DA SILVA, D. D; PRUSKI, F. F. Nota técnica - estimativa e regionalização das vazões mínimas e média na bacia do rio Paracatu. Revista Engenharia na Agricultura, v.16, p. 471-479, 2008. Disponível em:<<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/64/36>>. Acesso em: 17 set. 2015.

MACHADO J. L. F; FREITAS, M. A. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Relatório Final. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MACHADO, J. L. F; MARCUZZO, F. F. N. Aquíferos da bacia hidrográfica do rio Itajaí no estado de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2015. Disponível em:<[https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg\\_aVgOWEtLbVjXN0tHQ0U/view](https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgOWEtLbVjXN0tHQ0U/view)>. Acesso em: 21 out. 2015.

MATTIUZI, C. D. P. Estimativa de recarga a partir da separação de escoamento de base na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí/RS. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2013. Disponível em:<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/114603/000929416.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 dez. 2015.

MATTIUZI, C. D. P; KIRCHHEIM, R. COLLISCHONN, W; FAN, F. M. Estimativa da recarga a partir da separação de escoamento de base em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Ibicuí/RS. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 18, 2014. Disponível em:<<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28334/18438>>. Acesso em 30 nov. 2015.

MELATI, M. D. Regionalização das vazões Q95%, Q50% e Q7,10 para a sub-bacia do Taquari-Antas. 2015. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2015. Disponível em:<[https://drive.google.com/file/d/0B\\_S3etRxlVzVjBTSjlaek9NMWc/view](https://drive.google.com/file/d/0B_S3etRxlVzVjBTSjlaek9NMWc/view)>. Acesso em: 23 set. 2015.

MELATI, M. D; MARCUZZO, F. F. N. Modelos digitais de elevação na delimitação automática das sub-bacias do rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em:<[http://www.dsr.inpe.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=KgaHtEUnm6DH4CkDOF1MQVzMse2RN2I\\_jyHmFVm1xo](http://www.dsr.inpe.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=KgaHtEUnm6DH4CkDOF1MQVzMse2RN2I_jyHmFVm1xo)>. Acesso em: 25 set. 2015.

MELATI, M. D; MARCUZZO, F. F. N. Regionalização da  $Q_{7,10}$  na bacia do Taquari-Antas (RS) usando regressão simples e robusta: o problema da variável explicativa precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2015. Disponível em: <[https://drive.google.com/open?id=0B6T7sNg\\_aVgOWUg4MXhqeThWU00](https://drive.google.com/open?id=0B6T7sNg_aVgOWUg4MXhqeThWU00)>. Acesso em: 23 set. 2015.

MENDES, L. A. Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

MOHAMOUD, Y. M. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, v. 53, p. 706-724, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.53.4.706>>. Acesso em: 25 set. 2009.

MOREIRA, M. C. Comparação dos valores da  $Q_{7,10}$  estimados por diferentes métodos de regionalização de vazões. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.18, p. 522-528, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/204/144>>. Acesso em: 17 set. 2015.

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

MOREIRA, M. C; PRUSKI, F. F; DA SILVA, A. L; DA SILVA, D. D; DA SILVA, J. M. A. Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH). *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 20, p. 432-442, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/203/233>>. Acesso em: 17 set. 2015.

MOREIRA, M. C; PRUSKI, F. F; DA SILVA, A. L; DA SILVA, D. D; DA SILVA, J. M. A. Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos: estudo de caso para a bacia do ribeirão entre ribeiros. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.18, p. 419-428, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/viewFile/252/133>>. Acesso em: 17 set. 2015.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. CPRM, 2007. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=981&sid=36>>. Acesso em: 28 set. 2015.

NOSRATI, K; LAAHA, G; SHARIFNIA. S. A; RAHIMI, M. Regional low flow analysis in Sefidrood Drainage Basin, Iran using principal component regression. *Hydrology Research*, v. 46, p. 121-135, 2015. Disponível em: <[https://www.rali.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H85000/H85100/Publikationen/Nosrati\\_HYDROLOGY-D-13-00087.pdf](https://www.rali.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H85000/H85100/Publikationen/Nosrati_HYDROLOGY-D-13-00087.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2015.

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

OLIVEIRA, V. A. Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais. 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/13816>>. Acesso em: 02 out. 2015.

PAIVA, J. B. D; PAIVA, E. M. C. D; GASTALDINI, M. C. C; IRION, C. A. O; DIAS, J. R; COSTA, L. C. M. Quantificação da demanda de água na bacia do rio Ibicuí – RS. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, p. 93-111, 2000. Disponível em: <<http://comiteibicui.com.br/artigos/Quantificacao%20da%20Demanda%20de%20agua%20na%20Bacia%20do%20rio%20Ibicui%20-%20RS.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2015.

PANDEY, G. R; NGUYEN, V.-T.-V. A comparative study of regression based methods in regional flood frequency analysis. Journal of Hydrology, v 225, p. 92-101, 1999. Disponível em: <[http://ac.els-cdn.com/S0022169499001353/1-s2.0-S0022169499001353-main.pdf?tid=1e3425e8-6003-11e5-8f3a-00000aab0f6c&acdnat=1442800401\\_def7c14d8f2d37beb291782ed4d68337](http://ac.els-cdn.com/S0022169499001353/1-s2.0-S0022169499001353-main.pdf?tid=1e3425e8-6003-11e5-8f3a-00000aab0f6c&acdnat=1442800401_def7c14d8f2d37beb291782ed4d68337)>. Acesso em: 20 set. 2015.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Da Costa, Margarida Ragueira; Dantas, Carlos Eduardo de Oliveira; Melo, De Azambuja, Andressa Macêdo Silva; De Rezende, Denise Christina; Do Nascimento, Jean Ricardo da Silva; Dos Santos, André Luis M. Real; Farias, José Alexandre Moreira; Machado, Érica Cristina; Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Medeiros, Vanesca Sartorelli; Rodrigues, Paulo de Tarso R.; Weschenfelder, Adriana Burin; Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

PRUSKI, F. F; BOF, L. H. N; DA SILVA, L. M. C; DA SILVA, J. M. A; REGO, F. S; JUSTINO, F. B. Impact of the substitution of reference annual streamflow by monthly streamflow on the potential use of water resources. Engenharia Agrícola, v. 34, p. 496-509, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162014000300013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162014000300013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 23 set. 2015.

REGO, FERNANDO SILVA. Regionalização de vazões considerando a evapotranspiração real em seu processo de formação. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss\\_fernando\\_rego.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_fernando_rego.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2015.

RIBEIRO, M. M. R. Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso. Porto Alegre: IPH/URGS, 2000. 200p. Tese Doutorado.

RIBEIRO, M. M. R; LANNA, A. E. L. A Outorga Integrada das Vazões de Captação e Diluição. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, p. 151-168, 2003. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/ec01281b185a3f90c2dc5379521955cab3e671a77f3b9c29ae1fe02112cdce53.pdf>>. Acesso em 20 set. 2015.

SCHVARTZMAN, A. S; NASCIMENTO, N. O; VON SPERLING, M. Outorga e cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, p. 103-122, 2002. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2c2d40918ac0836ebe0ee008e212c7e0\\_b91299e174cd2e1e1ef743d7f32590e4.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2c2d40918ac0836ebe0ee008e212c7e0_b91299e174cd2e1e1ef743d7f32590e4.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2015.

SEMA. Processo de Planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí – Fases A e B. Processo Administrativo nº004714-0500/09.6, 2012. ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA Departamento de Recursos Hídricos - DRH/SEMA PROCESSO ADMINISTRATIVO nº 004714-0500/09.6. Disponível em: <[http://www.comiteibicui.com.br/planodabacia/documentos/rtf\\_ibicui.pdf](http://www.comiteibicui.com.br/planodabacia/documentos/rtf_ibicui.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2015.

SIMIONI, J. P. D; ROVANI, F. F. M; IENSSE, A. C; WOLLMANN, C. A. Caracterização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Ibicuí, RS. Revista do Departamento de Geografia, [S.l.], v. 28, p. 112-133, 2015. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/90008/92798>>. Acesso em: 23 Set. 2015.

SIMON F. W. Estimativa de recarga do aquífero Guarani na bacia do rio Ibicuí (RS) com base na aplicação do método de variação dos níveis de água. 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2014.

SIMON, F. W; PICKBRENNER, K; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do Regime Hídrico Pluvial e Fluvial em Bacia Hidrográfica com Precipitação Homogênea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/22de4a642c2c18259e4809409096e0ff6f2356d4ea7d3fcaba0d55bad04e4bea4.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

SOBRINHO, A. T; OLIVEIRA, P. T. S; RODRIGUES, D. B. B; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Engenharia Agrícola, v. 30, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>>. Acesso em: 24 set. 2015.

SOUZA R. M; DOS SANTOS, I; KOBAYAMA, M. O Modelo SWAT como Ferramenta de Gestão de Recursos Hídricos: Avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro. 2009. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/2901c93e840be59fe2e78a0f0c5c416f29ef2f82e652828373546e0b0e1d83fb.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.; COSTA, A. M. A alocação e o uso dos recursos hídricos no Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 1997, Vitória. Anais... Vitória: ABRH, 1997. CD Rom

TALLAKSEN, L. M. A review of baseflow recession analysis. Journal of hydrology, v. 165, n. 1, p. 349-370, 1995. Acesso em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216949402540R>>. Acesso em: 21 set. 2015.

TALON, G. DA C; KUNTSCHIK, G. Delimitação da rede de drenagem utilizando dados SRTM. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30/04 a 5/05 de 2011,

Anais... INPE, v. 1, p. 1271 – 1278. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1057.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre : Edusp, 1993.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Projeto Regionalização de Vazões Sub-Bacias 85, 86 E 87 integrantes da Bacia 8 - Atlântico sudeste**: relatório técnico. Santa Maria, 2001. v. 1.

USGS. Digital Elevation Model. 2015. Disponível em: <<http://geography.wr.usgs.gov/sfcreek/dem.html>>. Acesso em: 28 set. 2015.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. Applied Geography (Sevenoaks), v. 32, p. 300-309, 2011.

VOGEL, R.; FENNESSEY, N. Flow-Duration Curves. I: New Interpretation and Confidence Intervals. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 120, p. 485-504, 1994. Disponível em: <[http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1994\)120:4\(485\)](http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:4(485))>. Acesso em: 18 set. 2015.

WEBER, E; HASENACK, H; FERREIRA, C. J. S. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 24 set. 2015.

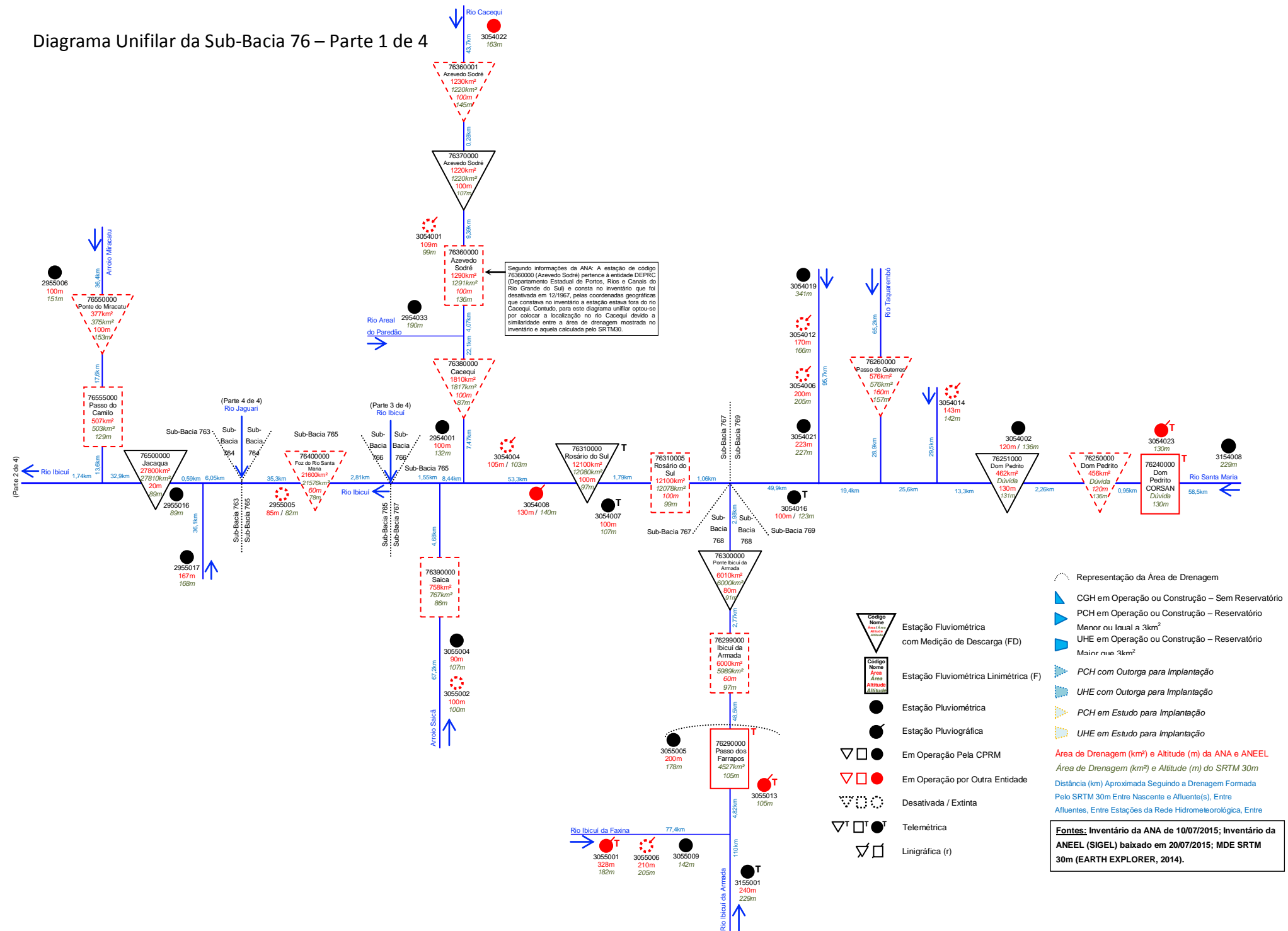
WESTERBERG, I. K; GONG, L; BEVEN, K. J; SEIBERT, J; SEMEDO, A; XU, C.-Y; HALLDIN, S. Regional water balance modelling using flow-duration curves with observational uncertainties. Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, p. 2993 – 3013, 2014. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/2993/2014/hess-18-2993-2014.html>>. Acesso em: 22 set. 2015.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. da C.; IGLESIAS, C. M. da F. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul: Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil; Mapas geológicos Estaduais. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. Hydrological Processes, Reino Unido, v. 14, p. 1909-1929, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1002/1099-1085\(20000815/30\)14:11/12<1909::AID-HYP45>3.0.CO;2-6](http://dx.doi.org/10.1002/1099-1085(20000815/30)14:11/12<1909::AID-HYP45>3.0.CO;2-6)>. Acesso em: 11 set. 2015.

## **APÊNDICE A**

Diagrama Unifilar da sub-bacia 76 dividido em quatro partes.



**Representação da Área de Drenagem**

- CGH em Operação ou Construção – Sem Reservatório
- PCH em Operação ou Construção – Reservatório
- Menor ou Igual a 3km<sup>2</sup>
- UHE em Operação ou Construção – Reservatório
- Menor ou Igual a 3km<sup>2</sup>
- PCH com Outorga para Implantação
- UHE com Outorga para Implantação
- PCH em Estudo para Implantação
- UHE em Estudo para Implantação

Área de Drenagem (km<sup>2</sup>) e Altitude (m) da ANA e ANEEL  
 Área de Drenagem (km<sup>2</sup>) e Altitude (m) do SRTM 30m  
 Distância (km) Aproximada Segundo a Drenagem Formada Pelo SRTM 30m Entre Nascente e Afluente(s), Entre Afluentes, Entre Estações da Rede Hidrometeorológica, Entre

**Fontes:** Inventário da ANA de 10/07/2015; Inventário da ANEEL (SIGEL) baixado em 20/07/2015; MDE SRTM 30m (EARTH EXPLORER, 2014).



Diagrama Unifilar da Sub-Bacia 76 – Parte 2 de 4

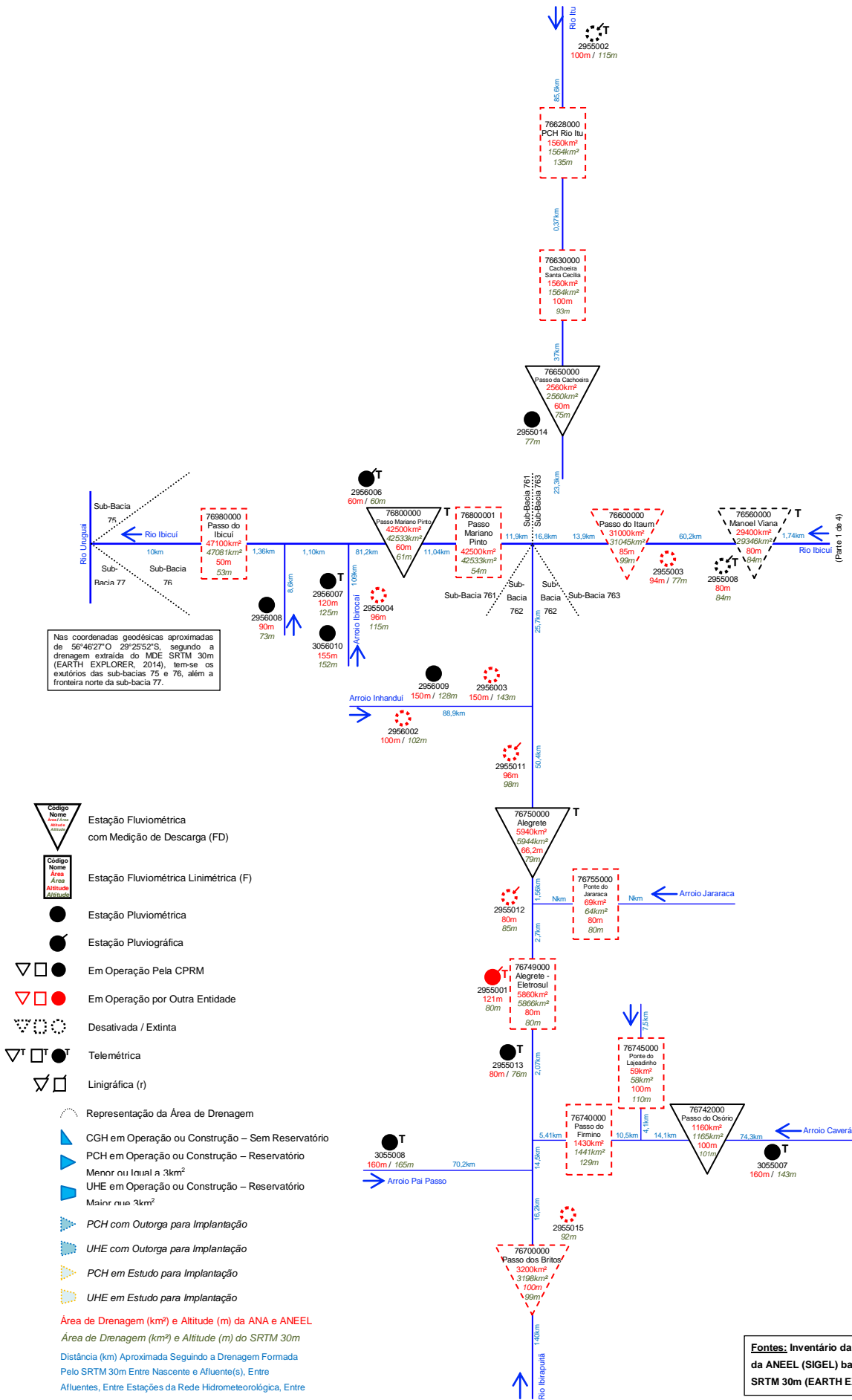


Diagrama Unifilar da Sub-Bacia 76 – Parte 3 de 4

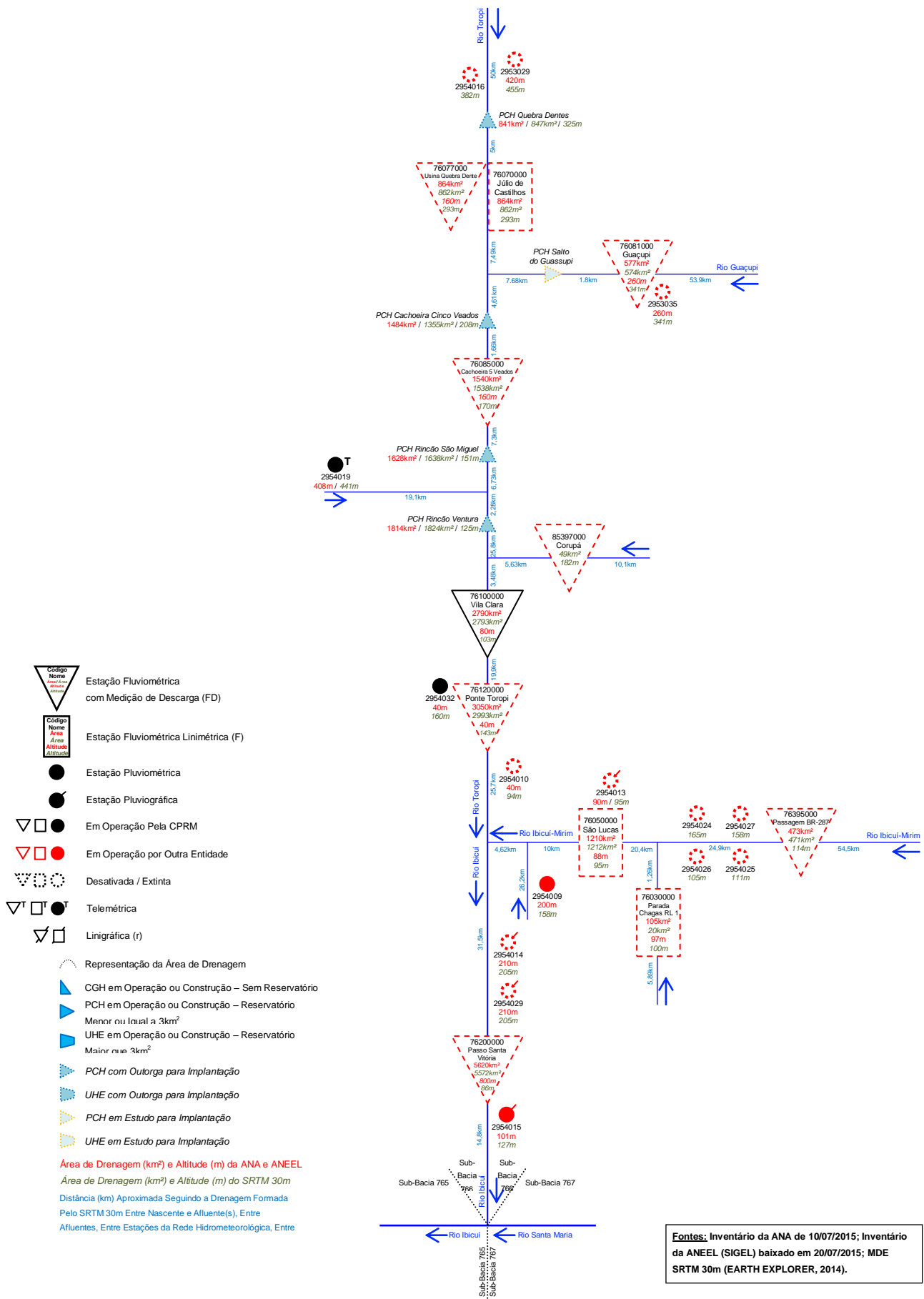
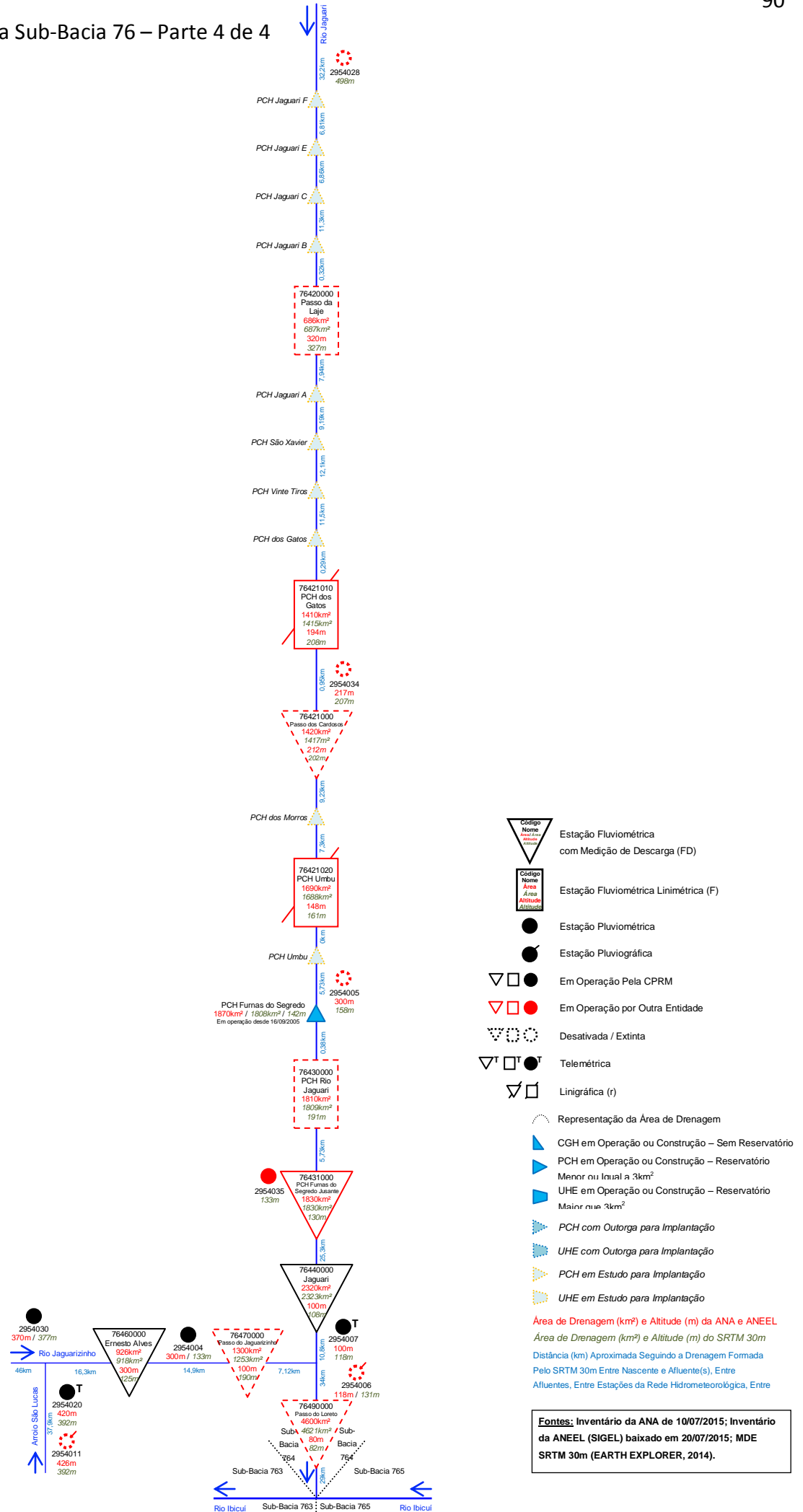


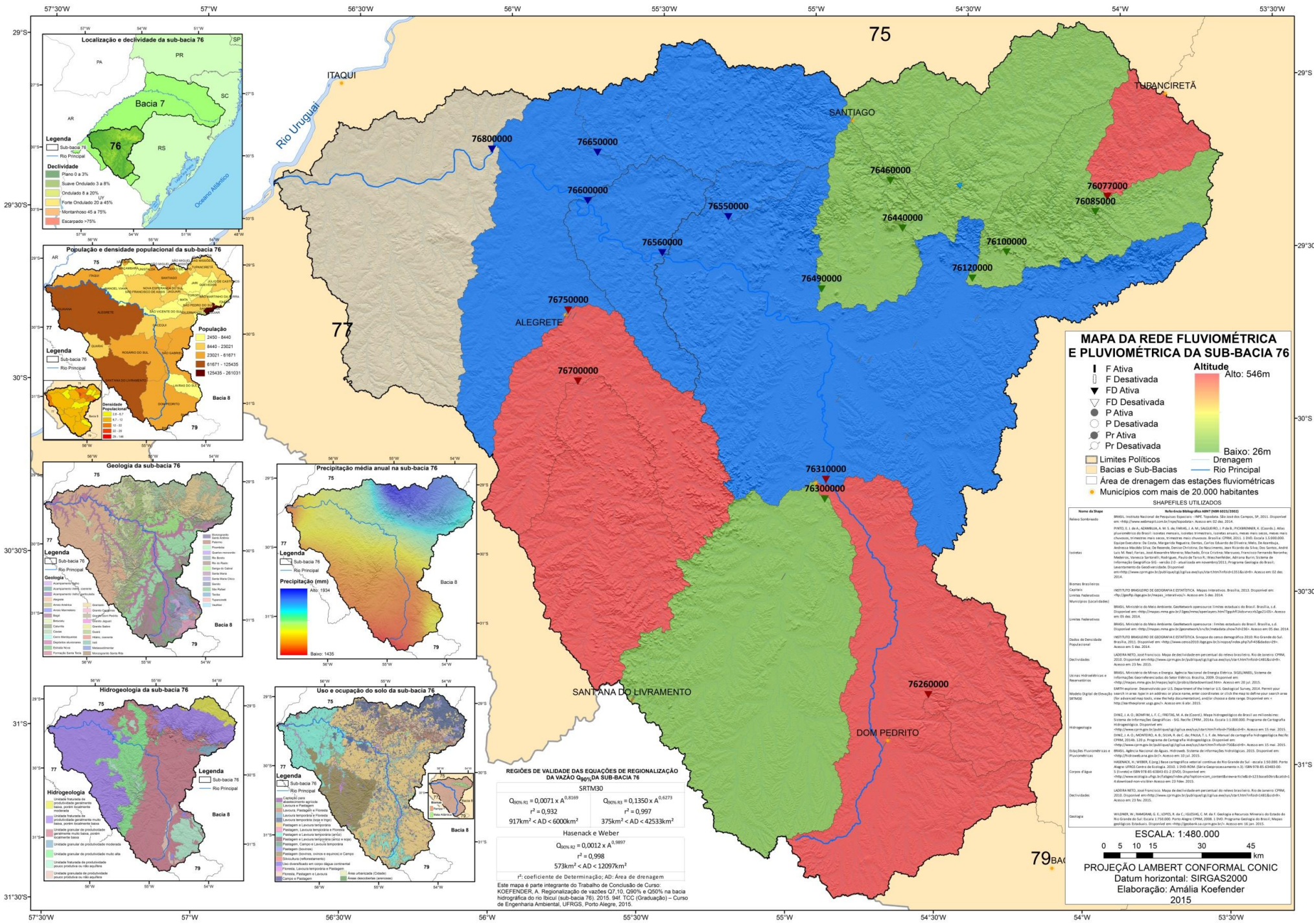
Diagrama Unifilar da Sub-Bacia 76 – Parte 4 de 4



## **APÊNDICE B**

Mapas com equações de regionalização e suas a regiões de validade.





**MAPA DA REDE FLUVIOMÉTRICA E PLUVIOMÉTRICA DA SUB-BACIA 76**

- F Ativa
  - F Desativada
  - FD Ativa
  - FD Desativada
  - P Ativa
  - P Desativada
  - Pr Ativa
  - Pr Desativada
- Altitude
- Alto: 546m
- Baixo: 26m
- Limites Políticos
  - Bacias e Sub-Bacias
  - Área de drenagem das estações fluviométricas
  - Municípios com mais de 20.000 habitantes
- Sub-bacia 76  
 Rio Principal

**SHAPEFILES UTILIZADOS**

**Nome do Shape** | **Referência Bibliográfica**

**Relação Sombreado**  
 BRASIL, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Topografia do Brasil (SRTM30). 2011. Disponível em: <http://www.srtm.cnes.com.br/Topografia/>. Acesso em: 02 de 2014.

**Índices**  
 PRATO, L. de A.; OLIVEIRA, A. de S.; DE SOUZA, R. de C.; DE SOUZA, J. de F. P. (2010) Índices de Qualidade Ambiental em Cidades: o caso de Curitiba. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBRSR 2010, 34 de Maio a 04 de Junho de 2010, Curitiba, Paraná. CD-ROM. Disponível em: <http://www.inpe.br/sbrrs2010/>. Acesso em: 15 de 2014.

**Índices de Densidade Populacional**  
 IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010: Resultados da Amostragem Domiciliar. Brasília, DF: IBGE, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acesso em: 15 de 2014.

**Declividade**  
 LAMBERTI, NETO, José Francisco. Mapa de declividade por percentual do relevo brasileiro. Rio de Janeiro: CENPE, 2010. Disponível em: <http://www.cenpe.org.br/producao/declividade.html>. Acesso em: 23 de 2015.

**Unidades Hidrográficas e Hidrometeorológicas**  
 BRASIL. Sistema de Unidades Hidrográficas e Meteorológicas do Brasil (SUDHIS). Sistema de Informações Geográficas do SUDHIS. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.sudhis.gov.br/>. Acesso em: 23 de 2015.

**Hidrografia**  
 DREH, L. A. O.; ANDRADE, L. C.; FREITAS, A. de C. (2014). Mapa hidrográfico do Brasil em microescala: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Recife: CPMA, 2014. Disponível em: <http://www.cpmar.gov.br/>. Acesso em: 15 de 2015.

**Estações Fluviométricas**  
 DREH, L. A. O.; ANDRADE, L. C.; FREITAS, A. de C.; FREITAS, A. de C.; FREITAS, A. de C. (2014). Programa de Integração Hidrológica - PIH. Recife: CPMA, 2014. Disponível em: <http://www.cpmar.gov.br/>. Acesso em: 15 de 2015.

**Correção de Fuso**  
 BRASIL. Agência Nacional de Águas - ANA. Sistema de Informações Hidrológicas - SIH. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/>. Acesso em: 23 de 2015.

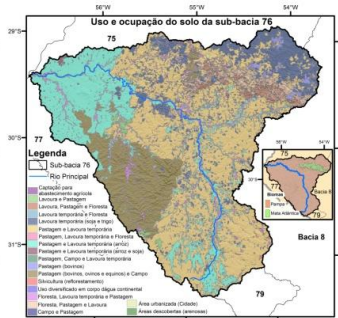
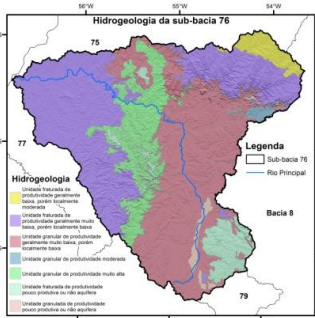
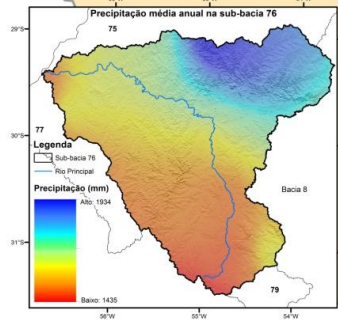
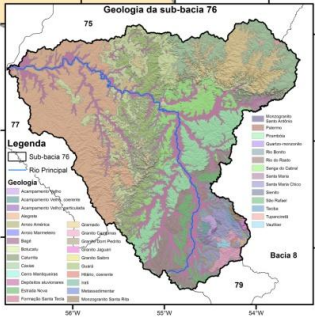
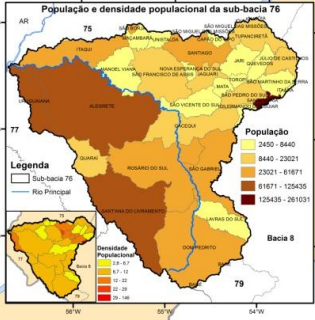
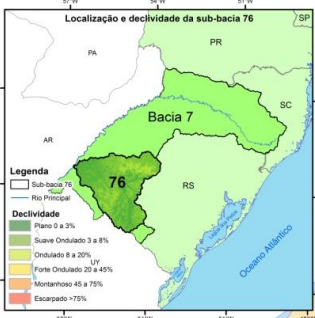
**Declividade**  
 LAMBERTI, NETO, José Francisco. Mapa de declividade por percentual do relevo brasileiro. Rio de Janeiro: CENPE, 2010. Disponível em: <http://www.cenpe.org.br/producao/declividade.html>. Acesso em: 23 de 2015.

**Geologia**  
 WILHELM, W.; RAMALHO, G. S.; DREH, L. A. O.; OLIVEIRA, A. de S.; DE SOUZA, R. de C. (2010). Programa de Integração Hidrológica - PIH. Recife: CPMA, 2010. Disponível em: <http://www.cpmar.gov.br/>. Acesso em: 15 de 2015.

**ESCALA: 1:480.000**

0 5 10 15 30 45 km

**PROJEÇÃO LAMBERT CONFORMAL CONIC**  
 Datum horizontal: SIRGAS2000  
 Elaboração: Amália Koeffender  
 2015



**REGIÕES DE VALIDADE DAS EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO Q<sub>95p</sub> DA SUB-BACIA 76**

**SRTM30**

$Q_{95p,0.1} = 0,0071 \times A^{0,8169}$       $Q_{95p,0.1} = 0,1350 \times A^{0,6273}$

$r^2 = 0,932$       $r^2 = 0,997$

$917\text{km}^2 < \text{AD} < 6000\text{km}^2$       $375\text{km}^2 < \text{AD} < 42533\text{km}^2$

**Hasenack e Weber**

$Q_{95p,0.2} = 0,0012 \times A^{0,9897}$       $r^2 = 0,998$

$573\text{km}^2 < \text{AD} < 12097\text{km}^2$

$R^2$ : coeficiente de Determinação; AD: Área de drenagem

Este mapa é parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso: KOEFENDER, A. Regionalização de vazões Q<sub>7,10</sub>, Q<sub>50%</sub> e Q<sub>95%</sub> na bacia hidrográfica do rio Itaquí (sub-bacia 76). 2015. SMI, TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS, Porto Alegre, 2015.



## **ANEXO A**

Tabelas completas com dados extraídos do inventário de 10 julho de 2015 da ANA.



<b>Codigo</b>	<b>Nome</b>	<b>LatitudeANA</b>	<b>LongitudeANA</b>	<b>AltitudeANA</b>	<b>AreaDrenANA</b>	<b>Telemetria</b>	<b>Situacao</b>	<b>Tipo</b>	<b>Operadora</b>
76030000	PARADA CHAGAS RL 1	-29,7333	-54,2833	97	105		Desativada	F	ANA
76050000	SÃO LUCAS	-29,75	-54,4333	88	1210		Desativada	F	DEPRC
76070000	JÚLIO DE CASTILHOS	-29,3833	-54,0167		864		Desativada	F	DNOS
76077000	USINA QUEBRA DENTE	-29,3833	-54,0167	160	864		Desativada	FD	ANA
76081000	GUAÇUPI	-29,4	-53,9833	260	577		Desativada	FD	ANA
76085000	CACHOEIRA 5 VEADOS	-29,4289	-54,0542	160	1540		Ativa	FD	CPRM
76100000	VILA CLARA	-29,5561	-54,3422	80	2790		Ativa	FD	CPRM
76120000	PONTE TOROPI	-29,6536	-54,43	40	3050		Desativada	FD	ANA
76200000	PASSO SANTA VITÓRIA	-29,8333	-54,8	800	5620		Desativada	FD	ANA
76240000	DOM PEDRITO/CORSAN	-30,9947	-54,6856		0	Telemétrica	Ativa	F	SEMA-RS
76250000	DOM PEDRITO	-30,9833	-54,6833	120	456		Desativada	FD	ANA
76251000	DOM PEDRITO	-30,9703	-54,6933	130	462		Ativa	FD	CPRM
76260000	PASSO DO GUTERRES	-30,8444	-54,5442	160	576		Desativada	FD	ANA
76290000	PASSO DOS FARRAPOS	-30,5183	-55,0431		0	Telemétrica	Ativa	F	SEMA-RS
76299000	IBICUÍ DA ARMADA	-30,3	-54,9167	60	6000		Desativada	F	ANA
76300000	PONTE IBICUI DA ARMADA	-30,2808	-54,9031	80	6010		Ativa	FD	CPRM
76310000	ROSÁRIO DO SUL	-30,2428	-54,9169	100	12100	Telemétrica	Ativa	FD	CPRM
76310005	ROSÁRIO DO SUL	-30,25	-54,9	100	12100		Desativada	F	ANA
76360000	AZEVEDO SODRÉ	-30,0667	-54,6333	100	1290		Desativada	F	DEPRC
76360001	AZEVEDO SODRÉ	-30,1	-54,6333	100	1230		Desativada	FD	ANA
76370000	AZEVEDO SODRÉ	-30,1056	-54,6375	100	1220		Ativa	FD	CPRM
76380000	CACEQUI	-29,9	-54,8333	100	1810		Desativada	FD	ANA
76390000	SAICA	-29,85	-54,95		758		Desativada	F	DEPRC
76395000	PASSAGEM BR-287	-29,665	-54,1067		473		Desativada	FD	ANA
76400000	FOZ DO RIO SANTA MARIA	-29,7833	-54,9333	60	21600		Desativada	FD	ANA
76420000	PASSO DA LAJE	-29,0833	-54,3	320	686		Desativada	F	ANA
76421000	PASSO DOS CARDOSOS	-29,2739	-54,4381	212	1420		Desativada	FD	Jaguari

76421010	PCH DOS GATOS	-29,2664	-54,4339	194	1410		Ativa	F	Hidrotérmica
76421020	PCH UMBU	-29,3311	-54,4992	148	1690		Ativa	F	Hidrotérmica
76430000	PCH RIO JAGUARI	-29,3667	-54,5		1810		Desativada	F	CEEE
76431000	PCH FURNAS DO SEGREDO JUSANTE	-29,3811	-54,5103		1830		Ativa	FD	Jaguari
76440000	JAGUARI	-29,4989	-54,6892	100	2320		Ativa	FD	CPRM
76460000	ERNESTO ALVES	-29,3625	-54,7353	300	926		Ativa	FD	CPRM
76470000	PASSO DO JAGUARIZINHO	-29,4833	-54,75	100	1300		Desativada	FD	ANA
76490000	PASSO DO LORETO	-29,6833	-54,95	80	4600		Desativada	FD	ANA
76500000	JACAQUA	-29,6853	-55,1981	20	27800		Ativa	FD	CPRM
76550000	PONTE DO MIRACATU	-29,4833	-55,2667	100	377		Desativada	FD	ANA
76555000	PASSO DO CAMILO	-29,5667	-55,3833		507		Desativada	F	ANA
76560000	MANOEL VIANA	-29,5942	-55,4814	80	29400	Telemétrica	Ativa	FD	CPRM
76600000	PASSO DO ITAUM	-29,45	-55,7333	85	31000		Desativada	FD	ANA
76628000	PCH RIO ITU	-29,1833	-55,4833		1560		Desativada	F	CEEE
76630000	CACHOEIRA SANTA CECÍLIA	-29,2	-55,4833	100	1560		Desativada	F	ANA
76650000	PASSO DA CACHOEIRA	-29,3094	-55,7058	60	2560		Ativa	FD	CPRM
76700000	PASSO DOS BRITOS	-29,9731	-55,7478	100	3200		Desativada	FD	ANA
76740000	PASSO DO FIRMINO	-29,85	-55,75		1430		Desativada	F	CEEE
76742000	PASSO DO OSÓRIO	-29,9503	-55,6025	100	1160		Ativa	FD	CPRM
76745000	PONTE DO LAJEADINHO	-29,8333	-55,6667	100	59		Desativada	F	ANA
76749000	ALEGRETE - ELETROSUL	-29,7833	-55,7667	80	5860		Desativada	F	Eletrosul
76750000	ALEGRETE	-29,7686	-55,7872	66,18	5940	Telemétrica	Ativa	FD	CPRM
76755000	PONTE DO JARARACA	-29,7833	-55,7667	80	69		Desativada	F	ANA
76800000	PASSO MARIANO PINTO	-29,3092	-56,0547	60	42500	Telemétrica	Ativa	FD	CPRM
76800001	PASSO MARIANO PINTO	-29,3	-56,05		42500		Desativada	F	Eletrosul
76980000	PASSO DO IBICUÍ	-29,4	-56,6833	50	47100		Desativada	F	ANA
85397000	CORUPÁ	-29,5508	-54,2483		0		Ativa	FD	MAGNA