

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

SABRINA KODJAOGLANIAN MARTINS MOLINA

DISPONIBILIDADE HIDRÍCA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO AMAMBAI -MS

CAMPO GRANDE

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**SABRINA KODJAOGLANIAN MARTINS MOLINA**

**DISPONIBILIDADE HIDRÍCA NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO AMAMBAI - MS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho  
Orientador – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Synara Aparecida Olendzki Broch

Campo Grande, MS

2012

## DEDICATÓRIA

*A Deus*

*Aos meus pais Jair e Elisa*

*Ao meu noivo Daniel*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e por me iluminar em mais uma caminhada.

Aos meus pais, que sempre me acompanharam e apoiaram em todas as decisões.

Ao meu irmão Pedro, pela contribuição e carinho.

Ao meu noivo Daniel, pelo amor e compreensão, que por muitas vezes me ouviu e me aconselhou sabiamente, e pela valiosa ajuda.

A minha querida amiga Suélen, pelo carinho e contribuição com seus conhecimentos.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais Jamil e Liliane, pelo ensino e dedicação na área de geoprocessamento.

Às doutorandas Isabel, Celina e Edilce pela valiosa ajuda e sábios conselhos.

Ao professor Doutor Teodorico Alves Sobrinho, pela valiosa orientação.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.1.1 Objetivos Específicos .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1 Bacia Hidrográfica .....	16
3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Amambai .....	16
3.2 Precipitação .....	19
3.2.1 Preenchimento dos dados .....	20
3.2.2 Análise de consistência .....	22
3.2.3 Interpoladores para espacialização da precipitação .....	22
3.3 Vazão mínima de referência.....	24
3.3.1 Vazão mínima de referencia – $Q_{7,10}$ .....	25
3.3.2 Curva de permanência.....	26
3.4 Regionalização hidrológica .....	26
3.4.1 Regionalização de vazão mínima baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação – Metodologia proposta por Chaves <i>et. al.</i> (2002) .....	27
3.4.2 Regionalização de vazão mínima baseada na interpolação linear – Metodologia da Vazão Específica .....	28

3.4.3	Regionalização por meio de equações de regressão – Metodologia proposta por Pereira (2004)	28
3.5	Comparação entre metodologias de regionalização	29
3.6	Gestão e outorga dos recursos hídricos	30
4.	METODOLOGIA	33
4.1	Caracterização da região de estudo	33
4.2	Características Físicas da Bacia Hidrográfica	34
4.3	Análise e seleção dos dados básicos	34
4.3.1	Estações pluviométricas	35
4.3.2	Estações fluviométricas	38
4.4	Preenchimento de Falhas e Análise de Consistência	40
4.5	Análise do comportamento pluviométrico	40
4.6	Vazão média	41
4.7	Vazões mínimas	44
4.8	Regionalização Hidrológica de vazões mínimas	46
4.8.1	Metodologia baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambientes de sistemas de informações geográficas	46
4.8.2	Metodologia baseada no princípio da vazão específica	48
4.8.3	Metodologia proposta por Pereira (2004)	49
4.9	Comparação entre as metodologias de regionalização de vazão	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	Características Físicas da Bacia Hidrográfica	52
5.2	Análise do comportamento pluviométrico	52
5.3	Vazão média nos afluentes do Rio Amambai	64
5.4	Vazão Mínima	67
5.4.1	Vazão mínima anual – $Q_{7,10}$	67
5.4.2	Vazões mínimas de 90% e 95% de permanência no tempo - $Q_{90}$ e $Q_{95}$	71

5.5	Regionalização de vazão mínima baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação – Metodologia proposta por Chaves <i>et al.</i> (2002) .....	73
5.5.1	Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral.....	73
5.5.2	Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual .....	76
5.6	Regionalização de vazão mínima baseada na interpolação linear – Metodologia da Vazão Específica .....	77
5.6.1	Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral.....	77
5.6.2	Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual .....	79
5.7	Regionalização por equações de regressão .....	80
5.7.1	Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral.....	80
5.7.2	Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual .....	83
5.8	Comparação entre as metodologias de regionalização de vazão mínima .....	84
6.	CONCLUSÕES .....	86
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da região de estudo. ....	33
Figura 2 - Mapa de localização das estações pluviométricas. ....	37
Figura 3 - Mapa de localização das estações fluviométricas selecionadas.....	39
Figura 4 - Localização do Rio Amambai e seus afluentes. ....	52
Figura 5 - Espacialização da precipitação média anual na Bacia. ....	53
Figura 6 - Espacialização da precipitação média mensal de Janeiro. ....	54
Figura 7 - Espacialização da precipitação média mensal de Fevereiro. ....	55
Figura 8 - Espacialização da precipitação média mensal de Março. ....	55
Figura 9 - Espacialização da precipitação média mensal de Abril. ....	56
Figura 10 - Espacialização da precipitação média mensal de Maio. ....	56
Figura 11 - Espacialização da precipitação média mensal de Junho. ....	57
Figura 12 - Espacialização da precipitação média mensal de Julho.....	57
Figura 13 - Espacialização da precipitação média mensal de Agosto. ....	58
Figura 14 - Espacialização da precipitação média mensal de Setembro. ....	58
Figura 15 - Espacialização da precipitação média mensal de Outubro. ....	59
Figura 16 - Espacialização da precipitação média mensal de Novembro. ....	59
Figura 17 - Espacialização da precipitação média mensal de Dezembro.....	60
Figura 18 - Comportamento das precipitações médias mensais na bacia e seus respectivos valores máximos e mínimos. ....	61
Figura 19 - Precipitação média anual em função das áreas de drenagem das estações fluviométricas ao longo do rio principal.....	62
Figura 20 - Precipitação média anual nas áreas de drenagem dos afluentes e da área de drenagem da bacia (estação Naviraí). ....	63
Figura 21 - Proporção da contribuição potencial dos afluentes do Rio Amambai.....	64
Figura 22 - Proporção da contribuição real dos afluentes do Rio Amambai.....	65
Figura 23 - Vazão específica média de longa duração nos afluentes e no Rio Amambai.....	66
Figura 24 - Coeficiente de deságue nos afluentes e no rio principal da bacia do Amambai....	66
Figura 25 - Distribuição da $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64700000. ....	68



Figura 26 - Distribuição da $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64715001. ....	69
Figura 27 - Distribuição da $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64717000. ....	70
Figura 28 - Curvas de permanência, sendo: A) Estação 64700000; B) Estação 64715001; e C) Estação 64717000. ....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazão máxima outorgável descritas por diferentes órgãos gestores.....	32
Tabela 2 - Identificação das estações pluviométricas pré-selecionadas para o estudo, com seus referidos códigos, nome da estação, Município, Estado, longitude e latitude.....	36
Tabela 3 - Diagrama de barras das estações pluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Amambai e identificação do período base.....	38
Tabela 4 - Identificação das estações fluviométricas utilizadas no estudo com seus referidos códigos, nome da estação, município, estado, longitude e latitude. ....	38
Tabela 5 - Diagrama de barras das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Amambai e identificação do período base.....	39
Tabela 6 - Precipitação média, máxima e mínima mensal (mm). ....	54
Tabela 7 - Valores de $Q_{7,10}$ obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64700000. ....	68
Tabela 8 - Valores de $Q_{7,10}$ obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64715001. ....	69
Tabela 9 - Valores de $Q_{7,10}$ obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64717000. ....	71
Tabela 10 - Vazão mínima $Q_{7,10}$ obtida por análise probabilística das séries observadas nas estações fluviométricas ( $Q_{7,10}$ obs, $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10}$ est, $m^3/s$ ), utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG, para os períodos trimestrais e anuais.....	75
Tabela 11- Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima $Q_{7,10}$ estimados por regionalização utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistema de informação geográfica. ....	75
Tabela 12 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ obs, $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$ obs, $m^3/s$ ), e estimadas por regionalização de 90% ( $Q_{90}$ est, $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$ est, $m^3/s$ ), utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG. ....	76
Tabela 13 - Vazões mínimas $Q_{7,10}$ obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas ( $Q_{7,10}$ obs, $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10}$	

est, m <sup>3</sup> /s), metodologia da vazão específica baseada na interpolação linear, para os períodos trimestrais e anuais.....	78
Tabela 14 - Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima Q <sub>7,10</sub> estimados por regionalização utilizando metodologia da vazão específica baseada em interpolação linear.....	78
Tabela 15 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% (Q <sub>90</sub> obs, m <sup>3</sup> /s) e 95% (Q <sub>95</sub> obs, m <sup>3</sup> /s), e estimadas de 90% (Q <sub>90</sub> est, m <sup>3</sup> /s) e 95% (Q <sub>95</sub> est, m <sup>3</sup> /s), utilizando metodologia da vazão específica, para períodos anuais. ....	79
Tabela 16 - Ajuste de modelos de regressão, proposto por Pereira (2004), para a representação da vazão mínima Q <sub>7,10</sub> em função da área de drenagem e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ), para períodos trimestral e anual, considerando série 1984 a 2010. ....	80
Tabela 17 - Vazões mínimas Q <sub>7,10</sub> obtidas por análises probabilísticas (Q <sub>7,10</sub> obs, m <sup>3</sup> /s) e estimadas por regionalização (Q <sub>7,10</sub> est, m <sup>3</sup> /s), metodologia proposta por Pereira (2004), para os períodos trimestral e anual.....	82
Tabela 18 - Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima Q <sub>7,10</sub> estimados por regionalização proposto por Pereira (2004). ....	82
Tabela 19 - Ajuste de modelo de regressão, proposto por Pereira (2004), para a representação da vazão mínima de permanência 90% e 95% em função da área de drenagem e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ), para o período anual, considerando série de 1984 a 2010.....	83
Tabela 20 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% (Q <sub>90</sub> obs, m <sub>3</sub> /s) e 95% (Q <sub>95</sub> obs, m <sup>3</sup> /s), e estimadas por regionalização de 90% (Q <sub>90</sub> est, m <sup>3</sup> /s) e 95% (Q <sub>95</sub> est, m <sup>3</sup> /s), metodologia proposta por Pereira (2004), para períodos anuais. ....	84
Tabela 21 - Comparação entre metodologias de Chaves <i>et al.</i> (2002), vazão específica, e Pereira (2004), por erro relativo(%), erro médio(%) e Coeficiente de Nash e Sutcliffe para vazões Q <sub>7,10</sub> , Q <sub>95</sub> e Q <sub>90</sub> , considerando o período de 1984 a 2010. ..	85

## RESUMO

MOLINA, S. K. M. (2012). *Disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Amambai – MS*. Campo Grande, 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Caracterizou-se a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Amambai. Para tanto foram estudadas as precipitações médias anual e mensal, a contribuição potencial e real para os afluentes diretos do rio principal; as vazões mínimas de referência  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ; regionalização de vazões mínimas  $Q_{7,10}$ , considerando os períodos anual e trimestral,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , considerando período anual, com base nas metodologias: interpolação e extrapolação de vazão; vazão específica e equações de regressão. Pode-se concluir que as precipitações e vazões específicas médias diminuem da nascente para a foz da bacia. As sub-bacias com maiores contribuições potencial e real para a formação da vazão do Rio Amambai, são: Rio Verde, Córrego Guaembeperi e Rio Piratinim. Os maiores coeficientes de deságue são constatados nos Rio Taquara e Córrego Saljú, e apresentam crescimento gradual na taxa para os afluentes da margem direita do Rio Amambai. As funções de distribuições de probabilidades apresentam melhores resultados para as funções Log-Normal e Gama. As vazões mínimas, para os períodos anuais, estimadas pelos três métodos de regionalização apresentam melhores resultados de erros médios e coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe para a permanência de 95% no tempo. Comparando os métodos de regionalização de interpolação e extrapolação e vazão específica, é possível notar resultados constantes entre si para os períodos trimestral e anual. O melhor método de regionalização estudado é o obtido por equações de regressão.

Palavras-Chave: regionalização de vazão, precipitação e vazão mínima de referência.

## ABSTRACT

MOLINA, S. K.M. (2012). *Water availability in Amambai River's Basin* – MS. Campo Grande, 2012. 89 p. Master Dissertation – Federal University of Mato Grosso do Sul. Brazil (in Portuguese).

Characterized water availability in Amambai River's Basin. To that end was studied the annual and monthly average rainfall, potential and real contributions for the direct tributary of the main river; the minimum reference outflows  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$ ; regionalization of flow flows  $Q_{7,10}$ , considering annual and quarterly periods,  $Q_{90}$  and  $Q_{95}$ , considering annual period, based on the methodology: interpolation and extrapolation of flow; specific yield flow and regression equations. It was concluded that rainfall and mean specific yield flow decreases from river head toward its mouth of the basin. The sub-basins with highest potential and real contributions for the formation of the flow of Amambai River are: Verde River, Guaembeperi Stream and Piratinim River. The highest outlet coefficient are showed in Taquara River and e Saljú Stream, and represents gradual increases rate to the affluent of the right bank of Amambai River. The probability distribution functions shows best results for the Log-Normal and Gama functions. The low flows for the annual periods, estimated with the three regionalization methods, shows best results of mean error and Nash and Sutcliffe's efficiency coefficient, for the duration of 95%. Comparing regionalization methods of interpolation and extrapolation and specific outflow, it's possible to notice constant results between quarterly and annual periods. The best regionalization method studied is the one resulted from regression equations.

**Key-words:** Hydrologic regionalization, rainfall and minimum reference outflows.

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem de domínio público, um recurso limitado e dotado de valor econômico (Lei 9.433/97), um bem insubstituível à manutenção da vida, que circula na Terra sob o processo natural do ciclo hidrológico. A precipitação é a fase deste ciclo em que a água da atmosfera chega à superfície da terra. O estudo quantitativo da sua variabilidade espacial deve ser compreendido, sobre regiões, para o eficiente planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (Salgueiro & Montenegro, 2008).

A precipitação apresenta grande influência sobre o clima de uma determinada região, interferindo em alternâncias no rendimento de culturas (Silva *et al.*, 2003) e na disponibilidade hídrica, sendo mais notada em regiões do bioma da caatinga (seca). Em relação às vazões mínimas, a grande influência pode ser referida a mudanças no regime dos cursos d'água, seja por adução, construção de reservatórios, barragens, assoreamento ou até mesmo em mudanças relativas ao uso e ocupação do solo da região. Logo, entendendo a dinâmica da disponibilidade hídrica é possível realizar o planejamento para os vários usos dos recursos hídricos, proporcionando atendimento concomitante a todas as atividades dependentes do mesmo.

A lei 9.433, de oito de janeiro de 1997 (Brasil, 1997), institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e apresenta como um de seus instrumentos a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, contemplando assegurar o controle quantitativo e qualitativo, proporcionando os usos múltiplos das águas.

Para os rios com regime perene ou permanentes, a outorga é usualmente baseada em vazões mínimas de referência com sete dias de duração e período de retorno de dez anos –  $Q_{7,10}$ , ou em vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) do tempo, e corriqueiramente utilizadas em estudos de disponibilidade hídrica para o uso da água, sendo outorgada somente uma porcentagem desta vazão.

A implantação e operação de estações de monitoramento pluviométrica e fluviométrica em uma bacia hidrográfica são de alto custo. Para que os dados históricos tenham boa representatividade estatística são necessários vários anos de registro. Como o Brasil é um país de grande superfície e o custo de implantação e operação de uma rede densa pode ser alto, é comum encontrar reduzido número de postos numa região com séries apresentando diferentes extensões temporais (Eletrobrás, 1985a).

A problemática é a baixa densidade de estações de monitoramento existentes nas bacias hidrográficas para a realização de estudos relacionados à disponibilidade hídrica.

A regionalização de vazões mínimas é uma alternativa que pode cobrir as falhas da falta de estações em determinadas regiões, porém não poderá representar a vazão real do curso d'água, sendo utilizada somente como norteadora da porcentagem definida para a outorga dos recursos hídricos.

As vazões de referência para a concessão de outorga são obtidas para o período anual, contudo, quanto maior é a variação da vazão durante o ano, mais comprometida à representatividade da vazão de referência. Considerando a sazonalidade do período anual é possível um melhor ajuste que atenda a cada período, não sendo a vazão mínima do período mais seco limitante para a outorga de um período mais chuvoso.

Neste trabalho, caracterizou-se a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Amambai referente aos dados de precipitação média anual e mensal, vazão específica média anual, coeficiente de deságue, vazão mínima anual com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, para os períodos trimestral e anual e vazões associadas às permanências de 95% e 90% para o período anual, fomentando a regionalização das vazões mínimas para três metodologias distintas, selecionadas segundo a realidade da região de estudo, e comparadas entre si para adoção do melhor método.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Amambai.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Estudar as precipitações na bacia e suas contribuições em cada afluente direto;
- Estudar as proporções de contribuição da vazão média de longo período para os afluentes na formação da vazão do rio principal;
- Determinar as vazões mínimas anuais de referência  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ ;
- Regionalizar as vazões mínimas de referência com base nas metodologias de interpolação e extrapolação de vazão mínima, vazão específica e baseada no uso de equações de regressão.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Bacia Hidrográfica**

A bacia hidrográfica é definida como a área que drena as precipitações pluviométricas para o curso d'água mais próximo, constituindo a rede hidrográfica, formada por um rio principal e seus afluentes. É delimitada por divisores de águas (regiões com topografia mais elevada em torno da rede hidrográfica).

Lima & Zakia (2000) definem bacia hidrográfica como sistemas abertos que recebem energia por meio de agentes climáticos, e perdem energia por deflúvio, descritas por variáveis independentes oscilantes em torno de um padrão. Acrescenta, também, o conceito geomorfológico em uma abordagem sistêmica.

Segundo a Lei 9.433 (Brasil, 1997), a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Sob a ótica da Lei, a bacia hidrográfica é definida como a unidade territorial para a realização de estudos referentes ao entendimento da disponibilidade hídrica, embasando o planejamento e gestão, assim, proporcionando os usos múltiplos das águas.

A bacia do Amazonas é a maior bacia hidrográfica do Brasil, apresentando 72% da vazão nacional, e em segundo lugar a bacia do Paraná com cerca de 6%.

##### **3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Amambai**

De acordo com a caracterização das regiões do estado do Mato Grosso do Sul, realizada pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado, apresentada no Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento do Estado de Mato Grosso do Sul (SEMAC, 2011), a bacia Amambai compreende partes das seguintes regiões: Região Sul-Fronteira; Região Cone-Sul; e Região da Grande Dourados. As regiões envolvendo os Municípios pertencentes à bacia Amambai são descritas utilizando o Caderno Geoambiental (SEMAC, 2011).

### 3.1.1.1 Região Sul-Fronteira

A Região Sul-Fronteira situa-se na fronteira com a República do Paraguai, dentro da bacia Amambai. Abrange os municípios de Amambai, Aral Moreira, Coronel Sapucaia, Laguna Carapã e Ponta Porã.

O clima de toda a região é predominantemente úmido, com temperaturas médias de 22°C e precipitação pluviométrica entre 1.400 a 1600 mm por ano.

No município de Amambai são encontrados os tipos de solo: Neossolo Quartzarênico, excessivamente drenados, mas com baixa capacidade de retenção de água, com ocorrência no Centro-Sul do município; e Latossolo Vermelho Distroférico, bem drenado, altamente intemperizado, porosidade alta (60%) a muito alta (69%), muito profundo, sendo encontrado em regiões planas ou de suaves ondulações.

A pastagem plantada representa quase 80% da área de vegetação do município, porém apresenta expressiva vegetação natural de Cerrado Parque (Campo Sujo), onde também revela menores porções da Floresta Estacional Semidecidual de caráter interfluvial.

O clima do município é úmido, caracterizado como Subtropical do Sul do Mato Grosso do Sul, apresenta índice de umidade relativa de 20% a 60%, e a precipitação pluviométrica anual varia entre 1.750 a 2000 mm, com excedente hídrico de 1.200 a 1400 mm durante sete a oito meses, e deficiência de 200 a 350 mm durante os outros três meses do ano.

A geologia do município de Amambai apresenta rochas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral), período Cretáceo, Grupo Bauru (Formação Caiuá) e Quaternário Holoceno, Aluviões Atuais.

A bacia hidrográfica Amambai possui a maior área, dentro dos municípios pertencentes a ela, no município de Amambai (2.700 km<sup>2</sup>), com cerca de 64% de ocupação da área total do mesmo.

O município de Aral Moreira é a única região que está completamente inserida na área da bacia Amambai, com 1.600 km<sup>2</sup> apresenta a segunda maior ocupação.

Em Aral Moreira o solo predominante é o Latossolo Vermelho, com pouca presença de Nitossolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Neossolo Quartzarênico. O Latossolo Vermelho possui característica de ser bem drenado e acentuadamente drenado, profundo e muito profundo, friável e bastante poroso.

A cobertura vegetal predominante é a lavoura, a Oeste existem áreas de pastagens plantadas, há pouca presença da Floresta Estacional, vegetação natural.

O clima é caracterizado como úmido, apresenta índices de umidade relativa variando de 40% a 60%. A precipitação pluviométrica anual varia de 1.500 a 1.700 mm, com excedente hídrico de 800 a 1.200 mm durante cinco meses e deficiência hídrica de 350 a 500 mm durante os quatro meses restantes.

A geologia de Aral Moreira apresenta rochas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral), Período Quaternário Pleistoceno (Formação Ponta Porã).

### **3.1.1.2 Região Cone-Sul**

A Região Cone-Sul está localizada na Bacia do Rio Paraná no extremo Sudeste do Estado de Mato Grosso do Sul, com partes de seus municípios sendo banhados às margens do Rio Paraná. A bacia do Rio Amambai abrange alguns municípios desta região, sendo: Juti, Naviraí, Itaquiraí e Iguatemi.

Predomina o clima subtropical de MS. As precipitações pluviométricas anuais são bem distribuídas e apresentam volume entre 1.400 e 1.700 mm, com temperaturas médias oscilantes entre 20°C e 22°C.

O município de Itaquiraí possui área dentro da bacia do Amambai de aproximadamente 1.030 km<sup>2</sup>. O solo Latossolo Vermelho Distroférrico possui predominância na região, aparecendo também, Nitossolos e Neossolos.

A vegetação do município apresenta predominância da Floresta Estacional Semidecidual com algumas áreas de pastagens plantadas, e apresenta poucas regiões com Floresta Estacional e Floresta Submontana.

O clima é caracterizado como subtropical do Sul do Mato Grosso do Sul, com temperaturas médias nos meses mais frios entre 14°C e 15°C. Há registros de ocorrência de geada, e precipitações variando de 1.400 a 1.700 mm.

A geologia de Itaquiraí apresenta rochas do período Cretácio, Grupo Bauru (Formação Caiuá) e Período Holoceno, Aluviões Atuais.

O município de Juti possui a segunda maior área pertencente à bacia Amambai na Região Cone-Sul, ocupando aproximadamente 1.020 km<sup>2</sup>.

O solo da região de Juti possui predominância para o Latossolo Vermelho Distroférrico, associado ao Neossolo Quartzarênico, e também, é verificado manchas isoladas de Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho Amarelo.

A vegetação é constituída por uma pequena parcela de Cerrado Arbóreo e Floresta Estacional, sendo a pastagem plantada responsável por mais de 90% da área do município.

O clima é tropical de altitude, com precipitações pluviométricas de novembro a maio e maior intensidade nos períodos de dezembro a janeiro. A precipitação anual está compreendida em um volume entre 1.400 a 1.600 mm, sendo bem distribuída durante o ano.

A geologia do município de Juti apresenta rochas do Grupo São Bento (Formação Serra Geral), período Cretáceo, Grupo Bauru (Formação Caiuá).

### **3.1.1.3 Região da Grande Dourados**

A região está localizada no Centro Sul do Mato Grosso do Sul. É uma região com pouca cobertura vegetal devido ao rápido crescimento econômico e está se transformando em um novo polo de produção de álcool e açúcar do Estado. Caarapó é o único município da bacia Amambai que está inserido na Região da Grande Dourados.

O clima da Região da Grande Dourados apresenta-se de úmido a sub-úmido, com temperaturas médias oscilando em torno dos 23°C, e precipitação pluviométrica anual variando de 1.200 a 1400 mm.

O município de Caarapó possui solo do tipo Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Distroférico com elevado teor de alumínio, sendo de textura muito argilosa e média, e em menor quantidade o Neossolo Quartzarênico.

A vegetação natural possui espécies do Cerrado e Floresta Estacional, e na maior parte encontra-se a pastagem plantada. É expressiva a área de lavoura.

O clima para Caarapó a Sul e Oeste é caracterizado úmido, apresentando índices de umidade relativa entre 40% a 60%. A precipitação pluviométrica anual varia de 1.500 a 1.700 mm, com excedente hídrico de 800 a 1.200 mm durante cinco a seis meses e deficiência de 350 a 500 mm durante quatro meses.

Caarapó apresenta geologia com rochas do grupo São Bento (Formação Serra Geral) e período Cretáceo, Grupo Bauru (Formação Caiuá).

## **3.2 Precipitação**

A precipitação é definida como toda a água originária da atmosfera que atinge a superfície da terra, podendo ocorrer em diversas formas como a garoa, chuva, neve, granizo,

saraiva, geada ou orvalho (Bertoni& Tucci, 2002). A precipitação é parte importante do ciclo hidrológico proporcionando o retorno para a superfície terrestre de toda a água evaporada e evapotranspirada das superfícies, plantas, rios e oceanos.

A quantificação da precipitação durante o ano é fator crucial para o planejamento de ações ligadas à irrigação, abastecimento de água, barragens para atividades relacionadas com energia elétrica, reservatórios, entre muitas atividades essenciais ao cotidiano da população. A determinação da intensidade da precipitação é importante para o controle de cheias e inundação, erosão do solo (Bertoni& Tucci, 2002).

Segundo Silva *et al.* (2002) ocorrem várias dificuldades para a utilização de modelos hidrológicos referentes a limitações de dados disponíveis, tanto em termos de densidade da rede de coleta de dados como em relação ao pequeno período de observações e das falhas existentes nas séries.

### **3.2.1 Preenchimento dos dados**

O preenchimento é necessário nos casos em que as séries observadas nas estações apresentam falhas ou inconsistências de dados, fornecendo séries históricas ininterruptas para o adequado estudo da disponibilidade hídrica.

Primeiramente é realizada análise preliminar apontando possíveis falhas existentes e possíveis inconsistências na série de dados. Posteriormente é iniciado o preenchimento da série, que poderá ser realizado por meio de alguns métodos, sendo eles: regressão linear e ponderação regional e ponderação regional com base em regressões lineares.

Fill (1987) e Bertoni& Tucci (2002) comentam que nenhuma metodologia fornece preenchimento adequado para dados diários, sendo recomendado preenchimento de falhas para períodos mensais ou anuais.

#### **3.2.1.1 Regressão Linear**

Trata-se de um método simplificado, que ajusta equações lineares simples ou múltiplas. As equações simples são correlacionadas às precipitações do posto com falha e de um posto vizinho. A equação apresenta dois parâmetros que podem ser obtidos por meio do método de mínimos quadrados. Para a regressão múltipla, o posto com falha é correlacionado

com mais um posto vizinho. Silva & Pruski (2004) relatam que para a regressão linear ser efetiva é necessário que o coeficiente de determinação apresente valores maiores do que 0,7.

### 3.2.1.2 Ponderação regional

Villela & Mattos (1975), Bertoni & Tucci (2002) relatam o método de ponderação regional para preenchimento de falha da estação de interesse na equação seguinte:

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right) \quad (1)$$

sendo,

$P_X$	= precipitação da estação;
$N$	= precipitação normal anual;
$X$	= índice relativo à estação com falha;
$A, B \text{ e } C$	= índices referentes à estação de apoio.

O método é utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, e leva em conta pelo menos três estações climaticamente homogêneas, localizadas o mais próximo possível da estação que apresenta falha, possuindo em cada uma delas período mínimo com 10 anos de dados.

### 3.2.1.3 Ponderação regional com base em regressões lineares

Segundo Pruski *et al.* (2004) e Bertoni & Tucci (2002), o método é uma combinação dos dois anteriormente citados, que estabelece regressões lineares entre o posto com falha a ser preenchido, e cada posto vizinho. De cada uma das regressões lineares efetuadas obtém-se o coeficiente de correlação, e com isso um fator de peso é estabelecido:

$$P_y = \frac{r_{yx1} P_{x1} + r_{yx2} P_{x2} + r_{yx3} P_{x3}}{r_{yx1} + r_{yx2} + r_{yx3}} \quad (2)$$

sendo,

$P_y$  = precipitação no posto com falha;

$P_{x1,2 \text{ e } 3}$  = precipitações nos postos vizinhos;

$r_{yx1}, r_{yx2}, r_{yx3}$  = coeficiente de correlação entre o posto com falha e posto vizinho.

### 3.2.2 Análise de consistência

Após o preenchimento da série pluviométrica é necessário analisar a sua consistência, comprovando o grau de homogeneidade dos dados para um posto com relação às observações registradas em postos vizinhos. O método de Dupla Massa (desenvolvido pelo United States Geological Survey) é o mais usado por sua simplicidade, válido somente para as séries mensais e anuais.

Bertoni & Tucci (2002) descrevem o método, que consiste em construir um gráfico cartesiano para cada estação a ser testada, relacionando os totais anuais acumulados do posto a consistir, nas ordenadas, e a média acumulada dos totais anuais dos postos mais próximos, nas abscissas, hipoteticamente considerada homogênea do ponto de vista hidrológico.

### 3.2.3 Interpoladores para espacialização da precipitação

O método de interpolação espacial é utilizado para estimativas da espacialização de precipitação pluviométrica. Não existem comprovações de um único método ser o melhor em todos os casos de estudo (Lennon & Turner, 1995), para isso, é necessário verificar qual método melhor se adequa ao conjunto de amostras, proporcionando a realidade da região.

Alguns métodos interpoladores fornecidos por softwares de sistemas de informação geográfica são:

- Inverso do Quadrado da Distância (IDW) – apresenta o conceito de autocorrelação espacial literalmente. Institui que quanto mais próximo o ponto com dados estiver da célula que será estimada, melhores serão os resultados. O método é mais adequado para conjuntos densos de pontos igualmente espaçados. Ele também não considera tendência dos dados, desprezando peculiaridades, caso haja, com interpolações da média dos dados. O IDW não faz interpolações acima dos valores com amostras máximas ou abaixo com amostras mínimas, podendo gerar tendência de achatamento de picos para uma superfície com possível elevação. O

método não excede a faixa de valor conhecida e não passa através de qualquer ponto de amostra.

- Spline – os resultados são gerados proporcionando uma superfície suave. O método não tira a média dos valores, como o IDW, mas acomoda os pontos a uma superfície flexível. Este efeito é útil caso necessite de valores estimados abaixo do mínimo ou acima de máximos estimados dos pontos amostrados, sendo o método Splinemelhor para estimar os picos ou depressões não incluídos nas amostras. Porém, caso as amostras possuam valores com diferenças extremas e localizadas próximas, umas das outras, a interpolação por Spline não garante bons resultados, pelo fato de utilizar cálculos de declividade na acomodação da nova superfície gerada. O método excede a faixa de valor conhecida e passa através de qualquer ponto de amostra.
- Krigagem – possui complexos e poderosos interpoladores, aplicando sofisticados métodos estatísticos que consideram as características únicas do conjunto de dados. É uma técnica de média ponderada, como o IDW, porém a fórmula de ponderação utiliza matemática mais sofisticada. Ela mede a distância de cada ponto com relação a todos os outros pontos existentes para posteriormente prever o valor das células, estimando automaticamente um modelo que melhor encaixe aos dados da amostra. O método pode exceder a faixa de valor conhecida, mas não passa através de quaisquer pontos de amostra.

### 3.2.3.1 Krigagem

A krigagem é semelhante ao método de interpolação por média móvelponderada, exceto pelo fato de seus pesos serem determinados a partir de uma análise espacial (Mendes e Cirilo, 2001).

Mello *et al.* (2003) compararam o método da krigagem com o inverso do quadrado da distância, para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Utilizaram-se 126 estações meteorológicas do estado de São Paulo. Constataram que ambos os métodos apresentaram boa precisão, mas a krigagem produziu menores erros médios para 11 estações, verificando-se melhorias consideráveis em especial para tempos de retorno e tempos de duração da precipitação usuais em projetos em pequenas bacias hidrográficas, sugerindo o método como o mais adequado.



Carvalho & Assad (2005) compararam três interpoladores univariados: inverso do quadrado da distância, curvatura mínima e krigagem ordinária usando observações de precipitação pluvial média anual de 1.027 postos pluviométricos abrangendo todo o Estado de São Paulo, representando área de 248.808,8 km<sup>2</sup>, correspondente a 2,91% do território nacional, no período de 1957 a 1997. Confirmou-se a grande vantagem em usar o interpolador de krigagem. A diferença entre os valores observados e estimados pela krigagem foi menor do que para os outros dois métodos, indicando ser esse o interpolador a ser usado na distribuição espacial de precipitação pluvial média anual para os dados em estudo.

Salgueiro & Montenegro (2008) analisaram a distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú, no Estado de Pernambuco. Para isto, utilizaram o método geoestatístico de krigagem, a partir das séries pluviométricas medidas na bacia. A geoestatística, através do seu interpolador de krigagem, mostrou ser uma ferramenta bastante segura, capaz de auxiliar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, por conseguir localizar e quantificar a distribuição espacial da precipitação com suficiente precisão, além de identificar os erros de estimativas das interpolações. A identificação dos níveis das isolinhas nos municípios confirmou o atual conhecimento climático do Estado de Pernambuco, contido no Plano Estadual de Recursos Hídricos e em outros documentos.

Saghafian (2009) estudou a região de Gilan com o intuito de obter o mais adequado método de interpolação para o cálculo da precipitação anual. Comparou os métodos de krigagem, co-krigagem e inverso do quadrado da distância. Concluiu como melhor interpolador o método da krigagem.

### **3.3 Vazão mínima de referência**

A distribuição temporal das vazões de estiagem é importante para projetos de abastecimento de água, irrigação e energia elétrica, e as vazões mínimas que ocorrem durante os períodos de seca são utilizadas com o propósito de dar embasamento nesses estudos para análise, projeto, previsão ou estimativa, regulamentação legal, operação e planejamento. Áreas sujeitas a frequentes períodos de seca são aquelas em que a precipitação média anual é baixa e a variação da precipitação durante o ano é alta (Tucci, 2002).

A vazão mínima é constituída de dois fatores: o volume de água e a duração em que ocorre. Pouca utilidade apresenta a vazão mínima instantânea possuindo valores muito próximos da vazão diária, sendo de mais interesse ao usuário vazões mínimas com durações

maiores, como de sete dias ou trinta dias. A frequência de vazões baixas representa situações desfavoráveis à demanda e também para condições de conservação do meio ambiente (Tucci, 2002).

A principal limitação encontrada na determinação da vazão mínima diz respeito à inconsistência ou inexistência de dados fluviométricos.

As legislações relativas à outorga para utilização dos recursos hídricos superficiais, em alguns estados do Brasil, estabelecem como fluxo mínimo uma porcentagem da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos), da  $Q_{90}$  (vazão associada à permanência de 90% no tempo) ou da  $Q_{95}$  (vazão associada à permanência de 95% no tempo).

### 3.3.1 Vazão mínima de referencia – $Q_{7,10}$

A estimativa da  $Q_{7,10}$  é obtida por meio do menor valor das médias de sete vazões diárias consecutivas para cada ano da série de dados.

Segundo Tucci (2002) existem vários tipos de distribuições para ajustar uma distribuição de probabilidade de vazões mínimas, e algumas delas podem ser do Tipo I de extremos, Tipo III (Weibull), distribuição Gama, Tipo I e II de extremos e outras mais recentes.

Silvino *et al.* (2007) analisaram, em parcela de 9,1% da região hidrográfica do Paraguai para estimar vazões mínimas, as distribuições de probabilidades teórica Normal, Log-Normal, Exponencial, Gama e Weibull. Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Qui-Quadrado foram utilizados para verificar a aderência das probabilidades estimadas às vazões observadas. Verificaram que o melhor ajuste dos valores foi referente à distribuição Weibull.

Euclides *et al.* (2001), em estudo de regionalização de vazão na Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco, obtiveram melhores resultados para a vazão mínima com a distribuição de Log-Normal.

Mello *et al.* (2010) estudaram a região do Alto Rio Grande e constataram que, para nível de significância de 5%, a distribuição Gumbel e Gama mais adequadas na região.

Baena *et al.* (2004) verificaram para a Bacia do Rio Paraíba do Sul que a distribuição Log-Normal melhor se ajustou para a obtenção da vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No estudo de regionalização efetuado por Eletrobrás (1985a) para as vazões mínimas, na região do Alto Paraguai, a distribuição que melhor adequou os dados à série observada foi a distribuição de Weibull.

Catalunha (2004) comparou, para a bacia do Paraíba do Sul, as vazões mínimas para períodos mensal, bimestral, trimestral e anual. Verificou que para os períodos trimestral e anual a vazão mínima  $Q_{7,10}$  apresentou valores diferentes, concluindo o melhor resultado para o período trimestral por apresentar uniformidade e possibilitar o maior aproveitamento da disponibilidade de água, sendo considerado o período sazonal.

### **3.3.2 Curva de permanência**

A curva de permanência é utilizada quando se deseja determinar, para um valor de vazão conhecida, qual é a sua permanência no tempo, ou para uma dada permanência no tempo qual o valor da vazão correspondente. Da curva é possível obter diretamente os valores das vazões mínimas de referência associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) no tempo.

A curva de permanência ou de duração é obtida por meio da frequência de ocorrência da série de vazões, para o período selecionado, não podendo ser inferior a cinco anos. A curva retrata a parcela de tempo em que um valor de vazão é igualado ou superado durante o período analisado (Tucci, 2002).

Euclides *et al.* (2001) relatam que, além dos resultados fornecidos pelas curvas de permanência aos estudos referentes a vazão mínima, também auxiliam na comparação entre bacias hidrográficas, representando os efeitos do relevo, da vegetação, do uso do solo e da precipitação.

## **3.4 Regionalização hidrológica**

A estimativa da disponibilidade hídrica, no estudo da regionalização de vazão, deve ser realizada para a rede de drenagem da bacia, não sendo consistente a análise das vazões mínimas isoladas por estações, porém as vazões são medidas em pontos específicos, já que o custo de instalação, operação e manutenção para cada estação é alto. Para solucionar esta questão, a hidrologia oferece ferramentas com a finalidade de espacializar os dados obtidos pontualmente nas estações, para toda a região de interesse, possibilitando também, a transferência dos dados para áreas sem observação. Essa regionalização de vazões, por sua vez, pode ser definida como um conjunto de ferramentas que exploram, ao máximo, as

informações existentes, visando à estimativas das variáveis hidrológicas, em locais sem dados ou com poucos dados (Tucci, 2002).

Os métodos mais utilizados de regionalização de vazão mínima envolvem equações de regressão regionais, aplicadas dentro de áreas hidrologicamente homogêneas, norteadas pelo grau de liberdade com o número de variáveis preditivas da equação (Eletrobrás, 1985a).

As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas por possuir características hidrológicas semelhantes dentro de unidades geográficas contíguas, agrupando as estações fluviométricas que compartilham a mesma região definida (Snelder *et al.*, 2009).

Euclydes *et al.* (2001) estudaram a regionalização de vazão, utilizando a metodologia tradicional, com dados fluviométricos de trinta e três estações, em uma área de 51.000 km<sup>2</sup> no Alto São Francisco, e obtiveram bons resultados para a vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

No Brasil, existem muitas regiões com baixa densidade de postos fluviométricos, inviabilizando o estudo de regionalização de vazão utilizando o método de equações de regressão, aplicadas em regiões hidrologicamente homogêneas, já que não atende ao número mínimo de graus de liberdade ( $G.L. = N - R - 1$ , onde N é o número de postos e R é o número de variáveis preditivas da equação) podendo potencializar os erros (Chaves *et al.*, 2002).

As metodologias propostas por de Chaves *et al.* (2002), Eletrobrás (1985b) e Pereira (2004) não apresentam o conceito de graus de liberdade, assim podendo ser aplicadas em áreas com baixa densidade de postos.

### **3.4.1 Regionalização de vazão mínima baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação – Metodologia proposta por Chaves *et al.* (2002)**

A metodologia é simples e robusta para regionalização de vazão mínima em bacia hidrográfica com dados limitados. Utiliza técnicas de interpolação e extrapolação, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, baseada em razão de área de drenagem, no inverso das distâncias e em combinações destas. O método não é limitado pelo grau de liberdade e incorpora variáveis preditivas importantes (Chaves *et al.*, 2002).

Chaves *et al.* (2002) testaram a metodologia na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru, com área de drenagem de 36.440 km<sup>2</sup>, e onze estações fluviométricas. Verificaram que a metodologia proposta apresentou melhor resultado, comparado ao método tradicional proposto por Eletrobrás (1985a), utilizando para comparação o erro relativo (45,1%) e

coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (0,88). O método tradicional apresentou erro relativo de 289,7 % e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe 0,73.

### **3.4.2 Regionalização de vazão mínima baseada na interpolação linear – Metodologia da Vazão Específica**

A metodologia proposta por Eletrobrás (1985b) visa a regionalização baseada na interpolação linear, foi descrita para regiões com baixa densidade de estações fluviométricas, não utilizando o conceito de regiões hidrologicamente homogêneas.

As vazões relativas à seção de interesse são obtidas por relação de proporcionalidade entre as vazões observadas e as áreas de drenagem das estações mais próximas, sendo assim, quando a seção de interesse localiza-se entre duas estações fluviométricas, a vazão específica no ponto de interesse é igual a vazão na seção de montante mais o incremento da vazão proporcional ao aumento da área de drenagem entre a estação de montante e jusante (Eletrobrás, 1985b).

Eletrobrás (1985b) recomenda que o método gera melhores resultados, sem exageros na propagação de erros, quando a relação entre as áreas de drenagem das duas seções analisadas for inferior a três vezes uma em relação à outra.

### **3.4.3 Regionalização por meio de equações de regressão – Metodologia proposta por Pereira (2004)**

A metodologia ajusta modelos de equação de regressão para a representação da vazão mínima em função da área de drenagem para o rio principal.

O método propôs o ajuste de equações de regressão às séries de dados para cada estação fluviométrica. A metodologia é baseada na ideia de que a vazão estimada, obtida pela equação de ajuste, no qual considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio, é melhor representada quando comparada com a vazão obtida pontualmente na seção considerada.

Pereira (2004) sugere que as equações sejam forçadas a passar pela origem, considerando a ideia de que quando a área de drenagem for zero, a vazão será nula. Com as equações de regressão para o rio principal, é possível obter a vazão estimada em qualquer ponto da seção, necessitando para isso somente a área de drenagem do ponto de interesse.

A metodologia, posteriormente, foi revisada e aperfeiçoada por Novaes *et al.* (2009), propagando o conceito para os rios afluentes diretos (Rad) do rio principal e afluentes dos afluentes diretos (Rad(n)).

### 3.5 Comparação entre metodologias de regionalização

Ribeiro *et al.* (2005) estudaram a bacia hidrográfica do Rio Doce contendo 57 estações fluviométricas, e compararam três metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência, considerando Eletrobrás (1985a); Chaves *et al.* (2002); e interpolação linear, baseada no princípio da vazão específica (Eletrobrás, 1985b). Os valores das vazões mínimas de referência, estimadas, foram comparados com os valores observados em cada uma das 57 estações fluviométricas usadas na regionalização. O método que apresentou maior precisão foi o proposto por Eletrobrás (1985a), resultando em sete equações de regionalização de vazões, com erro relativo médio cerca de 17%. As outras duas metodologias apresentaram melhores resultados nos casos em que a seção de interesse estava localizada entre duas estações com vazão conhecida.

Novaes *et al.* (2009) propuseram com base em Pereira (2004) o ajuste de modelos de regressão para representação das vazões mínimas em função da área de drenagem. Utilizaram 21 estações fluviométricas localizadas na Bacia do Rio Paracatu, com área de drenagem de 45.600 km<sup>2</sup>. Após a obtenção das equações de regressão foi realizada comparação com as obtidas por Euclides *et al.* (2005) pelo método tradicional de regionalização de vazões para as regiões hidrologicamente homogêneas na mesma bacia. O método proposto garantiu a continuidade destas vazões ao longo de toda a rede hidrográfica, ao contrário do que foi evidenciado na aplicação do método tradicional de regionalização de vazões.

Lemos (2006) estudou regionalização mínima para a bacia do rio São Francisco e comparou três metodologias: baseada em equações de regressão regionais, Chaves *et al.* (2002) e interpolação linear. A metodologia baseada em equações de regressão regionais apresentou melhor resultado comparando os erros médios.

Azevedo (2004) estudou três metodologias de regionalização de vazão mínima para a bacia do Rio Paranã, com área de drenagem de 59,95 km<sup>2</sup>, contendo 12 estações fluviométricas. Em comparação aos erros médios (%) e coeficiente de Nash e Sutcliffe das metodologias, constatou-se melhores resultados para a metodologia tradicional (com erro médio de 16,11% e 0,97 de coeficiente Nash e Sutcliffe). As metodologias de Chaves *et al.*

(2002) e vazão específica, apresentaram respectivamente 65,28% e 60%, e 0,59 e 0,65 de coeficiente de Nash e Sutcliffe.

### **3.6 Gestão e outorga dos recursos hídricos**

O Código de Águas, instituído em 1934, teve como objetivo geral estabelecer regras de controle federal para o aproveitamento dos recursos hídricos, principalmente, para fins energéticos. O Código pode ser considerado o primeiro instrumento de controle para o uso dos recursos hídricos no Brasil, já que foi a primeira legislação a prescrever a base da gestão pública do setor de saneamento, referindo-se à água para abastecimento.

O Código de Águas já cita as águas públicas e trata a previsão de outorga dizendo que não podem ser derivadas para determinados usos sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes (Brasil, 1934).

Segundo Silva (1998) o Código de Águas conduz o uso do recurso hídrico ao controle da autoridade pública, ao interesse da saúde e da segurança. Além disso, dizia a respeito sobre contaminação das águas, podendo levar prejuízo a terceiros, demonstrando um princípio de preocupação com a utilização múltipla dos recursos hídricos.

A Constituição Federal de 1988, Artigo 225º, assegura que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade, o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Brasil, 1988), assim positivando o princípio de desenvolvimento sustentável, e tornando-se a primeira constituição a trazer dispositivos de ordem futura (Rodrigues, 2008).

A constituição também relata que compete à União, Artigo 21º, instituir Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso. O Artigo 23º relata que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios (Brasil, 1988).

A Lei nº 9.433 de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, considera os usos múltiplos das águas e adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento para estudos relativos a

projetos, planejamento e operação para obtenção da concessão de outorga. Quanto ao instrumento de outorga de uso das águas, a lei estabelece a necessidade de autorização administrativa, não implicando na alienação parcial das águas, que são inalienáveis, deixando claro o simples direito de seu uso, ao qual será dispensado no caso de derivações insignificantes. O Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União. A Lei, também, dá aos Estados e ao Distrito Federal, dentro de suas esferas de competência, o poder de outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, regulamentar e fiscalizar os seus usos.

O Decreto nº 3.692/2000, Artigo 17º, observa o disposto na Lei nº 9.433/1997 Artigo 4º, e relata que a Agência Nacional de Águas exercerá ação reguladora em corpos de água de domínio da União, inclusive mediante a definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio estadual para os de domínio federal.

O volume da vazão outorgável varia com a disponibilidade do curso d'água e as diretrizes das legislações estaduais e federal, em relação à vazão mínima de referência adotada e a sua porcentagem disponível. Nos cursos d'água com regimes considerados permanentes ou perenes a outorga é geralmente realizada com base na vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos, ou com vazões mínimas associadas às permanências de 90% e 95% no tempo, atribuindo valores em porcentagens, sendo outorgadas apenas de parte dessas vazões mínimas. Considerando os cursos d'água intermitentes, o processo para obtenção da outorga torna-se mais difícil, pois nos períodos de estiagem não há vazão no rio (Silva & Ramos, 2001). A tabela 1 apresenta os critérios adotados por diferentes órgãos na utilização de águas superficiais.



Tabela 1 - Vazão máxima outorgável descritas por diferentes órgãos gestores.

Órgão gestor	vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazão consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazoes insignificantes
ANA	70% da $Q_{95}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual.	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério	1,0 L/s	Resolução ANA 542/2004
SRH-BA	80% da $Q_{90}$ . 20% para cada usuário individual.	Decreto Estadual 6.296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual 6.296/97
SRH-CE	90% da $Q_{90}$ reg	Decreto Estadual 23.067/94	2 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s - para águas superficiais e subterrâneas.	Decreto Estadual 23.067/94
SEMARH-GO	70% da $Q_{95}$	Não possui ainda legislação específica	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99.	1 L/s para a maior parte do estado, e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais), 10 m <sup>3</sup> /dia águas subterrâneas.	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AAGISA-PB	90% da $Q_{90}$ reg. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual 19.260/1997	2 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s - para águas superficiais e subterrâneas.	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da $Q_{95}$	Decreto Estadual 4646/2001	1 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	
SECTIMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica	0,5 L/s ou 43 m <sup>3</sup> /dias (águas superficiais). 5 m <sup>3</sup> /dia (água subterrânea para abastecimento humano)	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	80% da $Q_{95}$ (rios) e 80 % da $Q_{90}$ (açudes)	Não existe legislação específica	Não estão ainda definidos	-
SERHID-RN	90% da $Q_{90}$ reg	Decreto Estadual 13.283/97	1 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	Decreto Estadual 13.283/97
SEMA-RS	Não está definido	-	Média mensal até 2,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 42.047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$	Não existe legislação específica	5,0 m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC-SE	100% da $Q_{90}$ . 30% da $Q_{90}$ para cada usuário individual.	Não existe legislação específica	2,5 m <sup>3</sup> /h (0,69 L/s)	Resolução 01/2001
NATURATINS-TO	75% da $Q_{90}$ por bacia. Individualmente o máximo é 25% da mesma $Q_{90}$ . Para barragens de regularização 75% da vazão de referência adotada.	Decreto Estadual já aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos	0,25 L/s ou 21,60 m <sup>3</sup> /dia. A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1 L/s ou 21,60 m <sup>3</sup> /h	Portaria NATURATINS nº 118/2002

Fonte: ANA (2007).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da região de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Amambai está compreendida na região Sul do Estado de Mato Grosso do Sul, na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná e sub-bacia do Rio da Prata, seguindo codificação da Agencia Nacional de Águas marcação número 64(Figura 1). Possui ponto central de localização com latitude 23°00'00"S e longitude 54°45'00"W.

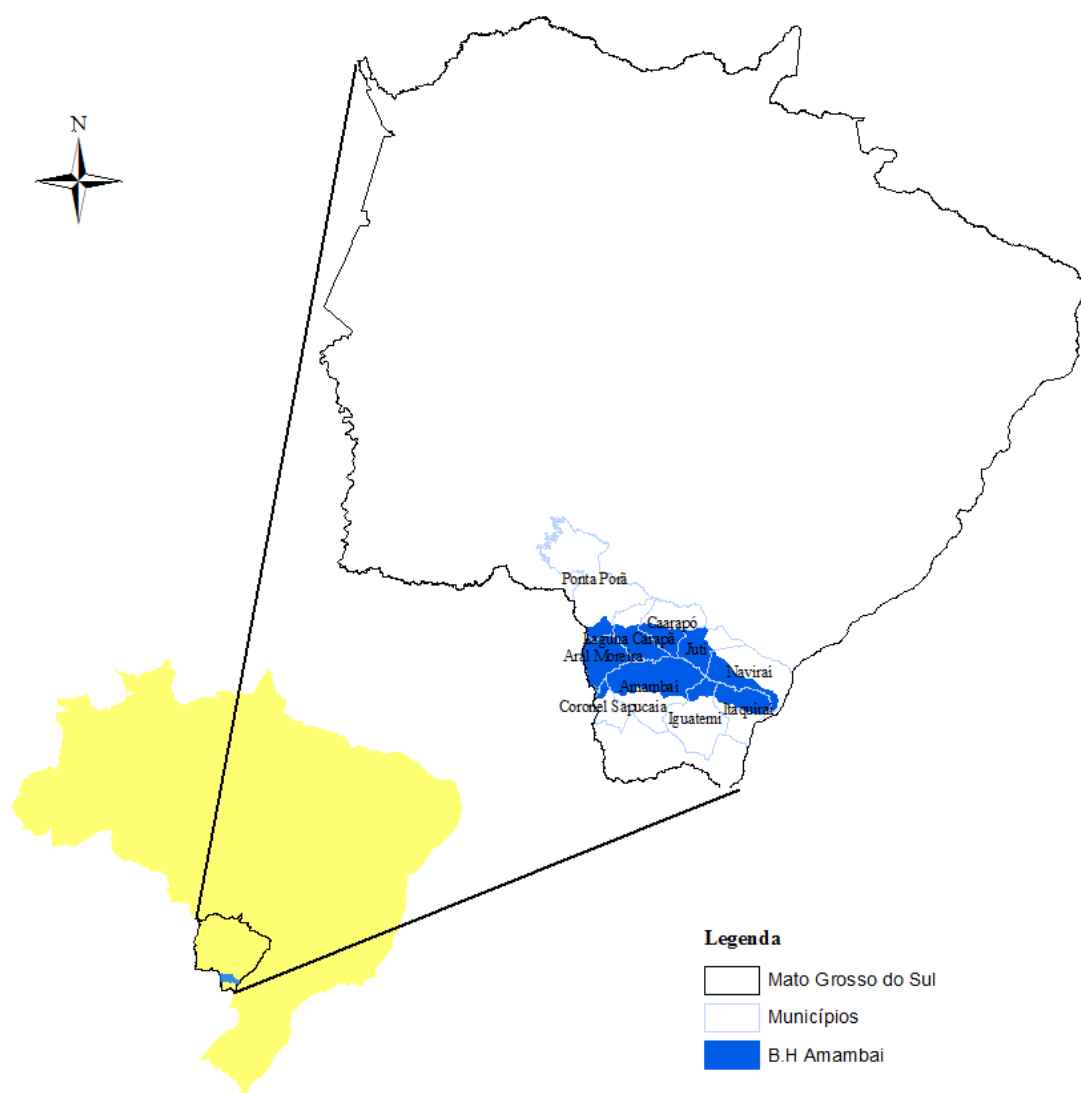


Figura 1—Localização da região de estudo.

O Rio Amambai abrange dez municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, desde a nascente até a foz no rio Paraná: Amambai, Aral Moreira, Caarapó, Coronel Sapucaia, Iguatemi, Itaquiraí, Juti, Laguna Carapã, Naviraí e Ponta Porã. Os principais afluentes são os rios Corrente e Verde e Córrego Guaembeperi, além dos rios Bonito, Emboscada, Piratinim, Taquara, e dos córregos Camgueri, Emboscada, Guaçu, Guacuri, Guiriri, Itaipá, Jaguari, Jaceri, Maitaré, Panduí, Pirapó, Pindó, Saljú, São Lucas, Tarumã, Tejuí e Touro.

A geologia da região é composta pela Formação Aquidauana, Formação Serra Geral, Aluviões Atuais, Formação Ponta Porã e Formação Caiuá. O solo é formado por Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Nitossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Distroférrico e Planossolo Háptico (SEMAC, 2011).

A vegetação possui região de Cerrado, região da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica), contato Cerrado/Floresta Estacional (Mata Atlântica), contato Chaco/Floresta Estacional (Mata Atlântica) e áreas das Formações Pioneiras (SEMAC, 2011).

## **4.2 Características Físicas da Bacia Hidrográfica**

Os limites da bacia hidrográfica do Rio Amambai e das sub-bacias dos afluentes diretos do rio principal, foram extraídos utilizando o software ArcGIS versão 9.3. Cartas topográficas na escala de 1:100.000 foram digitalizadas para a extração das curvas de nível, hidrologia e pontos cotados. Também foram utilizados vetores, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de linhas de cumeadas, para identificação da Serra de Amambai, massa d'água, ilha e drenagem interior, estes para a identificação do exutório da bacia, já que a foz encontrava-se em região com terreno levemente acidentado e com grandes áreas de inundação.

Para cada bacia e sub-bacia os cursos d'água principais foram identificados como aqueles que drenam a maior área. A partir dos dados obtidos foi possível delimitar a área de drenagem do Rio Amambai e as sub-bacias dos afluentes diretos. Da mesma forma, também, foram delimitadas as áreas de drenagens para os três fluviômetros.

## **4.3 Análise e seleção dos dados básicos**

Para o estudo foi realizado levantamento preliminar utilizando o Inventário de Estações Pluviométricas e Fluviométricas, fornecidos pelo Sistema de Informações

Hidrológicas. Os dados são disponibilizados na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas.

A baixa densidade de estações, fluviométricas e pluviométricas, monitoradas e o curto período de dados coletados para a formação de séries históricas são fatores que restringem a qualidade dos estudos.

#### **4.3.1 Estações pluviométricas**

O levantamento preliminar, utilizando o Inventário de Estações, constatou a existência vinte e nove estações pluviométricas, dentro e no entorno dos limites da região de estudo, sendo deste total utilizadas somente vinte e quatro.

O critério adotado para a escolha das estações utilizadas no estudo foi a existência de pelo menos dez anos de dados consecutivos. Logo após, procedeu-se a análise do período base. Na Tabela 2 estão especificadas as estações pluviométricas pré-selecionadas, os códigos, as coordenadas geográficas, os Estados e os Municípios que se encontram.

Tabela 2 - Identificação das estações pluviométricas pré-selecionadas para o estudo, com seus referidos códigos, nome da estação, Município, Estado, longitude e latitude.

<b>Estação</b>	<b>Código</b>	<b>Município</b>	<b>Estado</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>
Bocaja	2255003	Laguna Carapã	MS	-55:14:32	-22:43:55
Caarapó	2254000	Caarapó	MS	-54:49:29	-22:37:28
Coronel Sapucaia	2355001	Coronel Sapucaia	MS	-55:31:28	-23:15:58
Amambaí	2355000	Amambaí	MS	-55:14:37	-23:5:52
Florida	2354002	Jutí	MS	-54:33:48	-22:58:13
Navirai	2354000	Navirai	MS	-54:11:38	-23:3:28
Colônia Bom Jesus	2354004	Iguatemi	MS	-54:23:37	-23:26:59
Glória de Dourados	2254003	Glória de Dourados	MS	-54:14:7	-22:24:21
Fazenda Vaca Branca	2353048	Navirai	MS	-53:49:14	-23:4:22
Icaraima	2353031	Icaraima	PR	-53:37:0	-23:22:59
Marco Preto	2353025	Umuarama	PR	-53:43:37	-23:28:46
Icatu	2253010	Querência do Norte	PR	-53:23:47	-22:58:29
Tacuru	2355003	Tacuru	MS	-55:1:9	-23:38:25
Iguatemi	2354001	Iguatemi	MS	-54:33:42	-23:40:55
Porto São Domingos	2355002	Paranhos	MS	-55:23:31	-23:39:1
Venda do Paulo	2353032	Ivaté	PR	-53:25:0	-23:19:59
Bairro Guruaia	2353019	São Jorge do Patrocínio	PR	-53:54:32	-23:41:35
Antônio João	2255002	Antônio João	MS	-55:56:37	-22:11:17
Porto Wilma	2254004	Deodápolis	MS	-54:11:21	-22:4:31
Itaporã	2254005	Itaporã	MS	-54:47:2	-22:4:29
Itaum	2255004	Dourados	MS	-55:21:11	-22:5:10
Dourados	2254001	Dourados	MS	-54:47:32	-22:23:53
Fazenda Jangada	2253015	Jatei	MS	-54:1:40	-22:32:42
Querência do Norte	2353010	Querência do Norte	PR	-53:28:52	-23:4:54

Com base nas coordenadas geográficas de cada estação pluviométrica, elaborou-se o mapa de localização com relação ao limite da bacia hidrográfica. Para a análise dos dados pluviométricos foram consideradas estações fora da área de drenagem da bacia, visando aumentar a precisão na estimativa da precipitação média e precipitações mensais (Figura 2).

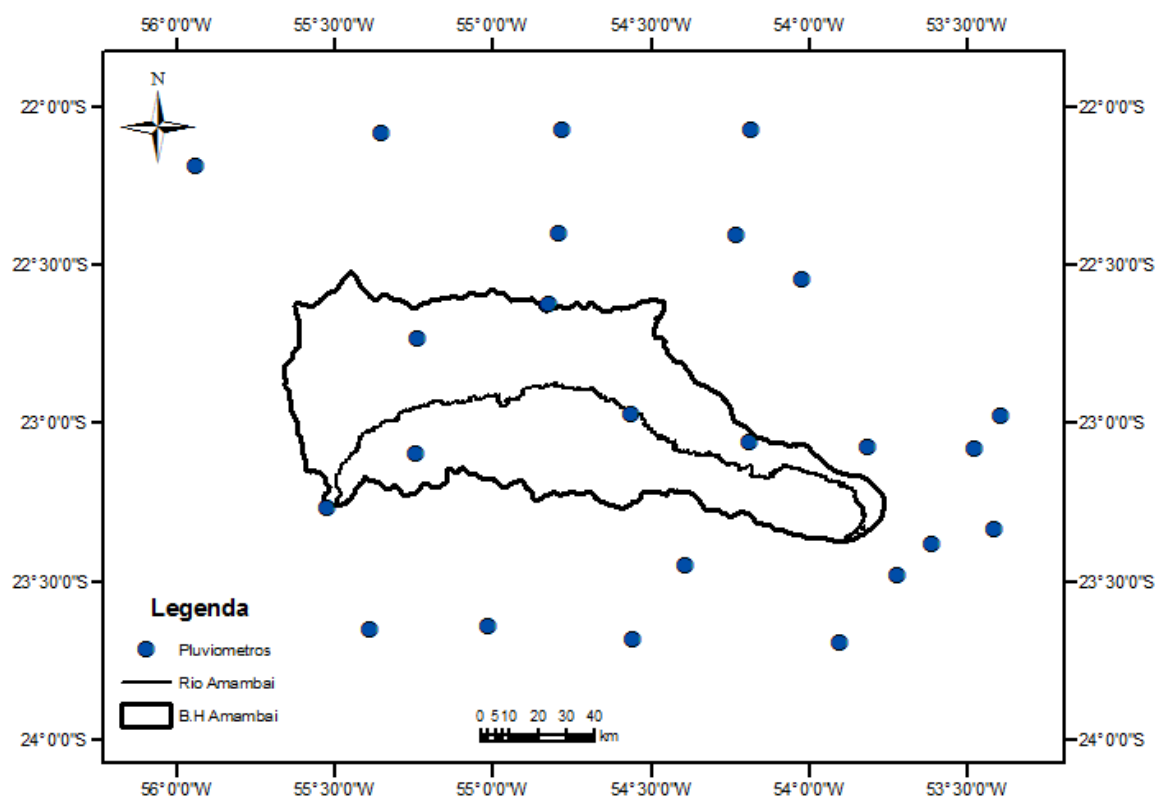


Figura 2 - Mapa de localização das estações pluviométricas.

A Tabela 3 apresenta o diagrama de barras das estações pré-selecionadas, com os períodos de dados completos e incompletos, para a análise do período base e das estações a serem adotadas efetivamente no estudo.

Após a obtenção e pré-seleção dos dados, iniciou-se a escolha do período base para a realização do estudo. Adotou-se critérios para avaliação dos anos, não podendo ser escolhido caso possua mais de 30% da série com dados falhos, o período, também, deve ser contínuo ao longo dos anos na ideia de formar séries históricas ininterruptas, a série deve ter pelo menos 20 anos de dados.

Considerando o critério de escolha para o período base (período comum de observações), o período adotado compreendeu os anos de 1984 a 2010. Após isso, procedeu-se a marcação das falhas para posterior preenchimento e consistência dos dados.



Com as coordenadas geográficas, os postos fluviométricos foram identificados e distribuídos na área de estudos utilizando o software ArcGIS 9.3 (Figura 3).

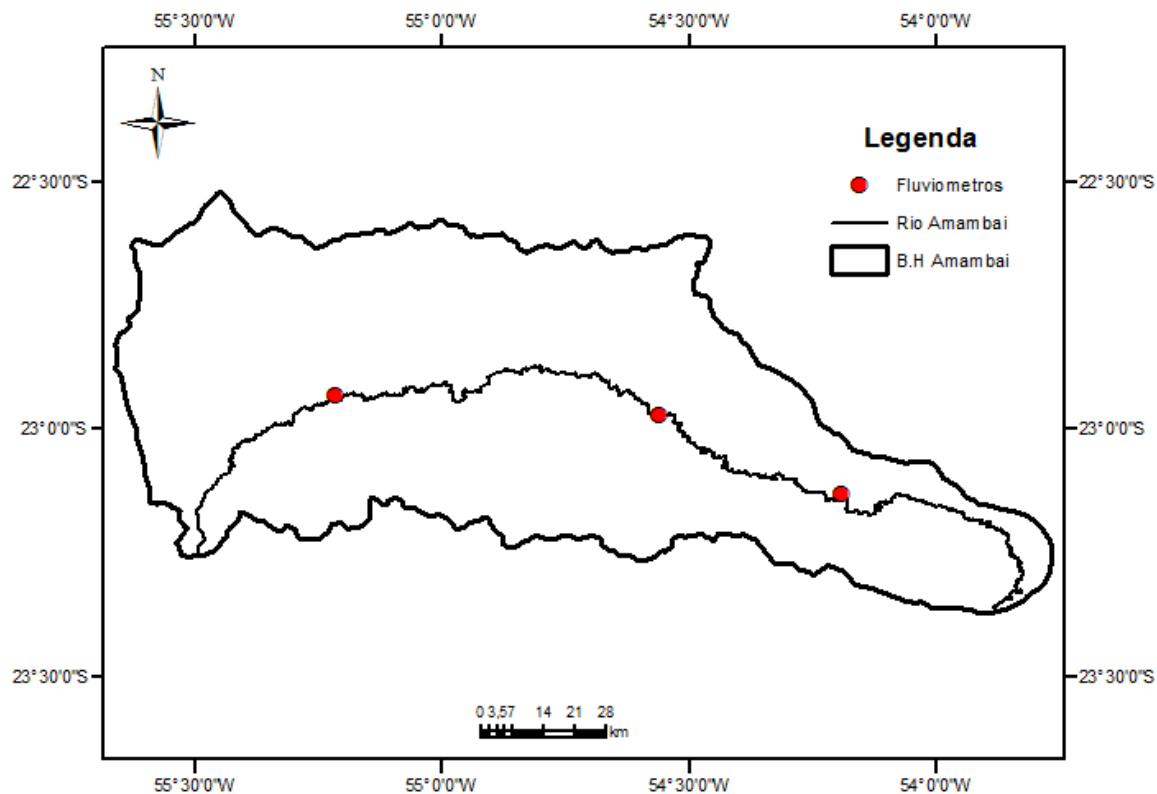


Figura 3 - Mapa de localização das estações fluviométricas selecionadas.

Após a obtenção e pré-seleção dos dados, iniciou-se a escolha do período base. A Tabela 5 apresenta o gráfico de barras para análise dos dados, considerando o período de 1984 a 2010. Falhas foram atribuídas para os períodos sem dados para posterior preenchimento. Foram observados dados até o ano de 2005 nas estações 64700000 (montante) e 64717000 (jusante) e definido a extensão das séries até o ano de 2010, acompanhando o mesmo período das estações pluviométricas.

Tabela 5 - Diagrama de barras das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio Amambai e identificação do período base.

Código	Nome da estação	Período descartado												Período base analisado																											
		73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
64700000	Ponte Rio Amambai																																								
64715001	Florida																																								
64717000	Navirai																																								

Período completo de dados

Período incompleto de dados

■ Período completo de dados

□ Período incompleto de dados



#### 4.4 Preenchimento de Falhas e Análise de Consistência

Analisando as séries de dados disponíveis verificou-se que algumas estações apresentavam ausência de dados, a estes foram atribuídas falhas para preenchimento. O método escolhido para o preenchimento dos dados pluviométricos foi de ponderação regional, onde as falhas de um posto são preenchidas por meio da ponderação com base em três postos vizinhos, que devem ser de regiões climatológicas semelhantes e possuir séries com pelo menos 10 anos de dados, ao posto em preenchimento.

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{M_X}{M_A} P_A + \frac{M_X}{M_B} P_B + \frac{M_X}{M_C} P_C \right) \quad (3)$$

sendo,

$P_X$  = precipitação da estação a ser preenchida;

$M_X$  = média aritmética da estação com falha;

$M_A$ ,  $M_B$  e  $M_C$  = média aritmética das estações vizinhas;

$P_A$ ,  $P_B$  e  $P_C$  = precipitação dos postos vizinhos.

O método escolhido para o preenchimento dos dados dos fluviômetros foi de regressão linear, cuja seleção dos modelos foi feita a partir de coeficientes de correlação de 0,96 e a existência de pelo menos 10 anos de dados.

Após o preenchimento dos dados das estações pluviométricas e fluviométricas seguiu-se para a análise de consistência de todas as séries de dados. Para isso, foi utilizado o método de dupla massa que consiste em analisar a homogeneidade dos dados por meio da declividade da reta para cada estação. As estações apresentaram boa consistência, sem mudança de tendência.

#### 4.5 Análise do comportamento pluviométrico

Para a distribuição espacial das precipitações média anual e média mensal na bacia do Amambai foi utilizado o método da Krigagem Ordinária, obtida por meio do Software ArcGIS, versão 9.3. As vinte e quatro estações foram plotadas na região da bacia com os valores das precipitações médias. Logo após foi utilizada a ferramenta Krigagem da barra de

ferramentas de Análises Espaciais. Foi escolhido o método de krigagem ordinária com o modelo de semivariograma esférico, e gerado o modelo com a espacialização das precipitações para cada mês e ano. O modelo foi recortado com o contorno da bacia, para a obtenção da precipitação na área de drenagem do estudo. O modelo também foi utilizado, da mesma forma, para a espacialização da precipitação anual nos afluentes diretos do Rio Amambai.

Visando a identificação da proporção de contribuição individual do afluente para a formação da vazão do rio principal foi calculado a contribuição potencial (%) para cada afluente direto do rio principal. A contribuição potencial é estabelecida pela relação entre o volume precipitado na área de drenagem de cada afluente com o volume precipitado na área de drenagem da bacia, sendo a contribuição de cada afluente para o rio principal se toda a precipitação fosse convertida em escoamento, obtida pela equação:

$$Cp = \frac{Vp \text{ afluente}}{Vp \text{ bacia}} * 100\% \quad (4)$$

sendo,

$Cp$  = contribuição potencial (%);

$Vp$  afluente = volume precipitado na área de drenagem do afluente,  $m^3$ ;

$Vp$  bacia = volume precipitado na área de drenagem da bacia,  $m^3$ .

A estação fluviométrica Navirai, com área envolvendo 89% da bacia em estudo, foi adotada como representante da área de drenagem da Bacia Hidrográfica Amambai, uma vez que é a última estação com série histórica de dados antes da foz do rio principal.

#### 4.6 Vazão média

As vazões médias anuais foram estabelecidas, para as três estações, após o preenchimento de falhas e a análise de consistência. As vazões médias anuais de longa duração foram obtidas com a média das vazões médias anuais, e as vazões específicas médias de longa duração foram obtidas com a divisão dos dados das vazões médias anuais pelas áreas de drenagem de cada estação fluviométrica.

Para a vazão média estimada na confluência entre os afluentes diretos e o rio principal foi adotado o método de Pereira (2004) aprimorado por Novaes *et al.* (2009), que propõe o ajuste de equações de regressão, em função da área de drenagem de cada fluviômetro, às séries de dados calculados envolvendo todas as estações localizadas no mesmo curso d'água.

O método proposto por Pereira (2004) e aprimorado por Novaes *et al.* (2005) consiste em ajustar equações de regressão para a representação da  $Q_{mld}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ou  $Q_{7,10}$  em função da área de drenagem, para a partir desses modelos obter as vazões na foz de cada afluente direto do rio principal.

O rio principal é chamado de Rp e o rio afluente direto é chamado de Rad. Conhecidas as vazões observadas nos fluviômetros do rio principal, as equações de regressão são ajustadas para a representação das vazões  $Q_{mld}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$  em função da área de drenagem do rio principal correspondente a cada seção fluviométrica. As equações foram forçadas a passar pela origem, porque quando a área de drenagem for zero a vazão deverá ser nula. Conhecidas as equações para o Rp é possível calcular a vazão para qualquer ponto do mesmo com os valores correspondentes da área de drenagem.

Logo após obtidas as equações para o Rp, partiu-se para as vazões na foz dos rios afluentes diretos (Rad). Na bacia é identificada a confluência do rio principal com seu afluente direto e estimadas as áreas de drenagem imediatamente a montante (área do Rp) e a jusante (área do Rp somada com o Rad) da confluência no rio principal.

Possuindo os valores das áreas de drenagem, no rio principal, a montante e a jusante da confluência do Rp com o Rad, estima-se os valores das vazões nas duas seções utilizando o modelo de regressão para o rio principal, calculando-se a diferença entre essas duas vazões aquela correspondente à vazão na foz do Rad.

Visando o estudo de disponibilidade hídrica, e a conferência das equações obtidas, já que apresentaram ajuste diferente do linear para os afluentes diretos do rio principal, foi realizada a regionalização de vazão a partir do método de razão de área de drenagem, proposto por Stedinger *et al.* (1992), com a finalidade da estimativa das vazões médias de longo período nas seções de deságue das sub-bacias dos afluentes do rio principal (Chaves *et al.*, 2002). Para esta estimativa, utilizou-se a seguinte equação:

$$Q_y = \left( \frac{A_y}{A_x} Q_x \right) \quad (5)$$

sendo,

$Q_y$  = vazão de referência no curso d'água,  $m^3.s^{-1}$ ;

$Q_x$  = vazão de referência conhecida,  $m^3.s^{-1}$ ;

$A_y$  = área de drenagem da seção de interesse,  $km^2$ ;

$A_x$  = área de drenagem da vazão conhecida,  $km^2$ ;

Para a identificação da proporção de contribuição da vazão média de longo período dos afluentes para o rio principal foi adotada a contribuição real (%), que é definida pela relação entre o volume médio escoado na seção de deságue do afluente direto no rio principal com o volume médio escoado na foz da bacia do rio principal, refletindo, as perdas ocorridas por evapotranspiração e usos consultivos na bacia.

$$Cr = \frac{Ve\ afluente}{Ve\ bacia} * 100 \quad (6)$$

sendo,

$Cr$  = contribuição real (%);

$Ve\ afluente$  = volume médio escoado na seção de deságue do afluente,  $m^3$ ;

$Ve\ bacia$  = volume médio escoado na foz da bacia,  $m^3$ .

Descoberta as precipitações médias, as vazões médias e as áreas de drenagem dos afluentes diretos do rio principal, até a estação fluviométrica Naviraí, representante da área da bacia do rio Amambai, calculou-se o coeficiente de deságue para o estudo, nos afluentes diretos do rio principal, da relação da vazão com a precipitação.

O coeficiente de deságue é definido pela razão entre o volume escoado na seção de deságue do estudo (vazão na foz dos afluentes diretos) com o volume total precipitado.

$$C_d = \frac{Vt\ escoado}{Vt\ precipitado} \quad (7)$$

sendo,

$C_d$  = coeficiente de deságue;

$Vt\ escoado$  = volume escoado na seção de deságue,  $m^3$ ;

$$V_t \text{ precipitado} = \text{volume total precipitado } m^3.$$

#### 4.7 Vazões mínimas

Após o preenchimento dos dados e análise de consistência das estações fluviométricas, realizou-se o estudo das vazões mínimas. Este estudo compreendeu a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos –  $Q_{7,10}$ , e as vazões associadas às permanências de 90% -  $Q_{90}$  e 95% -  $Q_{95}$ , corriqueiramente utilizadas em estudos para a outorga do uso da água (Pereira, 2004).

A obtenção das vazões mínimas com sete dias de duração e dez anos de período de retorno, teve como referência os períodos trimestral e anual, desta forma, esperava-se obter vazões mínimas que atendessem a cada período, não sendo a vazão mínima do período mais seco limitante para a outorga de um período mais chuvoso.

A estimativa da  $Q_{7,10}$  foi obtida por meio do menor valor da média de sete vazões diárias consecutivas para cada ano da série de dados. A  $Q_{7,10}$  foi calculada da seguinte forma:

- a) Obtenção da média de sete dias consecutivos de vazão para cada ano e trimestres da série de dados;
- b) Obtenção do menor valor das médias de sete dias consecutivos para cada ano e trimestres estabelecendo as séries anual e trimestral ( $Q_7$ );
- c) Identificação do modelo probabilístico com o melhor ajuste às séries de  $Q_7$ . Os modelos probabilísticos testados para representar os eventos foram: Normal, Log-Normal a dois parâmetros, Gama, Extremos tipo I e Weibull. A seleção da distribuição de probabilidades ajustável a cada série histórica foi efetuada utilizando a análise do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov com intervalo de confiança de 95% ( $D_{\text{crítico}}$  igual a 0,258 para nível de significância de 5%). Tomou-se a hipótese  $H_0$  como sendo a afirmação de que a distribuição observada não difere da obtida pela função densidade de probabilidade avaliada. Denomina-se p-value ao valor da probabilidade de se obter o efeito observado, dado que a hipótese nula seja verdadeira. Se o valor do p-value for menor que o nível de significância estipulado, rejeita-se a hipótese nula. Dessa forma, maiores valores de p-value fornecem maior certeza de não rejeição da hipótese nula.
- d) Obtenção dos valores das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  para cada estação.

A obtenção das vazões mínimas com permanência de 90% e 95%, para cada estação fluviométrica, teve como referência o período anual, utilizando a curva de permanência calculada da seguinte forma:

- a) Definição de 50 intervalos de classes com as vazões diárias de cada estação fluviométrica;
- b) Cálculo dos intervalos de classe:

$$\Delta X = \frac{[\ln(Q_{m\acute{a}x}) - \ln(Q_{m\acute{i}n})]}{50} \quad (8)$$

sendo,

$Q_{m\acute{a}x}$  = vazão máxima da série;

$Q_{m\acute{i}n}$  = vazão mínima da série.

- c) Cálculo dos limites dos intervalos de classes, com o intervalo calculado anteriormente, resultando na vazão do limite superior do intervalo i:

$$Q_{1+i} = \exp[\ln(Q_i) + \Delta X] \quad (9)$$

- d) Contagem das vazões ocorridas nos determinados intervalos de classes, com base nos valores das séries históricas, para cada estação fluviométrica;
- e) Obtenção da frequência associada ao limite inferior de cada intervalo (fi):

$$fi = \frac{Nq_i}{N_T} * 100 \quad (10)$$

sendo,

$Nq_i$  = número de vazões de cada intervalo;

$N_T$  = número total de vazões.

- f) Acumulo da frequência e cálculo da probabilidade;

- g) Traçado da curva de permanência, plotando na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classes, e na abscissa a permanência da vazão no tempo (%);
- h) Obtenção das vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) a partir da curva de permanência plotada acima.

#### **4.8 Regionalização Hidrológica de vazões mínimas**

A falta de séries históricas e a baixa densidade de estações fluviométricas, na bacia do Rio Amambai, constitui fator limitante para estudos relacionados ao conhecimento de vazões mínimas, caso concentrada somente nas três estações presentes no rio principal. Sendo assim, foram selecionadas três metodologias em que é possível a realização do estudo da regionalização para o conhecimento das vazões mínimas em qualquer ponto do rio principal.

As vazões mínimas de referência  $Q_{7,10}$  para os períodos trimestral e anual, e vazões com permanência de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) para o período anual, foram regionalizadas segundo três métodos:

- i. Metodologia proposta por Chaves *et al.*(2002) – baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambientes de sistemas de informações geográficas;
- ii. Metodologia proposta por Eletrobrás (1985b) - baseada no princípio da vazão específica;
- iii. Metodologia proposta por Pereira (2004) – baseada em equações de regressão.

As vazões das estações fluviométricas foram supostas desconhecidas para comparação das vazões observadas nas estações fluviométricas, obtidas por distribuição de probabilidades, com as vazões estimadas obtidas pelos métodos de regionalização propostos.

##### **4.8.1 Metodologia baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambientes de sistemas de informações geográficas**

A metodologia proposta por Chaves *et al.* (2002) tem como princípio básico o método de razão de áreas de drenagem fazendo interpolações e extrapolações de vazões mínimas em quatro casos na bacia hidrográfica, dependendo da localização do ponto.

Por representar um método de interpolação, o mesmo dispensa a definição de regiões hidrologicamente homogêneas, e também, não considera os limites de graus de liberdade, já que não utiliza equações de regressão, podendo ser aplicado em regiões onde existe baixa densidade de estações fluviométricas (Chaves *et al.*, 2002).

O método relata quatro casos com situações distintas entre si, dependentes da localização do ponto a ser determinada a vazão, sendo relacionados com a localização dos fluviômetros existentes na bacia e suas áreas de drenagem, mais próximos do ponto. As distâncias entre o ponto e a estação fluviométrica, além das áreas de drenagens, foram as variáveis independentes para o cálculo da vazão desconhecida.

O caso 1 relata a vazão (ponto de interesse) localizada a montante de um ponto com vazão conhecida. Para este caso é utilizado o método de razão de área de drenagem proposto por Stedinger *et al.* (1992) conforme equação 5, descrita acima. Quanto mais próximos os pontos X e Y estejam localizados, maior será a robustez da equação. O caso é aplicado para regiões de cabeceira da bacia, onde somente existe dados a jusante.

O caso 2 relata o ponto de interesse localizado entre duas vazões conhecidas, podendo ser estimado pela seguinte equação:

$$Q_z = A_z \left[ p_x * \frac{Q_x}{A_x} + p_y \frac{Q_y}{A_y} \right] \quad (11)$$

sendo,

$Q_z$  = vazão do ponto a ser descoberta, m<sup>3</sup>/s;

$Q_x$ ,  $Q_y$  e  $Q_z$  = vazões dos pontos X, Y e Z, m<sup>3</sup>/s

$A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$  = áreas relativas a X (montante), Y (jusante) e Z (ponto a ser descoberta) Vazão, km<sup>2</sup>;

$p_x$  = pesos relativos a X;

$p_y$  = pesos relativos a Y.

$$p_x = \frac{d_y}{(d_x + d_y)} \quad (12)$$

$$p_y = \frac{d_x}{(d_x + d_y)} \quad (13)$$



sendo,

$p_x$  = pesos relativos a X;

$p_y$  = pesos relativos a Y.

$dx$  = distância do ponto X ao ponto Z, km;

$dy$  = distância do ponto Z ao ponto Y, km.

A vazão desconhecida do ponto Z situa-se em qualquer local do rio, entre duas vazões conhecidas, uma a montante (X) e outra a jusante (Y).

O caso 3 é localizado a jusante de uma estação com vazão conhecida, este caso geralmente ocorre em áreas próximas ao exutório da bacia, havendo somente dados a montante. Este caso é semelhante ao caso 1, em que a vazão do ponto desconhecido também é obtida pela equação proposta por Stedinger *et al.* (1992) conforme equação 5.

O caso 4 ocorre em pontos de interesse situados nos canais afluentes, cuja foz está localizada entre dois postos fluviométricos em um canal de ordem superior. Este caso é uma combinação dos casos 1 e 2. Primeiramente aplica-se o caso 2 para o rio principal obtendo-se a vazão na foz do afluente direto, e depois se aplica o caso 1 para a descoberta da vazão em qualquer ponto do afluente direto. O caso 4 não foi utilizado no estudo da regionalização da bacia do Rio Amambai, visto que não possuía nenhuma estação fluviométrica localizada nos afluentes diretos do rio principal, evitando-se o cálculo na propagação do erro para o caso em questão.

#### **4.8.2 Metodologia baseada no princípio da vazão específica**

A metodologia descrita por Eletrobrás (1985b) é baseada no princípio de que a vazão estimada é obtida por relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem das estações mais próximas.

Como o método apresentado anteriormente, este também não utiliza o conceito de regiões hidrologicamente homogêneas e graus de liberdade, não dependendo de equações de regressão, não limitando a quantidade mínima de estações fluviométricas presentes.

O método apresenta quatro casos distintos, também, dependentes da localização da seção de interesse em relação às estações fluviométricas já existentes.

O caso 1 e caso 2 apresentam a mesma equação proposta por Stedinger *et al.* (1992) representada na equação 5, sendo o caso 1 para situações a montante e caso 2 para situações a

jusante de um ponto de interesse em relação às estações fluviométricas situadas no mesmo curso d'água.

O caso 3 é representado pelo ponto de interesse localizado entre duas estações fluviométricas com vazões conhecidas, sendo estimado pela seguinte equação:

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) * (Q_j - Q_m) \quad (14)$$

sendo,

$Q_z$  = vazão no ponto de interesse,  $m^3/s$ ;

$A_z$  = área de drenagem do ponto de interesse,  $km^2$ ;

$Q_m$  e  $Q_j$  = vazões a montante e a jusante do ponto de interesse,  $m^3/s$ ;

$A_m$  e  $A_j$  = áreas de drenagem a montante e a jusante do ponto de interesse,  $km^2$ .

O caso 4 representa a vazão na seção de interesse localizada no afluente direto do rio principal, cuja foz está localizada entre duas estações fluviométricas, com vazões conhecidas, situadas em curso d'água de ordem superior. Depois é utilizada a equação 5 para a descoberta da vazão estimada em qualquer ponto do afluente direto. Este caso não foi utilizado no estudo da bacia Amambai, porque não existia nenhuma estação fluviométrica localizada nos afluentes diretos do rio principal.

#### **4.8.3 Metodologia proposta por Pereira (2004)**

Pereira (2004) propôs o ajuste de modelos de regressão às séries de dados calculados para cada estação fluviométrica. A metodologia é baseada na proposição de que a vazão estimada pela equação de ajuste, considerando todas as estações pertencentes ao mesmo curso d'água, é mais representativa do que vazões obtidas pontualmente.

A metodologia proposta ajusta modelos de equações de regressão para a representação da vazão mínima em função da área de drenagem para o rio principal, e obter as vazões na foz dos afluentes diretos do rio principal utilizando os valores das áreas de drenagem de cada ponto de interesse.

Conhecidas as vazões observadas nas três estações fluviométricas, partiu-se para os ajustes das equações de regressão para a representação das vazões mínimas estimadas, no rio principal, tendo como função a área de drenagem de cada estação fluviométrica.

As equações foram forçadas a passar pela origem, uma vez que, quando a área de drenagem é zero, a vazão deve ser nula. Com as equações de regressão para o rio principal é possível obter a vazão estimada em qualquer ponto da seção, necessitando para isso somente a área de drenagem do ponto de interesse.

#### 4.9 Comparação entre as metodologias de regionalização de vazão

As vazões mínimas estimadas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) obtidas pelas três metodologias de regionalização de vazão, juntamente com os valores observados nas estações fluviométricas, calculadas para os mesmos pontos de localização no rio principal, foram avaliadas segundo a precisão das metodologias por meio da aplicação de dois índices de erro relativo e coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe apresentados a seguir:

a) Erro relativo (%)

$$ER = 100 * Abs\left(\frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}}\right) \quad (15)$$

sendo,

ER= erro relativo (%);

Abs= valor absoluto;

$Q_{obs}$ = vazão observada no posto fluviométrico;

$Q_{est}$ = vazão estimada com base nas metodologias de regionalização de mínima.

b) Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (Nash & Sutcliffe, 1970)

$$E = \frac{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 - \sum(Q_{obs} - Q_{est})^2}{\sum(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (16)$$

A avaliação da melhor metodologia será verificada como menor valor de erro relativo (%) e o maior valor de coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe, avaliado de 0 a 1.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Características Físicas da Bacia Hidrográfica

O limite da bacia hidrográfica do Rio Amambai e seus afluentes diretos estão apresentados na figura 4. Verificou-se que o Rio Amambai apresenta extensão de aproximadamente 354 km e área de drenagem de, aproximadamente, 10.125 km<sup>2</sup>.

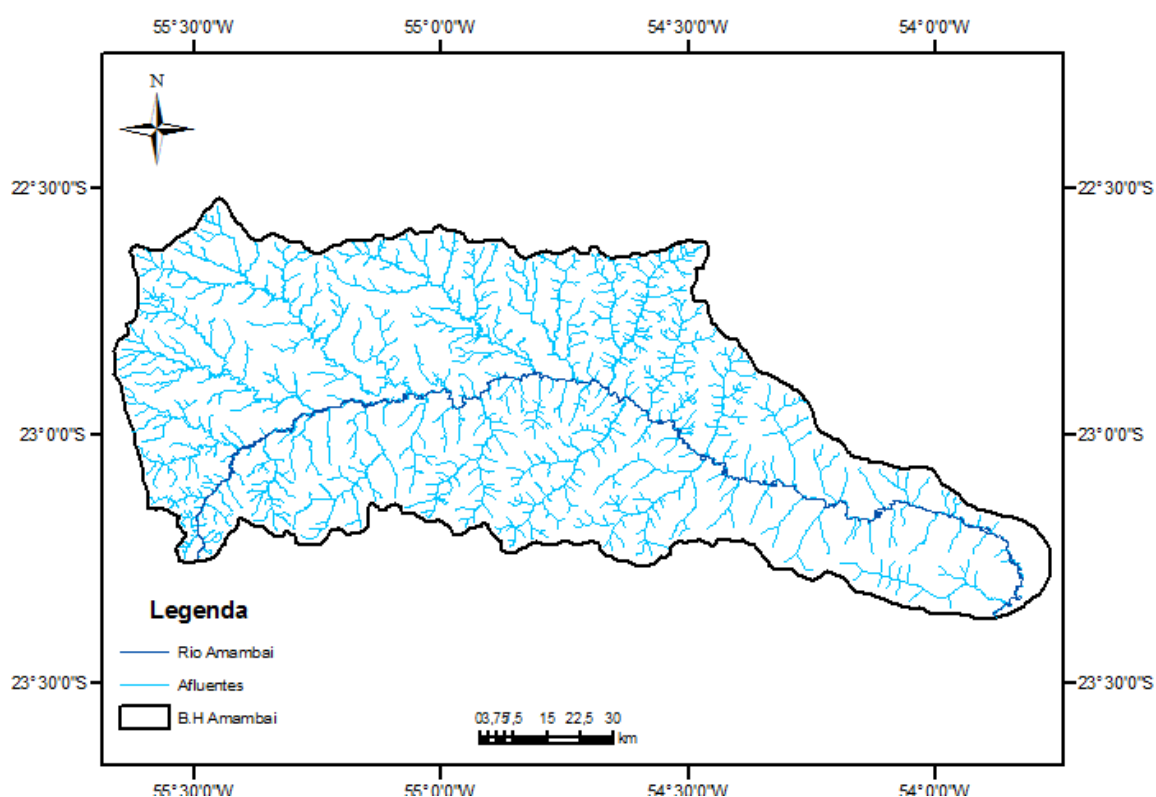


Figura 4- Localização do Rio Amambai e seus afluentes.

### 5.2 Análise do comportamento pluviométrico

Após a triagem, preenchimento e análise da consistência de 24 estações pluviométricas foram obtidas as precipitações médias mensais e anual na bacia hidrográfica, precipitações médias anuais nas sub-bacias dos postos fluviométricos e precipitações médias anuais nas áreas de drenagem dos afluentes diretos.

A Figura 5 representa a espacialização da precipitação média anual ao longo da bacia hidrográfica, considerando o período de análise dos dados de 1984 a 2010. É possível notar a precipitação mais intensa na região de cabeceira do Rio Amambai possuindo valores aproximadamente de 1.730 mm, primeiro 1/3 da bacia, na qual decai gradativamente ao longo do curso d'água principal chegando ao exutório com valores próximos a 1410 mm. A precipitação média anual, espacializada na área de abrangência da bacia, é de 1.527 mm e desvio padrão de 91,04 mm.

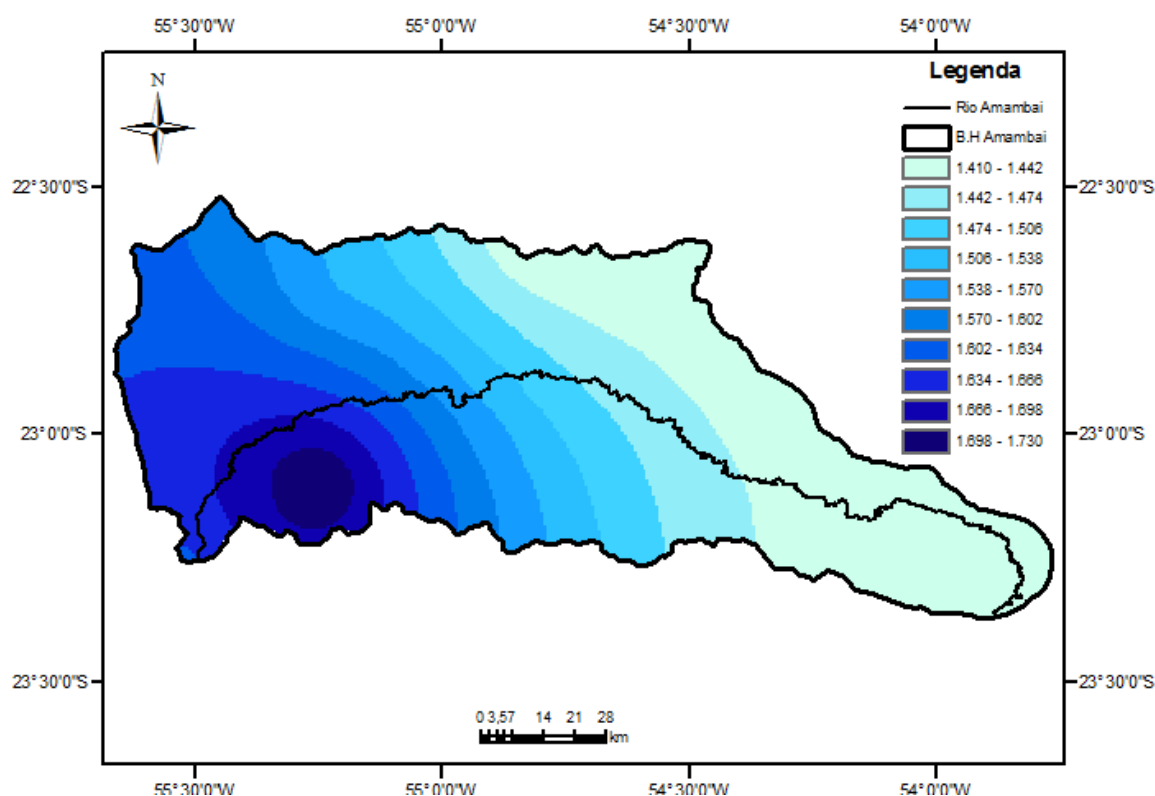


Figura 5 - Espacialização da precipitação média anual na Bacia.

As Figuras 6 a 17 representam a espacialização da precipitação média mensal na bacia. As precipitações, de Janeiro a Dezembro, variam da mínima a máxima com amplitude de 170 mm.

A tabela 6 apresenta os valores das precipitações mensais máximas, médias e mínimas. Os meses de Julho e Dezembro apresentaram, respectivamente, os menores e maiores valores de precipitação na região de estudo.

Tabela 6 - Precipitação média, máxima e mínima mensal (mm).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	170	158	135	127	132	82	46	61	114	165	167	178
Máx	192	173	160	174	157	105	54	66	125	205	199	210
Mín	160	146	107	102	109	69	41	55	104	140	141	153

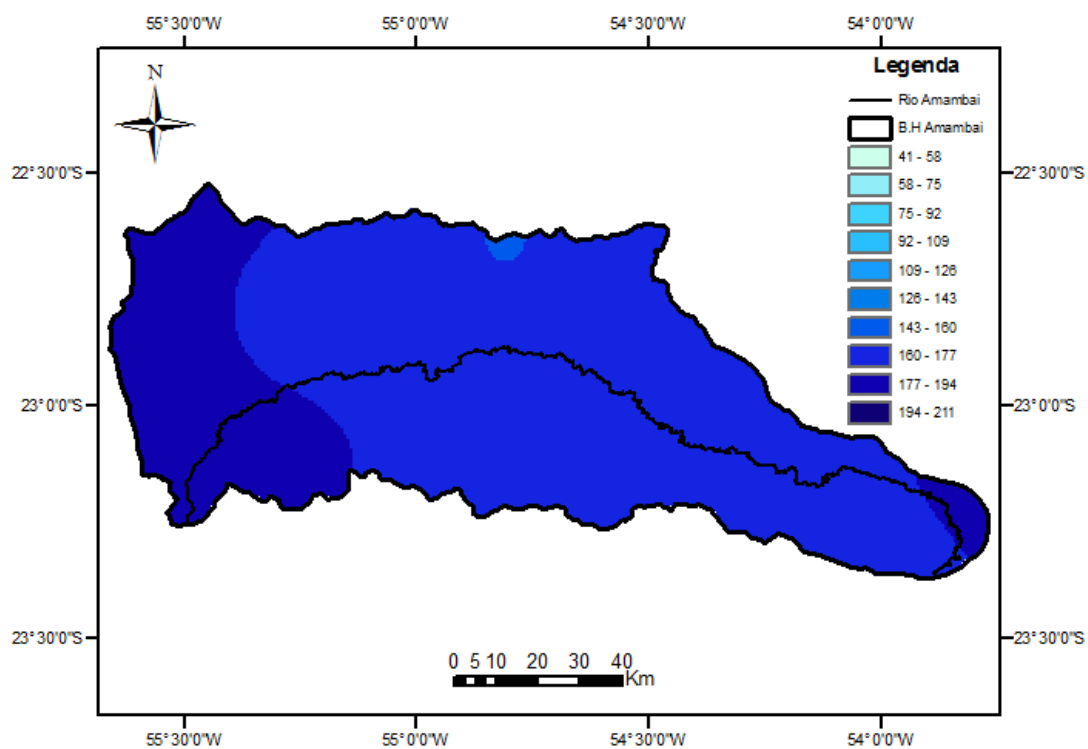


Figura 6 - Espacialização da precipitação média mensal de Janeiro.

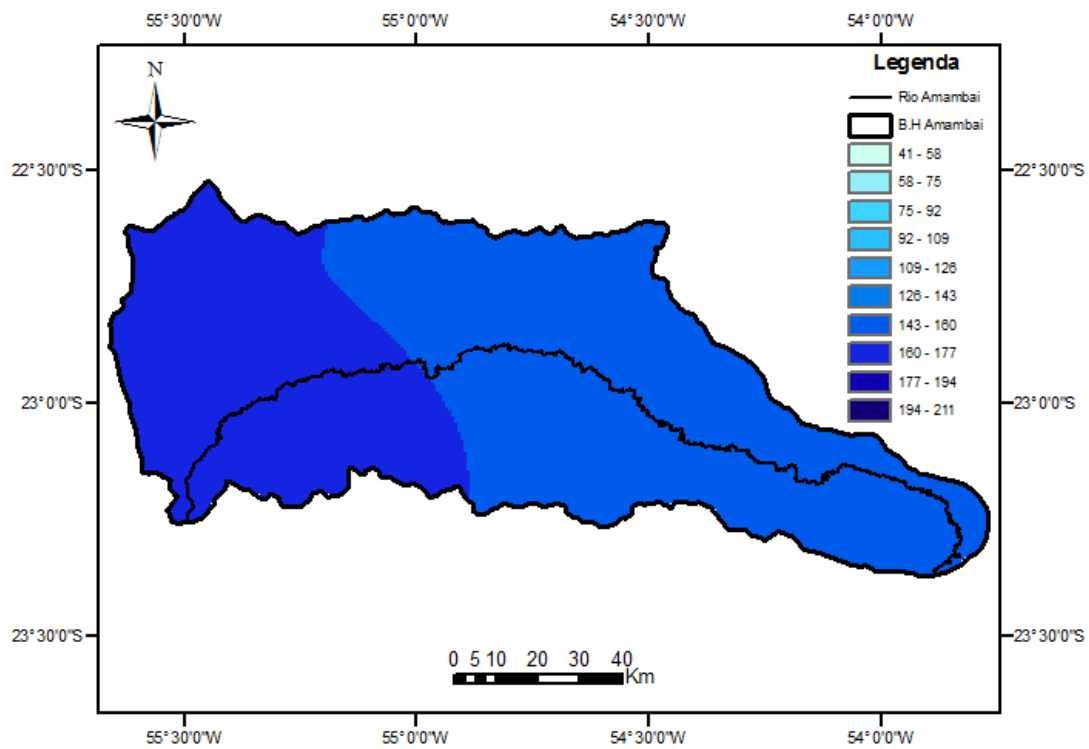


Figura 7 - Espacialização da precipitação média mensal de Fevereiro.

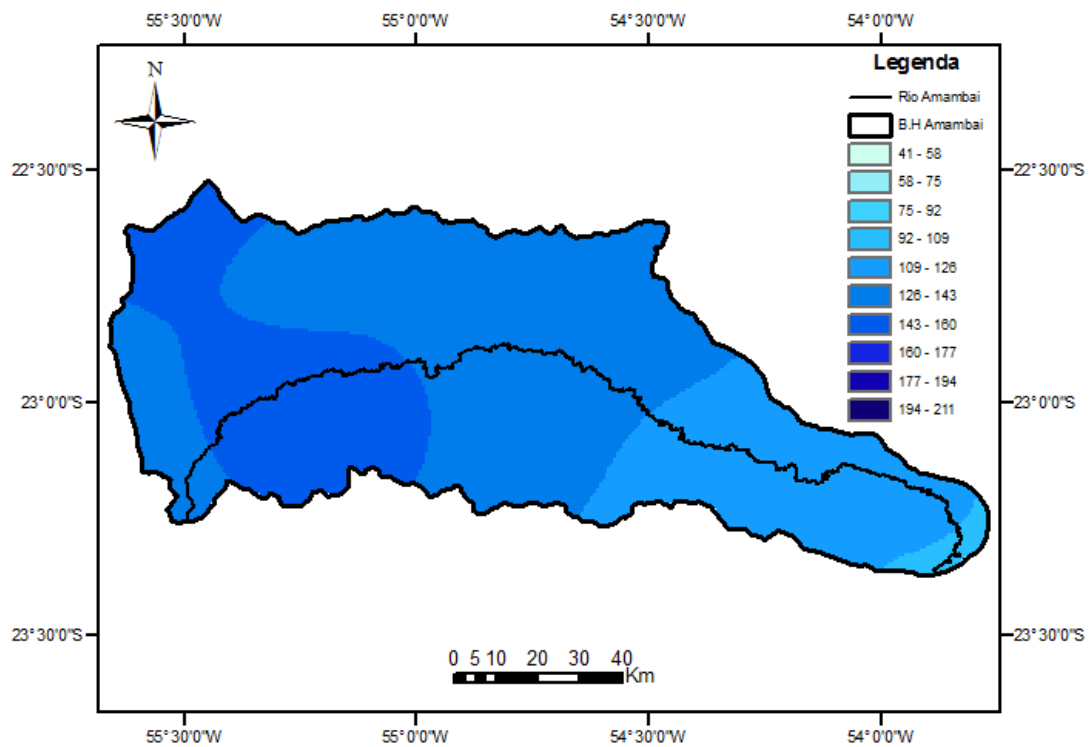


Figura 8 - Espacialização da precipitação média mensal de Março.



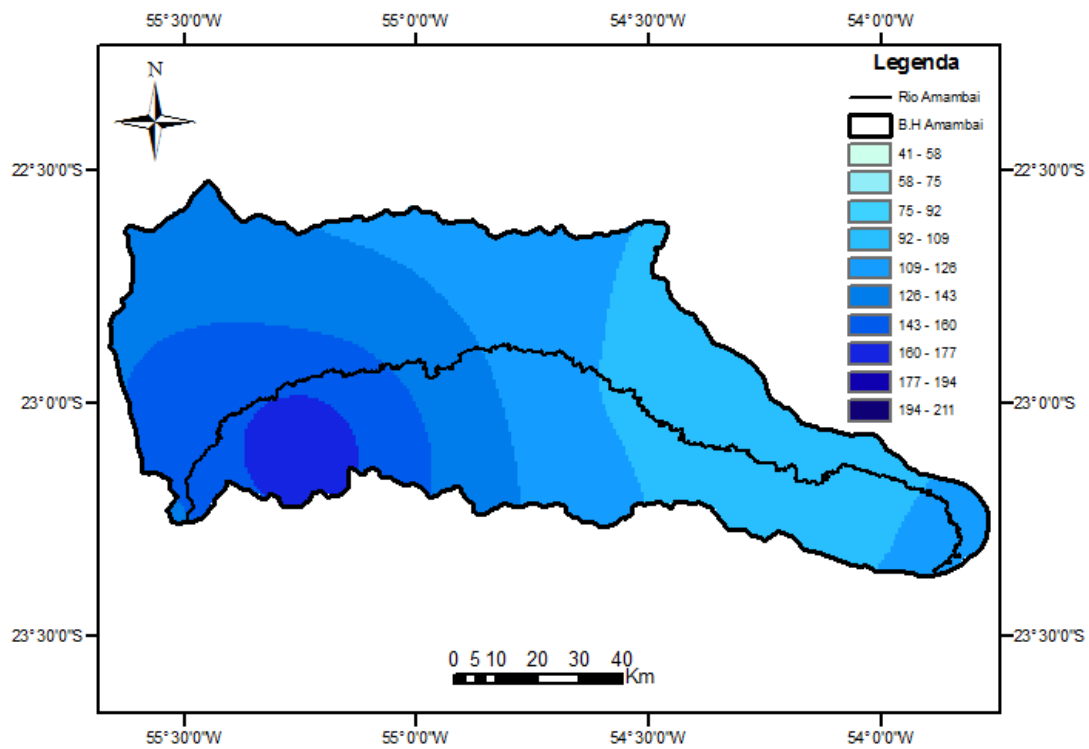


Figura 9 - Espacialização da precipitação média mensal de Abril.

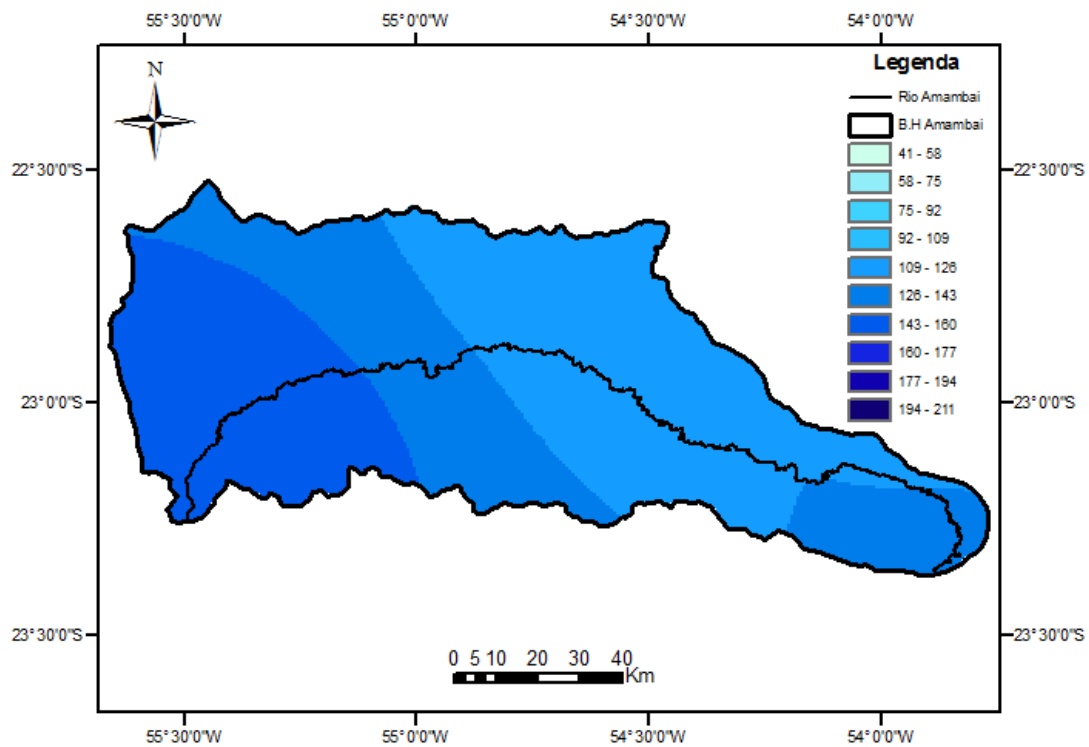


Figura 10 - Espacialização da precipitação média mensal de Maio.

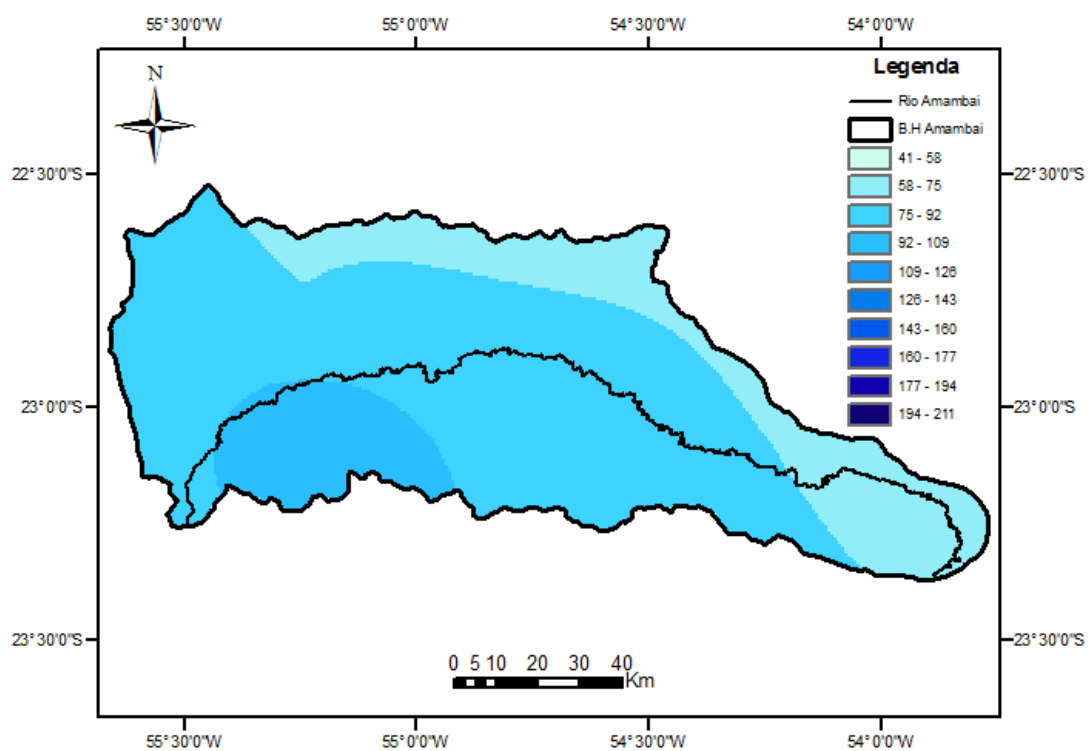


Figura 11 - Espacialização da precipitação média mensal de Junho.

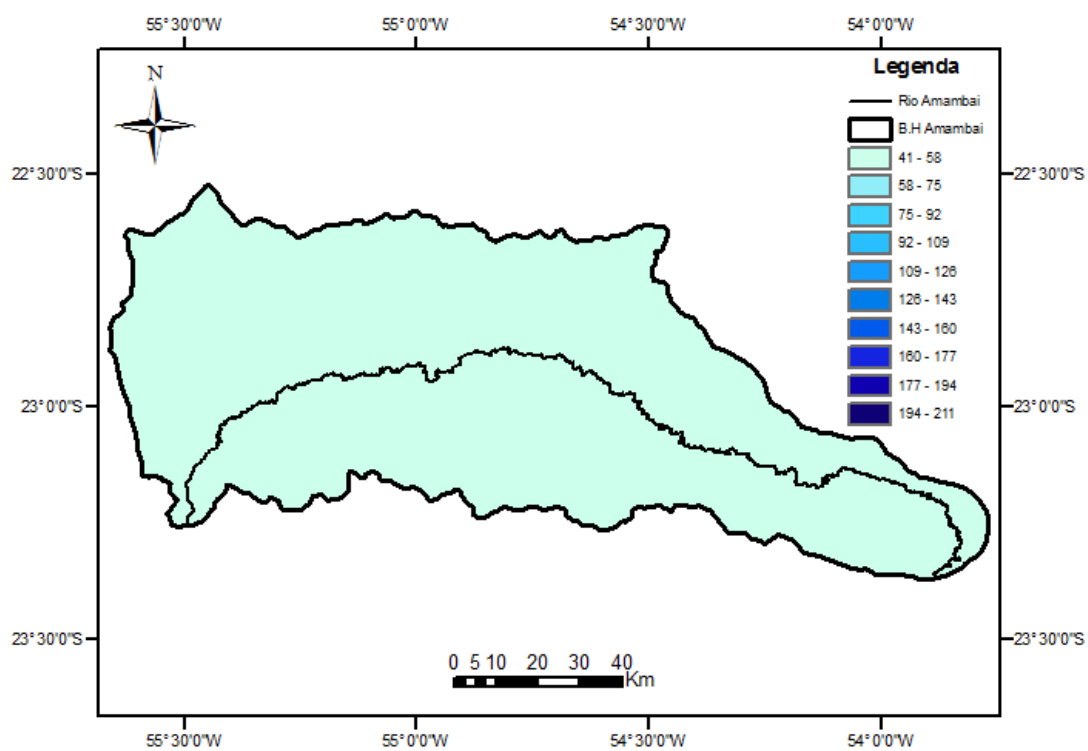


Figura 12 - Espacialização da precipitação média mensal de Julho.

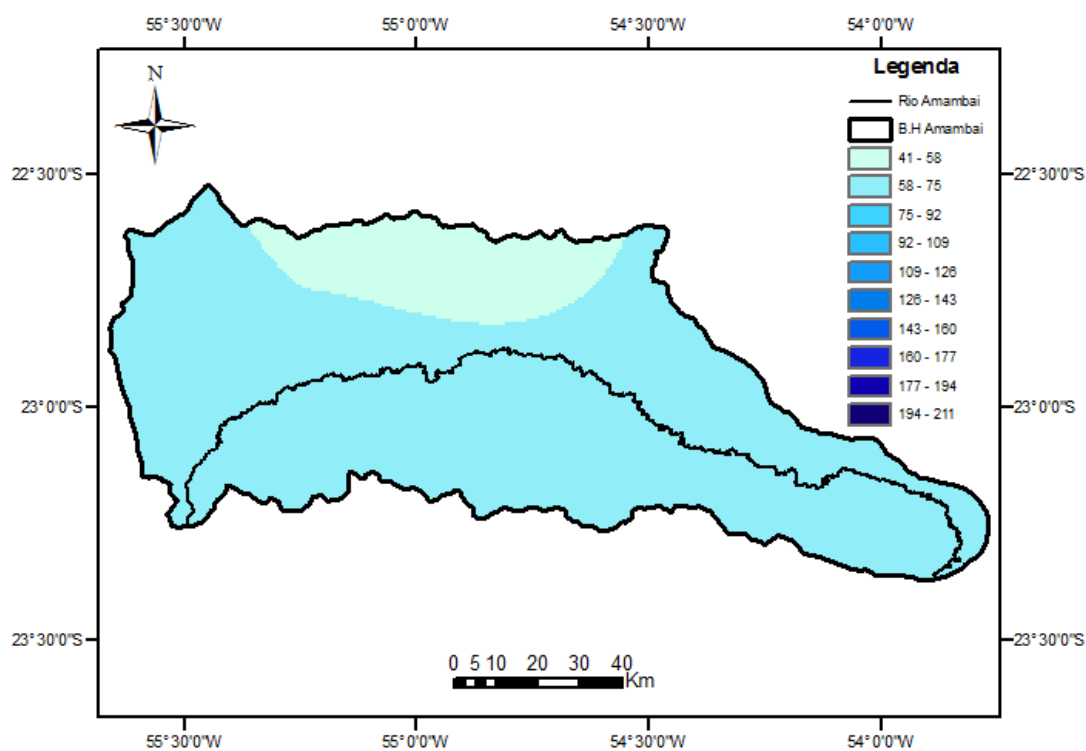


Figura 13 - Espacialização da precipitação média mensal de Agosto.

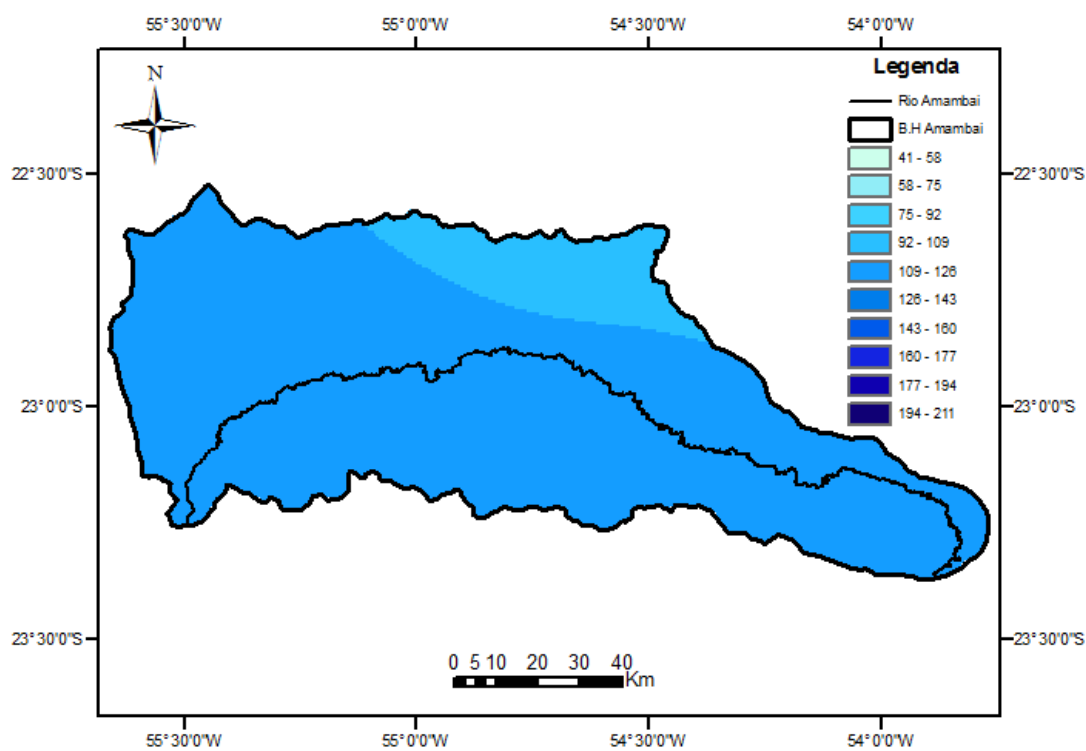


Figura 14 - Espacialização da precipitação média mensal de Setembro.

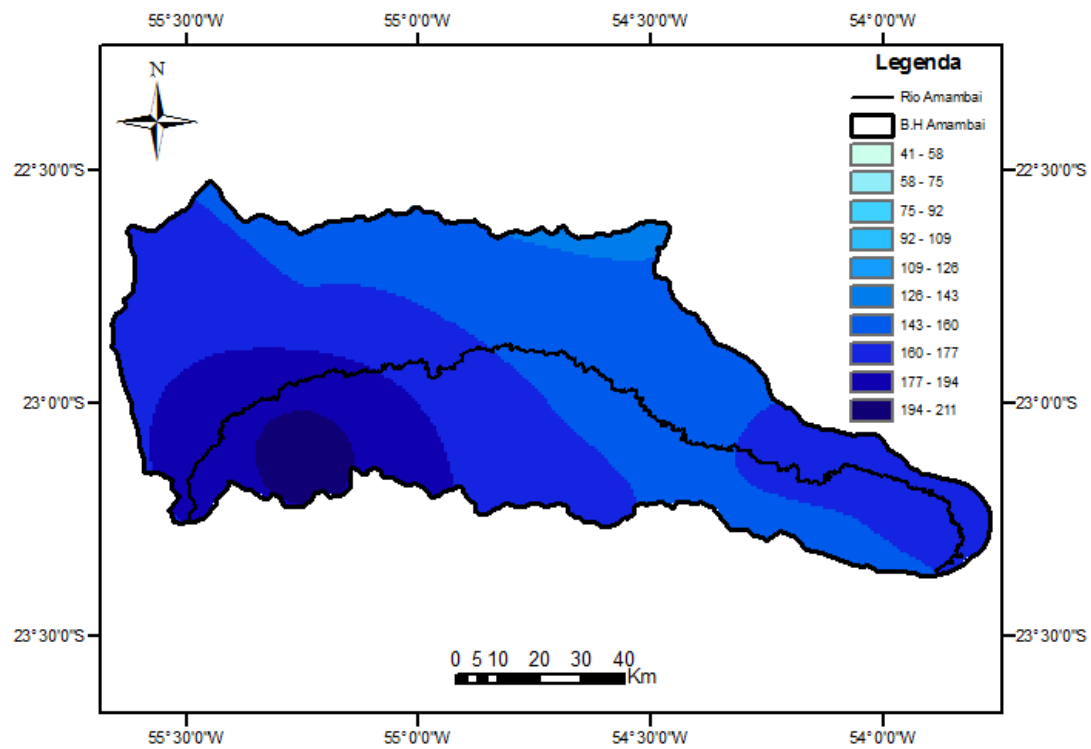


Figura 15 - Espacialização da precipitação média mensal de Outubro.

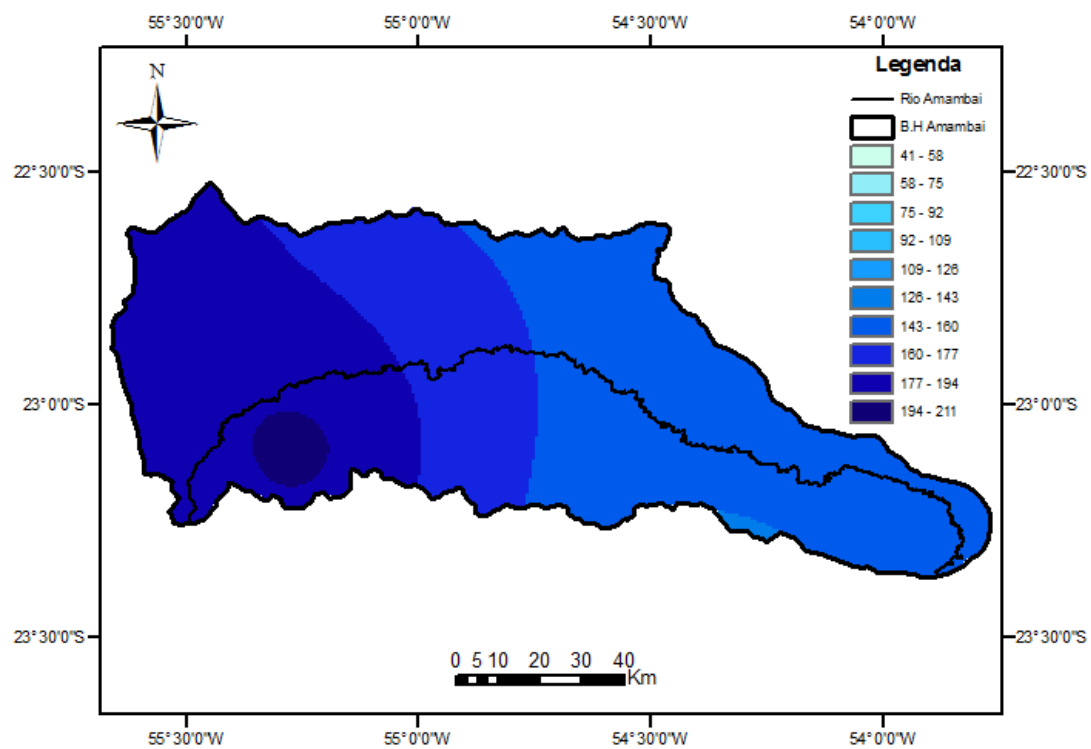


Figura 16 - Espacialização da precipitação média mensal de Novembro.

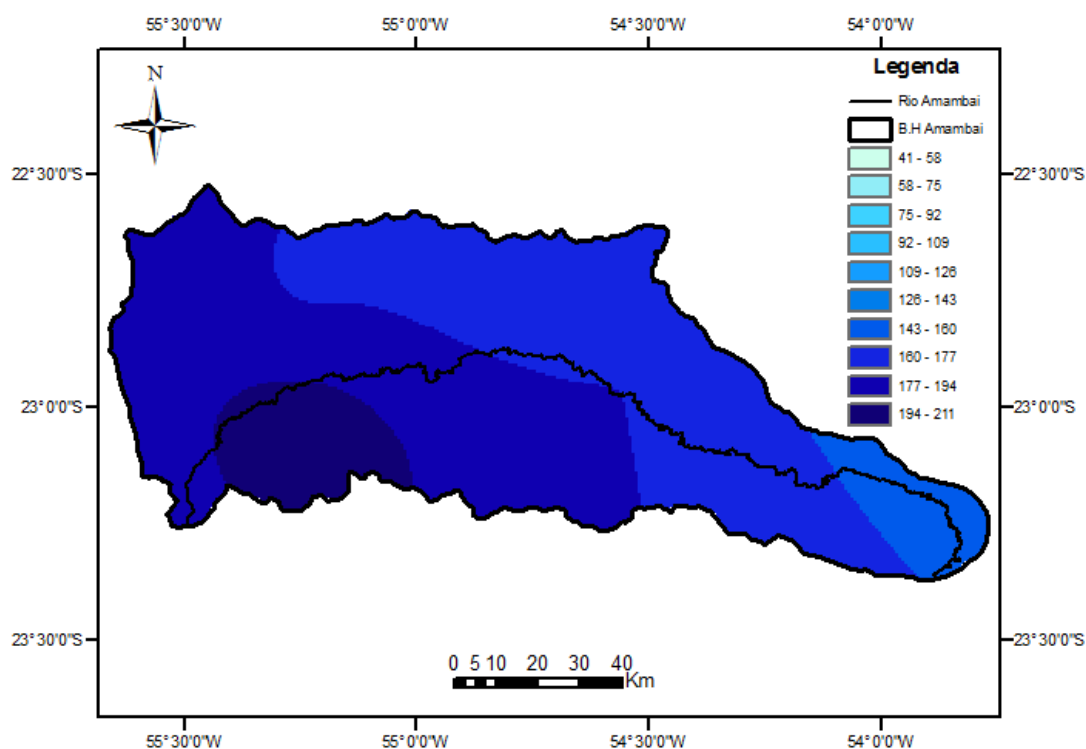


Figura 17 - Espacialização da precipitação média mensal de Dezembro.

Os meses de Janeiro, Abril, Maio e Outubro apresentaram maior intensidade na região de cabeceira da bacia, decaindo em direção à foz do rio principal, ocorrendo um leve aumento da precipitação na região do exutório. O mês de Julho manteve-se constante. Os meses de Agosto e Setembro apresentaram leve tendência de menor intensidade na região norte da bacia. Os meses de Fevereiro, Março, Junho, Novembro e Dezembro apresentaram mais intensidade de chuva na região de cabeceira, decaindo ao longo do rio principal até o exutório.

Analisando as precipitações médias mensais (Figura 18) é possível verificar que o período chuvoso compreendido de Outubro a Março possui média de precipitação de 134 mm em Março, chegando a 178 mm em Dezembro. O período de estiagem compreendido de Abril a Setembro possui menor precipitação média em Julho (46 mm), chegando a 132 mm em Maio.

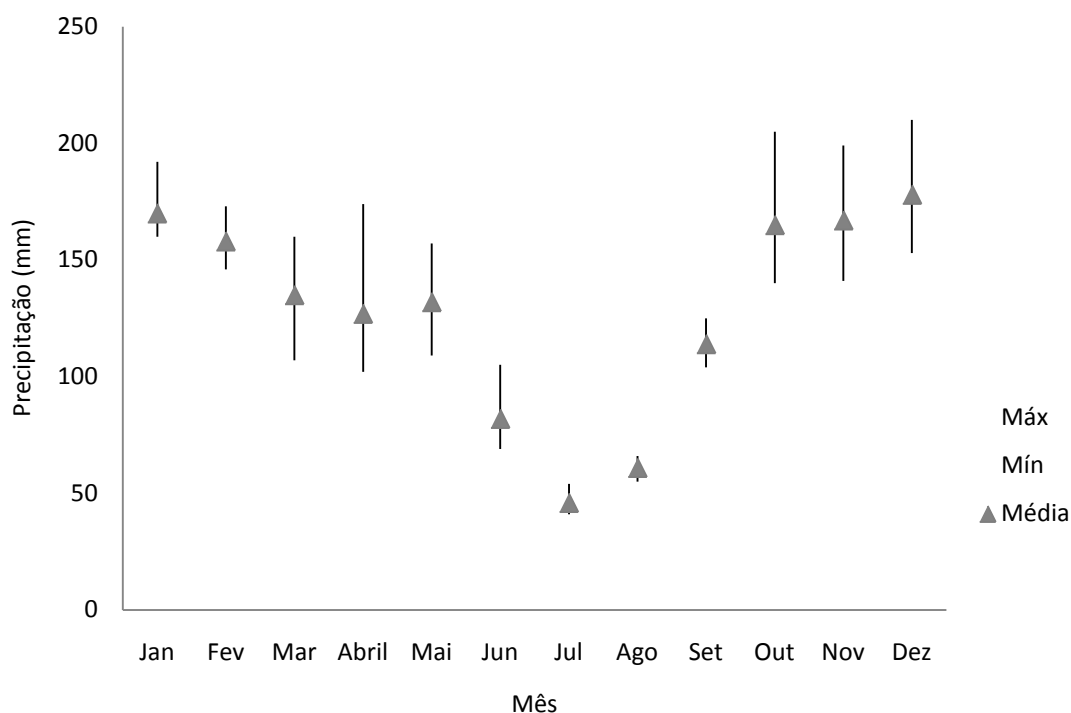


Figura 18 - Comportamento das precipitações médias mensais na bacia e seus respectivos valores máximos e mínimos.

A Figura 19 representa a precipitação média anual em função da área de drenagem das estações fluviométricas e exutório da bacia. É possível verificar que a estação 64700000, com área de  $1.806 \text{ km}^2$ , apresenta a maior precipitação, decrescendo a partir desta estação à taxa de  $0,015 \text{ mm/km}^2$ . A curva de precipitação em função da área de drenagem sofreu ajuste polinomial quadrático ( $R^2=1$ ).

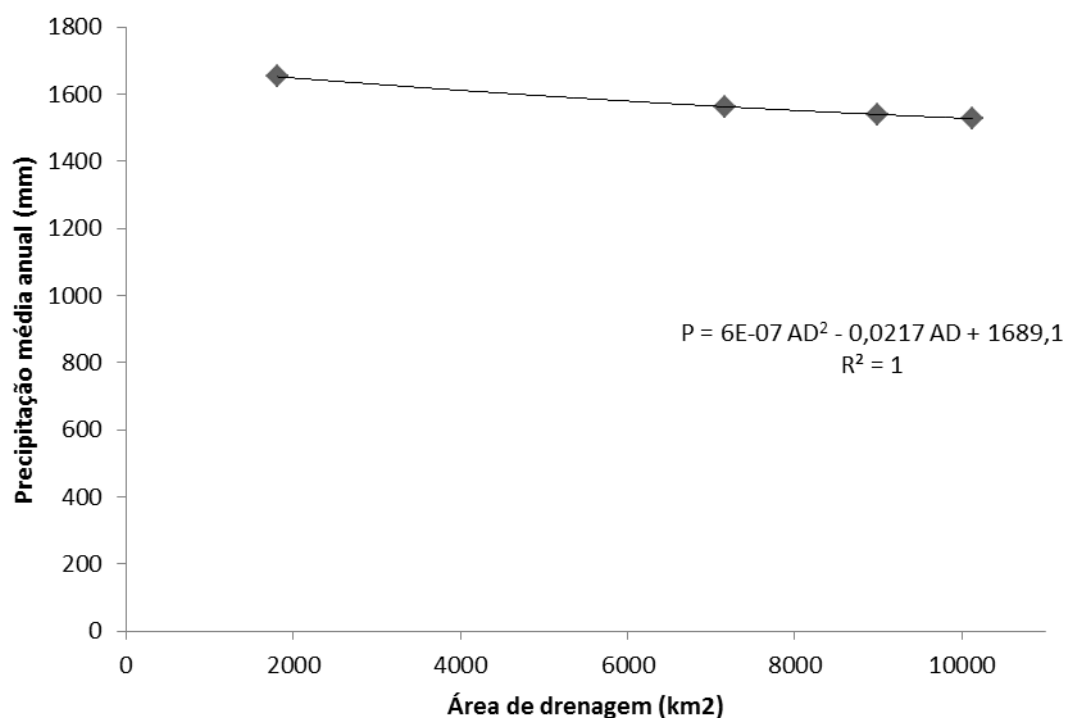


Figura 19 - Precipitação média anual em função das áreas de drenagem das estações fluviométricas ao longo do rio principal.

A estação fluviométrica Navirai, com área envolvendo 89% da bacia em estudo, foi adotada como representante da área de drenagem da Bacia Hidrográfica Amambai.

A figura 20 apresenta as precipitações médias anuais nas áreas de drenagem dos afluentes do Rio Amambai, bem como a precipitação média anual da estação Navirai. As sub-bacias dos Córregos Camgueri, Panduí, Jaguari, Guaembeperi, e Rios Corrente e Verde, apresentam maiores valores de precipitações médias, superando a precipitação média da Estação Navirai.

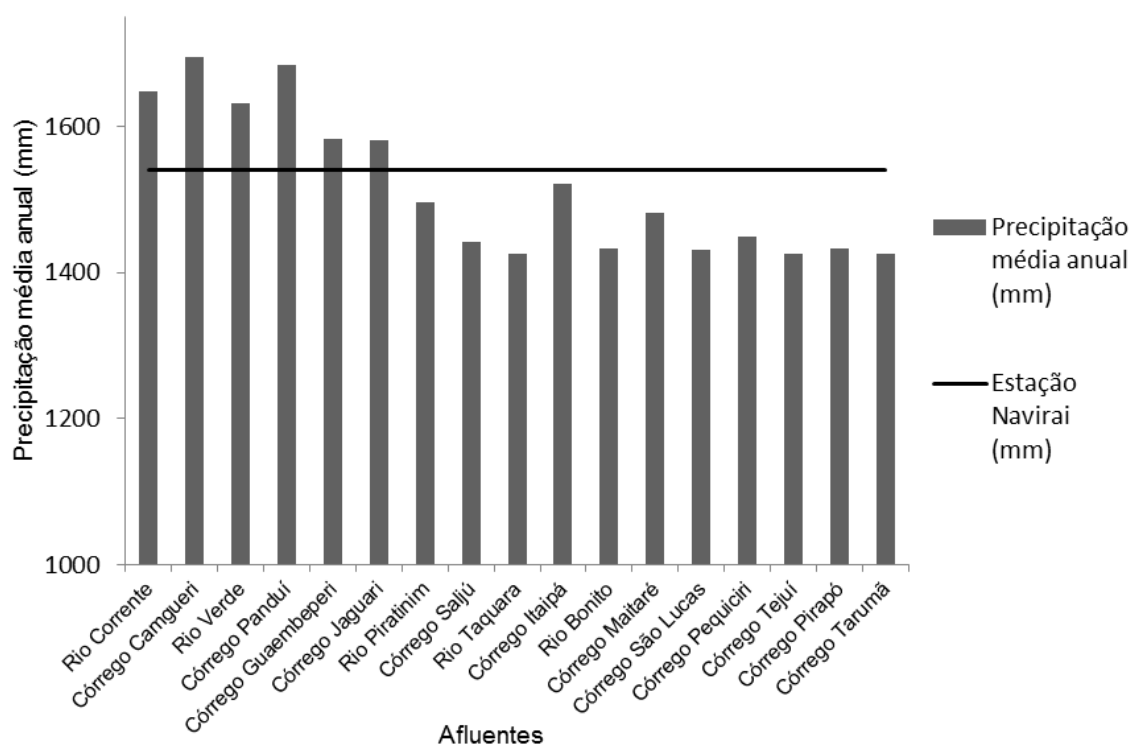


Figura 20 - Precipitação média anual nas áreas de drenagem dos afluentes e da área de drenagem da bacia (estação Navirai).

Na análise da contribuição potencial de cada afluente estudado (Figura 21), constata-se que as maiores contribuições, para o rio principal, são dos Rios Piratinim e Verde, registrados com influência de 9% cada, e Córrego Guaembeperi, com influência de 14%. Apesar de não serem as sub-bacias com as maiores precipitações médias, são as que possuem os maiores valores de área de drenagem.

A Sub-bacia do Córrego Guaembeperi representa 13% da área de drenagem da Bacia, abrange a maior contribuição potencial com cerca de 14%, sendo a precipitação média na sub-bacia 3% superior da área em estudo. Analisando a Sub-bacia do Rio Verde, segunda maior contribuição potencial (9%), observa-se área de drenagem de 8% da área da bacia em estudo, indicando precipitação média superior de 5% da média da bacia. Já a sub-bacia do Rio Camgueri possui a maior contribuição de precipitação média (10% superior à área estudada), porém com somente 2% da área em estudo, apresentando contribuição potencial baixa (2%).



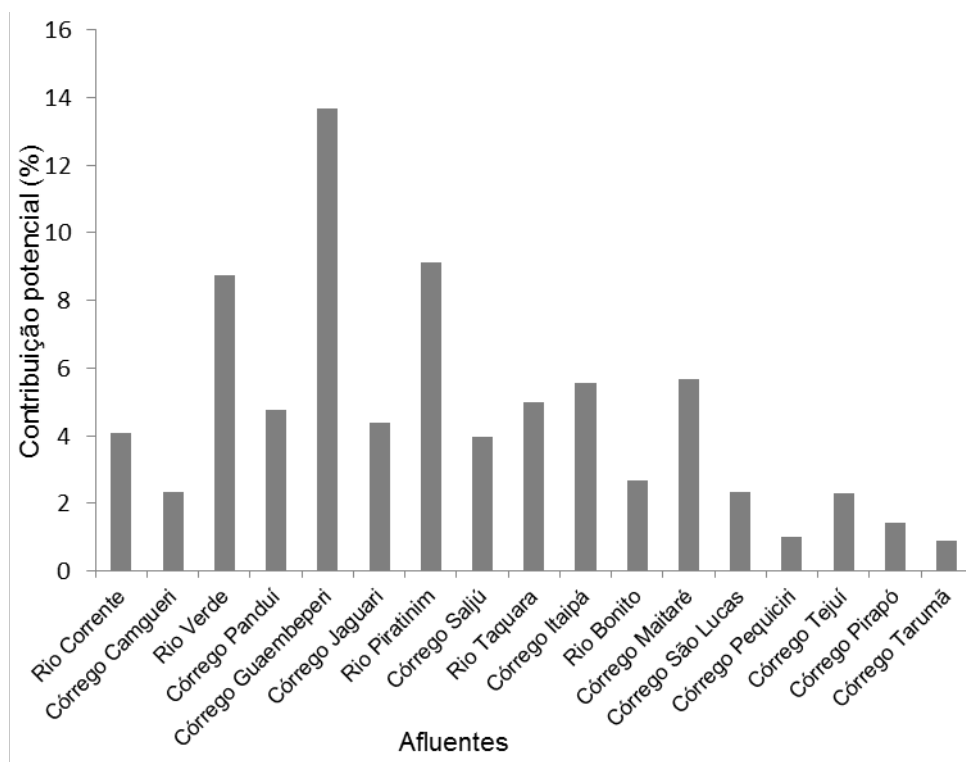


Figura 21 - Proporção da contribuição potencial dos afluentes do Rio Amambai.

### 5.3 Vazão média nos afluentes do Rio Amambai

Na Figura 22 é apresentada a contribuição real dos afluentes para a formação da vazão do rio principal da bacia, considerando os períodos de 1984 a 2010. A sub-bacia do Córrego Guaembepari, com área de drenagem  $1.198\text{km}^2$ , apresenta a maior contribuição real dos afluentes (14%), sendo o mesmo valor encontrado para a contribuição potencial (14%). A maior diferença entre os dois tipos de contribuição ocorre na sub-bacia do rio Piratinim, cerca de 0,5% a mais para a proporção de contribuição real, no restante dos afluentes a proporção é praticamente igualada.

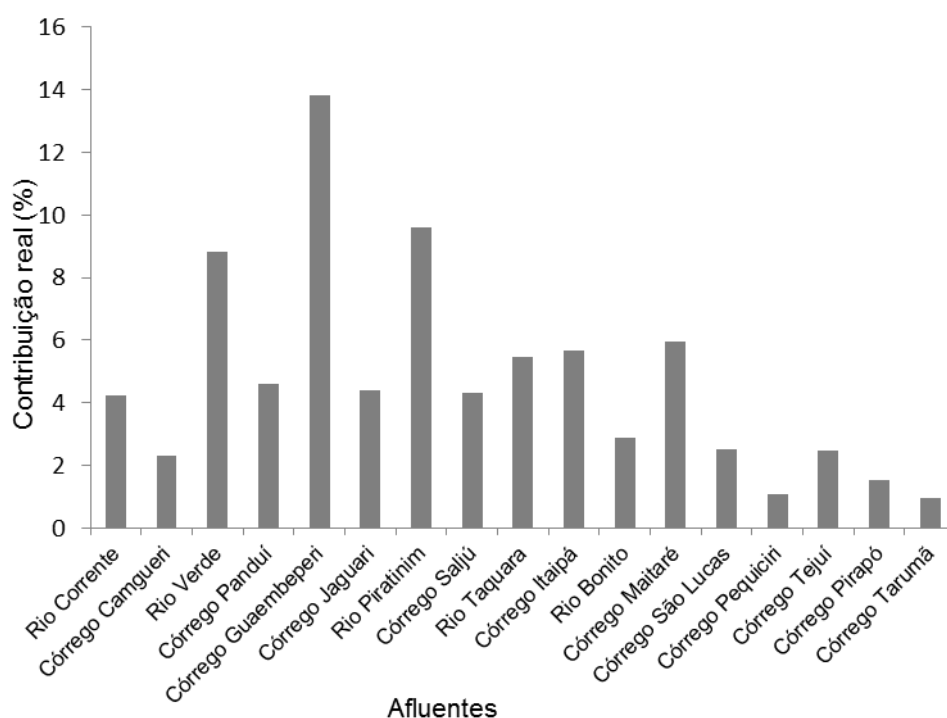


Figura 22 - Proporção da contribuição real dos afluentes do Rio Amambai.

A Figura 23 apresenta a vazão específica média de longa duração dos principais afluentes do rio Amambai em relação à estação Naviraí. É possível notar que as maiores vazões específicas encontram-se na região de cabeceira do rio principal, decaindo ao longo do curso, com valores mais baixos nos últimos afluentes, os Córregos Pequiciri e Tarumã. Essa diminuição ocorre devido à área de drenagem aumentar ao longo do curso principal e a precipitação ser mais intensa na região de cabeceira. Segundo (Tucci, 1993) existe uma tendência geral da vazão específica diminuir com o aumento da área de drenagem da bacia e com concentração de precipitação maior em regiões de cabeceira.

Analisando a sub-bacia do Córrego Guaembeperi, nota-se que por possuir a maior área de drenagem, com  $1.198 \text{ km}^2$ , a vazão específica foi superior cerca de 62% em relação à média da bacia em estudo, enquanto a sub-bacia do Rio Corrente, maior valor de vazão específica, representou 178% a mais que a média, possuindo  $342 \text{ km}^2$  de área. É possível entender a ocorrência de valores menores de vazão específica para as maiores áreas de drenagens, já que o mesmo é a relação da vazão média de longa duração com a área de drenagem.

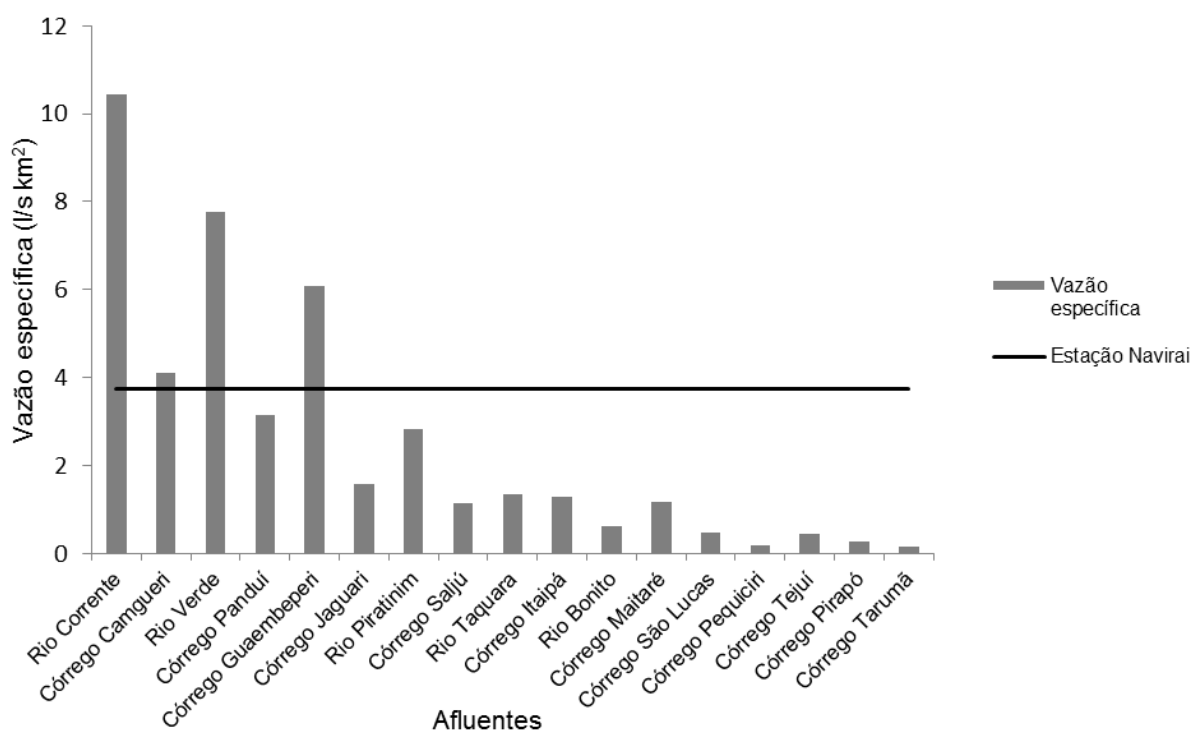


Figura 23 - Vazão específica média de longa duração nos afluentes e no Rio Amambai.

A Figura 24 apresenta o coeficiente de deságue das sub-bacias dos afluentes e do rio principal.

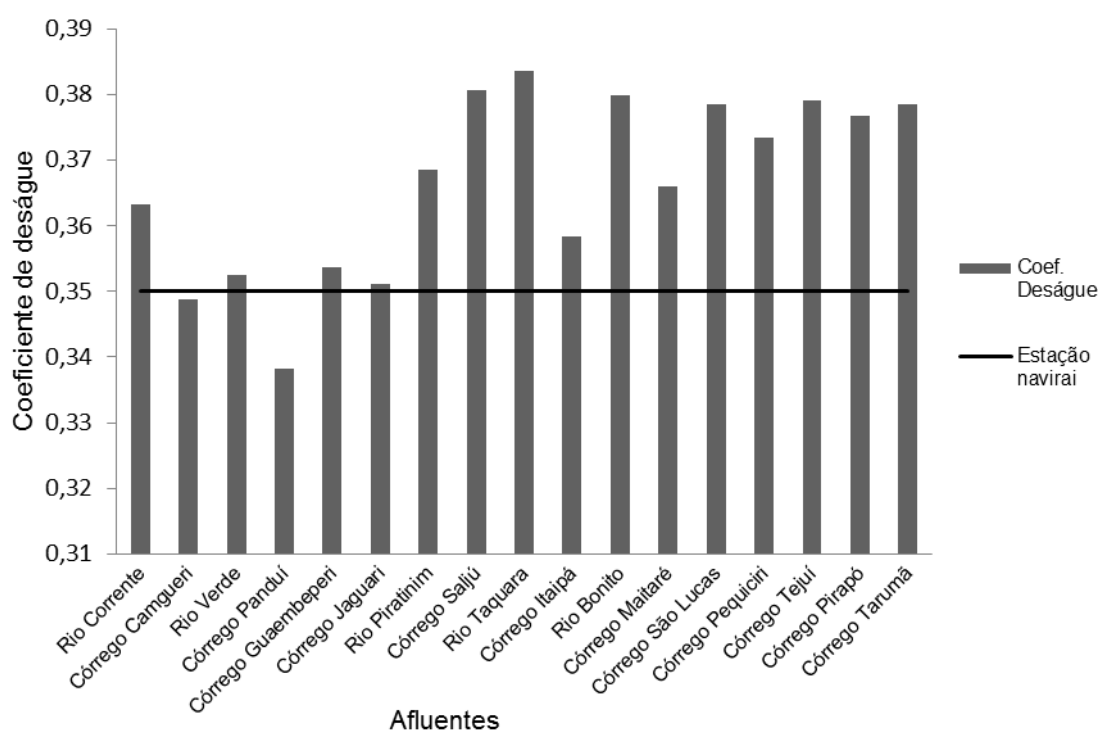


Figura 24 - Coeficiente de deságue nos afluentes e no rio principal da bacia do Amambai.

Os Córregos Camgueri e Panduí apresentaram os menores coeficientes de deságue, respectivamente 0,4% e 3,4%, de redução em relação à bacia Amambai. Já o rio Taquara apresentou o maior valor, com 9,6% de acréscimo.

É possível verificar coeficientes de deságue menores na primeira porção da bacia, do Córrego Camgueri até o Córrego Jaguari, sendo o Córrego Panduí o menor coeficiente (0,34).

A diminuição do coeficiente de deságue nas sub-bacias dos Córregos Camgueri, Panduí, Guaembeperi e Jaguari, e no Rio Verde é atribuída às maiores precipitações na região.

Nota-se, também, na margem direita da bacia do Amambai, que todos os afluentes com exceção do rio Corrente (primeiro afluente da bacia Amambai), apresentam aumento gradativo de montante para jusante o coeficiente de deságue, comparando com a média da bacia, o Córrego Panduí apresenta -3,4%, Córregos Jaguari 0,3%, Itaipá 2,4%, Maitaré 4,6%, Pequiciri 6,7% e Córrego Pirapó 7,6%.

## 5.4 Vazão Mínima

### 5.4.1 Vazão mínima anual – $Q_{7,10}$

A figura 25 apresenta as variações das vazões mínimas  $Q_{7,10}$ , observada na estação 64700000 e estimadas utilizando as distribuições de probabilidades de Weibull, Gama, Extremo tipo I, Log-Normal e Normal, em função do período de retorno. Pode-se analisar a distância e diferença de traçado entre as curvas da vazão observada com as distribuições de Extremo do Tipo I e Normal, superestimando a vazão mínima com período de retorno de um a nove anos e subestimando de nove anos em diante.

A tabela 7 mostra os valores das vazões mínimas resultantes das distribuições de probabilidade e análise de aderência, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Observa-se a aderência dos dados de vazão mínima a todos os modelos de probabilidade analisados ao nível de significância de 5%. Aceita-se a hipótese  $H_0$ . Ressalta-se que as distribuições Weibull, Gama e Log-Normal responderam melhor ao teste e de forma semelhante, uma vez que, apresentaram valores de p-value mais elevados.

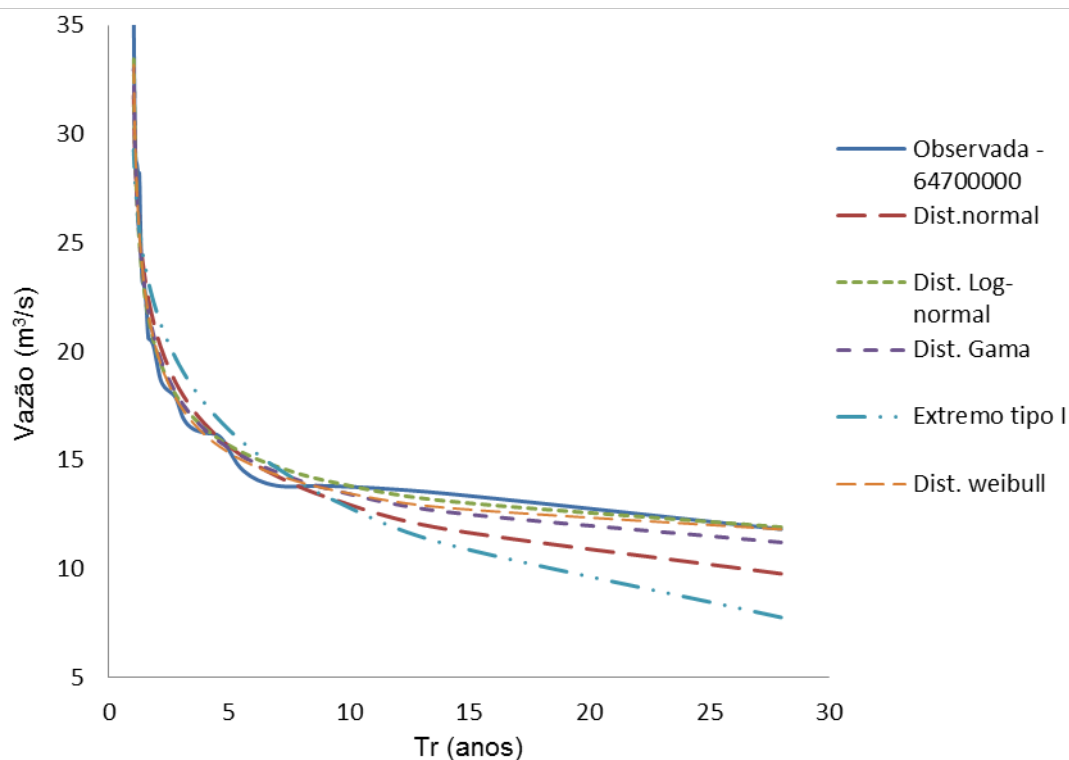


Figura 25 - Distribuição da  $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64700000.

Tabela 7 - Valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64700000.

Estação	Distribuição	$Q_{7,10}$ (m³/s)	P-value
64700000	Normal	12,98	0,9357
	Log-Normal	13,85	0,9974
	Gama	13,46	0,9974
	Extremo tipo I	12,85	0,5256
	Weibull	13,49	0,9974

A figura 26 apresenta as variações das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  observada e estimadas utilizando as distribuições de probabilidades de Weibull, Gama, Extremo tipo I, Log-Normal e Normal, em função do período de retorno. É possível verificar diferença de traçado entre as curvas da vazão observada com as distribuições de Extremo do Tipo I, Normal e Weibull. As distribuições do Extremo do Tipo I e Normal seguem o mesmo comportamento da estação 64700000, e a distribuição Weibull superestima a vazão mínima logo após o período de retorno de cinco anos.

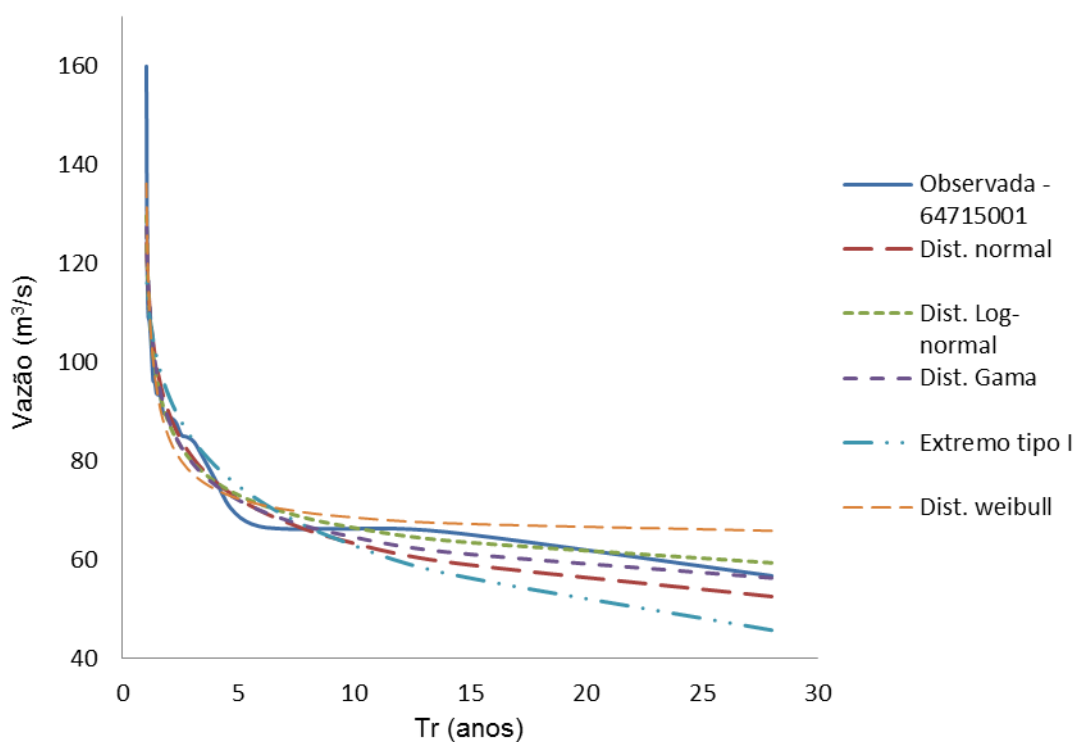


Figura 26 - Distribuição da  $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64715001.

Natabela 8 estão relacionadas às vazões mínimas estimadas com as distribuições de probabilidade e as análises de aderência.

Tabela 8 - Valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64715001.

Estação	Distribuição	$Q_{7,10}$ (m³/s)	P-value
64715001	Normal	63,36	0,9284
	Log-Normal	66,51	0,9963
	Gama	64,58	0,9963
	Extremo tipo I	62,91	0,5176
	Weibull	68,57	0,7435

Observa-se a aderência dos dados de vazão mínima a todos os modelos de probabilidade analisados ao nível de significância de 5%. Aceita-se a hipótese  $H_0$ . Salienta-se que as distribuições Log-Normal e Gama responderam melhor ao teste e de forma semelhante, visto que apresentaram os valores mais elevados de p-value.

Na figura 27 estão apresentadas as vazões mínimas  $Q_{7,10}$ , observada na estação 64717000 e estimadas utilizando as distribuições de probabilidades de Weibull, Gama, Extremo tipo I, Log-Normal e Normal, em função do período de retorno. É constatada a discrepância de traçado entre as curvas da vazão observada com as distribuições de Extremo do Tipo I e Normal a partir do tempo de retorno de nove anos.

Na tabela 9 estão relacionadas às vazões mínimas resultantes das distribuições de probabilidade e análise de aderência utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação 64717000. Pode-se observar a aderência dos dados de vazão mínima a todos os modelos de probabilidade analisados ao nível de significância de 5%. Aceita-se a hipótese  $H_0$ . Para esta estação, as distribuições Normal, Log-Normal, Gama e Weibull responderam melhor ao teste e de forma semelhante, visto que apresentaram os valores mais elevados de p-value.

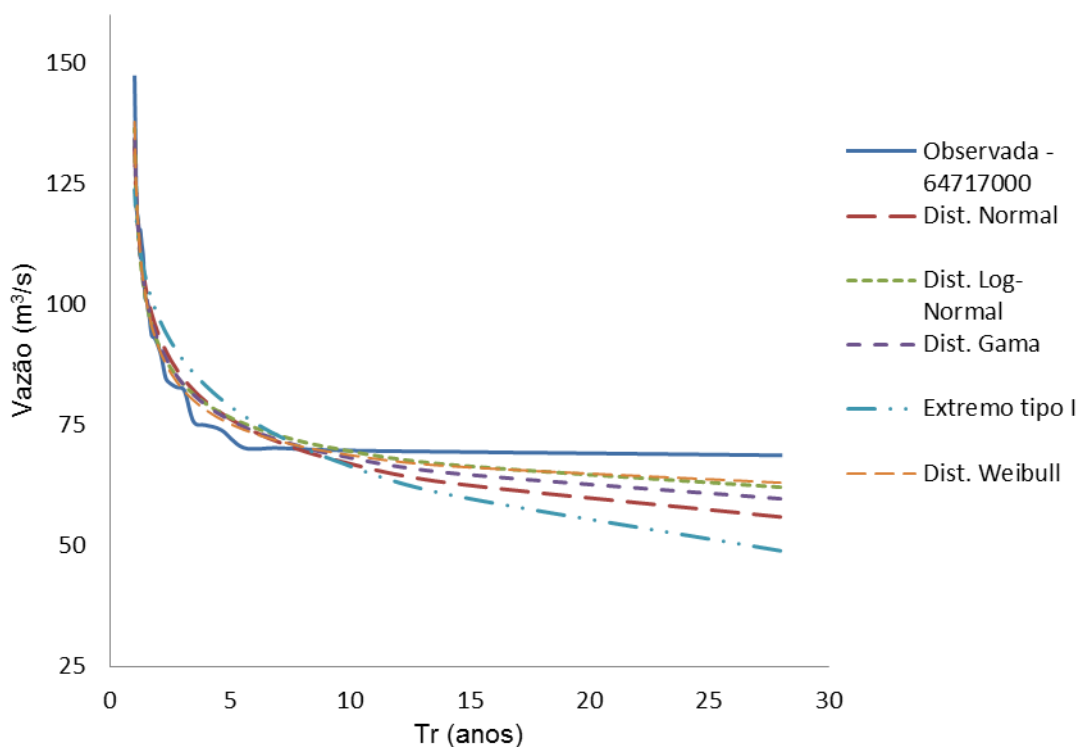


Figura 27 - Distribuição da  $Q_{7,10}$ , em função do tempo de retorno observada na estação 64717000.

Tabela 9 - Valores de  $Q_{7,10}$  obtidos por distribuições de probabilidade e teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, na estação 64717000.

Estação	Distribuição	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> /s)	P-value
64717000	Normal	67,10	0,9974
	Log-Normal	69,68	0,9974
	Gama	68,32	0,9974
	Extremo tipo I	66,63	0,7537
	Weibull	68,87	0,9974

Da análise dos resultados obtidos nas três estações fluviométricas existentes na Bacia Amambai, observou-se que as funções de distribuições de probabilidades Log-Normal e Gama foram as que apresentaram os melhores ajustes. No presente trabalho, para o estudo da regionalização de vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de dez anos, foram adotados valores obtidos por distribuição de probabilidade Log-Normal por ser, dentre as duas, a mais frequentemente utilizada nesse tipo de estudo.

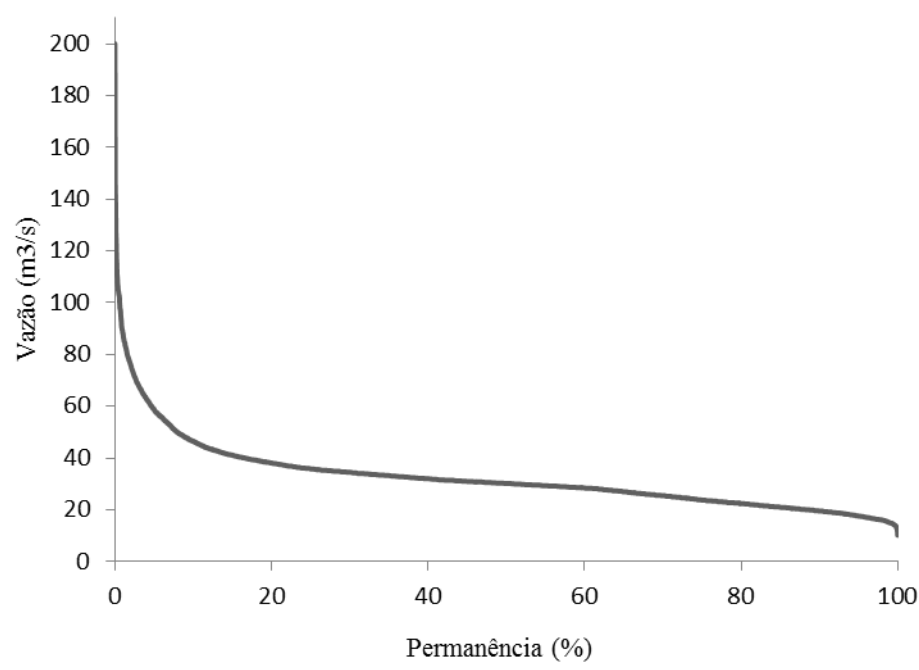
#### 5.4.2 Vazões mínimas de 90% e 95% de permanência no tempo - $Q_{90}$ e $Q_{95}$

Obtidas as curvas de permanência, Figura 28, foram observadas as vazões associadas às permanências de 95% e 90% no tempo. A estação 64700000 apresentou valores de 17,5 m<sup>3</sup>/s à permanência de 95% e 19,5 m<sup>3</sup>/s para 90% no tempo. A estação 64715001 apresentou valores de 79 m<sup>3</sup>/s à permanência de 95% e 89,5 m<sup>3</sup>/s para 90%. A estação 64717000 apresentou valores de 84,5 m<sup>3</sup>/s para 95% e de 92,5 m<sup>3</sup>/s para 90% no tempo.

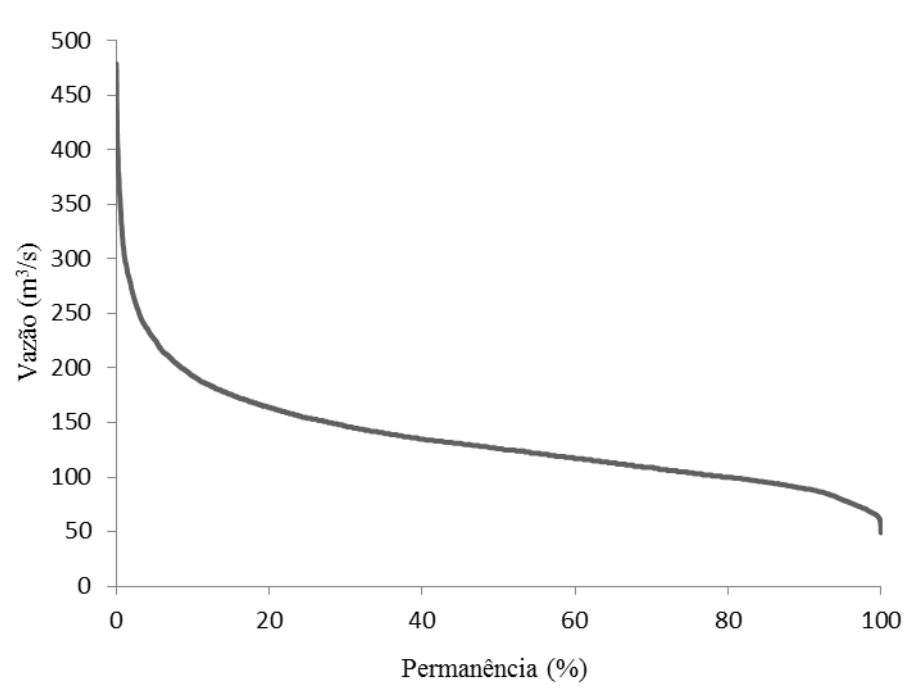
As curvas de permanência são muito usadas para obtenção de vazões mínimas de referências. Em alguns estados do país, as legislações estabelecem porcentagem da  $Q_{90}$ , da  $Q_{95}$  ou da  $Q_{7,10}$ , esta a mais restritiva, como referência ao valor na concessão do direito a outorga. O estado de Minas Gerais utiliza a vazão  $Q_{7,10}$  como referência da vazão outorgável, adotando 30% do valor, conforme estabelecido pela Portaria nº 10/98. O estado do Ceará estabelece a vazão de referência  $Q_{90}$  com até 90% do valor.



A.



B.



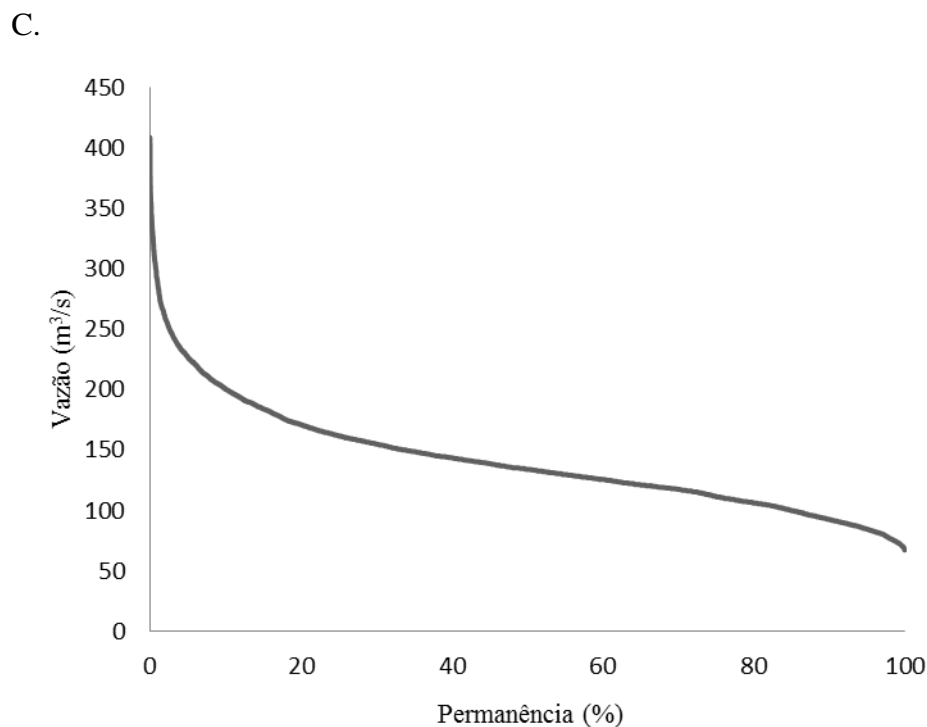


Figura 28 - Curvas de permanência, sendo: A) Estação 64700000; B) Estação 64715001; e C) Estação 64717000.

## 5.5 Regionalização de vazão mínima baseada na utilização de técnicas de interpolação e extrapolação – Metodologia proposta por Chaves *et al.* (2002)

### 5.5.1 Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral

Na Tabela 10 estão apresentadas as vazões mínimas estimadas com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10 \text{ Est}}$ ), obtidas com base na metodologia de interpolação e extrapolação em sistemas de informação geográficas, para as três estações existentes na bacia, considerando o período de 1984 a 2010. As vazões nas estações fluviométricas foram consideradas desconhecidas para aplicação da regionalização e posterior comparação entre os valores das vazões estimadas e vazões obtidas por análises de distribuições probabilísticas das séries observadas ( $Q_{7,10 \text{ Obs}}$ ).

As vazões a serem estimadas nas estações fluviométricas foram enquadradas em cada caso específico, de acordo com suas localizações no rio principal, e logo após, obtidas por meio das aplicações das equações 5, 11, 12 e 13 para os períodos trimestral e anual. Foi possível, somente, a aplicação dos três casos para o rio principal, já que não havia

estação com série histórica localizada em um de seus afluentes para a aplicação do quarto caso.

O período trimestral foi estudado considerando duas análises, primeiramente adotando o ano corrente como base, ficando estipulado para o primeiro trimestre os meses de janeiro a março, para o segundo trimestre de abril a junho, para o terceiro de julho a setembro e para o quarto trimestre de outubro a dezembro. A segunda análise foi adotada utilizando as estações do ano: primavera, verão, outono e inverno. O verão envolve os meses de dezembro a fevereiro, outono de março a maio, e assim até a primavera. Para a realização dos períodos trimestrais no presente estudo foi adotada a segunda análise, das estações do ano, já que apresentou maior uniformidade ao longo dos quatro trimestres e menores valores de erros relativos, erros médios e coeficiente de Nash e Sutcliffe.

Para a vazão mínima  $Q_{7,10}$  anual, apresentada na Tabela 10, a metodologia de regionalização apresentou melhor resultado, com menor erro relativo, para o caso 2. Caso em que o ponto analisado foi gerado por interpolação de duas vazões conhecidas, situadas a montante e a jusante. Os casos 1 e 3 apresentaram maiores erros relativos apresentando menor eficiência para o procedimento de extrapolação das vazões a montante (caso 1) e a jusante (caso 3). Esta ocorrência se deve ao fato das áreas das sub-bacias possuírem diferenças proporcionais grandes, situação encontrada para estimativa de vazão da primeira estação utilizando como base a segunda estação com área cerca de 4 vezes maior que a estação a montante, caso 1.

Os quatro trimestres apresentaram maior erro relativo para o caso 3, extrapolação de vazão a jusante, sendo a área correspondente a vazão extrapolada cerca de 1,2 vezes maior do que a área da vazão observada.

O primeiro trimestre apresentou o menor erro médio (11,56%), e maior coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (0,92) em comparação aos períodos trimestral e anual.

A Tabela 11 apresenta a diferença relativa dos valores de  $Q_{7,10}$  anual estimado e  $Q_{7,10}$  trimestral estimado. O primeiro trimestre apresenta diferença relativa variando de 14,7 a 22,3, o segundo trimestre de 21,6 a 24,4, o terceiro trimestre de 15,5 a 21,3, o quarto trimestre de 5,46 a 11,1. O segundo e quarto trimestres apresentam, respectivamente, as maiores e menores diferenças relativas. Todos os trimestres possuem valores superiores de vazão mínima em comparação com o período anual, apresentando maior disponibilidade de vazão mínima.

Tabela 10 - Vazão mínima  $Q_{7,10}$  obtida por análise probabilística das séries observadas nas estações fluviométricas ( $Q_{7,10}$  obs,  $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10}$  est,  $m^3/s$ ), utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG, para os períodos trimestrais e anuais.

Estação	Caso	1 trimestre			2 trimestre			3 trimestre			4 trimestre			Anual		
		$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)
<b>64700000</b>	1	17,40	19,13	9,94	17,31	20,86	20,46	17,73	19,36	9,22	15,67	17,69	12,85	13,85	16,77	21,09
<b>64715001</b>	2	75,87	67,59	10,91	82,71	67,22	18,72	76,79	67,04	12,69	70,14	61,41	12,44	66,51	55,28	16,88
<b>64717000</b>	3	83,66	95,23	13,83	83,18	103,81	24,80	81,44	96,38	18,34	76,47	88,04	15,13	69,68	83,48	19,80
<b>Erro médio (%)</b>				<b>11,56</b>	<b>21,33</b>				<b>13,42</b>				<b>13,48</b>			
<b>Coef. N-S. **</b>				<b>0,92</b>	<b>0,76</b>				<b>0,87</b>				<b>0,90</b>			

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).

Tabela 11- Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima  $Q_{7,10}$  estimados por regionalização utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistema de informação geográfica.

Estação	Anual	1 trimestre		2 trimestre		3 trimestre		4 trimestre	
	$Q_{7,10}$ est	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)
<b>64700000</b>	16,77	19,13	14,07	20,86	24,36	19,36	15,46	17,69	5,46
<b>64715001</b>	55,28	67,59	22,27	67,22	21,60	67,04	21,28	61,41	11,09
<b>64717000</b>	83,48	95,23	14,07	103,81	24,36	96,38	15,46	88,04	5,46

### 5.5.2 Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual

Na Tabela 12 estão apresentados os valores das vazões mínimas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e 95% ( $Q_{95\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ), estimadas utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em sistemas de informações geográficas nas três estações fluviométricas existentes na bacia do Rio Amambai.

As estações fluviométricas da bacia foram enquadradas nos casos 1, 2 e 3 da metodologia, como realizado para  $Q_{7,10}$ , e logo após aplicadas as equações 5, 11, 12 e 13 utilizando como base os valores das vazões mínimas observadas, obtidas por distribuições de probabilidades. Os valores da  $Q_{95}$  para o caso 2 de enquadramento segue a mesma tendência da  $Q_{7,10}$  anual, resultando no melhor ajuste. Já a vazão mínima associada à permanência de 90% apresentou o menor ajuste para o caso 1 e pior ajuste para o caso 3, com 16,1% e 31,55, respectivamente.

Comparando as vazões mínimas anuais estimadas ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ ) utilizando a metodologia de Chaves *et al.* (2002), a vazão mínima com permanência de 95% no tempo representou melhor as vazões mínimas, com menor erro médio (%) e maior coeficiente de Nash e Sutcliffe.

Tabela 12 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\text{obs}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e 95% ( $Q_{95\text{obs}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ), e estimadas por regionalização de 90% ( $Q_{90\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e 95% ( $Q_{95\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ), utilizando técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG.

Estação	Caso	$Q_{90}$			$Q_{95}$		
		$Q_{90\text{obs}}$	$Q_{90\text{est}}$	Erro relativo(%)	$Q_{95\text{obs}}$	$Q_{95\text{est}}$	Erro relativo(%)
<b>64700000</b>	1	19,47	22,59	16,05	17,54	19,92	13,57
<b>64715001</b>	2	89,60	75,10	16,18	79,00	68,32	13,52
<b>64717000</b>	3	92,52	112,46	21,55	84,73	99,16	17,03
<b>Erro médio (%)</b>				<b>17,93</b>	<b>14,71</b>		
<b>Coef. N-S. **</b>				<b>0,82</b>	<b>0,88</b>		

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash & Sutcliffe, 1970).

## 5.6 Regionalização de vazão mínima baseada na interpolação linear – Metodologia da Vazão Específica

### 5.6.1 Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral

A Tabela 13 apresenta as vazões mínimas estimadas com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10 \text{ Est}}$ ), obtidas com base na metodologia da vazão específica, para as três estações existentes na bacia, considerando o período de 1984 a 2010. As vazões nas estações fluviométricas foram consideradas desconhecidas para aplicação da regionalização e posteriormente comparação entre os valores das vazões estimadas e vazões obtidas por análises de distribuições probabilísticas das séries observadas ( $Q_{7,10 \text{ Obs}}$ ).

As vazões foram enquadradas em casos específicos, de acordo com suas localizações no rio principal, e logo após, obtidas por meio das aplicações das equações 5 e 14 para os períodos trimestral e anual. Foi possível, somente, a aplicação de três casos para o rio principal, já que não havia estação localizada nos afluentes para a aplicação do quarto caso.

O período trimestral foi representado conforme já citado na metodologia de interpolação e extrapolação de vazão, sendo adotados os meses referentes às estações do ano.

A vazão mínima  $Q_{7,10}$  anual apresentou melhores resultados com menor erro relativo (16,6%), para o caso 2. Caso em que o ponto analisado foi gerado por interpolação de duas vazões conhecidas situadas a montante e a jusante.

O primeiro trimestre apresentou menor erro médio (12%), e maior coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (0,92), comparando os períodos trimestrais e anual. Os quatro trimestres apresentaram maior erro relativo para o caso 3, extrapolação de vazão a jusante, sendo a área correspondente a vazão extrapolada cerca de 1,2 vezes maior do que a área da vazão observada, igualmente observada na metodologia de interpolação e extrapolação por Chaves et al. (2002).

A Tabela 14 mostra a diferença relativa (%) entre valores anuais e trimestrais de vazão mínima  $Q_{7,10}$  estimada. O primeiro trimestre apresenta diferença relativa variando de 14,7 a 20,4, o segundo trimestre de 19,7 a 24,4, o terceiro trimestre de 15,5 a 17,6, o quarto trimestre de 5,5 a 10. O segundo trimestre possui o maior aumento da disponibilidade hídrica e o quarto trimestre apresentou as menores diferenças relativas. Todos os trimestres possuem valores superiores de vazão mínima em comparação com o período anual, apresentando maior disponibilidade de vazão mínima.

Tabela 13 - Vazões mínimas  $Q_{7,10}$  obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas ( $Q_{7,10}$  obs,  $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10}$  est,  $m^3/s$ ), metodologia da vazão específica baseada na interpolação linear, para os períodos trimestrais e anuais.

Estação	Caso	1 trimestre			2 trimestre			3 trimestre			4 trimestre			Anual		
		$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)
64700000	1	17,40	19,13	9,94	17,31	20,86	20,46	17,73	19,36	9,22	15,67	17,69	12,85	13,85	16,77	21,09
64715001	3	75,87	66,81	11,95	82,71	66,42	19,69	76,79	65,24	15,05	70,14	61,00	13,03	66,51	55,48	16,59
64717000	2	83,66	95,23	13,83	83,18	103,81	24,80	81,44	96,38	18,34	76,47	88,04	15,13	69,68	83,48	19,80
Erro médio (%)				11,90	21,65				14,20				13,67			
Coef. N-S. **				0,92	0,76				0,86				0,90			

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).

Tabela 14 - Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima  $Q_{7,10}$  estimados por regionalização utilizando metodologia da vazão específica baseada em interpolação linear.

Estação	Anual	1 trimestre		2 trimestre		3 trimestre		4 trimestre	
	$Q_{7,10}$ est	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)
64700000	16,77	19,13	14,07	20,86	24,36	19,36	15,46	17,69	5,46
64715001	55,48	66,81	20,42	66,42	19,73	65,24	17,59	61,00	9,96
64717000	83,48	95,23	14,07	103,81	24,36	96,38	15,46	88,04	5,46

### 5.6.2 Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual

A Tabela 15 apresenta comparação das vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das vazões mínimas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$  obs,  $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$  obs,  $m^3/s$ ), com as vazões estimadas por regionalização de 90% ( $Q_{90}$  est,  $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$  est,  $m^3/s$ ), considerando o período de 1984 a 2010.

Após os enquadramentos das três estações nos casos específicos foram aplicadas as equações 5 e 14. As vazões das estações fluviométricas foram consideradas desconhecidas para a regionalização. Foi possível somente a representação de três casos da metodologia, já que não havia estação fluviométrica nos afluentes diretos do rio principal.

O caso 1 apresentou melhores resultados de erros relativos (%) tanto para a permanência de 90% (16%), quanto para a de 95% (13,6%).

Os resultados de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  apresentaram a mesma tendência da metodologia de Chaves et al. (2002), possuindo valores de erros médios (%) e coeficiente de Nash e Sutcliffe semelhantes. Comparando as vazões mínimas anuais estimadas ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ ), a vazão mínima  $Q_{95}$  apresentou melhores resultados com o menor erro médio (15%) e maior coeficiente de Nash e Sutcliffe (0,88).

Tabela 15 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$  obs,  $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$  obs,  $m^3/s$ ), e estimadas de 90% ( $Q_{90}$  est,  $m^3/s$ ) e 95% ( $Q_{95}$  est,  $m^3/s$ ), utilizando metodologia da vazão específica, para períodos anuais.

Estação	Caso	$Q_{90}$			$Q_{95}$		
		$Q_{90}$ obs	$Q_{90}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{95}$ obs	$Q_{95}$ est	Erro relativo(%)
<b>64700000</b>	1	19,47	22,59	16,05	17,54	19,92	13,57
<b>64715001</b>	3	89,60	73,94	17,48	79,00	67,64	14,38
<b>64717000</b>	2	92,52	112,46	21,55	84,73	99,16	17,03
<b>Erro médio (%)</b>				<b>18,36</b>	<b>14,99</b>		
<b>Coef. N-S. **</b>				<b>0,81</b>	<b>0,88</b>		

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).



## 5.7 Regionalização por equações de regressão

### 5.7.1 Regionalização da $Q_{7,10}$ , considerando o período anual e trimestral

A Tabela 16 apresenta as equações obtidas por ajuste de modelos de regressão proposto por Pereira (2004). As equações foram definidas com base nas vazões mínimas obtidas na distribuição de probabilidades para as três estações fluviométricas, situados no rio principal.

Apesar do ajuste potencial para o período anual e trimestral, as equações possuem valores potenciais muito próximos à unidade, comportamento próximo do linear, caracterizando aumento aproximadamente constante da vazão com a área de drenagem.

Os coeficientes de determinação para os períodos anual e trimestral apresentaram valores satisfatórios para o ajuste das vazões mínimas, variando de 0,98 a 0,99.

O período trimestral foi adotado conforme já citado na metodologia de interpolação e extrapolação de vazão, sendo referentes às estações do ano, no qual mostraram resultados.

Tabela 16 - Ajuste de modelos de regressão, proposto por Pereira (2004), para a representação da vazão mínima  $Q_{7,10}$  em função da área de drenagem e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para períodos trimestral e anual, considerando série 1984 a 2010.

Método proposto por Pereira (2004)					
Equação de regressão - Q <sub>7,10</sub> estimada					
	1 trimestre	2 trimestre	3 trimestre	4 trimestre	Anual
Eq.	Q = 0,009.AD <sup>1,01</sup>	Q = 0,0076.AD <sup>1,033</sup>	Q = 0,0107.AD <sup>0,9899</sup>	Q = 0,0074.AD <sup>1,0266</sup>	Q = 0,0052.AD <sup>1,053</sup>
R <sup>2</sup>	0,9943	0,9837	0,9906	0,9932	0,9888

A Tabela 17 apresenta as vazões mínimas  $Q_{7,10}$  obtidas por análises probabilísticas ( $Q_{7,10obs}$ ,  $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10 est}$ ,  $m^3/s$ ), metodologia proposta por Pereira(2004), para os períodos trimestral e anuais.

Após a obtenção das equações de regressão, estabelecidas por meio das vazões mínimas das distribuições de probabilidades, as vazões mínimas  $Q_{7,10}$  foram supostas desconhecidas e estimadas com os valores das áreas de drenagem de cada estação fluviométrica.

A estação 64715001, localizada entre a estação 64700000 (montante) e a 64717000 (jusante) no rio principal, apresentou para os períodos trimestral e anual os maiores erros relativos (%) em comparação com as outras duas estações.

O primeiro trimestre apresentou erros relativos de 0,6% a 7,2%, o segundo trimestre de 1,5% a 11,8%, o terceiro trimestre de 1,0% a 8,8%, o quarto trimestre de 1,0% a 7,7% e o período anual de 0,9% a 10,4%.

O segundo trimestre, como já constatado nas metodologias de Chaves *et al.* (2002) e vazão específica, apresentou o maior erro médio (8,1%) e menor coeficiente de Nash e Sutcliffe (0,94) também para o método de Pereira (2004).

Os períodos trimestral e anual apresentam menor erro relativo para a primeira estação (64700000), isso porque as equações foram forçadas a passar pela origem, seguindo o conceito de que quando a área de drenagem é zero a vazão é nula.

A tabela 18 apresenta diferença relativa (%) entre valores trimestral e anual de  $Q_{7,10}$  estimados por regionalização proposta por Pereira(2004). O terceiro trimestre possui o maior valor para a estação 64700000 e o quarto trimestre apresentou as menores diferenças relativas para as três estações. Todos os trimestres possuem valores superiores de vazão mínima em comparação com o período anual, apresentando maior disponibilidade de vazão mínima.

Tabela 17 - Vazões mínimas  $Q_{7,10}$  obtidas por análises probabilísticas ( $Q_{7,10}$  obs,  $m^3/s$ ) e estimadas por regionalização ( $Q_{7,10}$  est,  $m^3/s$ ), metodologia proposta por Pereira(2004), para os períodos trimestral e anual.

	1 trimestre			2 trimestre			3 trimestre			4 trimestre			Anual		
Estação	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)	$Q_{7,10}$ obs	$Q_{7,10}$ est	Erro relativo(%)
<b>64700000</b>	17,40	17,51	0,65	17,31	17,57	1,50	17,73	17,91	1,02	15,67	15,83	0,99	13,85	13,97	0,87
<b>64715001</b>	75,87	70,42	7,18	82,71	72,94	11,81	76,79	70,04	8,79	70,14	64,76	7,68	66,51	59,60	10,39
<b>64717000</b>	83,66	88,59	5,89	83,18	92,24	10,89	81,44	87,71	7,70	76,47	81,70	6,84	69,68	75,71	8,66
<b>Erro médio (%)</b>			<b>4,57</b>			<b>8,07</b>			<b>5,83</b>			<b>5,17</b>			<b>6,64</b>
<b>Coef. N-S. **</b>			<b>0,98</b>			<b>0,94</b>			<b>0,97</b>			<b>0,97</b>			<b>0,96</b>

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).

Tabela 18 - Diferença relativa (%) entre valores trimestrais e anuais de vazão mínima  $Q_{7,10}$  estimados por regionalização proposto por Pereira(2004).

	Anual	1 trimestre		2 trimestre		3 trimestre		4 trimestre	
Estação	$Q_{7,10}$ est	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)	$Q_{7,10}$ est	Diferença Relativa (%)
<b>64700000</b>	13,97	17,51	25,37	17,57	25,80	17,91	28,20	15,83	13,30
<b>64715001</b>	59,60	70,42	18,16	72,94	22,38	70,04	17,53	64,76	8,65
<b>64717000</b>	75,71	88,59	17,01	92,24	21,83	87,71	15,85	81,70	7,90

### 5.7.2 Regionalização da $Q_{90}$ e $Q_{95}$ , considerando o período anual

A tabela 19 mostra as equações dos ajustes de modelos de regressão, proposto por Pereira (2004), para a vazão mínima com permanência de 90% e 95%, em função da área de drenagem para o rio principal.

As equações também sofreram ajuste potencial para o período anual. Possuem valores potenciais muito próximos à unidade, comportamento próximo do linear, caracterizando aumento aproximadamente constante da vazão com a área de drenagem.

Os coeficientes de determinação para o período anual apresentaram valores satisfatórios para o ajuste das vazões mínimas com permanência de 90% e 95%, respectivamente, variando de 0,98 a 0,99.

Tabela 19 - Ajuste de modelo de regressão, proposto por Pereira (2004), para a representação da vazão mínima de permanência 90% e 95% em função da área de drenagem e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para o período anual, considerando série de 1984 a 2010.

<b>Método proposto por Pereira (2004)</b>		
<b>Equação de regressão estimada</b>		
	<b><math>Q_{90}</math> anual</b>	<b><math>Q_{95}</math> anual</b>
<b>Eq.</b>	$Q = 0,0095.AD^{1,0191}$	$Q = 0,0085.AD^{1,0202}$
<b><math>R^2</math></b>	0,9872	0,9916

As equações foram definidas com base nas vazões mínimas obtidas por distribuição de probabilidades. As vazões mínimas foram supostas desconhecidas e estimadas com os valores das áreas de drenagem para cada estação fluviométrica (Tabela 20).

A estação 64715001, tanto para a permanência de 90%, quanto para 95%, apresentou maior erro relativo, respectivamente 10,1% e 7,8%, em comparação com as estações a montante e a jusante.

Os erros relativos variaram de 1,7% a 10,1% para permanência de 90% e de 1,8 a 7,8 para 95%, e os coeficientes de Nash e Sutcliffe apresentaram valores variando de 0,95 e 0,97, respectivamente, apresentando bons valores de eficiência, próximos de um, valor máximo.

Tabela 20 - Vazões mínimas obtidas por análises probabilísticas das séries observadas nas estações fluviométricas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\text{obs}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e 95% ( $Q_{95\text{obs}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ), e estimadas por regionalização de 90% ( $Q_{90\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e 95% ( $Q_{95\text{est}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ), metodologia proposta por Pereira (2004), para períodos anuais.

Estação	Q <sub>90</sub>			Q <sub>95</sub>		
	Q <sub>90 obs</sub>	Q <sub>90 est</sub>	Erro relativo(%)	Q <sub>95 obs</sub>	Q <sub>95 est</sub>	Erro relativo(%)
<b>64700000</b>	19,47	19,79	1,67	17,54	17,86	1,81
<b>64715001</b>	89,60	80,59	10,06	79,00	72,81	7,83
<b>64717000</b>	92,52	101,59	9,80	84,73	91,81	8,36
<b>Erro médio (%)</b>			<b>7,18</b>			<b>6,00</b>
<b>Coef. N-S. **</b>			<b>0,95</b>			<b>0,97</b>

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).

## 5.8 Comparação entre as metodologias de regionalização de vazão mínima

Os casos 1 e 3 de Chaves *et al.* (2002) e 1 e 2 da metodologia de Vazão Específica são obtidos de forma igual, calculados pela fórmula 5, portanto apresentando os mesmos resultados, visto isso, a análise de comparação somente foi baseada nos casos em que a vazão estimada está inserida entre duas outras vazões conhecidas, caso da estação 64715001. Comparando as duas metodologias, os períodos trimestrais de Chaves *et al.* (2002), para a  $Q_{7,10}$ , apresentaram menores erros relativos (%), já para o período anual ocorreu o inverso, maior erro relativo, porém apresentando pouca diferença.

A vazão mínima com permanência de 95% no tempo apresentou melhores resultados comparados com as outras duas vazões ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{90}$ ), para os três métodos de regionalização estudados neste trabalho, apresentando menores valores de erros relativos (%) e maiores coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe.

A tabela 21 apresenta os erros médios (%) e coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe para metodologias de regionalização proposta por Chaves *et al.* (2002), Vazão Específica e por Pereira (2004), realizadas para as vazões mínimas  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ , considerando o período de dados de 1984 a 2010.

Tabela 21 - Comparação entre metodologias de Chaves *et al.*(2002), vazão específica, e Pereira (2004), porerro relativo(%), erro médio(%) e Coeficiente de Nash e Sutcliffe para vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ , considerando o período de 1984 a 2010.

	1 trimestre	2 trimestre	3 trimestre	4 trimestre	Anual		
	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{95}$	$Q_{90}$
<b>Chaves et al. (2002)</b>							
<b>Erro médio (%)</b>	11,56	21,33	13,42	13,48	19,26	14,71	17,93
<b>Coef. N-S. **</b>	0,92	0,76	0,87	0,90	0,83	0,88	0,82
<b>Vazão específica</b>							
<b>Erro médio (%)</b>	11,90	21,65	14,20	13,67	19,16	14,99	18,36
<b>Coef. N-S. **</b>	0,92	0,76	0,86	0,90	0,84	0,88	0,81
<b>Pereira (2004)</b>							
<b>Erro médio (%)</b>	4,57	8,07	5,83	5,17	6,64	6,00	7,18
<b>Coef. N-S. **</b>	0,98	0,94	0,97	0,97	0,96	0,97	0,95

(\*\*) Coeficiente Nash e Sutcliffe (Nash&Sutcliffe, 1970).

As vazões anuais das três metodologias não apresentaram os maiores valores de erro médio(%) comparadas com os valores trimestrais.

Analisando os resultados das metodologias de Chaves *et al.*(2002) e vazão específica, de erros médios e coeficientes de Nash e Sutcliffe, é possível verificar que os valores apresentados nas duas metodologias seguiram a mesma tendência, porém Chaves *et al.* (2002) mostrou para as vazões mínimas, excluindo vazão anual  $Q_{7,10}$ , menores valores de erros médios. Os valores obtidos do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe também seguiram a mesma tendência, e pelo fato dos valores apresentarem poucavariação, em alguns casos nenhuma, não foi possível julgar qual metodologia foi mais eficiente para a área de estudo.

Comparando as metodologias de Chaves *et al.* (2002) e vazão específica, que apresentaram resultados praticamente constantes entre si, com a proposta por Pereira (2004), verificou-se melhor ajustamento da vazão estimada com as vazões observadas, sendo examinados os valores de erros médios e coeficientes de Nash e Sutcliffe. Os resultados dos erros médios, da regionalização proposta por Pereira (2004), apresentaram diferenças significativas em relação as outras metodologias.

É verificado, na bacia do Rio Amambai, que o melhor método de regionalização estudado, para a condição de três estações fluviométricas com dados de 1984 a 2010, foi o proposto por Pereira (2004).

## 6. CONCLUSÕES

A precipitação média anual é mais intensa na região de cabeceira, diminuindo da nascente para a foz na bacia. As sub-bacias com as maiores contribuições potencial e real para a formação da vazão do Rio Amambai são do Rio Verde, Rio Piratinime Córrego Guaembeperi.

O coeficiente de deságue apresenta crescimento gradual, de montante para jusante, nos afluentes diretos da margem direita do Rio Amambai. O coeficiente de desague na bacia é mais elevado para o Rio Taquara e Córrego Saljú.

As funções de distribuições de probabilidades Log-Normal e Gama apresentam os melhores ajustes para a vazão mínima  $Q_{7,10}$ . As vazões mínimas com permanência de 90% apresentam valores de 19,5 m<sup>3</sup>/s para a primeira estação, e 92,5 m<sup>3</sup>/s para a última estação, e as vazões mínimas com permanência de 95% apresentam valores de 17,5 m<sup>3</sup>/s e 84,5 m<sup>3</sup>/s.

A vazão de referência  $Q_{95}$  regionalizada, para os períodos anuais, apresenta melhor resultado para a bacia em estudo.

Comparando os métodos de regionalização proposto por Chaves *et al.* (2002) e Vazão Específica, é possível notar resultados constantes entre si para os períodos trimestral e anual. O melhor método de regionalização estudado, para as três estações fluviométricas, no período de 1984 a 2010, é o proposto por Pereira (2004).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país. Fiscalização dos Usos de Recursos Hídricos no Brasil.** Brasília, 2005, p. 33.

AZEVEDO, A. A. **Avaliação de metodologia de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 943p. 2002.

BRASIL. **Código de Águas.** Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934.

BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil. 1988.** São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRASIL. Institui a 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 Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.**

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola.** v.25, n.2, 2005.

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

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

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões.** Rio de Janeiro, v.1, 1985a.

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

EUCLYDES, H.P., FERREIRA, P.A., PINTO, F.A., VIGODERIS, R.B. **Atlas digital das águas de Minas.** Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS. 2005.



EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RUBERT, O. A. V.; SANTOS, R. M. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.6, n.2, Abr/Jun 2001a, p. 81-105.

EUCLYDES, H. P. *et al.* **Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período e da curva de permanência para a bacia do Rio São Francisco**. In: Tecnologia para elaboração de projetos hidroagrícolas em bacias hidrográficas. Viçosa, MG: UFV/RUALMINAS, 2001b. p. 1-124.

FILL, H. D. Informações hidrológicas. In: BARTH, F. T.; POMPEU, C. T.; FILL, H. D.; TUCCI, C. E. M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B. P. F. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, p. 95-202, 1987.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate:temperature in Great Britain. **Journal of Animal Ecology**, v.64, p. 370- 392, 1995.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: Rodrigues; R. R.; Leitão Filho, H. F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p. 33-34.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:925-933, 2003.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S. Vazões máximas e mínimas para bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 2, p. 494-502, mar./abr., 2010.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001, 536 p.

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

NETTO, J. V. F. **Regiões climatologicamente homogêneas do Estado de Alagoas com base na análise espaço-temporal da pluviometria**. 2001. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro. 2001.

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

PEREIRA, S.B. **Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. 2004, 105 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

PINTO, N. L. de S., HOLTZ, A. C. S. T., MARTINS, J. A., GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278p

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.

RIBEIRO, C. B. M; MARQUES, F. A.; SILVA, D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG. v.13, n.2, p. 103-117, Abr./Jun., 2005.

RODRIGUES, F. G. **Direito Ambiental Positivo**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

SAGHAFIAN, B. Regional Hydrologic mapping of flows in stream networks. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, 2009, p. 317-323.

SALGUEIRO, J. H. P. DE B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na Bacia do Rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**. Fortaleza, v.29, n.2, p.174-185. Dez, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA - SEMAC. **Caderno Geoambiental das Regiões de Planejamento do MS**. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, 2011.

SILVA, E. R. **O Curso da Água na História: Simbologia, Moralidade e a Gestão de Recursos**. 1998. 201 p. Tese (Doutorado) - Escola Nacional de Saúde Pública. Pós Graduação em Saúde Pública. Fundação Osvaldo Cruz.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. Brasília, DF: MMA-SRH-ABEAS-UFV, 2001, p.89.

SILVA, J. W.; GUIMARAES, E. C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n. 03, p. 665-647, mai/jun.2003.

SILVA, D. D.; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.362-367, 2002.

SILVINO, A. N. O.; SILVEIRA, A.; MUSIS, C. R.; WYREPKOWSKI, C. C.; CONCEIÇÃO, F. T. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociência**. São Paulo: UNESP, v.26, n.4, p. 369-379, 2007.

SNELDER, T. H. S. *et al.* Predictive mapping of the natural flow regimes of France. **Journal of Hydrology**, v. 373, 2009, p. 57-67.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIOU, E. Frequency analysis of extreme events. In: Maidment, D. R. **Handbook of hydrology**. New York: MacGraw Hill, Inc., 1992. cap. 18, p. 1-18; 66.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRG, 1993. 943 p.

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

VILLELA, S.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, p. 254, 1975.