

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM**

PROJETO

*“Disponibilidade Hídrica do Brasil – Estudos de
Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas
Brasileiras”*

REGIONALIZAÇÃO DA Q95% NA SUB-BACIA 24 – Alto Araguaia

**Executado pelo SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL– CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Escritório Regional do Rio de Janeiro - ERJ**

**Rio de Janeiro
Novembro/2010**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

MINISTRO DE ESTADO

Márcio Pereira Zimmermann

SECRETÁRIO EXECUTIVO

José Antonio Corrêa Coimbra

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA,
MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Presidente

Cláudio Scliar

Vice-Presidente

Agamenon Sérgio Lucas Dantas

Conselheiros

Luiz Gonzaga Baião

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

Ladice Pontes Peixoto

Roberto Ventura Santos

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Agamenon Sergio Lucas Dantas

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

José Ribeiro Mendes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Eduardo Santa Helena

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Divisão de Hidrologia Aplicada

Achiles Eduardo Guerra Castro Monteiro

**PROJETO ESTUDOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES NAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS**

Coordenação Executiva

Marta Vasconcelos Ottoni-ERJ

Adriana Dantas Medeiro-ERJ

Apoio

Lígia Maria Nascimento de Araújo-ERJ

Pesquisadora em Geociências, M.Sc.

Jane Cortês Tavares-ERJ

Pesquisadora em Geociências

REGIONALIZAÇÃO DA Q95% NA SUB-BACIA 24 – ALTO ARAGUAIA

Execução Técnica

Marta Vasconcelos Ottoni-ERJ

Pesquisadora em Geociências, M.Sc.

Apoio Técnico - ERJ

Daniel Medeiros Moreira

Engenheiro Cartógrafo, M.sc.

Adriano Pinheiro de Almeida

Técnico em Geociências

Filipe Jesus dos Santos

Técnico em Geociências

Diego Guerra Pereira de Souza

Estagiário em Engenharia Civil

Marcel Emanuelli Rotunno

Estagiário em Engenharia Cartográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO.....	4
2.1	FISIOGRAFIA.....	4
2.2	GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA.....	10
2.3	COBERTURA VEGETAL E SOLOS	15
2.4	CLIMA E REGIME HIDROLÓGICO.....	18
2.5	RELEVO.....	20
3	METODOLOGIA E RESULTADOS.....	26
3.1	COLETA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS	28
3.1.1	<i>DADOS PLUVIOMÉTRICOS</i>	29
3.1.1.1	Isoietas totais anuais	29
3.1.2	<i>DADOS FLUVIOMÉTRICOS</i>	29
3.1.2.1	Diagnóstico da rede pluviométrica existente.....	31
3.1.2.2	Análise da qualidade e consistência.....	32
3.1.2.3	Teste de estacionariedade e seleção do período de dados das estações para o estudo	35
3.2	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	39
3.3	REGIONALIZAÇÃO DA Q95% DA CURVA DE PERMANÊNCIA	41
3.3.1	<i>CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS</i>	42
3.3.1.1	Ajuste exponencial a partir de Q50% e Q95% - Verificação	43
3.3.2	<i>AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS</i>	43
3.3.2.1	Curvas adimensionais de permanência	43
3.3.2.2	Hidrogramas adimensionais das Q95% anuais	44
3.3.2.3	Indicadores da variabilidade regional – Relação rcp_{95}	45
3.3.3	<i>ANÁLISE DE REGRESSÃO DA Q95% e DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS</i>	48
4.0	PROJETO DA SUB-BACIA DESENVOLVIDO NO PROGRAMA ARCGIS 9.3	57
5.0	APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS	57
6.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60
7.0	ARQUIVOS DIGITAIS DO ESTUDO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Localização da Sub-Bacia 24 na região Centro-Oeste e na Bacia 2 – Bacia do rio Tocantins.....	4
Figura 2. 2 – Ilustrações dos diferentes trechos do rio Araguaia.....	5
Figura 2. 3 – Mapa fisiográfico da Sub-Bacia 24 com a localização de algumas unidades geradoras hidrelétricas e perfis longitudinais dos rios principais.	9
Figura 2. 4 – Mapa geológico simplificado da Sub-Bacia 24 (CPRM, 2004)	12
Figura 2. 5 – Mapa hidrogeológico simplificado da Sub-Bacia 24 (CPRM/ANEEL, 2001)	14
Figura 2. 8 - Tipos climáticos de köeppen na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA)	19
Figura 2. 9 – Hietogramas de chuvas totais mensais médias de longo período.....	21
Figura 2. 10 – Histogramas de vazões médias mensais de longo período	24
Figura 2. 11 - Domínios geomorfológicos da rhta	25
Figura 3.1. 1 – Hidrogramas das vazões médias mensais das estações 24650000 e 24780000...	34
Figura 3.1. 2 – Comparações entre as precipitações totais anuais da estação 1753000 com as vazões médias anuais das estações 24050000 e 24100000	38
Figura 3.3. 1 – Relação da curva de permanência – rcp95 da Sub-Bacia 24	46
Figura 3.3. 2 – Regiões homogêneas preliminares da Sub-Bacia 24	48
Figura 3.3. 3 – Regiões homogêneas da Sub-Bacia 24.	51
Figura 3.3. 4 – Ajuste das equações de regressão da Q95% para as estações abrangidas pelas regiões homogêneas da Sub-Bacia 24 e comparação dos valores estimados de Q95% por esse ajuste com os medidos correspondentes.....	54
Figura 5. 1 – Localização dos Pontos 1 e 2 na Sub-Bacia 24	59
Figura 6.1 – Proposta inicial de localização de novas estações segundo as feições de solos e de hidrogeologia da Sub-Bacia 24	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Características fisiográficas das bacias dos principais rios da Sub-Bacia 24	8
Tabela 2. 2 – Dados do regime fluvial da Sub-Bacia 24 – Alto Araguaia	20
Tabela 3.1. 1 – Densidade de estações fluviométricas x recomendações OMM da região do Alto Araguaia e de suas principais sub-bacias.....	31
Tabela 3.1. 2 – Comparação dos valores de Q95% e QMLT entre os diferentes períodos da série da estação 24780000	34
Tabela 3.1. 3 – Aproveitamentos hidrelétricos existentes na sub-bacia do Alto rio Araguaia	37
Tabela 3.2. 1 - Características físicas e climáticas – variáveis explicativas da Sub-Bacia 24.....	40
Tabela 3.3. 1 - Características físicas e indicador regional rcp95 - Relação da curva de permanência	46
Tabela 3.3. 2 – Alternativas de agrupamentos de estações para composição das regiões homogêneas para a Q95% da Sub-Bacia 24 e os resultados estatísticos das suas equações regionais da Q95%.	52
Tabela 3.3. 3 – Valores dos Erros Relativos Médios (ERM) e R^2 das equações de regressão da Q95% das regiões homogêneas definitivas da Sub-Bacia 24.	53
Tabela 3.3. 4 – Expressões analíticas das equações regionais da Q95% para a Sub-Bacia 24 e suas validades de aplicação	56
Tabela 6.1 – Proposta de localização de novas estações fluviométricas a serem instaladas na Sub-Bacia 24	62

ANEXOS

ANEXO A – REDE HIDROMETEOROLÓGICA DA SUB-BACIA 24

ANEXO B – DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA SUB-BACIA 24

ANEXO C – DADOS FLUVIOMÉTRICOS DA SUB-BACIA 24

ANEXO D – ESTATÍSTICA DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS (TESTE DE ESTACIONARIEDADE)

ANEXO E – ARTICULAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS 1:250.000 QUE ABRANGEM A ÁREA DA SUB-BACIA 24

ANEXO F – CURVAS DE PERMANÊNCIA

F1 – Curvas de permanência das estações selecionadas para o estudo de regionalização de vazões da Sub-Bacia 24

F2 – Curvas adimensionais de permanência das estações selecionadas para o estudo de regionalização de vazões da Sub-Bacia 24

F3 – Hidrogramas adimensionais da Q95% anual das estações selecionadas para o estudo de regionalização da Sub-Bacia 24

ANEXO G – ANÁLISE DE REGRESSÃO E REGIÕES HOMOGÊNEAS

ANEXO H – ORGANIZAÇÃO DO PROJETO DA SUB-BACIA EM ARCGIS

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura A1– Mapa da rede hidrometeorológica da Sub-Bacia 24

Figura B1 – Isoietas totais médias anuais da Sub-Bacia 24

Figura C1 – Coeficiente de Escoamento (C) x Área de Drenagem – Sub-Bacia 24

Figura C2 – Diagrama unifilar da Sub-Bacia 24

Figura C3.1 – Comparação entre as séries anuais das estações 01753000 e 24200000

Figura C3.2 – Comparação entre as séries anuais das estações 01653002 e 24500000

Figura C3.3 – Comparação entre as séries anuais das estações 01653000 e 24700000

Figura C3.4 – Comparação entre as séries anuais das estações 01651000 e 24750000

Figura C3.5 – Comparação entre as séries anuais das estações 01651000 e 24780000

Figura C3.6 – Comparação entre as séries anuais das estações 01650000 e 24900000

Figura F2.1 – Curvas adimensionais de permanência das estações selecionadas para o estudo de regionalização da Q95%.

Figura F2.2 – Curvas adimensionais de permanência das estações do Grupo 1a.

Figura F2.3 – Curvas adimensionais de permanência das estações do Grupo 1b.

Figura F2.4 – Curvas adimensionais de permanência das estações do Grupo 1c.

Figura F3.1 – Hidrogramas adimensionais da Q95% anual das estações fluviométrica do Grupo 2a.

Figura F3.2 – Hidrogramas adimensionais da Q95% anual das estações fluviométrica do Grupo 2b.

Figura F3.3 – Hidrogramas adimensionais da Q95% anual das estações fluviométrica do Grupo 2c.

ANEXOS

LISTA DE TABELAS

Tabela A1 – Nomenclatura dos tipos de estações

Tabela B1 – Inventário das estações pluviométricas da Sub-Bacia 24

Tabela C1 – Inventário das estações pluviométricas da Sub-Bacia 24

Tabela C2 - Diagrama de disponibilidade de dados fluviométricos da Sub-Bacia 24

Tabela C3 - Estatística da disponibilidade de dados fluviométricos

Tabela C4 – Recomendação da OMM de densidade mínima para uma rede fluviométrica

Tabela C5 - Critérios para atribuição de notas para as vazões mínimas (IPH, 1983 *apud* Tucci, 2002)

Tabela C6 – Notas de avaliação das estações fluviométricas da Sub-Bacia 24 que possuem no mínimo 5 anos de dados

Tabela C7 - Verificação da continuidade das vazões médias de longo período (QMLT)

Tabela C8 - Verificação da continuidade das vazões a 95% de permanência (Q95%)

Tabela H1 – Estrutura de organização dos arquivos *shapes* do ArcGis 9.3 do projeto da Sub-Bacia 24

Tabela H2 – Relação dos projetos em ArcGis9.3 desenvolvidos no contexto do estudo de regionalização da Q95% da Sub-Bacia 24

LISTA DE ABREVIACOES

A – rea de Drenagem

ANA – Agência Nacional de guas;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMAT – Centrais Elétricas do Mato Grosso

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNAEE – Departamento Nacional de águas e Energia Elétrica

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte S.A

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ERM – Erro Relativo Médio

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Kc – Coeficiente de Compacidade

Kf – Coeficiente de Forma

OMM – Organizao Mundial de Meteorologia

P – Precipitao Total Anual Média

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

Q50% - Vazão de 50% da curva de permanência

Q95% - Vazão de 95% da curva de permanência

QMLT – Vazão Média de Longo Termo

RHTA – Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia

SEMA-MT – Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso

SERRA NEGRA - Consórcio Serra Negra Energtica

SIMEGO – Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da disponibilidade de água doce de uma bacia hidrográfica é o principal instrumento de gestão de recursos hídricos, com base no qual pode ser concedido de forma adequada e sustentável o direito de uso deste bem, seja para fins energéticos, de irrigação, de abastecimento e outros. Além disto, é uma informação útil para o planejamento nos setores elétrico, agrícola e na adoção de políticas públicas.

A água doce encontra-se disponível na forma superficial, nos rios e lagos, e na subsuperficial, nos lençóis e aquíferos da zona saturada dos terrenos (composto por solos e formações geológicas permeáveis) e na faixa não saturada dos solos, também chamada zona vadosa. Em termos de distribuição de água doce no planeta, excluindo o gelo, aproximadamente, 98% está na forma de água subterrânea (zona saturada dos terrenos), 0,8% contida como umidade da zona vadosa, 0,01% em rios e 1,47% em lagos.

No que se refere à disponibilidade hídrica superficial de uma bacia esta é usualmente medida pela vazão mínima de 7 dias de duração com tempo de recorrência de 10 anos (Q7,10) ou pela vazão com 95% de permanência no tempo (Q95%), ambas vazões mínimas e de referência para concessão de outorga de direito de uso da água. Essas variáveis são determinadas com base nas séries de vazões naturais ou reais, que são definidas em função da monitoração efetuada nas estações fluviométricas, cuja rede apresenta baixa densidade no território nacional, não abrangendo, na maioria das vezes, bacias de pequeno porte. No caso das bacias sem monitoração, adota-se a técnica da regionalização, que objetiva, dentre outros aspectos, transferir informações daquelas regiões onde são realizadas monitorações para as áreas ainda carentes de dados. Desta forma, é possível caracterizar a disponibilidade de água doce superficial no Brasil, destacando que o sucesso desta caracterização está diretamente vinculado à quantidade e qualidade dos dados disponíveis.

No contexto dos estudos de regionalização, a ANEEL, em convênio com diversas entidades, dentre elas a CPRM, empreendeu em 2001, os estudos de regionalização de variáveis hidrológicas para várias sub-bacias hidrográficas brasileiras. Aqueles estudos abrangeram as vazões médias anuais e de longo período, máximas e mínimas e da curva de permanência e de regularização. Tendo em vista a recomendação que a cada 5 anos de novos dados sejam atualizados esses estudos, em 2009, a CPRM deu início ao projeto intitulado “Disponibilidade Hídrica do Brasil - Estudo de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras”. Esse projeto, além de complementar os estudos anteriores com dados mais recentes, apenas para

a variável de referência de estiagem, no caso a Q95%, se propõe a estender essa pesquisa para as demais bacias hidrográficas brasileiras não avaliadas no estudo de 2001, a fim de caracterizar a disponibilidade hídrica superficial do território nacional. O presente relatório é parte integrante desse trabalho maior.

A importância desses estudos de regionalização de vazões não se deve apenas ao fato de serem capazes de espacializar as informações hidrológicas, mas também por identificar aquelas áreas que necessitam de melhoria da rede hidrometeorológica, seja pela instalação de novas ou relocação de estações existentes. Além disso, podem fornecer um diagnóstico da qualidade dos dados das estações, funcionando como ferramenta de auxílio à análise de consistência dos dados. Seus resultados auxiliam a estimativa de vazões disponíveis para projetos de irrigação, de pequenas centrais hidrelétricas, além de subsidiar a outorga do uso da água, sendo também informações fundamentais aos estudos de Zoneamento Ecológico Econômico.

O projeto “Disponibilidade Hídrica do Brasil: Estudo de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras” prevê diversas fases até sua conclusão. As sub-bacias contempladas em sua primeira fase são: 16 (Rio Amazonas, Trombetas e Outros), 24 (Alto Araguaia), 33 (Itapecuru, Mearim, Munim e outros), 39 (Litorâneas de Pernambuco e Alagoas), 42 (Paracatu, Jequitáí e Tapuí), 50 (Itapicuru, Vaza Barris e outros), 55 (São Mateus, Itanhém e outros), 58 (rio Paraíba do Sul) e 88 (Jaguarão, Lagoa Mirim e outros). Outras bacias serão avaliadas nas demais etapas do projeto. Desta primeira fase somente as sub-bacias 16, 42 e 50 não foram estudadas pela CPRM em 2001.

Finalmente, a disponibilidade hídrica superficial de bacias hidrográficas estimada com base em técnicas de regionalização de vazões constitui uma ferramenta de uso abrangente. No entanto, deve ser usada dentro das restrições de uso recomendadas e não substitui as medições reais de vazão. Por isso, destaque deve ser dado à ampliação da rede hidrometeorológica em bacias de diferentes tamanhos, para que com isso seja conhecida, de forma ampla e precisa, a disponibilidade de recursos hídricos no Brasil.

O estudo aqui apresentado propõe uma regionalização da Q95% para a sub-bacia do Alto rio Araguaia (Sub-Bacia 24), considerando os trabalhos desenvolvidos em 2001. O texto deste volume encontra-se dividido em sete capítulos. Neste capítulo são apresentadas as considerações iniciais e objetivos do presente trabalho. No capítulo dois são descritas as características gerais da área em estudo, especificamente sua localização, os solos, vegetação, geologia e hidrogeologia, relevo, clima e regime hidrológico. Já no capítulo três são apresentados os

procedimentos metodológicos para consecução dos objetivos propostos, sendo neste mesmo item descritos os resultados desse estudo, com a apresentação das regiões homogêneas da Sub-Bacia 24 e suas correspondentes equações regionais da Q95%. O capítulo quatro traz uma descrição do projeto da Sub-Bacia 24 desenvolvido em ArcGis 9.3. No capítulo cinco é proposto um exemplo ilustrativo de aplicação das equações regionais às regiões homogêneas da sub-bacia em questão. No capítulo seis são apresentadas as conclusões e recomendações e, finalmente, no capítulo sete descreve-se a estrutura de organização dos arquivos digitais elaborados neste trabalho.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

2.1 FISIOGRAFIA

A região em estudo constitui a bacia hidrográfica do Alto rio Araguaia, classificada pelo extinto DNAEE, hoje ANEEL, como Sub-Bacia 24. Essa área está inserida no trecho superior da Bacia 2 - Bacia do rio Tocantins (**Figura 2.1**), iniciando nas nascentes do rio Araguaia, e se estendendo até a confluência com o rio Claro, totalizando uma área de aproximadamente 62.717 km². Compreende parte dos estados de Goiás e Mato Grosso, localizando-se quase integralmente entre os paralelos sul 15° e 18° e os meridianos de longitude oeste 50° e 54° (**Figura 2.1**).

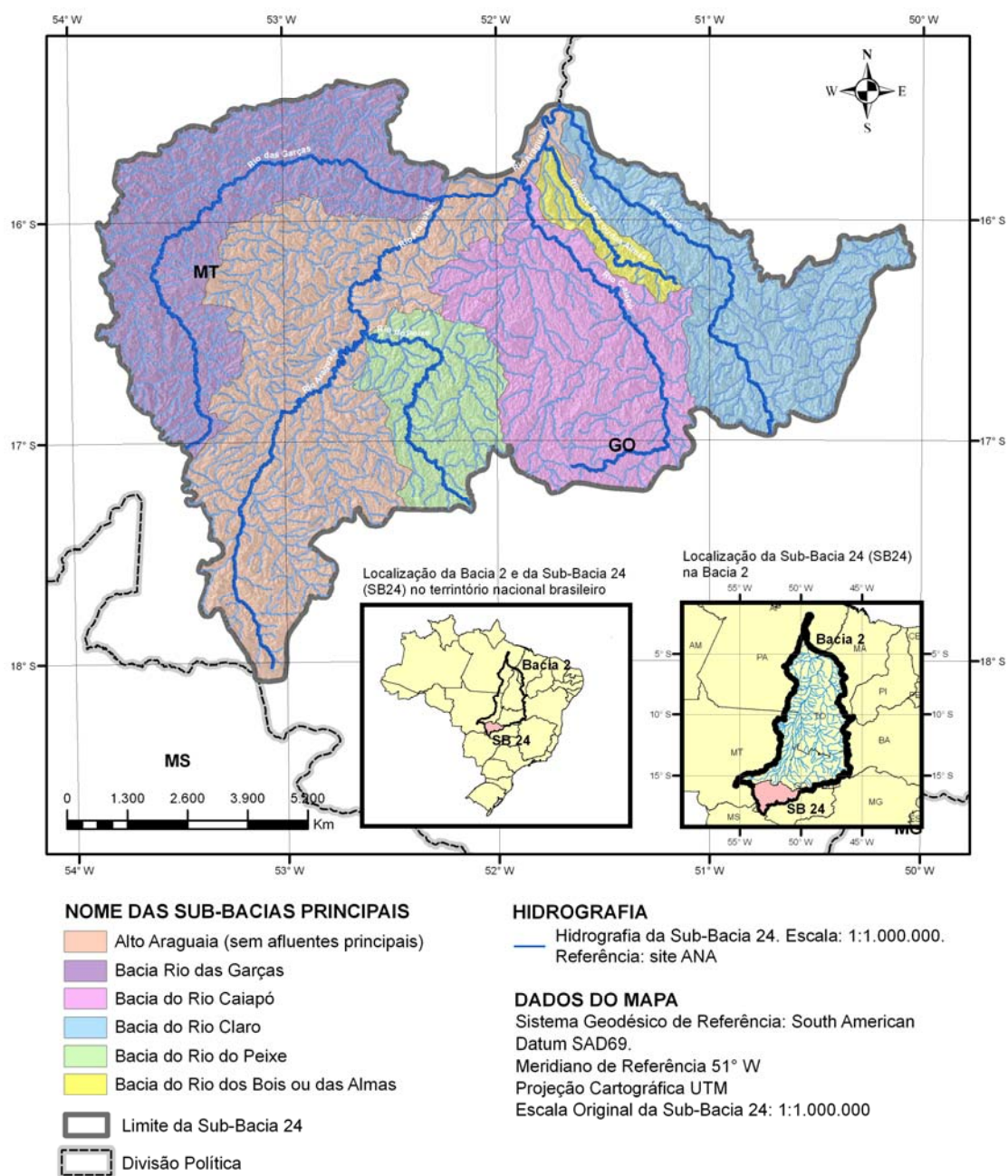


Figura 2. 1 - Localização da Sub-Bacia 24 na região Centro-Oeste e na Bacia 2 – Bacia do rio Tocantins.

O curso de água principal dessa sub-bacia é o rio Araguaia que apresenta extensão total de cerca de 2.000 km, dos quais 25% encontram-se na Sub-Bacia 24. Esse rio constitui o divisor natural do estado de Mato Grosso com os estados de Goiás e Tocantins. Sua cabeceira localiza-se na serra do Caiapó, próximo ao Parque Nacional das Emas, na altura do paralelo 18°. O rio Araguaia desemboca na margem esquerda do rio Tocantins, com uma bacia hidrográfica de aproximadamente 364.500km². Seus principais afluentes pela margem direita são os rios Caiapó, Vermelho, Muricizal e Lontra e, pela margem esquerda, os rios das Mortes e das Garças. Nas fotos abaixo são apresentados os diferentes trechos do rio Araguaia, ilustrando um espetáculo de vida e beleza.

0 km



Araguaia significa Rio das Araras em Tupi. Também é chamado de Berohokã, que quer dizer Rio Grande, pelos índios Karajás, seus mais tradicionais habitantes - que vivem atualmente em aldeias em Aruanã (GO) e Santa Isabel do Morro, na Ilha do Bananal (TO). Esse rio nasce na Serra dos Caiapós, na divisa de Goiás e Mato Grosso do Sul e literalmente desce do Sul para o Norte. A foto mostra uma das nascentes na Fazenda Link, em Mineiros, junto ao Parque Nacional das Emas.

25 km



Olhos d'água formam regos, que se juntam a outros, formam córregos e, neste trecho, já é tanta água que o Araguaia se torna um conjunto de riachos que invadem as margens e inundam matas de galeria.

40 km



Neste trecho, o rio é uma sucessão de várzeas, matas inundadas e lagos. Plantas aquáticas, como a da foto, e muita fauna - principalmente aves e roedores - tomam conta dos incontáveis canais que fazem o Araguaia se parecer com uma teia de água.

Figura 2. 2 – Ilustrações dos diferentes trechos do rio Araguaia

Fonte: <http://www.altiplano.com.br/AraMapa.html>

70km



Aqui o rio se torna um verdadeiro Pantanal, transformado em uma imensa vereda. Não há leito definido e, a cada ano, as águas passam por um local. É um santuário de vida fantástico. Com tantos buritis, é ali que sobretudo araras procuram para o ritual de acasalamento.

100 km



Da nascente até este ponto, o Araguaia desceu 300 metros de altitude. Aqui o rio é uma serpente com uma sucessão infindável de curvas. A região alterna veredas, brejos e, até décadas atrás, matas de galeria. Essas foram quase que totalmente destruídas, como mostra a foto. Neste trecho, o rio vai atravessar ao mesmo tempo suas primeiras cidades: Santa Rita do Araguaia, do lado de Goiás, e Alto Araguaia, do lado do Mato Grosso.

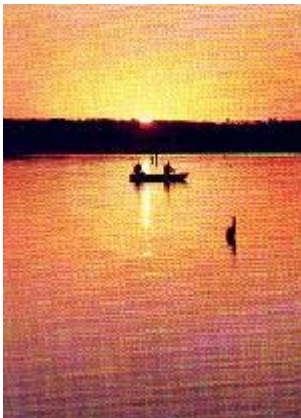
150 km



Esta é a Cachoeira Couto Magalhães, a principal de todo o rio e que está ameaçada pela construção de uma barragem.

Aqui, a altitude é 680 metros. Nos 300 quilômetros seguintes, o Araguaia vai descer mais 300 metros por canais de pedras e encostas e sair de vez dos domínios da Serra dos Caiapós

450 km



Neste trecho, próximo às cidades de Aragarças (GO) e Barra do Garças (MT), o Araguaia sai da serra e começa a correr na planície, assumindo a forma do rio que a maioria conhece: largo, grande e apresentando magníficas e extensas praias no período da estiagem, de maio a setembro. Daqui em diante, passa a ser o cenário do mais famoso pôr-do-sol do cerrado e habitat permanente de peixes e pescadores.

900 km



Aqui o Araguaia, na divisa dos Estados de Goiás, Mato Grosso e Tocantins forma centenas de ilhas de areia na seca e enche toda a várzea na época das chuvas, tornando-se um dos mais importantes berçários de peixes de água doce da América do Sul. Nesse trecho o rio vai bifurcar por 300 quilômetros e formar a maior ilha fluvial do mundo, o Bananal - que, entre outras coisas, abriga aldeias indígenas e o Parque Nacional do Araguaia.

~2000 km



Neste ponto, próximo à cidade de São João do Araguaia, no Pará, o Araguaia deságua no Rio Tocantins, fechando e desenhando o Bico do Papagaio - região de confluência dos Estados do Tocantins, Pará e Maranhão. Torna-se então um "ser" amazônico.

Continuação da Figura 2.2 – Ilustrações dos diferentes trechos do rio Araguaia

Fonte: <http://www.altiplano.com.br/AraMapa.html>

Na Sub-Bacia 24, o rio Araguaia se desenvolve através de terrenos elevados, com altitudes variando entre 850m nas nascentes até cerca de 200m no início da sub-bacia contígua à 24 (Alto Araguaia), a Sub-Bacia 25 (vide perfil do rio Araguaia nesse trecho na **Figura 2.3**), abrangendo neste trecho uma extensão de aproximadamente 508 km (**Tabela 2.1**). Nesses terrenos elevados ocorrem algumas corredeiras e cachoeiras na Serra do Caiapó, de onde ele desce através de um profundo entalhe, descrevendo longos estirões através de seus extensos patamares.

Os principais afluentes do rio Araguaia no trecho abrangido pela área da Sub-Bacia 24 são o rio Claro, rio Caiapó e rio do Peixe, pela margem direita, e rio das Garças, pela margem esquerda, conforme pode ser visto na **Figura 2.1**.

A fim de se caracterizar a fisiografia da região em estudo foram determinados o comprimento e declividade do seu curso de água principal e dos principais afluentes, assim como as áreas de drenagem e perímetros das bacias desses afluentes e da Sub-Bacia 24. Os resultados desses parâmetros encontram-se na **Tabela 2.1**. Na **Figura 2.3** são apresentados os perfis longitudinais dos principais rios da região.

Os rios principais da região em estudo, para os quais foram calculados os comprimentos, foram extraídos da hidrografia gerada por meio do modelo digital de terreno da Sub-Bacia 24, obtido do site da EMBRAPA, com aplicativos do ArcGis 9.3. Essa hidrografia se aproximou à da carta 1:250.000.

Na **Tabela 2.1** são também apresentados os valores dos coeficientes de compacidade (K_c) e de forma (K_f) da Sub-Bacia 24 e de suas principais bacias hidrográficas. Esses coeficientes são índices utilizados para determinar a forma das bacias e indicar sua tendência para enchentes. Essa tendência será tanto maior quanto mais próximo da unidade for o valor de K_c e quanto maior for a magnitude de K_f , em comparação ao de uma outra bacia de mesmo tamanho. Isto posto, e considerando os resultados desses coeficientes apresentados na **Tabela 2.1**, conclui-se, de modo geral, que as bacias da região em estudo não apresentam uma configuração fisiográfica favorável a enchentes.

Tabela 2. 1 - Características fisiográficas das bacias dos principais rios da Sub-Bacia 24

Nome da Sub-Bacia	Comprimento Total (km)*	Área de Drenagem (km ²)*	Perímetro (km)	Coefficiente de Compacidade (Kc)**	Fator de Forma (Kf)***	Declividade (S) (%)****
Rio Araguaia (Sub-Bacia 24)	508,51	62.716,92	1.581,06	1,78	0,24	0,09%
Rio Caiapó	278,70	12.119,26	583,43	1,50	0,16	0,13%
Rio Claro	276,18	10.232,53	676,85	1,89	0,13	0,14%
Rio das Garças	374,03	13.670,86	797,24	1,92	0,10	0,07%
Rio do Peixe	198,90	5.197,59	369,25	1,44	0,13	0,12%
Rio dos Bois ou das Almas	129,43	1.558,04	248,75	1,78	0,09	0,21%

* ver metodologia de determinação no item 3.2

** Obtido pela expressão: $Kc=0,28 \times \text{Perímetro da bacia} / (\text{Área da bacia})^{1/2}$

*** Obtido pela expressão: $Kf= \text{Área da bacia} / (\text{comprimento do rio})^2$

**** Obtida pela seguinte expressão: $s = \left(\frac{\sum L_i / \sqrt{D_i}}{\sum L_i} \right)^2$, onde L_i e D_i são o comprimento e declividade de cada trecho, respectivamente.

O uso da água nesta sub-bacia, pode ser considerado como múltiplo, destacando-se os seguintes: abastecimento, irrigação, pesca, lazer, principalmente no mês de julho na cidade de Barra do Garças, navegação e o uso para hidroeletricidade. Quanto à geração de energia elétrica, encontram-se em operação no Alto rio Araguaia a PCH de Alto Araguaia, gerando 1,2MW e a PCH São Domingos (ou Torixoeo) com produção de 2,4MW (SIGEL, 2009). Entre outras hidroelétricas em operação, localizadas na Sub-Bacia 24, destacam-se: PCH Piranhas (Potência de 18MW, rio Piranhas), PCH Mosquitão (Potência de 30MW, rio Caiapó), CGH Santa Rita do Araguaia (Potência de 900KW, rio Araguaia), CGH rio Bonito (Potência de KW 997KW, rio Bonito) e a CGH de Cachoeirinha (Potência de 675KW, rio Batovi) (SIGEL/ANEEL, 2009). Outras Unidades estão ainda em fase de outorga ou inventário (SIGEL/ANEEL, 2009). Na **Figura 2.3** é apresentada a localização dos aproveitamentos hidrelétricos em operação na Sub-Bacia 24.

Figura 2.3 – Mapa fisiográfico da Sub-Bacia 24 com a localização de algumas unidades geradoras hidrelétricas e perfis longitudinais dos rios principais.

INSERIR A FIGURA AQUI E EM SEGUIDA RETIRAR ESTA FOLHA

2.2 GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

A região apresenta unidades geológicas que se estendem desde o Arqueano ao Quaternário, passando pelo Paleozóico. As unidades geológicas dominantes na bacia do Alto Araguaia são: Formação Aquidauana, unidade de maior expressão na região, com uma superfície de aproximadamente 41%; Formação Ponta Grossa, abrangendo cerca de 12% da área total da região, Ortognaisse Oeste de Goiás, com 8,9%; Formação Furnas e Botucatu com 8% e 5,6%, respectivamente. A unidade de menor expressão em termos de área é o Complexo de Uvá, com apenas 0,004%. Todas essas unidades referem-se a terrenos de idades geológicas diferentes (Períodos Cretácio, Carbo-Permianiano, Devoniano, Toniano e Mesoarqueano), a menos das Formações Ponta Grossa e Furnas (Período Devoniano).

As porções central e norte da área são constituídas pelos sedimentos Paleozóicos da Bacia do Paraná, principalmente as Formações Furnas, Ponta Grossa e Grupo Aquidauana. A Formação Furnas é constituída por arenitos feldspáticos, esbranquiçados a róseos, de granulação média a grossa, com níveis conglomeráticos. A Formação Ponta Grossa é caracterizada por uma sequência de arenitos finos a muito finos, com intercalações siltico-argilosas e folhelhos. O Grupo Aquidauana é representado por arenitos vermelhos, folhelhos vermelhos, netipos e arenitos finos, com níveis conglomeráticos na base. Já na porção sul destaca-se a Formação Botucatu constituída por quartzo-arenito.

As rochas de idade neoproterozóicas são representadas pelo Grupo Cuiabá composto por filitos e quartzitos, pelas supracrustais metamorfisadas da Sequência Bom Jardim, constituídas essencialmente por metavulcânicas básicas e ácidas e metassedimentos diversos e pelos granitos dos tipos Serra Negra (Granito Piranhas) e Serra do Impertinente.

No Tércio-Quaternário desenvolveram-se as superfícies detrito-lateríticas sobrepostas aos terrenos mais antigos e os expressivos aluviões do Araguaia.

De idade Quaternária destacam-se:

- A Formação Araguaia, formada por uma sucessão de sedimentos continentais pliocênicos, constitui-se de conglomerados siltes e areias siltosas.
- Os depósitos aluvionares caracterizados por sedimentos inconsolidados representados por areias, cascalho, siltes e argilas, distribuem-se nas planícies de inundação e ao longo da drenagem, principalmente, no rio Araguaia.

Apesar da escassez de informações disponíveis sobre a região, há indicações da existência de aquíferos de extensão regional, livres ou confinados com permeabilidade geralmente média a baixa nas principais unidades geológicas, destacando-se os arenitos da Formação Furnas e as zonas fraturadas dos Granitos-Gnaisses.

O aquífero constituído pelos arenitos da Formação Furnas é o principal reservatório potencial de água subterrânea da região. Trata-se de um aquífero regionalmente confinado pela Formação Ponta Grossa, o que confere a ele uma boa capacidade de armazenamento.

A porosidade fissural dos Granitos-Gnaisses, em zonas fraturadas, pode proporcionar uma boa condutividade hidráulica ao meio e garantir uma boa potencialidade de acumulação de água subterrânea nestas rochas.

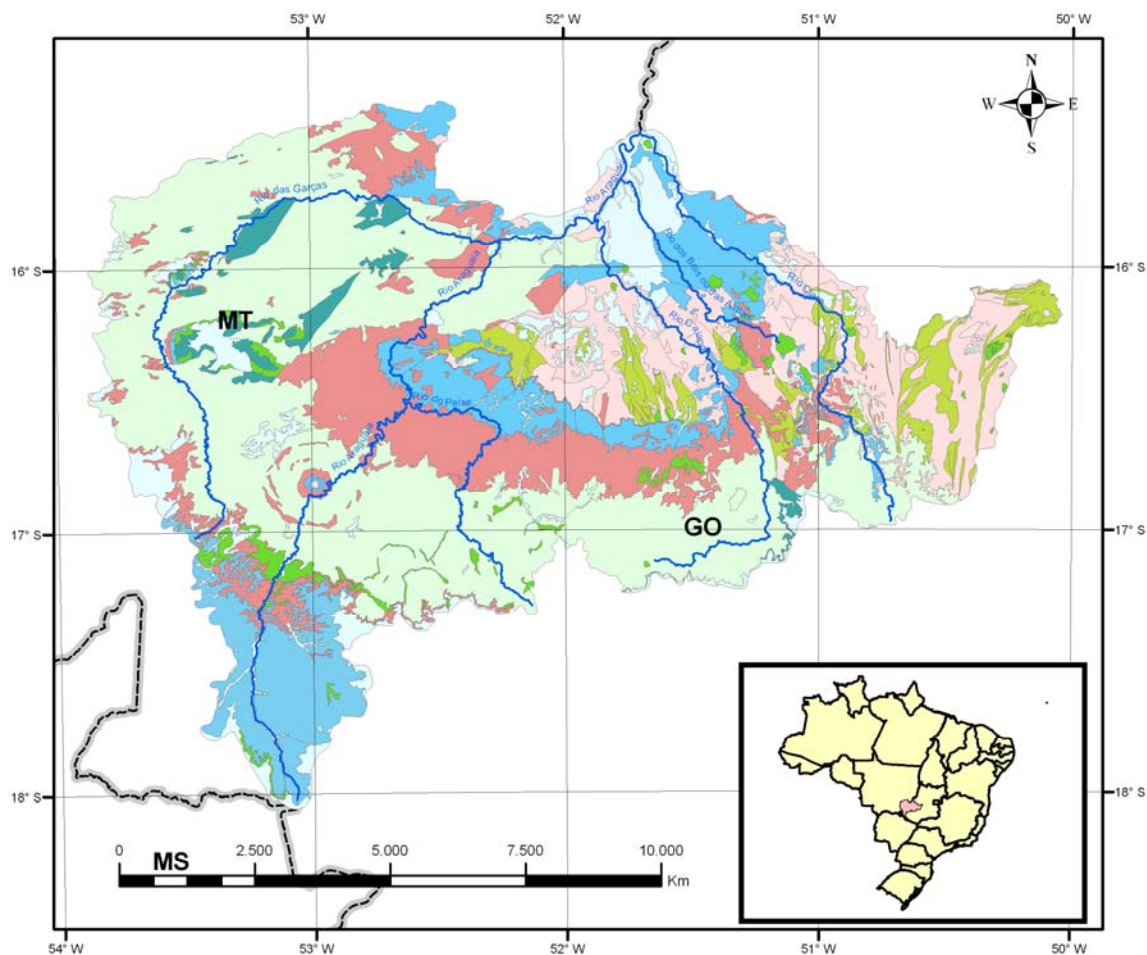
O Grupo Aquidauana constitui também um aquífero do tipo granular, sendo esse grupo com maior área de ocorrência na área da sub-bacia. Apresenta baixa permeabilidade devida às intercalações argilosas e ao cimento de argila e silte dos arenitos. Em função das baixas velocidades de transmissão, pode ter uma influência reguladora de vazões no período de secas, quando libera água lentamente.

O Grupo Cuiabá e a Sequência Bom Jardim não reúnem boas condições de circulação e armazenamento de água subterrânea, podendo, em áreas intensamente fraturadas ou camadas de quartzito, com alta permeabilidade, apresentar uma boa potencialidade de acumulação de água subterrânea.

Nas **Figuras 2.4 e 2.5** encontram-se, respectivamente, os mapas geológico na escala 1:1.000.000 (CPRM, 2004) e o hidrogeológico na escala 1:500.000 (CPRM/ANEEL, 2001) da região em estudo, ambos apresentados na forma simplificada.

Éon	Era	Período	10 ⁶ anos	Unidades Geológicas						
				Unidades Geológicas	Unidades Geológicas					
Fanerozoico	Cenozoico	Quaternário	Holoceno	Q2a	Depósito aluvionares					
			Pleistoceno	Qdi	Depósitos Dendrícticos Indiferenciados					
			1,75	Formação Araguaia Qag2	Fácies depósitos aluvionares	Qag1	Fácies terraços aluvionares			
		Terciário	Neógeno	NQdi	Coberturas Detrito-Lateríticas					
			23,5	ENdi	Depósitos Detrito-Lateríticos	ENch	Formação Cachoeirinha			
			85							
	Mesozoico	Cretáceo		K2vp	Formação Vale do Rio Peixe	K2m	Formação Marília			
				K2b	Grupo Bauru	Jk_A_J	Alcalinas e Ultramáficas Iporá			
				J3K1bt	Formação Botucatu					
				Complexos Plutônicos Alcalinos 85 Ma K-Ar K2_m_s		Alcalina Morro do Engenho(m); Alcalina Santa Fé (s)		K1_R_sp	Formação Serra Geral	
			135							
	Paleozoico	Permiano	203							
			Triássico	250	P3T1c	Formação Corumbatai				
				P2i	Formação Irati					
		Carbonífero		P1p	Formação Palermo					
			295	C2P1a	Formação Aquidauana					
			Devoniano	355	Dpg	Formação Ponta Grossa				
					D1f	Formação Furnas				
410										
Siluriano			435	S12vm	Formação Vila Maria					
Ordoviciano			500	Op	Formação Piranhas					
			543							
Proterozoico			Neoproterozoico	III	Granitos Pós-Orogênicos Brasileiro III					
	NP3a1	Suite Serra Negra (sn); Granito Serra Negra (n)			NP3a2	Suite Serra Negra (sn); Granito Serra do Impertinente (si)	NP3a3	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a4	Suite Serra Negra (sn); Granito Corrego de Ouro (co)
	NP3a5	Suite Serra Negra (sn); Granito Serra do Irã (ir)			NP3a6	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a7	Suite Serra Negra (sn); Granito Israelândia (is)	NP3a8	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)
	NP3a9	Suite Grabo Diorítica (NP_delta); Sudoeste de Goiás (sg)			NP3a10	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a11	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a12	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)
	NP3a13	Suite Grabo Diorítica (NP_delta); Sudoeste de Goiás (sg)			NP3a14	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a15	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a16	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)
	NP3_mu_a	Suite Máfico Ultramáfica Tipo Americano do Brasil			NP3a17	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a18	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)	NP3a19	Suite Serra Negra (sn); Granito Iporá (i)
	650	Unidade Metavulcanossedimentar Iporá-Amorinópolis 638 Ma U-Pb		Grupo Cuiaba		Unidade Metavulcanossedimentar Bom Jardim				
		NP3ia1	Subunidade 1	NPcui	Subunidade indivisa	NPbj1	Subunidade Inferior			
		NP3ia2	Subunidade 2			NPbj2	Subunidade Intermediária			
		NP3ia3	Subunidade 3			NPbj3	Subunidade Superior			
Mesoproterozoico	Criogeniano	Unidade Metavulcanossedimentar Jaupaci - 784 Ma U-Pb		Granitos Sinorogênicos Brasileiro I						
		NP2jp2ff	Subunidade 2: formação ferrífica (ff)	NP_y1sg	Granitos Tipo Aragoiânia					
	850	NP2jp1	Subunidade 1	NP2jp2	Subunidade 2	Granitos Sin a Tardiogênicos Brasileiro I				
						NP_j2p	Granitos Tipo Rio Piracanjuba			
Paleoproterozoico	Toniano	Unidade Metavulcanossedimentar Anicuns-Itaberai		Unidade Metavulcanossedimentar Arenópolis-Piranhas						
		NPai	Anicuns Itaberai	NPapi1	Subunidade Máfico-Ultramáfica					
		NPaiqt	Anicuns Itaberai/Quartzito	NPapi2	Subunidade Félsica Intermediária					
1000	NP1_y1gn	Ortochnaisse Oeste de Goiás	NPapi3	Subunidade Metassedimentar						
Arquenano	Mesoarqueano	1600								
		Estateriano	1800	PP4sdb	Grupo Serra Dourada- Unidade B					
		Orosiriano	2050	PP3_y1f	Gnaisse Ribeirão					
		2600								
		2800								
		3200	A3u	Complexo Uvá						

Figura 2.4 – Legenda do mapa geológico simplificado da Sub-Bacia 24 (CPRM, 2004)



Características Hidrogeológicas das Litologias

- Coberturas Cenozóicas: Aquíferos intergranulares livres de pequena espessura. Alimentam o aquífero subjacente. Geralmente foram áreas planas com baixa velocidade de escoamento superficial. Nas planícies aluvionares (unidades QHa e Qpa) podem funcionar como reguladores de vazões, absorvendo os impactos de cheias e liberando água nos períodos de recessão.
- Grupo Bauru: Aquífero Intergranular Livre. Arenito permeável de ocorrência restrita a alguns trechos do Rio das Garças e Rio Diamantino, onde tem influência como regulador no período de recessão. Importância local na área da Sub-bacia 24.
- Arenito e Conglomerados Permeáveis das Formações Vila Maria, Furnas e Botucatu. São os principais aquíferos da área. Intergranulares, livres e confinados, extensos. Grande capacidade de recarga nas áreas de exposição (ou sob coberturas cenozóicas). Podem regular a vazão no período de seca, devido a alta capacidade de acumulação. Parte da recarga, que ocorre nas áreas de afloramentos das formações: Botucatu, localizada nas cabeceiras do Araguaia e do Babilônia; Furnas e Vila Maria, localizadas no Centro-leste da Sub-bacia; drenam para fora da Sub-bacia 24, acompanhando o fluxo para sul, provocado pelo mergulho da bacia sedimentar. Nas áreas isoladas de ocorrência da Formação Furnas, no baixo Rio Claro e baixo Rio das Garças, a formação repousa diretamente sobre o embasamento cristalino impermeável. Prevê-se que nessas áreas toda a descarga se dá diretamente na bacia desses afluentes.
- Arenitos com matriz de silte e argila, com intercalações de siltitos e folhelhos do Grupo Aquidauana. Apesar da presença de arenitos, o conjunto é pouco permeável devido as intercalações argilosas e ao cimento de argila e silte dos arenitos. Formação com maior área de ocorrência na área da Sub-bacia. As fraturas são um importante fator de recarga. Devido as baixas velocidades de transmissão, pode ter uma influência reguladora de vazões no período de seca, quando libera a água lentamente.
- Filitos e xistos do Grupo Cuiabá e seqüências metavulcanossedimentares com baixo grau metamórfico – Formam um conjunto de grande complexidade litológica, podendo ocorrer formações impermeáveis, aquíferos fraturados e mesmo kárstico. Predomina o tipo fraturado sob espesso manto de alteração. Devido a relativamente pequena área de ocorrência, tem importância apenas local.
- Alcalinas, basaltos, diabásios, metabásicas e ultramáficas – Aquíferos fraturados com pequenas áreas de ocorrência na bacia. A alteração dessas rochas tende a produzir um manto de alteração argiloso (baixa recarga). As fraturas tendem a ser mais abertas. Devido a relativamente pequena área de ocorrência, tem importância apenas local.
- Folhelho e Siltitos do Grupo Passa Dois e Formação Ponta Grossa – Funcionam como aquíferos (“impermeáveis”). Circulação de água apenas através de fraturas. Estocagem desprezível.
- Granitos, Gnaisses – Aquíferos fraturados de grande extensão regional. Acumulação de água somente nas zonas fraturadas ou áreas de manto de alteração espesso. Pequena influência na estocagem e na regularização da vazão.

Hidrografia

— Hidrografia da Sub-Bacia 24. Esta hidrografia foi gerada por meio do modelo digital de terreno, com aplicativos do ArcGis 9.3. Escala aproximada: 1:250.000.

Divisão Política

▭ Unidades Federativas

Dados do Mapa

Origem: Equador e Meridiano 51°W.
 Projeção Cartográfica UTM
 Datum: SAD-69
 Escala Original: 1:500.000
 Referência: CPRM, 2001

Figura 2.5 – Mapa hidrogeológico simplificado da Sub-Bacia 24 (CPRM/ANEEL, 2001)

2.3 COBERTURA VEGETAL E SOLOS

A cobertura vegetal predominante na região é o cerrado, embora bastante descaracterizado pela ação antrópica para dar lugar à agricultura e à pecuária. Ainda existem áreas com vegetação nativa modificada, como é o caso do capim Jaraguá, que muitas vezes aparece em lugar de cobertura baixa, de gramíneas e ciperáceas.

Na região a vegetação varia conforme as litologia. Ocorre como campos limpos ou cerrado ralo sobre os sedimentos paleozóicos da Bacia do Paraná, que formam os Chapadões, localizados na vertente direita do Alto Araguaia. Já sobre os granitos-gnaisses arqueanos ocorre como Campo Cerrado.

A sub-bacia, por apresentar tradição no uso agropecuário, possui mais de 60% de sua área constituída por regiões que sofreram desmatamento. O resultado desse processo é o grande número de erosões de difícil recuperação, que têm trazido enormes perdas para os proprietários das terras e grave assoreamento para os córregos e rios da região.

Quanto aos solos da Sub-Bacia 24, seus principais tipos são:

- Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos: solos muito profundos, perfis acima de 3m, friáveis, porosos e permeáveis, resistentes aos processos erosivos, com baixa fertilidade natural. Ocupam cerca de 28% de área da bacia;
- Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos: solos profundos, normalmente com gradiente textural, bem drenado e com estruturas em blocos, em ambientes de grande declividade, são bastante suscetíveis aos processos erosivos. Superfície ocupada: aproximadamente 26%
- Neossolos Quartzarênicos: solos profundos essencialmente quartzosos, baixa coesão e adesão entre as partículas do solo, teor de argila não ultrapassa 15%, muito permeáveis. Abrangem aproximadamente 22% da superfície da bacia;
- Cambissolos Háplicos: solos rasos ou pouco profundos, relação silte/argila elevada evidenciando a pouca coesão das partículas do solo, sendo mais erosivos. Ocorrem em relevos mais acidentados. Superfície ocupada: aproximadamente 16%
- Neossolos Litólicos: solos rasos, menos de 1m de profundidade até a rocha, dificultam o desenvolvimento radicular das plantas, moderadamente drenados, muito suscetíveis aos

processos erosivos, ocorrem em relevos movimentados. Abrangem aproximadamente 8% da superfície da bacia;

- Gleissolos Hápicos: solos de baixada, sujeitos ao alagamento periódico, elementos reduzidos, mal drenados.
- Plitossolos Hápicos: solos com problemas de drenagem, ocorrência de mosqueados devido à variação da condição de oxi-redução no solo, ambientes normalmente que acumulam água com drenagem deficiente.

Os Cambissolos e Plitossolos Hápicos ocupam aproximadamente 0,3% da superfície da Sub-Bacia 24.

Nas **Figuras 2.6 e 2.7** são apresentados os mapas simplificados de cobertura vegetal e dos solos da Sub-Bacia 24, respectivamente.

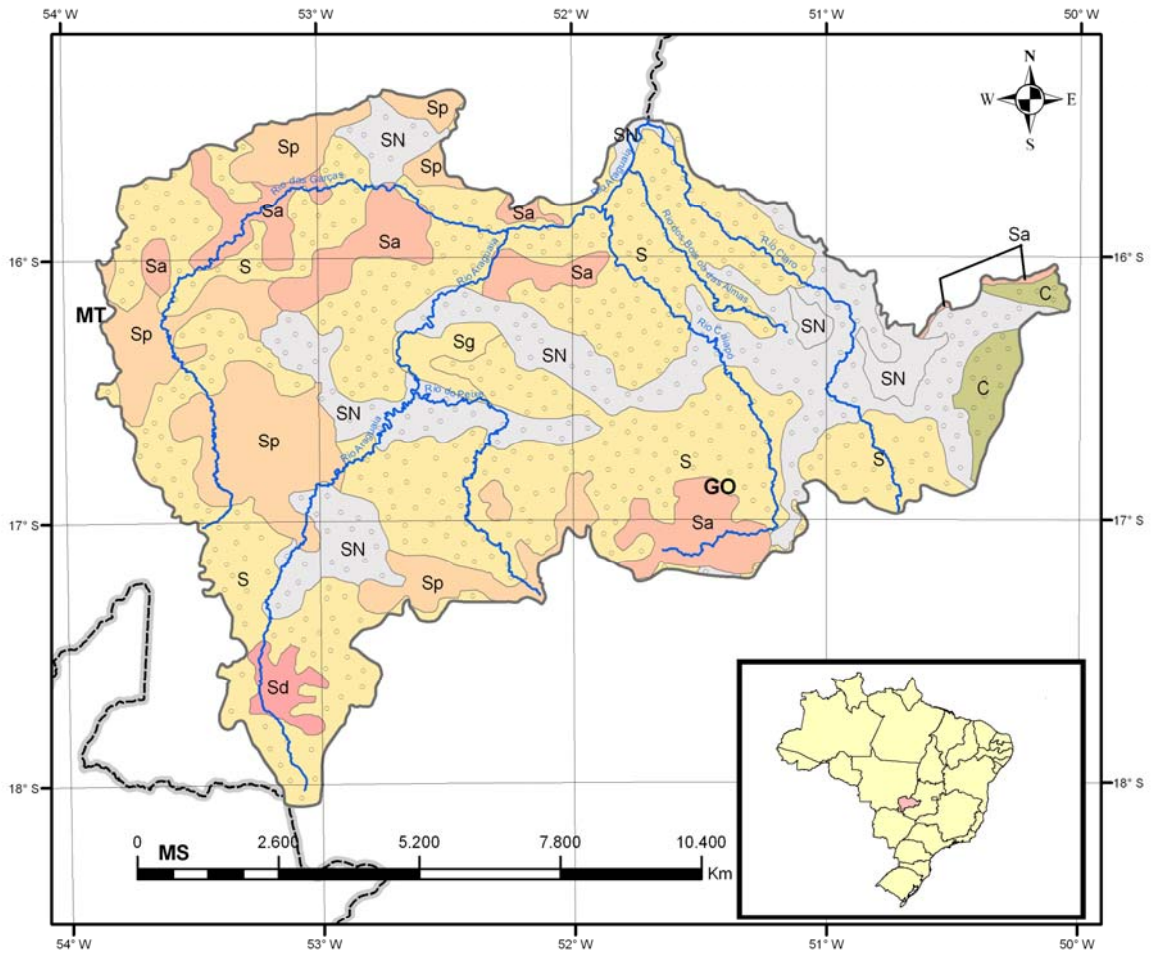


Figura 2. 6 – Mapa de cobertura vegetal simplificado da Sub-Bacia 24 (IBGE, 2004)

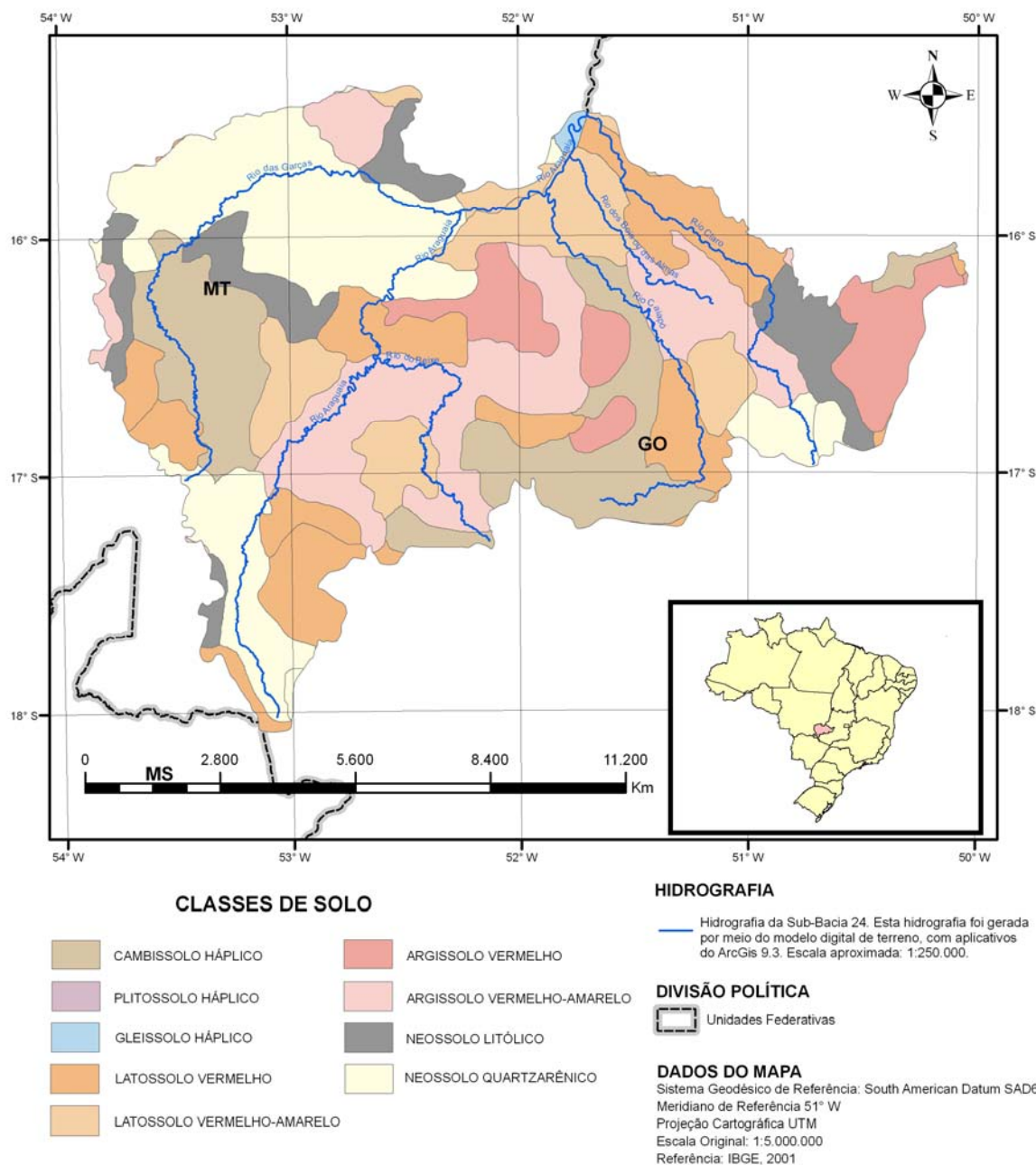


Figura 2. 7 – Mapa de solos simplificado da Sub-Bacia 24 (IBGE, 2001)

2.4 CLIMA E REGIME HIDROLÓGICO

O clima dominante na Sub-Bacia 24 enquadra-se, segundo a classificação climática de Köppen, no tipo Aw, quente e úmido megatérmico (**Figura 2.8**). Este tipo climático possui as seguintes características: índice pluviométrico anual da ordem de 1.700 mm, temperaturas médias mensais oscilando entre 24 e 26°C, período de estiagem no trimestre julho a agosto, quando os totais pluviométricos são inferiores a 10 mm (ANA, 2009).

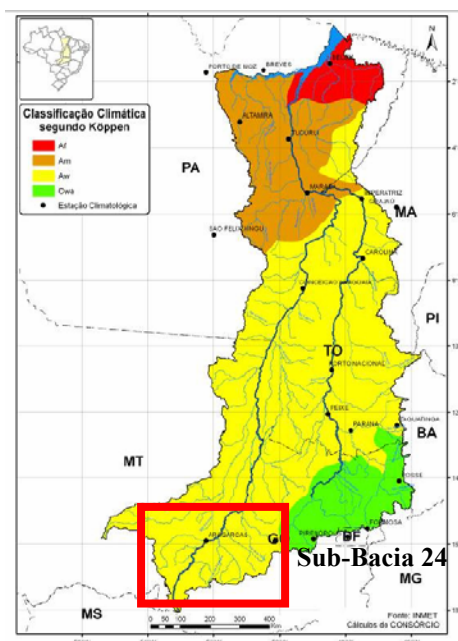


Figura 2. 8 - Tipos Climáticos de Köppen na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA)

Fonte: ANA, 2009

O regime hídrico da região é caracterizado por dois períodos distintos: um chuvoso que inicia em outubro e estende-se até março, quando ocorre aproximadamente 85% do total anual de chuvas; e outro seco, no período de abril a setembro (vide hietogramas na **Figura 2.9**). As chuvas ocorrem de forma homogênea na bacia, sendo a precipitação média anual na região de aproximadamente 1.595 mm (ANA, 2009) (vide **Figura B1**).

O rio Araguaia em Araguaiana (foz da Sub-Bacia 24 – Alto Araguaia) apresenta uma vazão média de aproximadamente 1.080 m³/s, sendo a maior contribuição fluvial ditada pelos tributários de sua margem direita. De acordo com Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins-Araguaia (ANA, 2009), nos períodos de 1946 a 1956 e 1961 a 1973, foram registradas as menores vazões anuais no rio Araguaia, sendo o mais úmido de 1977 a 1983. Na Sub-Bacia 24, onde há carência de monitoramento hidrológico, são poucas as estações fluviométricas que registraram vazões no período crítico fluvial do rio Araguaia.

A variação da vazão mensal ao longo do ano (**Figura 2.10**) mostra que os maiores valores ocorrem entre os meses de janeiro a março e os menores entre julho a setembro, coincidente com os períodos mais e menos chuvosos na região (**Figura 2.9**).

A vazão com permanência de 95% (Q95%) do rio Araguaia na foz da Sub-Bacia 24 é de 202 m³/s (**Tabela 2.2**), representando, aproximadamente, 20% da sua vazão média (ANA, 2009). A vazão específica média na bacia, em torno de 17,09l/s.km², representa a terceira maior da

Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA), esta apresentada na **Figura 2.8** e sua vazão específica de estiagem constitui aproximadamente 110% da que ocorre na RHTA (ANA, 2009).

Na **Tabela 2.2** são apresentadas algumas variáveis hidrológicas da região em estudo, sendo essas informações extraídas do Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins-Araguaia (ANA, 2009).

Nas **Figuras 2.9 e 2.10** estão apresentados, respectivamente, os hietogramas de totais mensais médios de precipitações e os histogramas de vazões médias mensais de longo termo de algumas estações da Sub-Bacia 24, respectivamente, a fim de ilustrar a variação mensal de precipitações e de vazões na região em estudo.

Tabela 2. 2 – Dados do regime fluvial da Sub-Bacia 24 – Alto Araguaia

Sub-bacia	Precipitação o média anual (mm/ano)	Qmáxima (m³/s)	Qmédia (m³/s)	Qmínima (m³/s)	95% permanência (m³/s)	Qespecífica média (l/s.km²)	Qespecífica média incremental (l/s.km²)	Qespecífica 95% permanência (l/s.km²)	Qespecífica 95% permanência incremental (l/s.km²)
Alto Araguaia	1595	4664	1071	292	202	17,09	17,09	3,22	3,22

Fonte: ANA, 2009

2.5 RELEVO

Segundo o relatório do Fórum Regional de Desenvolvimento Sustentável da Sub-Bacia do Alto Araguaia (GOVERNO DE MATO GROSSO, 2002) são descritas as seguintes características de relevo dessa região: “Esta região insere-se no domínio dos Planaltos Setentrionais da Bacia Sedimentar do Paraná, especialmente no Planalto dos Guimarães-Alcantilados. Esse planalto estende-se pela extremidade noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná e funciona como o divisor das águas entre a bacia Platina e a bacia do Araguaia. Esse planalto é contornado pela Depressão do Araguaia. A seção do Planalto dos Alcantilados está bem representada na região e apresenta feições morfológicas complexas, marcadas por bordas abruptas, interrompidas por relevos residuais do topo plano. A área é muito fraturada e falhada. Na porção mais ao sul (Alto Taquari) dominam as feições dos chapadões, onde extensas áreas planas, de fácil mecanização são ocupadas pela agricultura moderna de grãos. Nas áreas de relevo mais ondulado a exploração pecuária está mais presente.”

Na **Figura 2.11** são apresentado os Domínios geomorfológicos da RHTA (ANA, 2009), dando-se destaque à área de interesse.

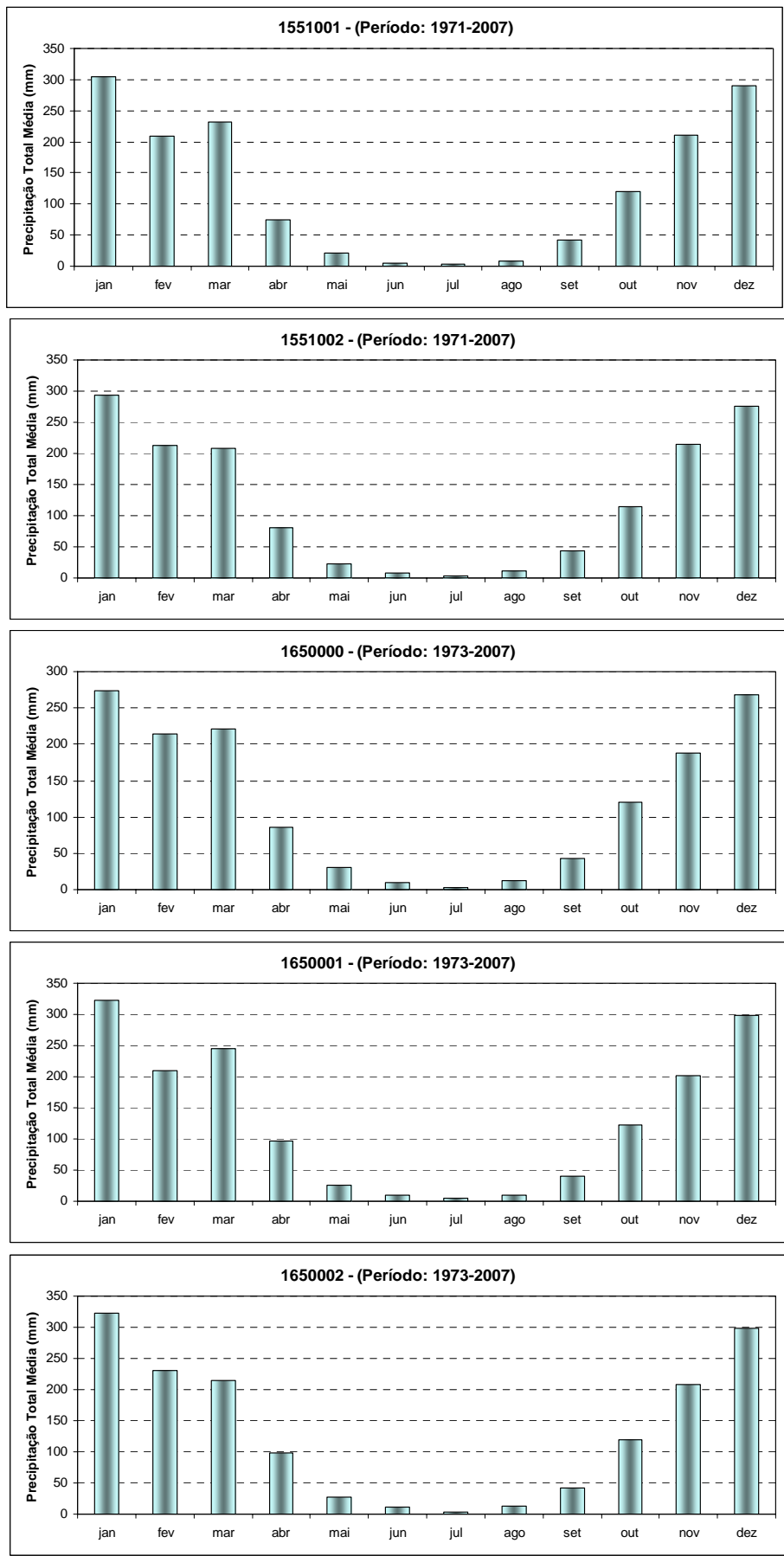
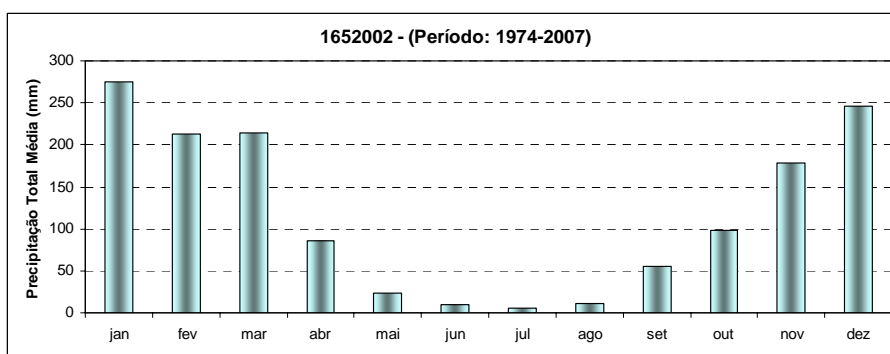
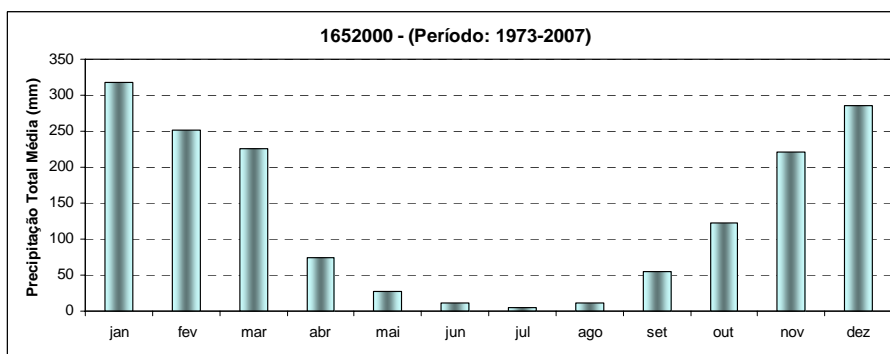
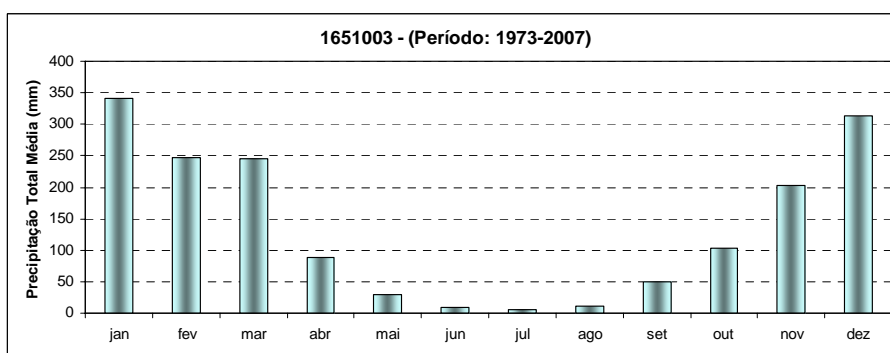
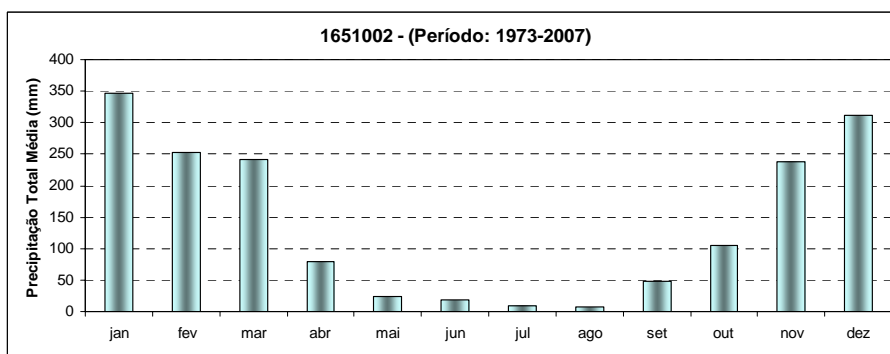
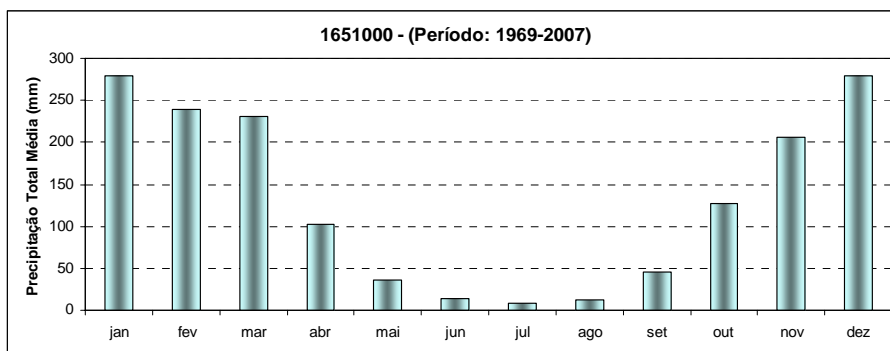
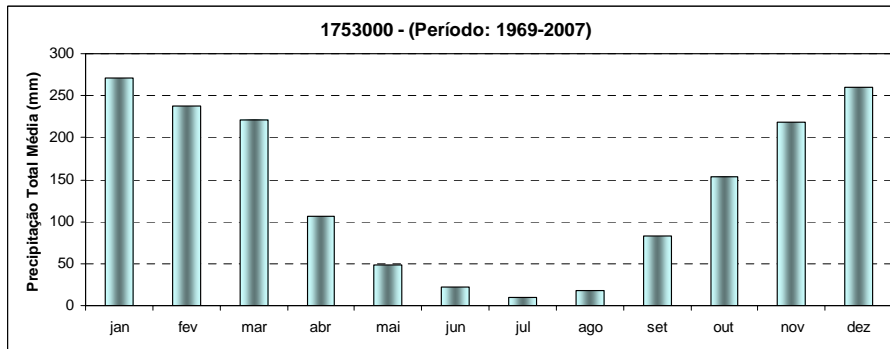
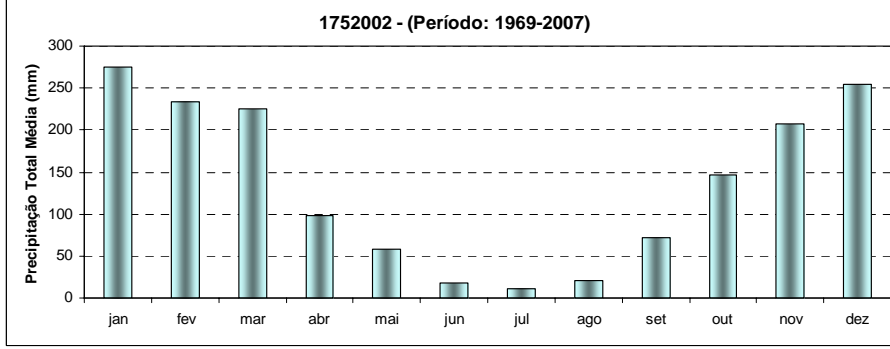
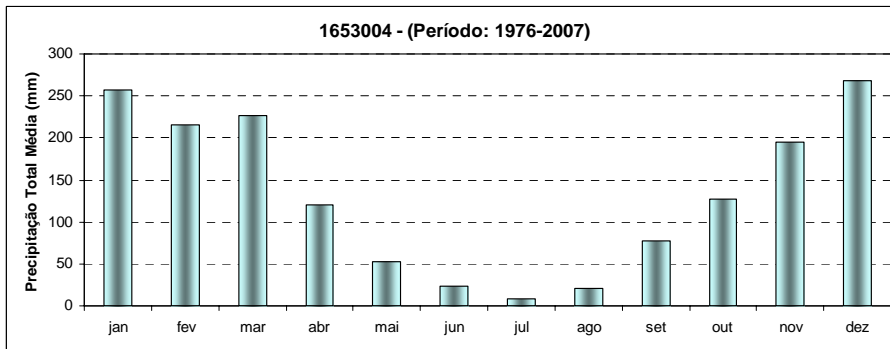
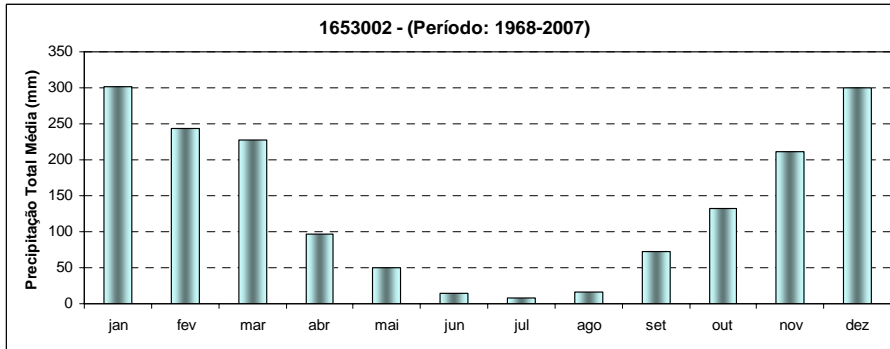
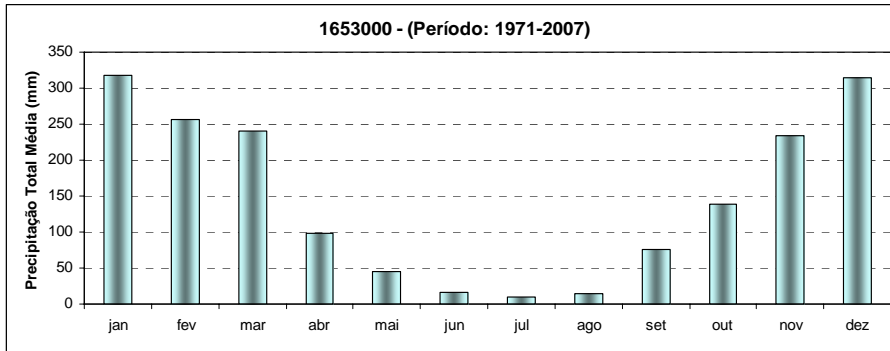


Figura 2.9 – Hietogramas de chuvas totais mensais médias de longo período.



Continuação da Figura 2.9 – Hietogramas de chuvas totais mensais médias de longo período.



Continuação da Figura 2.9 – Hietogramas de chuvas totais mensais médias de longo período.

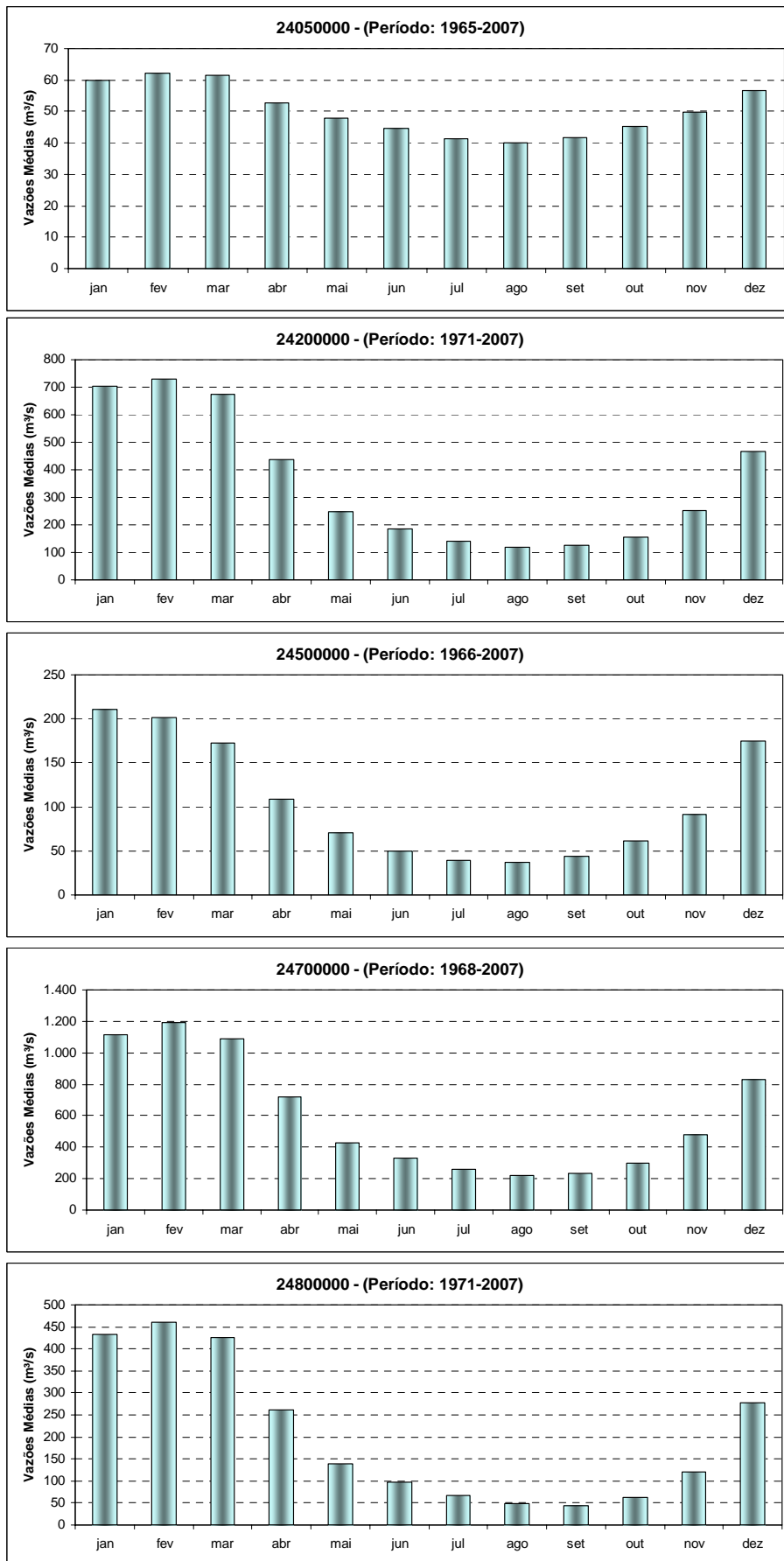
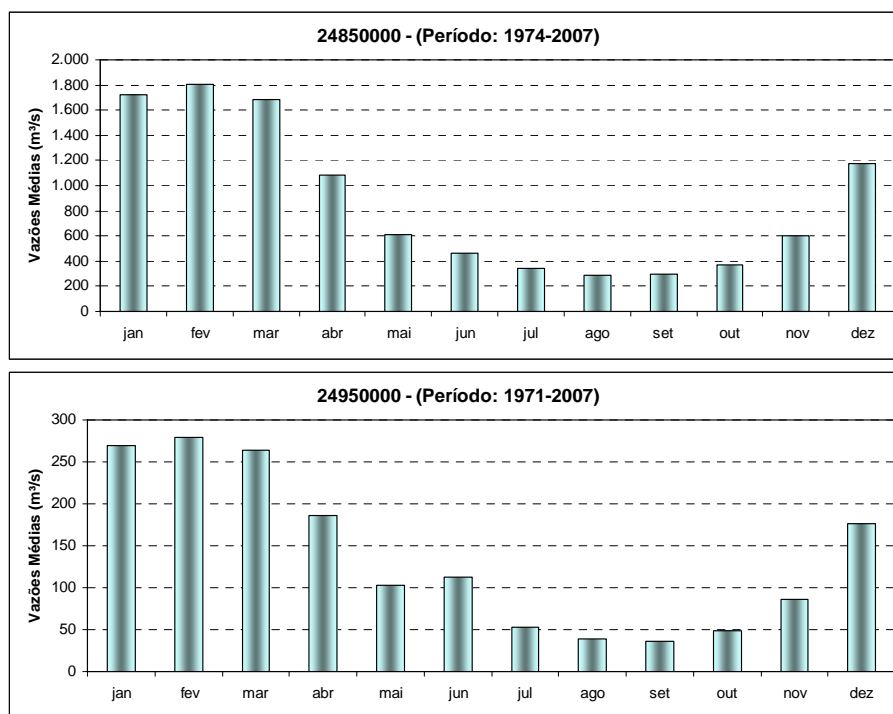


Figura 2. 10 – Histogramas de vazões médias mensais de longo período



Continuação da Figura 2. 10 – Histogramas de vazões médias mensais de longo período

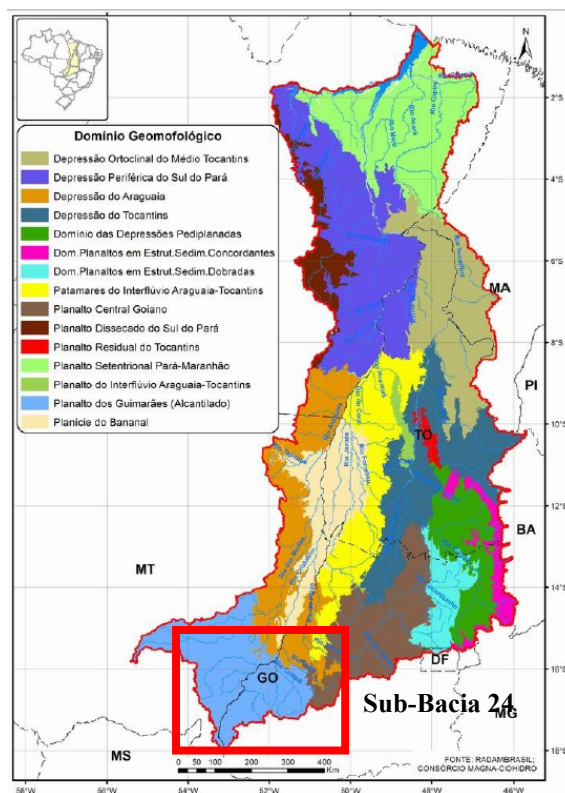


Figura 2. 11 - Domínios geomorfológicos da RHTA
Fonte (ANA, 2009)

3 METODOLOGIA E RESULTADOS

O estudo de regionalização ora desenvolvido para a Sub-Bacia 24 baseou-se na metodologia consolidada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, reunida e apresentada em Tucci (2002) e adotada nos estudos de 2001 pela CPRM (CPRM/ANEEL, 2001 e CPRM/ANEEL, 2002).

A metodologia empregada neste trabalho foi a que regionaliza a vazão Q95%, com base nas variáveis explicativas, área de drenagem (A) e precipitação total anual média (P), adotando-se para tanto equações que melhor se ajustaram à correlação definida entre a Q95% e essas variáveis.

Neste estudo, recomenda-se utilizar a maior quantidade de dados disponíveis já consistidos. Sendo assim, foram coletados todos os dados possíveis e pré-selecionadas todas as estações com mais de cinco anos completos de vazão fluvial. Em seguida, os dados das estações foram avaliados quanto à sua qualidade, utilizando-se dentre outros aspectos, o critério de avaliação constante do **Anexo C (Tabela C5 e Tabela C6)**.

Na seleção das estações fluviométricas para a análise regional da Q95%, foram ainda realizados testes de estacionariedade (t – Student para as médias e F – Fisher para as variâncias) das séries de vazões médias anuais, utilizando para tanto, o programa HIDROCAL, desenvolvido pela CPRM em 2009. Esses testes foram efetuados neste trabalho a fim de se identificar os períodos das séries que apresentassem comportamento diferenciado em relação aos períodos restantes, para que com isso, fosse pesquisada a procedência dessa perturbação, ou seja, fosse verificada se tal comportamento poderia ser atribuído a processos aleatórios ocorridos nos postos ou a ações antrópicas. Nos casos em que se constatou que as anomalias das séries foram causadas por ações humanas, fez-se uma avaliação da opção de exclusão do período problemático das séries de vazão ou até mesmo do descarte da estação para o estudo.

As variáveis explicativas utilizadas na análise regional da Q95% são grandezas fisiográficas (área de drenagem) e meteorológicas (precipitação) da região, sendo as primeiras determinadas de uma base cartográfica disponível e com o uso das ferramentas do Programa ArcGis 9.3. As meteorológicas foram obtidas da imagem *raster* de precipitações médias anuais do Brasil gerada pelo Projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010).

As magnitudes da vazão de 95% de permanência foram definidas pela interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para a frequência de 95%. A curva de permanência

expressa a relação dos valores de vazão com a frequência que esse valores tendem de ser superados. Neste trabalho essas curvas foram determinadas para as séries de vazões médias diárias.

Calcularam-se ainda indicadores hidrológicos regionais (rcp95), assim como foram estabelecidos gráficos das Q95% anuais adimensionais e das curvas de permanência adimensionais, visando à seleção de agrupamento de estações fluviométricas para a definição preliminar das regiões hidrológica e estatisticamente homogêneas para a Q95%.

Da definição das regiões homogêneas preliminares, foram propostas outras alternativas de agrupamento de estações, a fim de se avaliar qual seria a melhor configuração de regiões homogêneas para a Q95%. Para cada teste de agrupamento de estações, inclusive para aqueles abrangidos pelas regiões homogêneas preliminares, foram ajustadas equações de regressão da Q95%, sendo a sua performance de estimativa avaliada pelo erro relativo médio (ERM) e R². Nessa fase de análise das regiões homogêneas, considerou-se na regressão da Q95% apenas a variável explicativa área de drenagem, sendo a precipitação média incluída quando do estabelecimento das equações finais para as regiões homogêneas definitivas. Foi utilizado o programa EXCEL para o estabelecimento das equações de regressão, com base na sua ferramenta de gráficos e de análise de dados para a regressão. As equações de regressão estabelecidas foram lineares ou de potência, simples ou múltiplas, dos tipos:

$$Q95\% = aA + bP + \dots$$

$$Q95\% = aA^b P^c \dots$$

As regiões homogêneas definitivas foram estabelecidas considerando a proximidade entre as estações e os resultados estatísticos das equações de regressão da Q95% ajustadas para os referidos testes de agrupamento de estações. O contorno externo dessas regiões foi definido pela união dos limites das bacias de contribuição às estações contidas em cada uma dessas regiões. A análise mais qualitativa dos mapas temáticos, tais como os de geologia e hidrogeologia, auxiliaram a definição dos limites das regiões homogêneas para a Q95%.

Identificadas e confirmadas as regiões hidrologicamente homogêneas, foram então determinadas as equações regionais de regressão da Q95%, em função das variáveis explicativas área de drenagem e precipitação total anual média, e definidos os seus limites de validade.

3.1 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS

A partir do inventário das estações fluviométricas da Sub-Bacia 24 foram coletadas as informações disponíveis dessas estações junto aos órgãos responsáveis pela administração ou operação da rede hidrometeorológica da região: ANA, ELETRONORTE, CEMAT, SEMA-MT, GARÇAS ENERGIA e SERRA NEGRA. Os dados foram reunidos e armazenados no banco de dados em Access, no formato Hidro versão 1.09 (aplicativo do tipo banco de dados disponibilizado pela ANA). O período de dados fluviométricos adotado neste trabalho foi aquele que se tinha disponível para a região, consistido e/ou bruto, desde o início das observações nas estações até 2007, inclusive.

Quanto às estações pluviométricas da região em estudo, foram coletadas as séries históricas de chuva diárias disponíveis das estações pluviométricas da Sub-Bacia 24 (até 2007), junto aos órgãos responsáveis pela administração ou operação da rede pluviométrica da bacia, sendo essas armazenadas no banco de dados em Access, no formato Hidro versão 1.09. Essas informações foram utilizadas parcialmente neste trabalho para avaliar inconsistências nas séries de vazão de algumas estações fluviométricas.

Encontra-se também reunidas em banco de dados no formato Hidro versão 1.09, as séries de apenas 30 anos de chuva diária (1977 a 2006) das estações da Sub-Bacia 24 selecionadas e consolidadas no contexto do projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010). Esses dados foram empregados na definição das isoietas totais anuais e trimestrais da Sub-Bacia 24.

Os bancos de dados utilizados neste trabalho estão disponíveis em meio digital no CD apensado a este relatório. No capítulo sete são descritos sumariamente os arquivos digitais contidos no referido CD.

Na **Figura A1** do **Anexo A** é apresentado o mapa da rede hidrometeorológica da Sub-Bacia 24 na escala 1:1.125.000, para melhor visualização da localização das estações inventariadas na região.

Na **Figura A1** as estações são representadas por simbologias de acordo com o tipo de variáveis medidas nas estações e seguindo a nomenclatura apresentada na **Tabela A1** do **Anexo A**. Na Sub-Bacia 24 encontram-se: nove estações do tipo F, 10 FD, uma FDQ, duas FDS, quatro FDSQ, uma FDSQT, duas FDT, três FrDS, uma PFD, duas PFDQ, cinco PFDSQ, uma PrFDQ, 19 estações do tipo Q, três estações do tipo C, quatro CT, duas E, 15 P, seis Pr e uma PT.

3.1.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Segundo o inventário de estações pluviométricas da ANA (outubro de 2009), a sub-bacia em estudo apresenta 38 estações pluviométricas de entidades diversas tais como ANA, CEMAT, INMET e SIMEGO, dentre as quais sete encontram-se desativadas. As informações constantes do inventário pluviométrico da ANA da Sub-Bacia 24 foram avaliadas segundo os dados das fichas descritivas disponíveis e corrigidas, se necessárias. Na **Tabela B1** são apresentadas as estações pluviométricas da Sub-Bacia 24 do inventário da ANA, na qual encontram-se em destaque alguns dados duvidosos ou que foram corrigidos.

Neste estudo não se avaliou a densidade mínima das estações pluviométricas da região quanto às recomendações da OMM, tal como realizado para a rede fluviométrica (vide item 3.1.2.1) da Sub-Bacia 24, tendo em vista essa avaliação, de modo geral, fazer parte do escopo de trabalho do Projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010), descrito no texto que se segue.

3.1.1.1 Isoietas totais anuais

No contexto do Projeto Atlas Pluviométrico da CPRM (CPRM, 2010), que se propõe a definir as isoietas médias anuais (ano civil) e trimestrais do Brasil, dentre outros aspectos, foram selecionadas 24 estações da região em estudo, estando essas em destaque na tabela do inventário pluviométrico da Sub-Bacia 24 (**Tabela B1**). Nesse projeto, o critério de seleção das estações para a elaboração das isoietas do Brasil foi o período mínimo de dados coincidentes de 30 anos completos, aceitando-se em alguns casos (região norte) estações com 19 anos. Para as estações com 30 anos de dados, o período selecionado foi de 1977 a 2006.

Na **Figura B1** é apresentado o mapa de isoietas médias anuais da Sub-Bacia 24 correspondente ao período de 1977 a 2006.

3.1.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Segundo o inventário de estações fluviométricas da ANA (outubro de 2009), a sub-bacia em estudo apresenta 60 estações fluviométricas de entidades diversas: ELETRONORTE, CEMAT e ANA. As informações constantes do inventário fluviométrico da ANA da Sub-Bacia 24 foram avaliadas segundo os dados das fichas descritivas disponíveis e confirmadas a partir da plotagem dessas estações em base cartográfica disponível, que possuíssem dados de municípios, estados, nome de rios, etc. Na **Tabela C1** são apresentadas as estações fluviométricas da Sub-

Bacia 24 do inventário da ANA, na qual encontram-se em destaque alguns dados duvidosos ou que foram corrigidos.

Do diagrama de disponibilidade de dados fluviométricos das estações existentes na bacia, (**Tabela C2 do Anexo C**), verifica-se que apenas 36 estações fluviométricas das 60 inventariadas, o que representa apenas 27% desse total, possuem registros com dados fluviométricos (cotas e/ou descargas), sendo que somente 16 estações têm dados de vazão. Dentre essas últimas, 15 possuem mais de cinco anos completos de dados de vazão e qualidade de informações aceitável (ver estatística da disponibilidade de dados fluviométricos na **Tabela C3 do Anexo C**). Atualmente duas dessas 15 estações estão desativadas (24100000 e 24180000) e apenas duas novas foram instaladas em período mais recente - década de 90 - 24070000 e 24196000. Todas as 16 estações são de responsabilidade da ANA e sua operação é realizada pela CPRM.

Nesse diagrama também se observou que os períodos das séries de vazão dessas 16 estações são distintos entre si. No entanto, em 13 postos fluviométricos foram registrados 14 anos de dados coincidentes (1974-1988).

O diagrama de disponibilidade de dados foi elaborado com base no banco de dados fluviométricos deste projeto, descrito a seguir, e estruturado pelo Programa HIDROCAL da CPRM, considerando o ano hidrológico da Sub-Bacia 24. Considerou-se como ano hidrológico o período correspondente ao início do período chuvoso e fim do período seco consecutivo, que no caso da Sub-Bacia 24 são os meses de outubro e setembro, respectivamente (vide hietogramas de chuvas e histogramas de vazão nas **Figuras 2.9 e 2.10**, respectivamente). Nesse diagrama são também apresentados os números de meses com falhas nas séries de vazão mensais, indicando se essas falhas ocorreram em períodos chuvosos ou secos. Na região esses períodos acontecem entre os meses de outubro a março (chuvoso) e abril a setembro (seco), respectivamente.

As séries completas dos dados fluviométricos das 16 estações foram constituídas pela junção das séries disponibilizadas e consistidas pela CPRM, que na maioria dessas estações tiveram início em 1988, com a série complementar mais antiga, obtida do site do HIDROWEB da ANA. As séries de medições de descarga, perfis transversais e/ou cotas (brutas ou consistidas) das outras 20 estações, que não possuem dados de vazão, foram também obtidas do HIDROWEB. Todas essas informações foram reunidas num mesmo banco de dados, conforme comentado no início do item 3.1. Abaixo é feito um resumo dos dados contidos neste banco:

- Cotas: série completa com dados brutos e consistidos

- Vazão: série completa com dados consistidos
- Resumo de Descarga: série com dados brutos e ou consistidos;
- Perfis: dados dos perfis disponíveis;
- Curva-Chave: parâmetros ou tabelas das curvas-chaves disponíveis.

Cumprido ressaltar que somente os dados consistidos de vazão foram utilizados no presente estudo de regionalização. O trabalho de consistência dos dados das estações operadas pela CPRM na Sub-Bacia 24 foi desenvolvido segundo metodologia descrita em CPRM (2005) pela equipe de hidrólogos da Superintendência Regional da CPRM de Goiânia, a partir de 1988.

No final do **Anexo C** encontram-se reunidas as fichas descritivas disponíveis das 16 estações operadas pela CPRM, assim como suas curvas-chave e perfis transversais.

3.1.2.1 Diagnóstico da rede fluviométrica existente

De acordo com as recomendações da OMM relativas à densidade mínima de redes fluviométricas, apresentadas de forma sintética na **Tabela C4 no Anexo C**, a sub-bacia em estudo, bem como suas sub-bacias principais são deficitárias, conforme pode ser visto na **Tabela 3.1.1**.

Tabela 3.1. 1 – Densidade de estações fluviométricas x recomendações OMM da região do Alto Araguaia e de suas principais sub-bacias.

Rio	Área (km ²)	Número de Estações		
		Atual*	OMM**	A instalar
rio Claro	10.233	2	10 - 34	8
rio dos Bois ou das Almas	1.558	0	2 - 5	2
rio Caiapó	12.119	3	12 - 40	9
rio do Peixe	5.198	1	5 - 17	4
rio das Garças	13.671	2	14 - 46	12
Na sub-bacia 24 como um todo	62.717	13	63 - 209	50

*As estações quantificadas na Tabela 3.1.1 são aquelas em operação e que contêm pelo menos algum registro de cota e de vazão até 2007

** A região da Sub-Bacia 24 foi enquadrada na classe II da OMM – Organização Mundial de Meteorologia, ou seja, regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrânea e tropical (densidade mínima: 300-1000km²/estação).

Para que a Sub-Bacia 24 se encontre em condições satisfatórias, em termos da densidade da sua rede fluviométrica, requer a instalação de no mínimo 50 (cinquenta) estações fluviométricas na região como um todo, sendo 35 destas para monitoramento dos principais afluentes e 15 no curso principal. Para as bacias dos rios principais sugere-se o quantitativo apresentado na **Tabela 3.1.1**, dando-se destaque à bacia do rio das Garças, cuja densidade da rede fluviométrica atual é a menor das regiões avaliadas. Além disso, a irregularidade da

distribuição das estações fluviométricas selecionadas para o estudo (15 estações) pela área da sub-bacia, como visto no mapa da rede hidrometeorológica no **Anexo A**, pode comprometer o resultado final da regionalização. Tudo isto é um indicador da necessidade de cautela no momento da seleção das estações que vão compor o estudo de regionalização, evitando a retirada de estações do estudo, que prejudicaria ainda mais a sua qualidade.

Cumprindo finalmente destacar que de acordo com o inventário das estações fluviométricas da Sub-Bacia 24 (**Tabela C1**), a faixa de variação das regiões efetivamente monitoradas está compreendida entre 1.300km² a 50.000km², não havendo assim, registros hidrológicos em bacias de pequeno porte que, segundo Silveira e Tucci (1998) corresponderiam a áreas inferiores a 100 km². Desta forma, deve-se implementar uma rede hidrometeorológica específica para este tamanho de bacia, a fim de se conhecer com mais exatidão o seu comportamento hidrológico, que por vezes pode ser muito diferente do das bacias de grande porte. Destaca-se que grande parte das solicitações de outorgas de uso da água corresponde a pontos de retirada com área de drenagem inferior a 100km².

3.1.2.2 Análise da qualidade e consistência

Neste trabalho não foi realizada a consistência dos dados fluviométricos, uma vez que essas informações, levantados no contexto deste trabalho, já possuíam *status* de consistente. No entanto, foram efetuadas algumas avaliações da qualidade dos dados das estações fluviométricas, a fim de verificar se ainda existiam algumas inconsistências nas informações, que não foram anteriormente identificadas. São procedimentos simples que permitem apenas examinar, de forma global, as informações (Tucci, 2002). As análises realizadas foram: atribuição de notas às estações, segundo os critérios da **Tabelas C5 e C6 no Anexo C**; análise de continuidade das vazões; e análise do gráfico do coeficiente de escoamento versus área de drenagem. No texto que segue são apresentados os resultados dessas avaliações.

As estações fluviométricas com mais de cinco anos de dados completos (15 estações) foram avaliadas de acordo com os critérios das **Tabelas C5 e C6 no Anexo C**, atribuindo-se notas para as faixas de vazões de mínimas de cada uma, que podem ser visualizadas na **Tabela C6 no Anexo C**. A nenhuma das estações foi atribuída nota D que, segundo Tucci (2002), configuraria estação inaceitável para um estudo de regionalização. Essas notas foram atribuídas com base numa avaliação conjunta de todas as curvas-chave das 15 estações selecionadas, com seus correspondentes perfis transversais, quando disponíveis.

Neste mesmo contexto de avaliação da qualidade dos dados fluviométricos das estações em estudo foi realizada a análise de continuidade de vazões do trecho completo do rio Araguaia compreendido na Sub-Bacia 24, através das vazões médias e das de 95% de permanência (Q95%) dos postos de montante e de jusante. Considerou-se a vazão média como a média de longo termo (QMLT), determinada a partir da série de vazões diárias. A Q95% foi calculada segundo metodologia descrita no item 3.3.1. A continuidade das vazões é obedecida quando o resultado da soma das contribuições de montante for menor que a vazão da estação de jusante. Os resultados da análise da continuidade das vazões médias e das Q95% encontram-se nas **Tabelas C7 e C8 no Anexo C**, respectivamente. De acordo com a **Tabela C7** evidencia-se que a continuidade de vazões médias foi respeitada. Quanto à continuidade das vazões a 95% de permanência, foi observada ligeira diferença positiva de 1,39%, entre o somatório das Q95% das estações de montante 24050000 e 24070000, em relação a Q95% da estação 24100000. Pode-se justificar essa diferença em função dos rios das bacias de contribuição às estações 24050000 e 24070000 receberem contribuições subsuperficiais de água, no período de estiagem, dos aquíferos das Formações Vila Maria, Furnas e Botucatu (em azul na figura apresentada abaixo da **Tabela C8 do Anexo C**). Essa contribuição, no entanto, parece não ser muito evidente na área incremental entre essas duas estações e a 24100000 (vide região 1 da figura apresentada abaixo da **Tabela C8 do Anexo C**), uma vez que em parte dessa área predomina os aquíferos do Grupo Passa Dois e Formação Ponta Grossa (em rosa na região 1), cujas estocagens de água são desprezíveis.

Uma última avaliação da consistência/qualidade dos dados das estações fluviométricas selecionadas neste estudo foi realizada com base na análise do gráfico do coeficiente de escoamento das estações versus a área de drenagem correspondente ($C = \text{Vazão} / \text{Precipitação}$), apresentado na **Figura C1**. De acordo com a figura, percebe-se que os valores dos coeficientes de escoamento das estações fluviométricas variaram entre 0,3 e 0,45, valores esses consistentes para uma região úmida como a Sub-Bacia 24.

Cumprir informar que anteriormente às análises de consistência dos dados fluviométricos descritas acima, foram avaliadas aquelas estações, dentre as 15 selecionadas no estudo, quanto aos períodos com falhas nas séries históricas de vazão. Isso porque grandes lacunas nos dados podem introduzir tendenciosidades nos resultados das variáveis hidrológicas de interesse, tal como a Q95%. Identificou-se a estação 24650000 como uma das mais afetadas quanto a essas falhas, apresentando 11 anos completos sem informação (de maio/1980 a dez/1992). Sendo assim, selecionou-se uma outra estação cujas características fisiográficas de sua bacia de

contribuição, litológicas, de vegetação e de solos fossem semelhantes as da bacia da estação 24650000 e cuja série de vazão tivesse comportamento similar a da estação em análise. A estação selecionada foi a 24780000. Na **Figura 3.1.1** são apresentados os hidrogramas de vazões mensais das estações 24650000 e 24780000 mostrando grande similaridade entre os mesmos. Deste resultado foram então calculadas as vazões QMLT e Q95% (variável de interesse neste estudo) do período de 1974 a 1980 e 1993 a 2007 da estação 24780000, que corresponde ao período completo dessa estação sem o período de falhas da estação 24650000 (maio/1980 a dez/1992). Esses valores foram então comparados com os correspondentes definidos para o período completo da estação 24780000. Os resultados encontram-se na **Tabela 3.1.2**. A metodologia para determinação da Q95% está apresentada no item 3.3.1.

Tabela 3.1. 2 – Comparação dos valores de Q95% e QMLT entre os diferentes períodos da série da estação 24780000

Variáveis	Período 1974 a 1980 e 1993 a 2007	Período Completo (1974 a 2007)	Diferença
Q95% (m ³ /s)	1,79	2,11	15%
QMLT (m ³ /s)	27,50	28,94	5%

Os resultados apresentados acima mostram que para a variável Q95% o erro não foi muito alto, mas também não tão baixo como aquele definido para a QMLT. Sendo assim, pode-se dizer, de modo geral, que os valores da Q95% definidos para os dois períodos em questão não são significativamente diferentes, mostrando assim que o período de maio/1980 a dez/1992 não interfere demasiadamente na magnitude dessa variável. Isso também é válido para os valores da QMLT. Neste sentido e considerando que o regime hídrico das bacias das estações 24780000 e 24650000 são semelhantes entre si, aceitou-se que a série da estação 24650000 é válida para o estudo, mesmo havendo falha de 11 anos de dados.

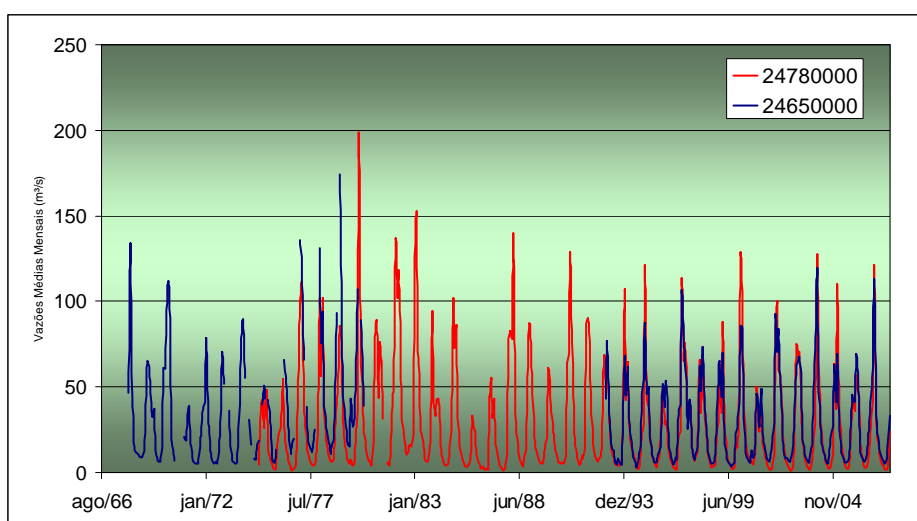


Figura 3.1. 1 – Hidrogramas das vazões médias mensais das estações 24650000 e 24780000

3.1.2.3 Teste de estacionariedade e seleção do período de dados das estações para o estudo

Diz-se que uma série é estacionária quando suas propriedades estatísticas não mudam com o tempo (média e variância, por exemplo), ou seja, a igualdade da média e da variância para dois sub-períodos de tempo distintos é respeitada segundo um determinado nível de confiança.

A avaliação da estacionariedade de séries históricas requer que elas sejam representativas (de preferência maior que 40 anos), a fim de não introduzir tendências nos resultados dos testes de estacionariedade. No entanto, no presente estudo apenas uma estação (24050000) das 15 avaliadas possui série com período de dados ligeiramente superior a 40 anos. Sendo assim, para as demais estações, pouco se poderá dizer com segurança sobre sua estacionariedade. Apesar disso, empreendeu-se nas séries de vazões das estações avaliadas nesse trabalho um teste estatístico, também chamado de teste de “estacionariedade”, com base no qual se buscou identificar aqueles períodos com comportamento atípico em relação ao restante. Isso foi feito a fim de se pesquisar a procedência desses desempenhos anômalos nas séries, ou seja, para verificar se estes podem ser atribuídos a processos aleatórios ocorridos nos postos ou a ações antrópicas. Em se confirmando que os eventos anômalos nas séries de vazões foram resultados de ações antrópicas, fez-se uma avaliação da opção de exclusão do período problemático da série ou até mesmo da rejeição da estação para o estudo.

Concluindo-se pelo descarte do período anômalo, adotou-se, por simplificação, a parte não eliminada da série como “estacionária”, sendo esta utilizada na determinação da sua curva de permanência. No entanto, para as estações que se constatou que o período anômalo foi causado por razões específicas de operação de reservatório, sugeriu-se que esse trecho da série fosse utilizado para estimativa da Q95% apenas no segmento do rio, a jusante da estação em questão, até onde há interferência do reservatório. A parte restante da série, considerada como estacionária, conforme descrito acima, foi utilizada para determinação da Q95% da estação.

Os testes usuais para verificação das igualdades da média e da variância são os testes paramétricos t-Student e F-Fisher, respectivamente, devendo nesses casos as observações serem independentes e se ajustarem à distribuição normal. A identidade da média ou da variância é aceita quando a probabilidade calculada pelos testes correspondentes é maior que o nível de significância considerado na avaliação (1 ou 5%, por exemplo).

No presente estudo, foi avaliada a “estacionariedade” da série da vazão média anual. Apesar de não ter sido realizada uma análise da independência dessas séries, nem se sua distribuição era normal, adotaram-se, por simplificação, os testes paramétricos acima

mencionados. O teste foi efetuado para diferentes pares de períodos de uma mesma série, considerando um nível de significância de 5% e um número mínimo de cinco anos para cada um desses pares. Os resultados para as séries médias anuais das estações selecionadas foram determinados pelo Programa HIDROCAL, que utiliza as ferramentas do Excel (Análise de Dados) para a realização do teste de hipóteses de Student (t) e Fischer (F), sendo esses resultados apresentados no **Anexo D**. No programa HIDROCAL o teste t-Student é efetuado para um dos dois tipos de amostras: amostra assumindo variâncias equivalentes ou amostra assumindo variâncias diferentes. A escolha de um desses dois casos dependerá do resultado do teste da variância (teste de F). Por esse motivo é que o teste da variância deve ser realizado preliminarmente ao da média.

Associados aos resultados estatísticos apresentados no **Anexo D** estão os gráficos das séries de vazões médias mensais, que auxiliaram a avaliação da “estacionariedade” das séries. No atual estudo as séries foram consideradas como “estacionárias”, quando o teste da média foi aceito para todos os pares de período avaliados, mesmo que rejeitado o teste da variância. No **Anexo D** foram destacados em amarelo os períodos das séries das estações para os quais o teste da média foi rejeitado.

Segundo os resultados do teste de “estacionariedade” apresentados no **Anexo D**, as estações 24050000 e 24100000 apresentaram “séries não estacionárias”, uma vez que os pares de períodos avaliados são rejeitados na média na maioria dos casos. Esse resultado é confirmado quando se observam as linhas de tendência crescentes de seus correspondentes hidrogramas médios mensais, fato este não muito evidente nos hidrogramas das demais estações avaliadas.

Nas estações 24200000, 24500000, 24700000, 24750000, 24780000, 24900000 foram observados poucos pares de períodos com rejeição na média. De fato, nos hidrogramas de vazões médias mensais dessas estações verificaram-se mudanças de comportamentos, a partir daqueles períodos nos quais as séries foram rejeitadas (vide hidrogramas no **Anexo D**). Objetivando avaliar a procedência dessas mudanças, foi realizada uma comparação da série média anual dessas estações com a da precipitação total anual de um posto pluviométrico que estivesse localizado aproximadamente no centróide das bacias de contribuição às estações em análise e que compreendesse quase todo o período da série de vazões correspondente (**Figuras C3.1 a C3.6**). Em todas as situações, os traçados (vazão x chuva) são razoavelmente similares, inclusive naqueles períodos, a partir dos quais as séries de vazões foram rejeitadas quanto à sua “estacionariedade”. Isso mostra que as mudanças de comportamentos evidenciadas nas séries de

vazões podem ter causa aleatória tais como a própria chuva, não se justificando assim, a exclusão dessas estações do presente estudo, nem mesmo de seus períodos “anômalos”.

Quanto às estações com problemas de “estacionariedade”, 24050000 e 24100000, foi verificada, segundo avaliação do diagrama unifilar das sub-bacia (**Figura C2**), que indica a posição relativa das estações consideradas para estudo e dos principais reservatórios encontrados, a existência da PCH Alto Araguaia, localizada a jusante e a montante, respectivamente, dessas estações. Isto pode ser um dos motivos do “comportamento anômalo” de suas séries, que quando divididas em dois períodos, antes e depois do início da operação do referido reservatório (jan/1983), mostram-se “não estacionárias”. Ainda que este empreendimento hidráulico seja uma central hidrelétrica a fio d’água, ou seja, não regulariza vazões, esta parece afetar o regime do rio Araguaia. A **Tabela 3.1.3** reúne os aproveitamentos hidrelétricos mais importantes com sua principais informações.

Tabela 3.1.3 – Aproveitamentos hidrelétricos existentes na sub-bacia do Alto rio Araguaia

Nome do Reservatório	Curso d’água	Responsável	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km²)	Início da Operação	Ano de Fechamento
CGH Santa Rita do Araguaia	rio Araguaia	PROMEDE - Agrimensura e Engenharia Ltda.;	-17,325	-53,215	-	-	em operação
PCH Alto Araguaia	rio Araguaia	VP Energia S/A.;	-17,299	-53,218	2100	jan/83	em operação
PCH São Domingos ou Torixoréu	rio Araguaia	VP Energia S/A.;	-16,288	-52,723	1057	fev/84	em operação
CGH Rio Bonito	rio Bonito	Pecuária Comércio e Agricultura Ltda.;	-16,812	-51,706	-	-	em operação
PCH Piranhas	Rio Piranhas	Serra Negra EnergÚtica S/A.;	-16,583	-51,817	-	dez/06	em operação
PCH Mosquitão	rio Caiapó	Concessionária Mosquitão S/A.;	-16,342	-51,438	6240	dez/05	em operação
CGH Cachoeirinha	rio Batovi	Inácio Camilo Ruaro.;	-15,881	-53,588	-	-	em operação

Fonte: <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm> (site SIGEL da ANEEL)

Outro fator de origem natural que pode ser razão para a “não estacionariedade” das séries das duas estações (24050000 e 24100000) é a chuva. Nesse sentido, foi feita uma avaliação das séries médias anuais de vazão das duas estações com a da precipitação da estação pluviométrica mais próxima, no caso, a estação 01753000 (**Figura 3.1.2**), tal como realizado para aqueles postos fluviométricos onde se observaram poucos períodos “não estacionários”. Verifica-se, segundo a **Figura 3.1.2**, que o comportamento da série da estação 01753000 e da 24100000 é muito similar, mesmo após o início da operação do reservatório. Assim, neste caso a “não estacionariedade” da sua série pode ser justificada apenas pelas chuvas que ocorreram no período correspondente e não pelo início da operação da PCH Alto Araguaia.

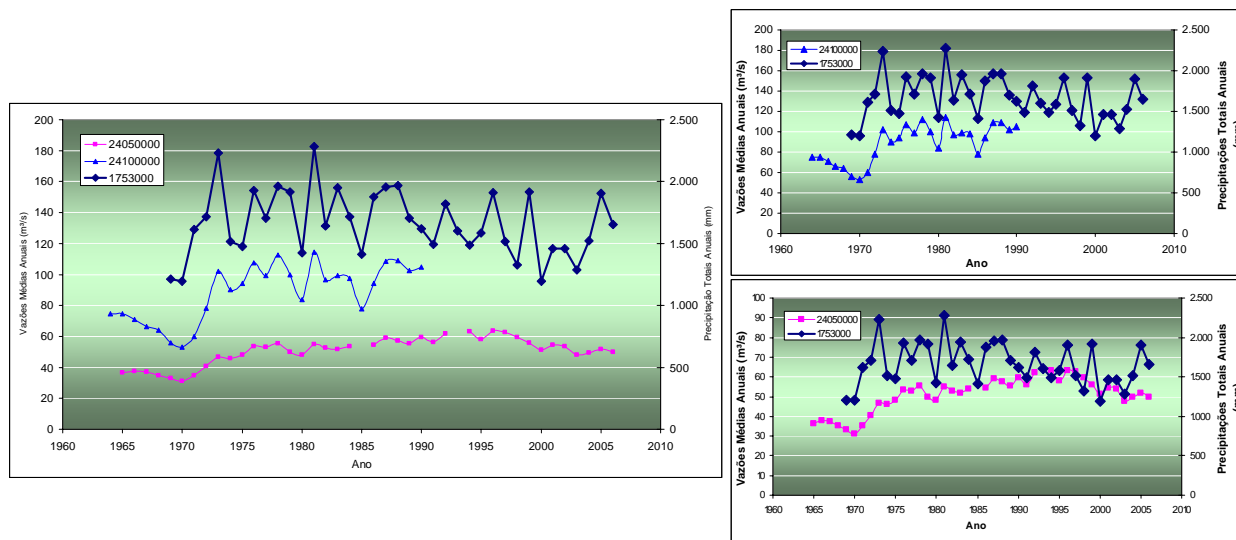


Figura 3.1. 2 – Comparações entre as precipitações totais anuais da estação 1753000 com as vazões médias anuais das estações 24050000 e 24100000

A mesma comparação feita com a série da estação 24050000, mostra que o comportamento vazão x chuva se mantém aproximadamente semelhante até o ano hidrológico de 1982 (out-1982 a set-1983). Nesta situação, pode-se dizer que antes do ano hidrológico de 1982, o comportamento da série foi ditado pela chuva e, após esta data, pelo início da operação do reservatório. Esperava-se que a operação do reservatório não alterasse o regime fluvial da estação 24050000, uma vez que ela se encontra a montante do reservatório. No entanto, o resultado acima mostrou que o reservatório de alguma forma interferiu no regime dessa estação, seja pelo remanso criado ou até mesmo por alguma mudança, ocorrida na época, na operação dessa estação que pode ter alterado sua curva-chave. Por todas essas dúvidas se decidiu por excluir o período de out/1982 a set/2006 da série da estação 24050000 do estudo de regionalização.

As estações 24070000 e 24196000 por apresentarem séries de vazões curtas (< 10 anos) não foram avaliadas pelo teste de “estacionariedade”.

Com base no exposto encontram-se abaixo indicados os períodos de dados selecionados das 15 estações (ano civil), a partir dos quais foram definidas as curvas de permanência, segundo metodologia descrita em 3.3:

24050000 – 1964 a 1983	24700000 – 1967 a 2007
24070000 - 1997 a 2007	24750000 - 1974 a 2007
24100000 - 1963 a 1992	24780000 - 1974 a 2007
24180000 - 1973 a 1989	24800000 - 1971 a 2007
24196000 - 2000 a 2007	24850000 - 1974 a 2007
24200000 – 1971 a 2007	24900000 - 1975 a 2007
24500000 – 1966 a 2007	24950000 - 1971 a 2007
24650000 – 1967 a 2007	

Foi aventada a possibilidade de utilização de períodos coincidentes das séries de vazões das estações para o presente estudo de regionalização, o que reduziria de 15 estações avaliadas para 13. No entanto, essa iniciativa excluiria aproximadamente 20 anos de dados das 13 estações, o que poderia comprometer a veracidade dos valores estimados pelas equações regionais da Q95%, se ajustadas com base nos períodos coincidentes dessas estações, não sendo por isso, essa metodologia adotada neste estudo.

3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS – VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As características fisiográficas quantificáveis tais como área de drenagem, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade e etc. e a precipitação total anual média são grandezas que podem ser utilizadas como variáveis independentes ou explicativas na análise de regressão da variável Q95%. Neste trabalho as grandezas adotadas foram área de drenagem (A) e precipitação total anual média (P) para análise das 15 estações selecionadas. Essas duas grandezas, em geral, são as que por si só ou em conjunto (A e P) explicam as vazões e são as de mais fácil obtenção.

A base cartográfica utilizada neste estudo foi composta por um conjunto de oito cartas topográficas na escala 1:250.000, dentre as quais sete são originais do IBGE e uma da DSG. Todas elas foram escaneadas e georreferenciadas a partir de aplicativos do ArcGis 9.3 e utilizadas para auxiliar a delimitação das bacias de contribuição às estações fluviométricas. A articulação dessas cartas encontra-se na **Figura E** do **Anexo E**.

- **área de drenagem**

O projeto no qual este estudo está inserido, propõe regionalizar a vazão Q95% para todas as sub-bacias hidrográficas brasileiras, conforme já comentado. Em vista disto, foi escolhida a escala 1:1.000.000 para o traçado do contorno dessas bacias, por ser esta a melhor escala disponível para os dados de hidrografia e altimetria de todo território nacional. Esse traçado de bacias foi determinado no ano de 2000, no âmbito do convênio entre IBGE, CPRM e ANEEL,

com ferramentas do ArcGis e com base em arquivos digitais vetorizados de hidrografia e altimetria na escala 1:1.000.000, também produzidos no contexto desse convênio.

As delimitações das áreas de drenagem das estações fluviométricas avaliadas (15 estações) foram realizadas no contexto do presente estudo, seguindo os mesmos procedimentos do traçado dos contornos das sub-bacias brasileiras, conforme descrito acima. Nesse processo também se recorreu a hidrografia e altimetria das bases cartográficas escaneadas que abrangem a Sub-Bacia-24, na escala 1:250.000, com a intenção de auxiliar a delimitações dessas bacias

Os valores das áreas de drenagem dessas estações foram calculadas em km², considerando a projeção continental *Albert Equal Conic Area*. Essas áreas foram comparadas com as do inventário de estações fluviométricas da ANA (**Tabela 3.2.1**). As maiores diferenças foram observadas para as estações localizadas na sub-bacia do rio das Garças, 24500000 e 24650000, em aproximadamente 13 e 64%, respectivamente. As áreas adotadas para o estudo da regionalização da Q95% da Sub-Bacia 24, foram as calculadas neste trabalho.

- **precipitação média**

A precipitação total anual média nas bacias de contribuição às estações fluviométricas foi calculada com base na imagem raster de precipitação total anual (ano civil) do Brasil (Projeto Atlas Pluviométrico - CPRM, 2010), com ferramentas do aplicativo do ArcGis 9.3 *ArcToolBox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Statistics*. Na janela desse aplicativo devem ser adicionados a imagem raster da precipitação total anual do Brasil e o limite da bacia onde o usuário quer que a precipitação média seja calculada. Os valores dos totais anuais médios referentes às áreas de contribuição das 15 estações encontram-se na **Tabela 3.2.1**.

Tabela 3.2. 1 - Características físicas e climáticas – variáveis explicativas da Sub-Bacia 24

Nº	Código	Nome da estação	Nome do rio	Outra estação no mesmo local	Precipitação anual média (mm)	Área calculada (km ²)	Área Hidro/ANA (km ²)	Diferença de área %
1	24050000	ALTO ARAGUAIA	RIO ARAGUAIA	-	1.667	2.226	2.440	-9
2	24070000	MONTANTE DO RIBEIRÃO BABILÔNIA	RIO BABILÔNIA	-	1.640	1.743	1.848	-6
3	24100000	CACHOEIRA GRANDE	RIO ARAGUAIA	-	1.656	4.567	4.504	1
4	24180000	BARRA DO PEIXE	RIO ARAGUAIA	-	1.584	16.318	17.307	-6
5	24196000	RIO DO PEIXE	RIO DO PEIXE	-	1.530	1.695	1.613	5
6	24200000	TORIXOREU	RIO ARAGUAIA	-	1.574	18.574	19.100	-3
7	24500000	TESOURO	RIO DAS GARÇAS	-	1.662	4.804	5.519	-13
8	24650000	GENERAL CARNEIRO	RIO BARREIRO	-	1.519	2.001	3.042	-34
9	24700000	BARRA DO GARÇAS	RIO ARAGUAIA	-	1.585	37.120	36.432	2
10	24750000	SÃO FERREIRA	RIO CAIAPÓ	-	1.614	6.475	6.471	0
11	24780000	PIRANHAS	RIO PIRANHAS	-	1.640	1.361	1.369	-1
12	24800000	PERES	RIO CAIAPÓ	-	1.623	12.059	12.084	0
13	24850000	ARAGUAIANA	RIO ARAGUAIA	-	1.593	50.395	50.930	-1
14	24900000	IVOLÂNDIA	RIO CLARO	-	1.531	1.963	2.022	-3
15	24950000	MONTES CLAROS DE GOIÁS	RIO CLARO	-	1.573	8.975	9.045	-1

3.3 REGIONALIZAÇÃO DA Q95% DA CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência relaciona os valores de vazão e a frequência com que esses valores ocorreram ao longo do tempo do histórico de observações, retratando assim as características de regularização natural do rio. Geralmente essas curvas apresentam inflexões que as definem em três trechos: o primeiro e o último descrevem o comportamento das vazões de máximas e mínimas, respectivamente, enquanto que o trecho médio representa a faixa dominante de vazões (volume III-bacia 40/41-CPRM/ANEEL, 2001). Usualmente, a faixa de maior interesse na curva de permanência é a compreendida entre 30% e 95% (CPRM/ANEEL, 2002). A vazão de 95% de permanência (Q95%) pode representar uma vazão mínima de um curso de água, tendo em vista ser superada em 95% do tempo. Por esse motivo, a Q95% tem sido utilizada como valor de referência para concessão de outorga de uso da água e na caracterização da disponibilidade hídrica dos cursos d'água, além de ter aplicação na área de biologia, hidráulica, navegação e aproveitamentos hidrelétricos. Outra vazão de interesse é a vazão de 50% de permanência (Q50%), que pode ser considerada, de forma geral, como uma vazão média, sendo portanto, uma variável interessante para simular o escoamento superficial na modelagem da máxima vazão regularizável de uma bacia. Essa vazão quando associada à Q95% torna possível ajustar uma equação empírica exponencial, que em geral reproduz bem o trecho da curva de permanência entre os dois pontos: 50% e 95%. Este ajuste é realizado considerando as dificuldades de se identificar uma função regional que represente a curva de permanência por inteira (CPRM/ANEEL, 2002).

Neste contexto, o presente estudo adotou a seguinte seqüência de trabalho:

- determinou-se a curva de permanência de cada estação fluviométrica selecionada para o estudo, obtendo-se os valores das vazões correspondentes a 50 e 95% de permanência (Q50% e Q95%);
- com os valores Q50% e Q95% ajustaram-se, para cada estação, curvas exponenciais que foram comparadas com as curvas de permanência dos valores observados, demonstrando, em geral, um ajuste satisfatório para a faixa de maior interesse, que é de 50 a 95%;
- Determinação preliminar das regiões homogêneas com base nos seguintes procedimentos:
 - Avaliação conjunta das curvas de permanência adimensionais das estações selecionadas para o estudo, cujo fator de adimensionalização foi a média de longo termo das vazões diárias de cada série;
 - Avaliação dos gráficos das Q95% anuais adimensionais na forma de hidrogramas dessas estações e;

- Avaliação dos indicadores regionais definidos para o estudo de curvas de permanência (rcp95);
 - Proximidade entre as estações fluviométricas.
- Com base na configuração inicial das regiões homogêneas, foram propostas outras alternativas de agrupamento de estações. Em todas as alternativas propostas, inclusive para aqueles agrupamentos abrangidos pelas regiões homogêneas preliminares, foram ajustadas equações de regressão da Q95%, considerando apenas a variável explicativa área de drenagem e determinados os valores de R^2 e erros correspondentes. A análise de regressão da Q95% consistiu então na busca do melhor resultado em termos de melhoria do R^2 e da diminuição dos resíduos. Com base nisto e da análise mais qualitativa dos mapas temáticos da região foram estabelecidas as regiões homogêneas para a Q95% da Sub-Bacia 24 e ajustadas suas equações regionais de regressão para a Q95%, considerando suas variáveis explicativas determinadas no escopo do estudo: $Q95\% = f(A)$ e $Q95\% = f(A, P)$;

3.3.1 CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS

As séries de vazões utilizadas para a determinação da curva de permanência são as de valores diários. Os seus tamanhos são de pelo menos cinco anos e as falhas de observação não foram preenchidas por correlação com outras estações, para evitar a introdução de tendenciosidade.

Para determinação da curva de permanência utilizou-se a planilha Excel, ordenando-se decrescentemente as vazões diárias das estações, sem estabelecimento de intervalos de classe, e acumulando-se as frequências no sentido da maior vazão para a menor, para obtenção das abcissas da curva.

As magnitudes de Q50% e Q95% foram obtidas da interpolação dos valores de vazão da curva de permanência para as frequências de 50% e 95%, respectivamente. Os valores de Q50% e Q95% das estações selecionadas estão apresentados na **Tabela 3.3.1**, destacando-se que para a estação 24050000 essas grandezas (Q50% e Q95%) foram definidas para o período de 1964 a 1983.

No **Anexo F1** são apresentadas as curvas de permanência das estações selecionadas e os correspondentes valores de Q50%, Q95% e QMLT.

3.3.1.1 Ajuste exponencial a partir de Q50% e Q95% - Verificação

O ajuste de uma equação exponencial para a curva de permanência geralmente apresenta resultados satisfatórios para a faixa de vazões correspondentes aos valores característicos utilizados para o seu ajuste. Pode-se adotar como modelo a equação exponencial $Q = \exp(aP + b)$, onde P é a probabilidade (valores entre 0 e 1), e a e b coeficientes que podem ser estimados por mínimos quadrados ou através de valores característicos.

Utilizando a vazão de 50 e 95% da curva de permanência obtém-se:

$$a = - \ln(Q50\%/Q95\%)/0,45$$

$$b = \ln Q50\% - 0,5 a$$

, onde Q50% e Q95% são as vazões de 50 e 95% da curva de permanência, respectivamente.

Nas Figuras do **Anexo F1** pode-se observar que os valores de vazão estimados pela equação reproduzem bem a curva observada na faixa dos valores de Q50% a Q95%.

3.3.2 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

As regiões homogêneas foram inicialmente definidas com base nos agrupamentos de estações estabelecidos segundo metodologia descrita a seguir.

3.3.2.1 Curvas adimensionais de permanência

O comportamento das curvas de permanência varia de acordo com as características de escoamento da bacia; para bacias maiores e de grande regularização, a tendência é que o trecho médio tenha um intervalo muito grande, enquanto que, para bacias de cabeceira, este trecho deve ser mais estreito com as inflexões superior e inferior caracterizando a pouca regularização da bacia. Essas tendências se verificam, em geral, para todas as bacias em função de seu tamanho. Uma vez que a área das bacias é a característica física determinante da forma das curvas de permanência, a busca de semelhança entre as curvas de um grupo de estações para regionalização geralmente não é eficaz. No entanto, em alguns casos, a observação conjunta das curvas adimensionais de permanência de diversas sub-bacias pode auxiliar na identificação de regiões homogêneas (Tucci, 2002).

Nesse sentido, foi realizada neste trabalho uma avaliação conjunta das curvas adimensionais de permanência das estações selecionadas, a fim de identificar agrupamento de curvas semelhantes. A adimensionalização das curvas de permanência foi feita pela média de longo termo das séries diárias de vazões correspondentes. No **Anexo F2** estão apresentadas as curvas adimensionais de permanência das 15 estações selecionadas para o estudo. Desse conjunto foram identificados 3 grupos de estações com curvas adimensionais semelhantes. São eles

Grupo 1a: 24180000, 24200000, 24700000, 24850000

Grupo 1b: 24196000, 24500000, 24650000, 24750000, 24780000, 24800000, 24900000 e 24950000

Grupo 1c: 24050000, 24070000 e 24100000

Nas **Figuras F2.2 a F2.4 do Anexo F2** estão apresentadas as curvas adimensionais das estações assim reunidas.

3.3.2.2 Hidrogramas adimensionais das Q95% anuais

Os hidrogramas adimensionais das Q95% anuais também podem ajudar a identificar aquelas regiões que apresentam comportamento semelhante quanto às vazões mínimas. Isso porque bacias semelhantes quanto às vazões de estiagem tendem a responder no tempo, em termos de vazão mínima, de forma similar, seja pela existência de mesmo tipo de aquífero, pela semelhança de suas características fisiográficas ou até mesmo pela similaridade no uso e ocupação de seus solos.

As séries anuais da Q95% foram construídas com a determinação do valor desta variável para a série diária de vazões completa ou com falhas, correspondente a cada ano hidrológico do período de dados selecionado para as estações em estudo, considerando neste caso, o percentil de 5%. As séries de Q95% anuais das estações selecionadas neste trabalho (15 estações) foram adimensionalizadas pela média dos seus valores de Q95% anual e reunidas num mesmo gráfico. Desse conjunto foram identificados 3 grupos de estações que apresentaram comportamentos semelhantes. São eles:

Grupo 2a: 24070000, 24180000, 24200000, 24500000, 24700000, 24850000

Grupo 2b: 24750000, 24780000, 24800000, 24900000 e 24950000

Grupo 2c: 24050000 e 24100000

Não foi possível identificar com clareza em qual dos agrupamentos acima estariam alocadas as estações 24196000 e 24650000, tendo em vista seus hidrogramas apresentarem comportamentos diferenciados em relação aos das demais estações avaliadas. Neste caso, ambas foram descartadas dos conjuntos de estações que apresentaram hidrogramas adimensionais das Q95% anuais semelhantes.

Nas **Figuras F3.1 a F3.3 do Anexo F3** estão apresentados os hidrogramas adimensionais das Q95% anuais das estações, reunidas segundo os grupos definidos acima.

3.3.2.3 Indicadores da variabilidade regional – Relação rcp_{95}

A relação rcp_{95} (Q95%/QMLT) das estações de uma bacia é também um bom indicador de possíveis agrupamentos de estações com comportamentos semelhantes.

A relação entre a vazão de 95% da curva de permanência e a vazão média de longo período permite estimar a primeira em função da vazão média, se o indicador regional for conhecido. Este índice pode apresentar pequena variação numa região, na medida em que as características que determinam a sua proporcionalidade tenham pequena variabilidade de um local para outro (Tucci, 2002).

A **Tabela 3.3.1** apresenta os valores da rcp_{95} das estações envolvidas no estudo e a **Figura 3.3.1** relaciona esse índice com a área de drenagem dessas estações.

De acordo com a **Figura 3.3.1** percebe-se que os valores da rcp_{95} para o curso de água principal seguem uma tendência decrescente com a área de drenagem, variando de 0,27 a 0,61. Nos afluentes as magnitudes da rcp_{95} variaram de 0,07 a 0,45, não apresentando na **Figura 3.3.1** uma tendência definida de comportamento com a área de drenagem como o curso principal.

Tabela 3.3. 1 - Características físicas e indicador regional rcp95 - relação da curva de permanência

Código	Sub-bacia	Área (km ²)	Q _{MLT} (m ³ /s)	Q50% (m ³ /s)	Q95% (m ³ /s)	rcp ₉₅ =Q ₉₅ /Q _{MLT}
24050000	Araguaia	2.225,50	43,73	42,80	26,80	0,61
24070000	Babilônia	1.743,22	34,46	28,43	14,90	0,43
24100000	Araguaia	4.567,34	87,67	75,40	43,50	0,50
24180000	Araguaia	16.318,29	320,76	215,00	93,10	0,29
24196000	Peixe	1.695,23	26,46	9,06	2,62	0,10
24200000	Araguaia	18.573,79	350,72	218,00	95,90	0,27
24500000	Garça	4.804,01	105,59	61,10	24,40	0,23
24650000	Garça	2.001,02	34,17	21,31	4,97	0,15
24700000	Araguaia	37.119,65	612,04	406,00	172,00	0,28
24750000	Caiapó	6.474,58	118,80	61,00	19,80	0,17
24780000	Caiapó	1.360,95	28,94	14,60	2,11	0,07
24800000	Caiapó	12.059,49	201,04	115,00	30,30	0,15
24850000	Araguaia	50.395,19	869,89	560,00	231,00	0,27
24900000	Claro	1.962,53	31,93	20,90	8,73	0,27
24950000	Claro	8.974,55	138,13	80,53	25,48	0,18

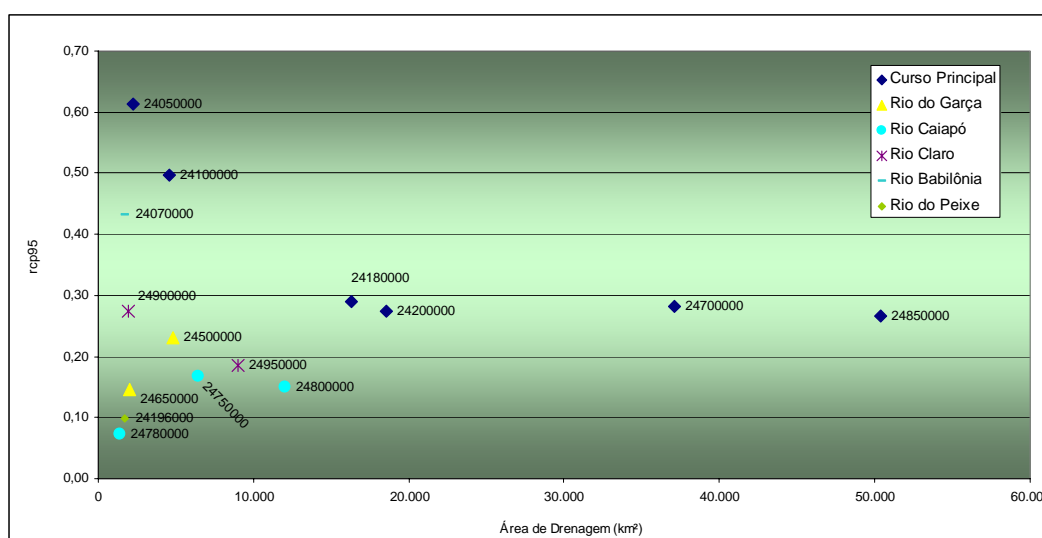


Figura 3.3. 1 – Relação da curva de permanência – rcp95 da Sub-Bacia 24

Segundo essa mesma figura, observam-se três agrupamentos de estações com valores semelhantes de rcp95:

Grupo 3a ($0,2 < rcp_{95} < 0,3$): 24180000, 24200000, 24500000, 24700000, 24850000, 24900000

Grupo 3b ($0,05 < rcp_{95} < 0,2$): 24196000, 24650000, 24750000, 24780000, 24800000, 24950000

Grupo 3c ($0,40 < rcp_{95} < 0,70$): 24050000, 24070000 e 24100000

Interessante destacar que as áreas de contribuição às estações fluviométricas de cada um desses agrupamentos estão aproximadamente sobre os mesmos tipos de aquíferos, fato este que justifica a reunião de estações segundo a configuração acima, já que os aquíferos podem influenciar sobremaneira nas magnitudes das vazões de estiagem dos rios.

No caso das estações do grupo 3c, estas estão localizadas sobre o aquífero das Formações Vila Maria, Furnas e Botucatu, cuja capacidade de acumulação de água é uma das mais altas na região. Por esse motivo, os valores de rcp95 das estações do grupo 3c foram os maiores em comparação aos das demais estações em estudo. Por outro lado, os postos do grupo 3b apresentaram as menores relações entre Q95% e QMLT, o que de fato se justifica em função de estarem sobre aquíferos cuja estocagem é quase desprezível, não contribuindo de maneira significativa para o escoamento de base dos rios onde se encontram instalados. Quanto às estações do grupo 3a, suas vazões mínimas são regidas pelo aporte proveniente do aquífero de maior abrangência na bacia, sendo esse aporte de menor e maior ordem de grandeza do que os dos aquíferos predominantes sob as regiões abrangidas pelas áreas de contribuição das estações dos grupos 3c e 3b, respectivamente.

Finalmente, considerando os agrupamentos 1, 2 e 3 definidos pelos três critérios apresentados, a proximidade entre as estações na Sub-Sacia 24 e hidrogeologia da região (**Figura 2.5**), foram propostas duas regiões homogêneas preliminares para a Q95% (vide **Figura 3.3.2**). A primeira formada, de modo geral, pelos rios da margem esquerda do rio Araguaia na Sub-Bacia 24 e a segunda pela junção das bacias do rio Caiapó e do rio Claro. Abaixo são apresentadas as estações abrangidas por essas regiões:

Região I preliminar: 24050000, 24070000, 24100000, 24196000, 24180000, 24200000, 24500000, 24650000, 24700000 e 24850000;

Região II preliminar: 24750000, 24780000, 24800000, 24900000 e 24950000.

Desta configuração inicial de regiões homogêneas, percebe-se ainda uma região indefinida no trecho nordeste da bacia. Esta não foi contemplada como uma região homogênea por não haver monitoramento hidrológico.



Figura 3.3. 2 – Regiões homogêneas preliminares da Sub-Bacia 24

3.3.3 ANÁLISE DE REGRESSÃO DA Q95% e DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES HOMOGÊNEAS

Para os cálculos envolvidos na análise de regressão foi utilizada a planilha eletrônica Excel, com a função de gráficos e a contidas em Ferramentas – Análise de dados – Regressão. O procedimento de análise consistiu na busca do melhor resultado em termos de melhoria do coeficiente de determinação (R^2) e na diminuição dos resíduos. No ajuste das vazões optou-se por equações lineares e não lineares do tipo potencial.

Para começar a análise de regressão das vazões Q95%, foi avaliada apenas a regressão simples (linear e de potência) com as áreas de drenagem das estações.

Inicialmente, foram consideradas todas as estações em cada uma das Regiões I e II preliminares (Teste 1) e em seguida foram testadas outras alternativas de agrupamento com inclusão e/ou exclusão de estações dessas duas regiões, a fim de se definir uma configuração ótima de regiões homogêneas para a Q95%.

Após a definição das regiões homogêneas da Sub-Bacia 24 foram ajustadas as equações regionais da Q95%, considerando a área de drenagem somente e área e precipitação média, conjuntamente.

Abaixo encontra-se um resumo da metodologia adotada para a definição das regiões homogêneas para a Q95%, na forma de passo-a-passo.

Passo 1: Ajuste das equações (lineares e de potência) da Q95%, considerando apenas a área de drenagem como variável independente, para as estações abrangidas pelas regiões homogêneas preliminares e determinação dos resultados estatísticos correspondentes (Erro Relativo Médio - ERM¹ e R²);

Passo 2: Dos agrupamentos de estações das regiões homogêneas preliminares, foram incluídos ou excluídos alguns postos de cada vez para avaliação de interferência desses na estimativa da Q95%. Essa avaliação foi feita pela comparação dos valores de R² e ERM das equações da Q95% ajustadas para o novo agrupamento de estações (formado pela exclusão ou inclusão de estações das regiões homogêneas preliminares) com aqueles estabelecidos para os agrupamentos das regiões homogêneas preliminares. As estações testadas para inclusão/exclusão foram aquelas alocadas em um grupo de estações (grupo 1, 2 ou 3), definido segundo os critérios dos itens 3.3.2.1 a 3.3.2.3, bastante distinto daquele no qual se encontra inserido para as regiões homogêneas preliminares. Durante essa análise, o mapa hidrogeológico da região foi utilizado a fim de se avaliar se as áreas de contribuição das estações de cada agrupamento proposto estavam sobre aquíferos de características semelhantes. As estações testadas para exclusão e/ou inclusão foram: 24196000, 24500000, 24650000, 24900000 e 24050000, 24070000 e 24100000 (essas três últimas avaliadas conjuntamente).

Passo 3: Da avaliação dos resultados estatísticos referentes a cada alteração proposta para as regiões homogêneas preliminares foram estabelecidos os grupos definitivos de estações para composição das regiões homogêneas da Sub-Bacia 24. Os limites dessas regiões foram determinados segundo as áreas de contribuição das estações contidas em cada um dos agrupamentos de estações selecionados.

Na **Tabela 3.3.2** são mostradas as diversas alternativas de agrupamentos de estações elaboradas com base naquelas que compuseram as regiões homogêneas preliminares e seus correspondentes resultados estatísticos. São também apresentadas as justificativas de exclusão ou inclusão de estações das regiões homogêneas preliminares, as conclusões obtidas e a ilustração das regiões homogêneas correspondentes.

Verifica-se na **Tabela 3.3.2** que para os agrupamentos de estações da Região I e II do Teste 2 e Teste 4 houve, de forma geral, melhora da performance de estimativa de suas equações regionais da Q95%, em comparação aos resultados correspondentes da Região I e II do Teste 1.

¹ $ERM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y'_i)}{y_i}$, y_i e y'_i são os valores observados e calculados, respectivamente, entre as n repetições da variável.

Este comportamento de melhora também foi evidenciado para os agrupamentos de estações do Teste 5. Já no Teste 3 foram encontrados resultados não satisfatórios para os ajustes definidos para as estações de suas Regiões I e II (R^2 e ERM das Regiões I e II reduziram e aumentaram, respectivamente, em relação aos valores correspondentes do Teste 1), o que se conclui pela permanência da estação 24500000 na Região I. Os resultados apresentados para última alternativa de agrupamento testada, Teste 6, evidenciou a existência de uma terceira região, formada pelas estações 24050000, 24070000 e 2410000, cujas características litológicas são bem diferentes das das outras regiões em análise.

Com base na análise acima, foram propostas, finalmente, duas novas regiões homogêneas e uma região indefinida. A primeira região homogênea seria composta pelas estações da Região I preliminar, desconsiderando as estações 24050000, 24070000, 24100000, 24196000 e 24650000 e incluindo a estação 24900000. A segunda seria formada pelas estações da Região II preliminar, incluindo as estações 24196000 e 24650000 e excluindo a 24900000. Esses dois novos agrupamentos de estações configuram regiões homogêneas descontínuas, dadas pelas áreas de contribuição das estações 24196000, 24650000, enquadradas na Região II e do posto 24900000, alocada na Região I, conforme apresentadas na **Figura 3.3.3**. A região indefinida abrangeria a região de cabeceira da Sub-Bacia 24, definida pelas áreas de contribuição das estações 24050000, 24070000 e 24100000, e a sub-bacia do rio dos Bois ou das Almas aliada à área de jusante à estação 24950000. Abaixo são descritos os agrupamentos definitivos das estações para composição das regiões homogêneas da Sub-Bacia 24.

Região I: 24180000, 24200000, 24500000, 24700000, 24850000, 24900000

Região II: 24196000, 24650000, 24750000, 24780000, 24800000, 24950000

Região Indefinida: 24050000, 24070000 e 24100000.

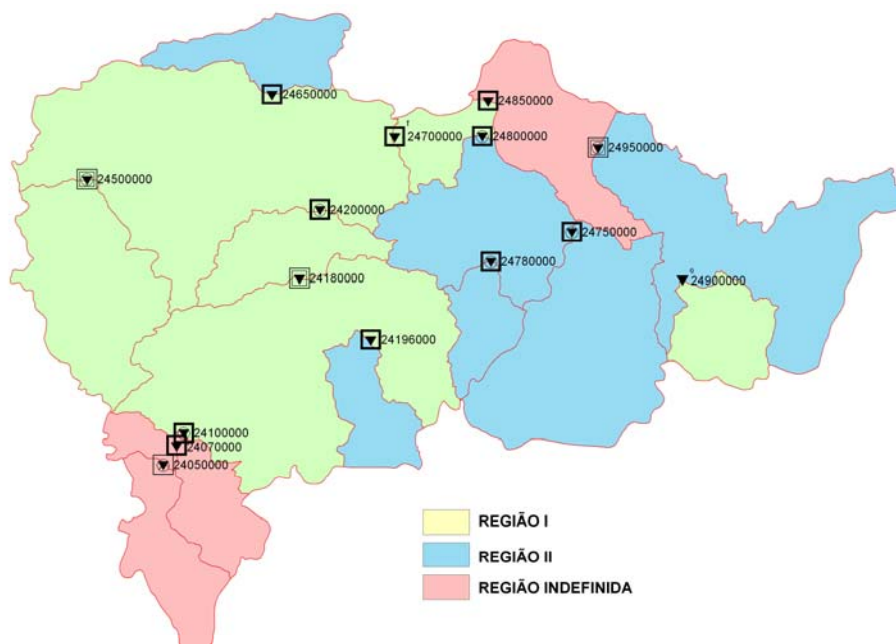


Figura 3.3. 3 – Regiões homogêneas da Sub-Bacia 24.

Destaca-se que as áreas correspondentes a cada uma das três regiões abrangem, de modo geral, um mesmo tipo de aquífero. No caso da Região I predomina o aquífero de arenitos com matriz de silte e argila, com intercalações de siltitos e folhelhos do Grupo Aquidauana, podendo este ter uma influência reguladora de vazões no período de seca. Quanto a Região II destacam-se os aquíferos do Grupo Passa Dois e Formação Ponta Grossa e os compostos por granitos e gnaisses, cuja interferência na estocagem e na regulação de vazão não se faz muito presente na região em questão. A terceira e última região (região indefinida) está sobre o aquífero composto por arenitos e por conglomerados permeáveis das Formações Vila Maria, Furnas e Botucatu, este apresentando alta capacidade de acumulação e de regulação de vazões nas estações secas.

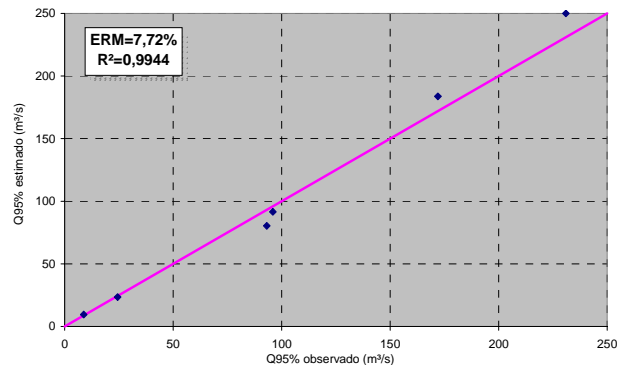
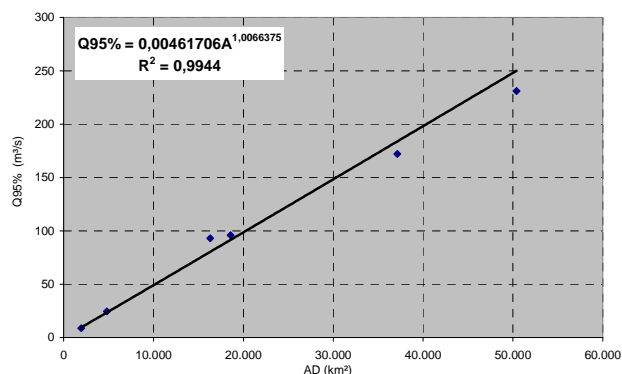
Considerando essa nova configuração de regiões homogêneas, foram ajustadas equações da Q95%, linear e de potência, para a variável independente área de drenagem somente, e também para a área e precipitação média, conjuntamente. Os resultados estatísticos dessas equações encontram-se na **Tabela 3.3.3**. Na **Figura 3.3.4** são apresentadas as funções ajustadas para os valores de Q95% das estações fluviométricas das regiões homogêneas da Sub-Bacia 24, assim como as comparações dos valores estimados de Q95% para cada um dos ajustes, com observados correspondentes.

Tabela 3.3. 2 – Alternativas de agrupamentos de estações para composição das regiões homogêneas para a Q95% da Sub-Bacia 24 e os resultados estatísticos das suas equações regionais da Q95%.

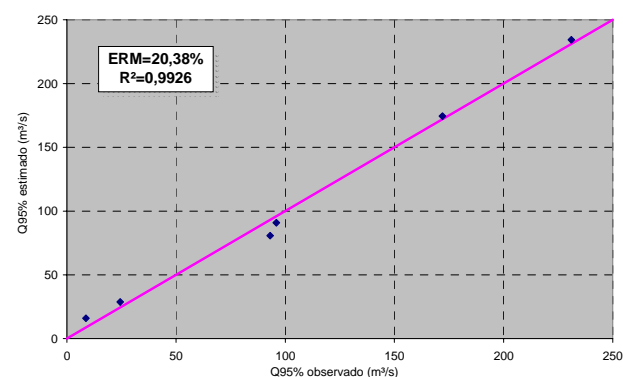
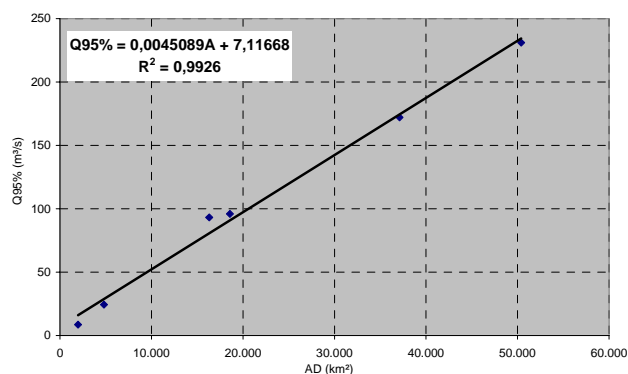
INSERIR A TABELA AQUI E EM SEGUIDA RETIRAR ESTA FOLHA

Tabela 3.3. 3 – Valores dos Erros Relativos Médios (ERM) e R² das equações de regressão da Q95% das regiões homogêneas definitivas da Sub-Bacia 24.

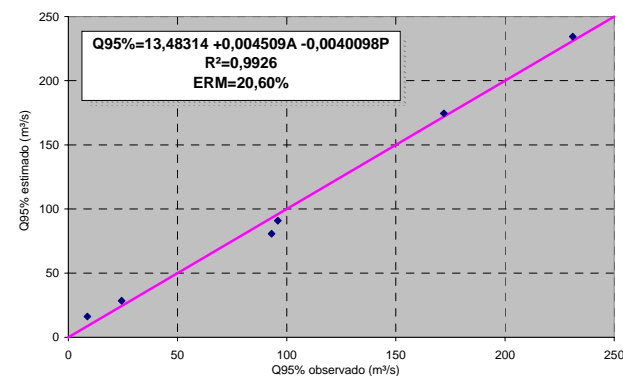
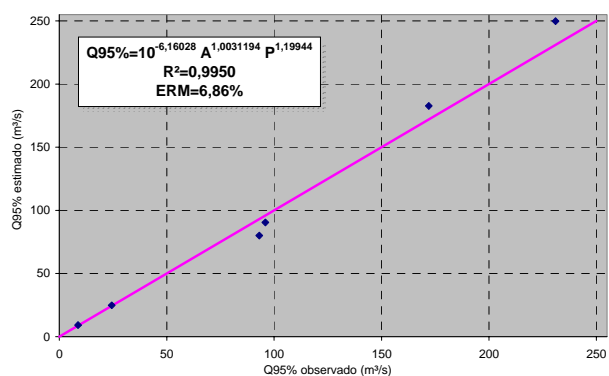
Regiões Homogêneas	Tipo de Equação	Correlação com Área		Correlação com Área e Precipitação	
		ERM	R ²	ERM	R ²
Região I	Potência	7,72%	0,9944	6,86%	0,9950
	Linear	20,38%	0,9926	20,60%	0,9926
Região II	Potência	15,23%	0,9757	13,23%	0,9789
	Linear	19,93%	0,9785	18,94%	0,9785



(a) Região I: Equação de Potência, $Q=f(A)$

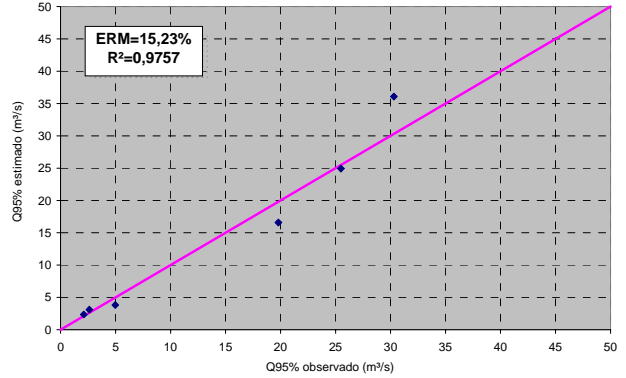
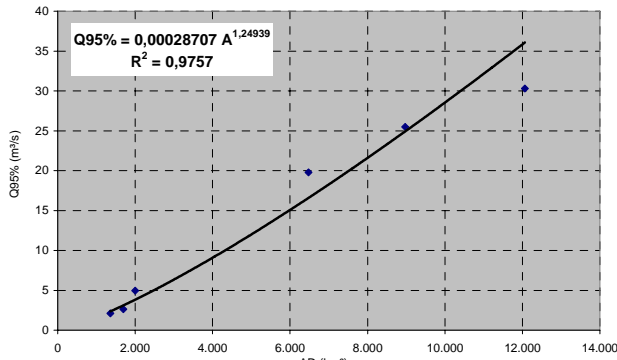


(b) Região I: Equação Linear, $Q=f(A)$

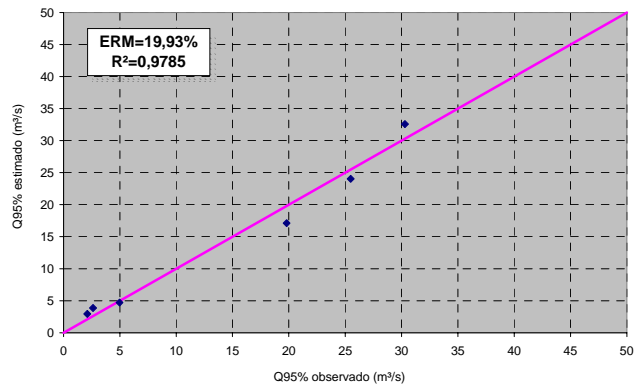
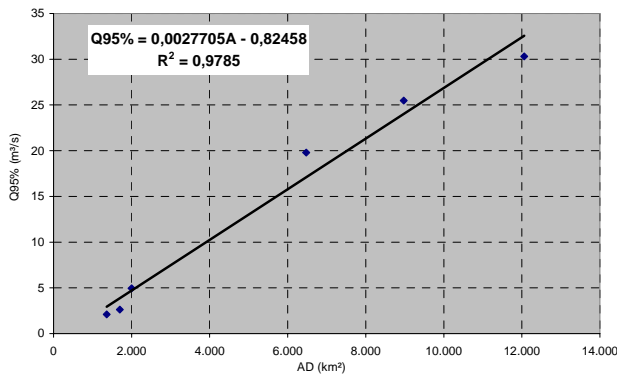


(c) Região I: Equação Potência, $Q=f(A,P)$

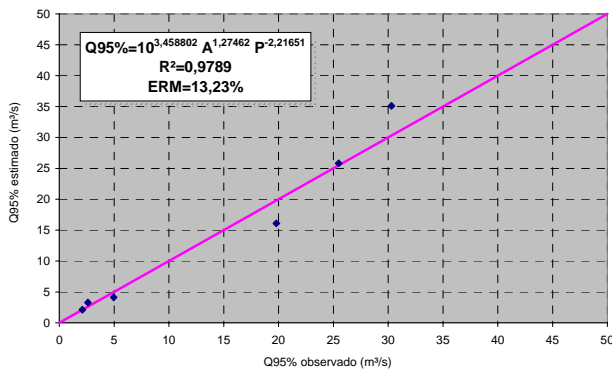
(d) Região I: Equação Linear, $Q=f(A,P)$



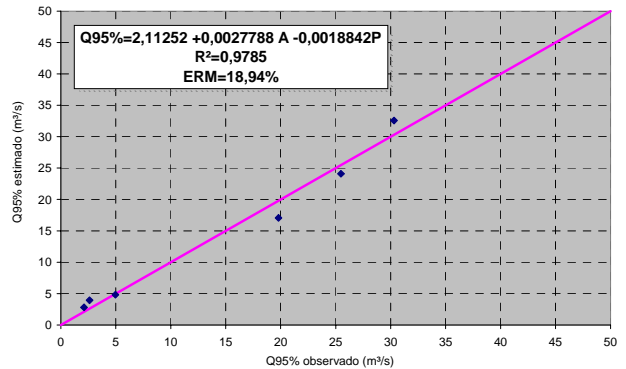
(e) Região II: Equação de Potência, $Q=f(A)$



(e) Região II: Equação Linear, $Q=f(A)$



(f) Região II: Equação Potência, $Q=f(A,P)$



(g) Região II: Equação Linear, $Q=f(A,P)$

Figura 3.3. 4 – Ajuste das equações de regressão da Q95% para as estações abrangidas pelas regiões homogêneas da Sub-Bacia 24 e comparação dos valores estimados de Q95% por esse ajuste com os medidos correspondentes.

Nota-se na **Tabela 3.3.3** que os erros relativos médios e R^2 para as equações potência da Região I são inferiores (da ordem de 7%, aproximadamente) e superiores, respectivamente, aos correspondentes da Região II. Quanto aos modelos lineares, os resultados estatísticos se mostraram muito similares para as duas regiões. De modo geral, as equações de potência apresentaram melhor performance de estimativa que as lineares, resultado este também evidente quando dos ajustes para as diferentes tentativas de agrupamento (vide **Tabela 3.3.2**). Sendo

assim, adotaram-se os modelos de potência como as equações regionais da Q95% da Sub-Bacia 24.

Os ERM das equações de potência para a Região I foram inferiores a 10%, o que indica um razoável ajuste para o fim proposto, que é estimar a Q95%. Isso não ocorreu para os modelos de potência da Região II, cujos erros foram em média de 14%, aproximadamente. Apesar disto, os valores de R^2 para todas as equações ajustadas (lineares e de potência) da Região I e II foram considerados altos, acima de 0,9700. Assim, conclui-se que os resultados estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da Q95% da Região I e II foram, de modo geral, satisfatórios.

Destaca-se que a precipitação total anual foi uma variável que aprimorou ligeiramente a performance de estimativa das equações regionais, na ordem de 1% e 2%, aproximadamente, para as equações de potência da Região I e II, respectivamente, mostrando assim ser um parâmetro importante, mas talvez não determinante, na estimativa dos valores das vazões de estiagem (Q95%).

Cumprindo finalmente destacar que foi também analisada a possibilidade de uma única região homogênea. Nesse caso, o ERM para o ajuste de potência, considerando apenas a variável área de drenagem foi 50,49% e de 47,33%, incluindo nesse mesmo ajuste a precipitação total anual. Esses valores foram consideravelmente superiores àqueles observados para as equações correspondentes das regiões homogêneas definitivas (**Tabela 3.3.3**). Interessante destacar quanto aos resultados desse último estudo que os postos que apresentaram erros relativos de estimativa individuais superiores a 25% (limite máximo aceitável de erro na estimativa de vazão) foram exatamente aqueles alocados na Região Indefinida e na Região Homogênea II definitiva. Isso confirma então a configuração definitiva das regiões homogêneas para a Sub-Bacia 24.

O memorial de cálculo de todas as equações ajustadas nesse trabalho encontra-se na planilha em excel “Regressão_sb24.xls”, disponibilizada no CD deste relatório.

No **Anexo G** é apresentado o mapa das regiões homogêneas com as isoietas totais anuais e as correspondentes equações regionais da Q95%. Na **Tabela 3.3.4** são rerepresentadas as expressões dessas equações regionais, associadas às faixas de áreas de drenagem e de precipitação nas quais são aplicáveis.

Tabela 3.3. 4 – Expressões analíticas das equações regionais da Q95% para a Sub-Bacia 24 e suas validades de aplicação

Tipo de Vazão	REGIÃO I	REGIÃO II
Q95% (m ³ /s)	$Q95\% = 0,00461706A^{1,0066375}$ $R^2 = 0,9944$ $ERM = 7,72\%$ $Q95\% = 10^{-6,16028} A^{1,0031194} P^{1,19944}$ $R^2 = 0,9950$ $ERM = 6,86\%$ $1.960 < A < 50.395 \text{ km}^2$ $1.530 < P < 1.661 \text{ mm}$	$Q95\% = 0,00028707 A^{1,24939}$ $R^2 = 0,9757$ $ERM = 15,23\%$ $Q95\% = 10^{3,458802} A^{1,27462} P^{-2,21651}$ $R^2 = 0,9789$ $ERM = 13,23\%$ $1.360 < A < 12.059 \text{ km}^2$ $1.519 < P < 1.639 \text{ mm}$

Observação: A, em km² e P, em mm.

As regiões ora definidas foram diferentes das estabelecidas no estudo de 2001. Enquanto que no presente estudo foram propostas duas regiões homogêneas com três descontinuidades dadas pelas bacias contribuintes às estações 24196000, 24650000 e 24900000, no estudo anterior foram definidas duas regiões contínuas e uma região indefinida similar ao do atual trabalho. Essa diferença pode em parte ser explicada pelo descarte no estudo anterior da estação 24650000, em função da existência na sua série de vazões de uma grande lacuna, bem como da estação 24196000 por possuir, naquela época, poucos anos de dados, insuficientes para um estudo de regionalização.

A performance estatística das equações ajustadas neste trabalho foi superior à do estudo anterior de 2001 (neste definido apenas para o tipo potência), sendo a maior diferença registrada para as equações da Região II (no estudo anterior a Região II deste estudo foi chamado como Região I).

4.0 PROJETO DA SUB-BACIA DESENVOLVIDO NO PROGRAMA ARCGIS 9.3

No presente trabalho foi elaborado o projeto da Sub-Bacia 24 no programa ArcGis 9.3, no qual foram incluídas as informações de altimetria, hidrografia, limites de bacia, as estações fluviométricas e pluviométricas do inventário da ANA e aquelas escolhidas para esse estudo, os mapas temáticos disponíveis, os limites estaduais e municipais, as regiões homogêneas, as isoietas totais anuais, dentre outras. A estrutura de organização dessas informações no projeto da sub-bacia no ArcGis 9.3 encontra-se na **Tabela H1**, com os nomes originais dos arquivos *shapes* e os que estão apresentados na *view* do projeto, além da projeção, escala e referência bibliográfica.

Outros projetos em ArcGis foram também elaborados, a fim de atender fins específicos, por exemplo, layout dos mapas temáticos, layout da articulação das cartas 1:250.000, dentre outros. Na **Tabela H2** são apresentados todos os projetos em ArcGis desenvolvidos neste trabalho, sua descrição geral e sua visualização em miniatura.

5.0 APLICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir do ponto no curso d'água onde se deseja conhecer a disponibilidade hídrica, delimita-se na base cartográfica disponibilizada por este trabalho (vide Proj02 da **Tabela H2**) a sua bacia de contribuição, determinando-se a área de drenagem correspondente e a precipitação total anual média. No projeto da Sub-Bacia 24 elaborado no ArcGis 9.3 (vide Proj01 da **Tabela H2**), encontra-se disponível, além das informações descritas no item anterior (item 4.0), a imagem raster de precipitação total anual (ano civil) do Brasil (Projeto Atlas Pluviométrico, CPRM, 2010), com a qual se calculou a precipitação total anual média.

Com as variáveis A (área) e P (precipitação total anual média) definidas para o ponto desejado e conhecendo-se a região homogênea a que pertence, entra-se na equação de regressão correspondente à região em questão para determinar o valor da vazão Q95%. Cumpre lembrar que os valores da área de drenagem e da precipitação total anual média, definidos para o referido ponto em avaliação devem estar compreendidos entre os limites de validade correspondentes estabelecidos para a equação regional da Q95% utilizada.

A título de exemplificação de aplicação das equações regionais da Q95% da Sub-Bacia 24, foram selecionados dois pontos, um no rio Diamantino (Ponto 1) e outro no rio Caiapó (Ponto 2) e sobre as bases cartográficas disponibilizadas nesse estudo foram delimitadas suas áreas de drenagem. Na **Figura 5.1** são apresentados os limites dessas áreas e a localização dos dois

pontos em estudo. Os valores dessas áreas, considerando a projeção *Albert Equal Conic Área*, foram de 2.827km² para o Ponto 1 e de 1.852km² para o Ponto 2.

Com base nos vetores das bacias de contribuição definidas para os Pontos 1 e 2 e na imagem *raster* de precipitação total anual foram determinados no ArcGis 9.3 os valores de precipitação total anual média nessas bacias, seguindo os seguintes procedimentos: No Arctoolbox do ArcGis, selecionar o aplicativo *Spatial Analysis Tools/Zonal/Zonal Statistics*. Aparecerá então uma janela solicitando a entrada de uma imagem raster, no caso a da precipitação total anual, como também do limite da área para a qual se deseja obter a precipitação média, no caso, os limites das bacias dos Pontos 1 e 2. Informar no campo *Statistics Type* da referida janela que se deseja calcular a **média (MEAN)** dos pixels da imagem fornecida. Os valores da precipitação total anual média nas bacias correspondentes ao Ponto 1 e 2 foram de 1.571 mm e 1.599 mm, respectivamente.

Conforme visto na **Figura 5.1** os Pontos 1 e 2 encontram-se em regiões homogêneas diferenciadas, Região I e II, respectivamente. Sendo assim, as equações regionais dessas regiões considerando aquelas ajustadas para a área de drenagem e precipitação total anual média, serão utilizadas para estimar os valores da Q95% dos pontos desejados, lembrando que os valores de área e precipitação definidos para os Pontos 1 e 2 estão contidos nos limites de validade estabelecidos para as equações regionais correspondentes. Abaixo é apresentada a metodologia de cálculo da Q95% para os Pontos 01 e 02.

$$\text{Ponto 01 (na Região I)} \rightarrow Q95\% = 10^{-6,16028} (2.827\text{km}^2)^{1,0031194} (1.571\text{mm})^{1,19944} = 13,66\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ponto 02 (na Região II)} \rightarrow Q95\% = 10^{3,458802} (1.852\text{km}^2)^{1,27462} (1.599\text{mm})^{-2,21651} = 3,33\text{m}^3/\text{s}$$

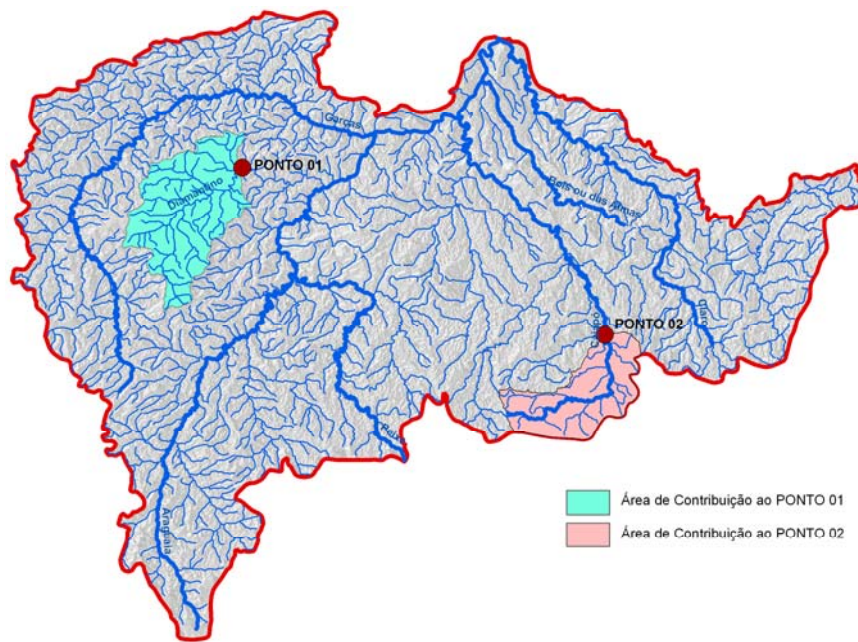


Figura 5. 1 – Localização dos Pontos 1 e 2 na Sub-Bacia 24

6.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A bacia do Alto rio Araguaia, Sub-Bacia 24, apresentou duas regiões homogêneas com descontinuidades e os ajustes de suas equações foram considerados satisfatórios para o agrupamento de estações da Região I e II. Foram propostas duas regiões indefinidas por não conterem estações ou por estarem em número insuficiente para o desenvolvimento de equações regionais. A precipitação foi considerada como uma variável importante, mas não determinante, na estimativa da vazão Q95%.

No item 3.1.2.1, diagnóstico da rede fluviométrica existente foi apontada a necessidade de se instalar mais 50 estações fluviométricas na Sub-Bacia 24, sendo 35 destas para monitoramento dos principais afluentes e 15 no curso principal. Ressaltou-se também a necessidade de se monitorar áreas inferiores a 100km².

O aumento de estações na bacia permite definir regiões homogêneas de forma mais precisa e ajustar equações regionais de variáveis hidrológicas com maior acurácia. O posicionamento das estações a instalar deve ser feito de maneira a representar a diversidade das feições encontradas nos mapas temáticos da região que possam explicar a variabilidade espacial das vazões. Na **Figura 6.1** sugere-se uma proposta inicial de localização de novas estações na Sub-Bacia 24, a fim de compor as 50 recomendadas na **Tabela 3.1.1**. Na **Tabela 6.1** são apresentadas as informações gerais sobre as novas estações a instalar. É claro que as localizações dessas novas estações sugeridas na **Figura 6.1**, devem ser confirmadas no campo, a fim de verificar se as condições hidrodinâmica dos rios são ideais para instalação de uma estação fluviométrica, dentre outros aspectos.

Sugere-se também realizar um estudo mais amplo de regionalização de vazões abrangendo sub-bacias hidrográficas vizinhas, dada à baixa densidade de estações fluviométricas dentro das regiões hidrográficas em que se dividiu o Brasil.

Recomenda-se que sempre que existirem estações fluviométricas no curso de água próximas de onde se quer obter o valor da vazão Q95%, deve-se utilizar uma simples transferência de dados, com base na relação entre áreas de drenagem, ao invés de se aplicar as equações regionais da Q95%.

Finalmente, é fundamental destacar que as equações regionais da Q95% da Sub-Bacia 24 elaboradas neste trabalho sejam utilizadas com muita cautela na estimativa de vazões de estiagem em locais sem monitoração. Isso porque foram ajustadas para poucas estações, cujas

vazões monitoradas podem não ser representativas do universo de vazões existentes na bacia. Assim, é muito importante que as novas estações propostas acima sejam instaladas na região, a fim de se conhecer de forma ampla e precisa o regime hidrológico de suas diferentes bacias hidrográficas.

Nesse sentido, sugere-se, em termos práticos, que os valores da Q95% calculados pelas equações regionais da Q95% da Sub-Bacia 24, propostas neste estudo, sejam utilizados como indicadores da ordem de grandeza das vazões de estiagem para, por exemplo, se determinar a disponibilidade hídrica de uma região, como também para auxiliar o processo de outorga pelo uso da água. Nesses casos, recomenda-se também uma medição expedita de vazão no campo, a fim de se verificar se o valor medido se aproxima da vazão estimada pela equação regional.

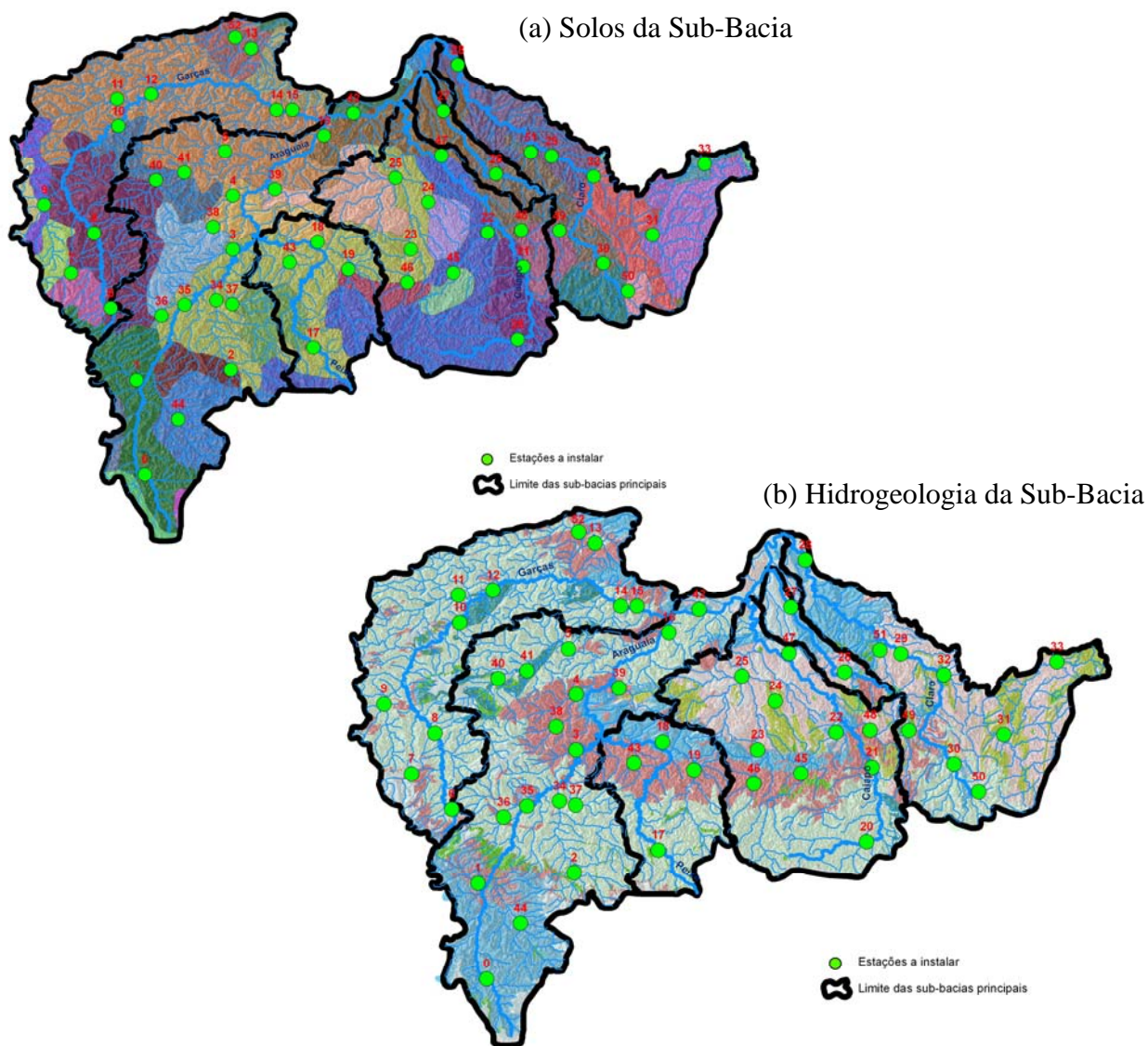


Figura 6.1 – Proposta inicial de localização de novas estações segundo as feições de solos e de hidrogeologia da Sub-Bacia 24

Tabela 6.1 – Proposta de localização de novas estações fluviométricas a serem instaladas na Sub-Bacia 24

Nº da Estação (vide Figura 6.1)	Nome do rio	Coordenada Y	Coordenada X	Sub-bacia	
0	rio Araguaia	-17,745832	-53,187500	ALTO ARAGUAIA (com exceção das bacias do rio do Peixe, do rio Garças, do rio Claro, do rio Caiapó e do rio dos Bois ou das Almas)	
44	rio Babilônia	-17,461651	-53,016781		
1	ribeirão Claro	-17,257645	-53,231361		
2	rio Diamantino	-17,204155	-52,745758		
34	rio Diamantino	-16,842312	-52,820415		
35	rio Araguaia	-16,866274	-52,984085		
36	rio Araguainha	-16,923655	-53,102371		
37	ribeirão Candeeiro	-16,863190	-52,738396		
3	ribeirão São João	-16,581702	-52,735815		
38	rio São Domingos	-16,464790	-52,837421		
4	ribeirão São Francisco	-16,301482	-52,734998		
40	rio Diamantino	-16,220945	-53,130409		
41	ribeirão Furnas	-16,180410	-52,984669		
5	rio Diamantino	-16,071117	-52,775288		
39	ribeirão das Perdizes	-16,269289	-52,518726		
16	ribeirão das Areias	-15,988888	-52,266365		RIO DO PEIXE
42	córrego Pitomba	-15,871734	-52,113422		
17	rio do Peixe	-17,089166	-52,320833		
19	rio Sucupira	-16,684153	-52,140278		
18	córrego Palmital	-16,541897	-52,298477		
43	ribeirão Capivara	-16,648062	-52,443092	RIO DAS GARÇAS	
6	rio das Garças	-16,883332	-53,364167		
7	ribeirão da Onça	-16,704021	-53,567719		
8	rio das Garças	-16,497499	-53,449167		
9	rio Bandeira	-16,349735	-53,707457		
10	córrego Fazendinho	-15,938423	-53,324282		
11	rio Arcada	-15,798228	-53,331467		
12	rio das Garças	-15,773332	-53,155833		
13	rio Passa-Vinte	-15,535893	-52,639942		
52	rio Barreiro	-15,479313	-52,722095		
14	rio das Garças	-15,854999	-52,510000		
15	ribeirão Ponte Queimada	-15,854982	-52,428349		
20	rio Caiapó	-17,047499	-51,267500		RIO CAIAPÓ
21	rio Caiapó	-16,669166	-51,239167		
45	rio Bonito	-16,701830	-51,599586		
22	rio Bonito	-16,493660	-51,422108		
47	córrego Recreio	-16,092852	-51,660259		
46	ribeirão do Pântano	-16,752245	-51,836750		
23	rio Piranhas	-16,581296	-51,817998		
24	Ribeirão	-16,335123	-51,728409		
48	ribeirão Santo Antônio	-16,482037	-51,249332		
25	ribeirão dos Macacos	-16,208834	-51,897556		
26	rio das Almas	-16,188332	-51,379167	RIO DOS BOIS OU DAS ALMAS	
27	rio das Almas	-15,859999	-51,650000		
50	ribeirão do Roncador	-16,795216	-50,699589	RIO CLARO	
30	rio Claro	-16,652674	-50,825356		
31	rio dos Pilões	-16,505289	-50,573181		
33	rio Fartura	-16,135973	-50,305180		
49	ribeirão Santa Marta	-16,484058	-51,053356		
32	rio dos Pilões	-16,201698	-50,876034		
29	rio Claro	-16,095690	-51,093658		
51	ribeirão Porções	-16,075785	-51,199734		
28	rio Claro	-15,621393	-51,576637		

7.0 ARQUIVOS DIGITAIS DO ESTUDO

Os arquivos digitais gerados neste estudo e armazenados no CD apensado a este relatório impresso estão organizados seguindo a estrutura:

- RELATÓRIO E ANEXOS
- PROJETO ARCGIS
- MATERIAL DIGITAL

Na pasta “Relatório e Anexos” estão os arquivos do texto do relatório final deste trabalho e de seus anexos, as figuras e tabelas, e as referências bibliográficas consultadas e/ou citadas. Na pasta “Projeto ArcGis” estão todos os projetos listados na **Tabela H2** e finalmente, na pasta “Material Digital”, estão os arquivos dos bancos de dados fluviométricos e pluviométricos empregados neste trabalho, assim como as curvas-chaves e perfis transversais de algumas estações fluviométricas da sub-bacia 24. Além disto, encontram-se disponíveis algumas planilhas auxiliares utilizadas no estudo.

Abaixo é apresentado o detalhamento da organização dos arquivos utilizados neste trabalho:

01 – Relatório e Anexos

- 01 – TEXTO DO RELATÓRIO
- 02 - FIGURA E TABELAS DO RELATÓRIO
 - Figuras
 - Tabelas
- 03 – ANEXOS
 - ANEXO A - Rede Hidrometeorológica da sbxx
 - ANEXO B - Dados Pluviométricos
 - ANEXO C - Dados Fluviométricos
 - ANEXO D - Resultados Estatísticos
 - ANEXO E - Características Físicas e Climáticas_variáveis Explicativas
 - ANEXO F - Curvas de Permanência
 - ANEXO G - Regiões Homogêneas
 - ANEXO H - Organizacao do Projeto da sub-bacia em ArcGis
- 04 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

02 - Material Digital

- 01 - Projeto Regionalização de Vazões
 - 01 - DADOS PLUVIOMÉTRICOS
 - > 01 - Banco de Dados
 - > 02 - Fichas Descritivas
 - > 03 – Disponibilidade de Dados
 - > 04 – Séries de Precipitações Mensais e Anuais
 - 02 - DADOS FLUVIOMÉTRICOS
 - > 01 - Banco de Dados
 - > 02 - Curvas-chaves
 - > 03 - Fichas Descritivas
 - > 04 - Perfis Transversais

- > 05 - Perfis longitudinais
 - > 06 – Disponibilidade de Dados
 - > 07 - Séries_Diárias, Médias Mensais e Anuais
 - > 08 - Curvas de Permanência e Serie Anual de Q50 e Q95
 - > 09 - Hidrograma x Histograma
 - 03 - ESTATÍSTICA DAS SÉRIE DE VAZÕES
 - 04 - ANÁLISE DE REGRESSÃO
 - 05 - MAPAS TEMÁTICOS
 - 02 - Projeto Atlas Pluviométrico
 - 01 - Banco de Dados
 - 02 – Shapes
 - 03 – Disponibilidade de Dados
- 03 - Projeto ArcGis 9.3**
- CARTAS_250000_SB24 (cartas topográficas 1:250.000 digitalizadas)
 - sub-bacia 24_Projeto da Regionalização 2001 (shapes elaborados pelo projeto de regionalização da CPRM em 2001)
 - sub-bacia 24
 - Altimetria
 - Divisão Política
 - Estações
 - Google (foram gerados arquivos do projeto da sub-bacia 24 na extensão kmz, capazes de serem inseridos no google earth)
 - Hidrografia
 - Isoietas Totais Anuais
 - Limites de bacia
 - Malha Viária
 - Mapas Temáticos
 - Perfis dos Rios
 - Regiões Homogêneas
 - Reserva da FUNAI
 - Usinas e Reservatórios (UHE, PCH, CGH, Barragens)

Caso o usuário deseje transferir os arquivos do CD do projeto da Sub-Bacia 24 para o microcomputador pessoal, sugere-se que as pastas sejam colocadas diretamente no diretório c:\, pois se caminhos longos de diretórios forem criados, alguns *shapes* dos projetos do ArcGis (**Tabela H2**) poderão não ser encontrados, assim como alguns arquivos não serem abertos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, 2009. Relatório Final do Plano Estratégico de recursos hídricos da bacia Tocantins-Araguaia. Agência Nacional de Águas, ANA.

CPRM/ANEEL, 2001. Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 24. Convênio CPRM/ANEEL nº015/2000 – 013/CPRM/00.

CPRM/ANEEL, 2002. Regionalização de Vazões da Sub-Bacia 58 - tomo I. Convênio CPRM/ANEEL nº015/2000 – 013/CPRM/00.

CPRM, 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM.

CPRM, 2005. Diretrizes para análise de dados hidrométricos e normas para identificação de correções e preenchimentos de falhas – versão preliminar. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM.

CPRM, 2010. Projeto Atlas Pluviométrico. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM (em desenvolvimento).

GOVERNO DO MATO GROSSO, 2002. Fórum Regional de Desenvolvimento Sustentável. Cidade Pólo – Alto Araguaia, Cuiabá (MT).

IBGE, 2001. Mapa de Solos do Brasil. Escala Original: 1:5.000.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.

IBGE, 2004. Mapa de Vegetação do Brasil. Escala Original: 1:5.000.000. 3ª edição. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE.

SIGEL/ANEEL, 2009. Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico – site: <http://sigel.aneel.gov.br/brasil/viewer.htm>;

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M., 1998. “Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n.3, p. 97-110.

TUCCI, C. E. M., 2002. Regionalização de Vazões, 1ª Edição, UFRGS, Brasil.