



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA ANÁLISE DE  
PROCESSOS DE OUTORGA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU**

VIVIANE BASSO CHIESA

PALMAS - TO

ABRIL, 2016

VIVIANE BASSO CHIESA

**APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA ANÁLISE DE  
PROCESSOS DE OUTORGA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa

PALMAS - TO

ABRIL, 2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

C533a Chiesa, Viviane Basso.

Aplicabilidade de Modelos Matemáticos na Análise de Processos de Outorga: o caso da bacia do ribeirão Taquaruçu . / Viviane Basso Chiesa. – Palmas, TO, 2016.

173 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2016.

Orientador: Fermán Enrique Vergara Figueroa

1. Modelo matemático. 2. Recursos hídricos. 3. Outorga de uso da água. 4. Cenários. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

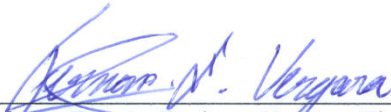
## FOLHA DE APROVAÇÃO

VIVIANE BASSO CHIESA

APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA ANÁLISE DE  
PROCESSOS DE OUTORGA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,  
Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca  
Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

### BANCA EXAMINADORA



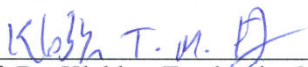
---

Prof. Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa  
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



---

Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Dias  
Universidade Federal do Tocantins



---

Prof. Dr. Klebber Teodómiro Martins Formiga  
Universidade Federal de Goiás

Aprovada em: 19 de abril de 2016  
Local de defesa: Sala 27 do bloco II  
Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas



*“Dedico esta vitória à minha família, em  
especial ao meu marido e aos meus sobrinhos”*

## AGRADECIMENTOS

### **Meus mais sinceros agradecimentos:**

A Deus pela minha vida e por mais uma etapa conquistada;

A minha família, pela dedicação, carinho, amor e por todo apoio e incentivo que me deram durante todos esses anos;

Ao meu marido Frederico Bonatto, companheiro sempre presente nos momentos mais difíceis, e também nos de imensa alegria;

A minha amiga de longa data, Regina Dettenborn, que me incentivou e sempre se fez presente em minha vida;

Ao professor Fernán Enrique Vergara Figueroa pela orientação, amizade, apoio, confiança, motivação e sugestões para a realização deste trabalho, sempre respeitando minhas ideias;

Aos amigos Cecília Amélia Miranda Costa, José Aldimiro Vieira Marques, Thalles Delano Villarins, Mariana do Carmo, Marina e Letícia Longhi que muito me ajudaram na aquisição de dados, discussões do trabalho e nas viagens de campo, além da companhia e sugestões;

Aos meus amigos de mestrado Cecília Amélia Miranda Costa, Bruno Emmerick Rodrigues, Wallace Rafael Rocha Lopes, Maria Carolina D'Oliveira, Flávia Marcolino e Marina Gontijo dos Santos, pela importância fundamental que tiveram em minha formação, pela amizade e companhia;

A minha amiga e parceira na execução deste trabalho Cecília Amélia Miranda Costa, com quem compartilhei minhas aflições, dificuldades e as alegrias a cada etapa concluída. Seu imenso bom humor, até nas ocasiões de completo desespero, foram fundamentais para enfrentar este período e concluir este trabalho;

A todos os meus professores que muito contribuíram para minha formação profissional e pessoal ao longo desses dois anos;

Aos amigos Bruno Emmerick e Roberta Vergara pela imensa ajuda no processamento dos dados no ArcHydro;

A todos os funcionários da Universidade Federal do Tocantins, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho;

À FAPT pela disponibilização de recursos financeiros para o desenvolvimento deste trabalho;

À Odebrecht Ambiental – Saneatins pela disponibilização de dados de monitoramento da bacia do ribeirão Taquaruçu;

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em nome do Dr. Walter Collischonn, dos doutorandos Fernando Mainardi Fan e Rafael Kayser e do Dr. Diogo Costa Buarque, pela disponibilidade para esclarecer dúvidas dos programas utilizados;

Ao amigo Plácido Sousa Beserra, pela disponibilidade e imensa colaboração ao esclarecer dúvidas sobre o PréPro e o MGB. Sem a sua ajuda não teria chegado até aqui. Muito obrigada!

## RESUMO

Para que uma outorga de direito de uso da água seja emitida, é preciso que os técnicos do órgão gestor de recursos hídricos avaliem se o corpo hídrico apresenta capacidade para atender a demanda solicitada para a captação de água ou lançamento de efluentes, considerando os demais usos já existentes e a hidrologia local. Dessa forma, o emprego de modelos matemáticos para avaliar esses critérios torna a análise mais eficiente, o que possibilita a simulação de diferentes cenários de intervenção em uma determinada bacia. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de modelos matemáticos acoplados a uma ferramenta SIG para estimar a disponibilidade hídrica e o balanço hídrico entre a oferta e a demanda da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, responsável pelo abastecimento de 70% da população urbana de Palmas – TO, para diferentes cenários de demanda e lançamento de efluentes. Para tanto, utilizou-se o modelo hidrológico MGB-IPH para estimar a disponibilidade hídrica, que gerou resultados satisfatórios para a bacia de pequena extensão territorial, representando de forma consistente a sazonalidade da vazão da bacia. Esses dados de vazão foram posteriormente utilizados no Sistema de Suporte à Decisão – SAD-IPH, onde foram realizadas simulações nos módulos quantitativo e qualitativo, envolvendo três diferentes cenários de demanda hídrica e lançamento de efluentes. Essas simulações demonstraram que a bacia do ribeirão Taquaruçu já apresenta trechos da rede hidrográfica em situação crítica quanto à disponibilidade, que é agravada nos meses de seca e com o passar dos anos. A bacia possui condições físicas que favorecem a manutenção da qualidade de suas águas. Todavia, com o decorrer dos próximos 20 anos, a qualidade da água irá se degradar à medida que o lançamento de efluentes for intensificado. Os resultados obtidos nos três cenários indicam que deverão ser adotadas tecnologias mais eficientes para reduzir o aporte de poluentes na bacia e assim, manter a qualidade da água para atender a demanda dos usos existentes. Conclui-se, portanto, que as ferramentas utilizadas são importantes para subsidiar o órgão gestor dos recursos hídricos e o comitê de bacia na tomada de decisões quanto à análise e emissão de outorgas para captação de água e lançamento de efluentes.

**Palavras-chave:** modelo matemático, recursos hídricos, outorga de uso da água, cenários.

## ABSTRACT

For a water rights permits is issued, it is necessary that the technicians of the managing body of water resources assess whether the water body has the capacity to meet the demand required for the uptake of water or wastewater discharge, considering other uses existing and local hydrology. Thus, the use of mathematical models to evaluate these criteria makes more efficient analysis, which allows the simulation of different intervention scenarios in a given basin. In this context, this study aimed to evaluate the applicability of mathematical models coupled to a GIS tool to estimate water availability and water balance between supply and demand of water basin of river Taquaruçu Grande, responsible for supplying 70% the urban population of Palmas - TO for different demand scenarios and discharge of effluents. For this, we used the hydrological model MGB-IPH to estimate water availability, which generated satisfactory results for the basin small territory, representing consistently seasonality of flow of the basin. These flow data were later used in the Decision Support System - SAD-IPH where simulations were performed on the quantitative and qualitative modules, involving three different scenarios of water demand and wastewater discharge. These simulations showed that the basin Taquaruçu stream already has stretches of river network in a critical situation regarding the availability, which is aggravated during the dry season and over the years. The basin has physical conditions that favor the maintenance of the quality of its waters. However, over the next 20 years, the water quality will degrade as the discharge of effluents is intensified. The results obtained in the three scenarios indicate that more efficient technologies should be adopted to reduce the input of pollutants to the basin and thus maintain the quality of water to meet the demand of existing uses. It follows therefore that the tools used are important to support the managing body of water and the basin committee in making decisions regarding the analysis and issuing water rights permits abstraction and discharge of effluents.

**Keywords:** mathematical model, water resources, water rights permits, scenarios.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

ArcHydro – Conjunto de ferramentas que operam internamente ao programa ArcGIS para extrair informações de modelagem hidrológica a partir de Modelos Digitais de Elevação

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FAO – Food and Agriculture Organization

HRC – High Resolution Geometric

IAF – Índice de Área Foliar

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IQA – Índice de Qualidade da Água

MDE – Modelo Digital de Elevação

MGB – IPH – Modelo Hidrológico de Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS

MNT – Modelo Numérico do Terreno

NATURATINS – Instituto Natureza do Estado do Tocantins

OD – Oxigênio Dissolvido

PBH – Plano de Bacia Hidrográfica

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

QUAL2E – Modelo de Qualidade de Águas de Rios

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

SAD-IPH – Sistema de Apoio à Decisão desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul

SEMADES – Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins

SEPLAN – Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SSD – Sistema de Suporte à Decisão

SWAT – Soil and Water Assessment Tool

TNC – The Nature Conservancy do Brasil

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFT – Universidade Federal do Tocantins

UHE – Usina Hidrelétrica de Energia

URH – Unidade de Resposta Hidrológica

USP – Universidade de São Paulo

## LISTA DE SÍMBOLOS

b – parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação

CBAS – parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo

CI – parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células

CS – parâmetro para calibração da propagação superficial nas células

IAF – Índice de Área Foliar

$K_1$  – coeficiente de desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ )

KBAS – parâmetro de escoamento subterrâneo [ $\text{mm.dia}^{-1}$ ]

KINT – parâmetro de drenagem sub-superficial [ $\text{mm.dia}^{-1}$ ]

$Q_{90}$  – vazões com 90% de permanência no tempo por mês

$Q_{\text{dem}}$  – vazão de demanda em análise ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{disp}}$  – disponibilidade hídrica ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{mont}}$  – somatório das demandas a montante ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_{\text{ref}}$  – vazão de referência ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$r_s$  – resistência superficial [ $\text{s.m}^{-1}$ ]

$W_m$  – capacidade de armazenamento do solo [mm]

$W_z$  – limite inferior de armazenamento no solo para haver escoamento sub-superficial

$\alpha$  - Albedo [-]



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estrutura de cálculo de uma célula em blocos.....	41
<b>Figura 2.</b> Componentes básicos de um SSD.....	57
<b>Figura 3.</b> Esquema de funcionamento do SAD-IPH. ....	59
<b>Figura 4.</b> Estrutura da rede de drenagem representada no SAD-IPH e tabela correspondente com os atributos topológicos.....	61
<b>Figura 5.</b> Fluxograma do desenvolvimento do trabalho.....	68
<b>Figura 6.</b> Localização da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.....	69
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO. ....	73
<b>Figura 9.</b> Mapa pedológico da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO. ....	76
<b>Figura 10.</b> Mapa da rede hidrográfica da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.....	77
<b>Figura 11.</b> Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO. .	78
<b>Figura 12.</b> Coleta de amostra de água para análise físico-química. ....	81
<b>Figura 13.</b> Coleta de amostra de água para análise bacteriológica.....	81
<b>Figura 14.</b> Utilização de sonda para coleta de dados <i>in loco</i> .....	81
<b>Figura 15.</b> Coleta de dados no ribeirão Taquaruçu Pequeno na 1ª campanha.....	81
<b>Figura 16.</b> Mapa de localização dos pontos amostrais. ....	81
<b>Figura 17.</b> Etapas de preparação dos dados, processos e resultados do MGB-IPH. ....	88
<b>Figura 18.</b> Arquivo <i>Excel</i> com as informações dos usuários de água da bacia. ....	92
<b>Figura 19.</b> Arquivo <i>Excel</i> com os dados de monitoramento da qualidade da água da bacia. .	94
<b>Figura 20.</b> Variação altimétrica da bacia. ....	97
<b>Figura 21.</b> Direções de escoamento, onde cada pixel indica o sentido que a água escoar. ....	97
<b>Figura 22.</b> Área de drenagem acumulada. ....	98
<b>Figura 23.</b> Rede de drenagem.....	98
<b>Figura 24.</b> Trechos de rios individualizados.....	98
<b>Figura 25.</b> Minibacias incrementais. ....	98
<b>Figura 26.</b> Locação dos postos fluviométricos. ....	99
<b>Figura 27.</b> Sub-bacias definidas a partir da localização dos postos fluviométricos. ....	99
<b>Figura 28.</b> Mapa de solos. ....	99
<b>Figura 29.</b> Mapa de cobertura e uso da terra. ....	99
<b>Figura 30.</b> Mapa das URHs da bacia do ribeirão Taquaruçu. ....	100
<b>Figura 31.</b> Dados carregados para simulação no MGB.....	101

<b>Figura 32.</b> Localização da barragem de acumulação de água, na sub-bacia ATP - 181. ....	104
<b>Figura 33.</b> Vista da barragem de acumulação de água no ribeirão Taquaruçu Pequeno. ....	105
<b>Figura 34.</b> Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico MTP – 163. ....	106
<b>Figura 35.</b> Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico MTP – 163. ....	106
<b>Figura 36.</b> Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ATG – 166. ....	106
<b>Figura 37.</b> Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ATG – 166. ....	106
<b>Figura 38.</b> Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ANA – 182. ....	106
<b>Figura 39.</b> Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ANA – 182. ....	106
<b>Figura 40.</b> Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTG – 189. ....	106
<b>Figura 41.</b> Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTG – 189. ....	106
<b>Figura 42.</b> Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTP – 198. ....	107
<b>Figura 43.</b> Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTP – 198. ....	107
<b>Figura 44.</b> Demanda atual da bacia em m <sup>3</sup> /s por tipo de uso. ....	109
<b>Figura 45.</b> Vazão Q <sub>90</sub> anual x demanda atual. ....	110
<b>Figura 46.</b> Q <sub>90</sub> janeiro x demanda atual. ....	112
<b>Figura 47.</b> Q <sub>90</sub> fevereiro x demanda atual. ....	113
<b>Figura 48.</b> Q <sub>90</sub> março x demanda atual. ....	113
<b>Figura 49.</b> Q <sub>90</sub> abril x demanda atual. ....	114
<b>Figura 50.</b> Q <sub>90</sub> maio x demanda atual. ....	115
<b>Figura 51.</b> Q <sub>90</sub> junho x demanda atual. ....	116
<b>Figura 52.</b> Q <sub>90</sub> julho x demanda atual. ....	116
<b>Figura 53.</b> Q <sub>90</sub> agosto x demanda atual. ....	117
<b>Figura 54.</b> Q <sub>90</sub> setembro x demanda atual. ....	118
<b>Figura 55.</b> Q <sub>90</sub> outubro x demanda atual. ....	118

<b>Figura 56.</b> Q <sub>90</sub> novembro x demanda atual.....	119
<b>Figura 57.</b> Q <sub>90</sub> dezembro x demanda atual. ....	120
<b>Figura 58.</b> Balanço hídrico atual por usuário para o mês de setembro.....	121
<b>Figura 59.</b> Vazão Q <sub>90</sub> atual disponível para outorga na bacia estudada.....	122
<b>Figura 60.</b> Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais. .....	123
<b>Figura 61.</b> Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos das fontes difusas. ....	123
<b>Figura 62.</b> Valores de DBO obtidos nas campanhas de monitoramento.....	124
<b>Figura 63.</b> Valores de OD obtidos nas campanhas de monitoramento.....	124
<b>Figura 64.</b> Valores de Fósforo obtidos nas campanhas de monitoramento.....	124
<b>Figura 65.</b> Valores de Coliformes Termotolerantes obtidos nas campanhas de monitoramento. .....	124
<b>Figura 66.</b> Valores de Nitrogênio amoniacal obtidos nas campanhas de monitoramento.....	124
<b>Figura 67.</b> Valores de Nitrato obtidos nas campanhas de monitoramento. ....	124
<b>Figura 68.</b> Valores de Nitrito obtidos nas campanhas de monitoramento.....	124
<b>Figura 69.</b> Parâmetros físico-químicos e biológicos das cabeceiras. ....	125
<b>Figura 70.</b> Calibração do parâmetro DBO.....	126
<b>Figura 71.</b> Calibração do parâmetro OD. ....	126
<b>Figura 72.</b> Calibração dos parâmetros Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato. ....	126
<b>Figura 73.</b> Calibração do parâmetro Coliformes Termotolerantes. ....	126
<b>Figura 74.</b> Calibração do parâmetro Fósforo.....	126
<b>Figura 75.</b> Concentração da DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.....	127
<b>Figura 76.</b> Concentração do OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo. ....	128
<b>Figura 77.</b> Concentração de Amônia nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo. ....	128
<b>Figura 78.</b> Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo. ..	129
<b>Figura 79.</b> Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo... ..	129
<b>Figura 80.</b> Concentração de Fósforo Total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.....	130
<b>Figura 81.</b> Concentração de Coliformes termotolerantes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo. ....	132
<b>Figura 82.</b> Projeção de aumento da demanda hídrica (m <sup>3</sup> /s) da bacia para o abastecimento urbano de 2015 - 2025. ....	134
<b>Figura 83.</b> Projeção do aumento da demanda hídrica (m <sup>3</sup> /s) da bacia para o abastecimento rural de 2015 - 2025. ....	134

<b>Figura 84.</b> Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para a dessedentação animal de 2015 - 2025. ....	134
<b>Figura 85.</b> $Q_{90}$ anual x demanda em 2025. ....	136
<b>Figura 86.</b> $Q_{90}$ janeiro x demanda em 2025. ....	138
<b>Figura 87.</b> $Q_{90}$ fevereiro x demanda em 2025. ....	138
<b>Figura 88.</b> $Q_{90}$ março x demanda em 2025. ....	138
<b>Figura 89.</b> $Q_{90}$ abril x demanda em 2025. ....	138
<b>Figura 90.</b> $Q_{90}$ maio x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 91.</b> $Q_{90}$ junho x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 92.</b> $Q_{90}$ julho x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 93.</b> $Q_{90}$ agosto x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 94.</b> $Q_{90}$ setembro x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 95.</b> $Q_{90}$ outubro x demanda em 2025. ....	139
<b>Figura 96.</b> $Q_{90}$ novembro x demanda em 2025. ....	140
<b>Figura 97.</b> $Q_{90}$ dezembro x demanda em 2025. ....	140
<b>Figura 98.</b> Balanço hídrico em 2025 por usuário para o mês de setembro. ....	140
<b>Figura 99.</b> Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais. ....	141
<b>Figura 100.</b> Concentração de OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	142
<b>Figura 101.</b> Concentração de Nitrogênio Amoniacal nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	142
<b>Figura 102.</b> Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	142
<b>Figura 103.</b> Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	142
<b>Figura 104.</b> Concentração de DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	143
<b>Figura 105.</b> Concentração de Coliformes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	144
<b>Figura 106.</b> Concentração de Fósforo total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025. ....	145
<b>Figura 107.</b> Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento urbano de 2015 - 2035. ....	148
<b>Figura 108.</b> Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento rural de 2015 - 2035. ....	148
<b>Figura 109.</b> Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para a dessedentação animal de 2015 - 2035. ....	149

<b>Figura 110.</b> Q <sub>90</sub> anual x demanda em 2035. ....	150
<b>Figura 111.</b> Q <sub>90</sub> janeiro x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 112.</b> Q <sub>90</sub> fevereiro x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 113.</b> Q <sub>90</sub> março x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 114.</b> Q <sub>90</sub> abril x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 115.</b> Q <sub>90</sub> maio x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 116.</b> Q <sub>90</sub> junho x demanda em 2035. ....	152
<b>Figura 117.</b> Q <sub>90</sub> julho x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 118.</b> Q <sub>90</sub> agosto x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 119.</b> Q <sub>90</sub> setembro x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 120.</b> Q <sub>90</sub> outubro x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 121.</b> Q <sub>90</sub> novembro x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 122.</b> Q <sub>90</sub> dezembro x demanda em 2035. ....	153
<b>Figura 123.</b> Balanço hídrico em 2035 por usuário para o mês de setembro. ....	154
<b>Figura 124.</b> Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais. ....	154
<b>Figura 125.</b> Concentração de OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	155
<b>Figura 126.</b> Concentração de Nitrogênio Amoniacal nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	155
<b>Figura 127.</b> Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	155
<b>Figura 128.</b> Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	155
<b>Figura 129.</b> Concentração de DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	156
<b>Figura 130.</b> Concentração de Coliformes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	157
<b>Figura 131.</b> Concentração de Fósforo total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035. ....	157

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Valores de albedo médio para algumas classes de cobertura da terra .....	35
<b>Quadro 2.</b> Valores de resistência superficial mínima ou em ótimas condições de umidade do solo de diferentes tipos de vegetação adotados ou estimados em trabalhos da literatura .....	36
<b>Quadro 3.</b> Valores da altura da vegetação utilizados pelo modelo MGB – IPH .....	37
<b>Quadro 4.</b> Valores de IAF citados na literatura para algumas classes de cobertura da terra .....	38
<b>Quadro 5.</b> Instrumentos da PNRH e suas inter-relações.....	48
<b>Quadro 6.</b> Atributos da rede de drenagem para aplicação no SAD-IPH .....	60
<b>Quadro 7.</b> Parâmetros avaliados .....	82
<b>Quadro 8.</b> Estações meteorológicas consultadas para aquisição de dados .....	82
<b>Quadro 9.</b> Estações pluviométricas consultadas para aquisição de dados .....	83
<b>Quadro 10.</b> Seções de controle das estações fluviométrica operadas pela Saneatins .....	83
<b>Quadro 11.</b> Relação entre as classes de solos originais e as novas classes .....	86
<b>Quadro 12.</b> Parâmetros fixos utilizados para a simulação no modelo MGB .....	89
<b>Quadro 13.</b> Parâmetros calibráveis associados às URHs adotados na simulação preliminar .....	90
<b>Quadro 14.</b> Parâmetros calibráveis associados às sub-bacias adotados na simulação preliminar no MGB-IPH .....	90
<b>Quadro 15.</b> Dados dos lançamentos pontuais efetuados na bacia em estudo .....	92
<b>Quadro 16.</b> Intervalo de variação das concentrações de poluentes no esgoto doméstico ....	92
<b>Quadro 17.</b> Intervalo de variação das concentrações de poluentes difusos por classe de uso do solo .....	92
<b>Quadro 18.</b> Intervalo de valores dos coeficientes utilizados pelo SAD para a simulação da qualidade da água .....	93
<b>Quadro 19.</b> Parâmetros calibráveis utilizados na simulação final .....	100
<b>Quadro 20.</b> Resultados das funções objetivo das simulações realizadas nas sub-bacias ...	106
<b>Quadro 21.</b> Valores dos parâmetros hidráulicos e físico-químicos utilizados na simulação final do SAD-IPH .....	123
<b>Quadro 22.</b> Localidades e teores de sedimentos fosfatados na Formação Pimenteiras .....	130
<b>Quadro 23.</b> Projeção populacional de Palmas – TO – 2012-2025 (IBGE) .....	132
<b>Quadro 24.</b> Projeção de demanda hídrica da bacia para o período de 2015 a 2025 .....	134
<b>Quadro 25.</b> Projeção populacional de Palmas – TO – 2012-2035 (IBGE) .....	145

<b>Quadro 26.</b> Projeção de demanda hídrica da bacia para o período de 2015 a 2035 .....	146
--	-----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados das URHs geradas para a bacia em estudo. ....	100
<b>Tabela 2.</b> Demanda atual de água na bacia do ribeirão Taquaruçu. ....	109



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	25
2.1 Objetivo Principal .....	25
2.2 Objetivos Específicos .....	25
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	26
3.1 Bacia Hidrográfica e Balanço Hídrico .....	26
3.2 Modelos Matemáticos Hidrológicos .....	28
3.3 O Modelo MGB-IPH .....	32
3.4 Gestão de Recursos Hídricos .....	45
3.5 Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos .....	48
3.6 A Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Tocantins .....	52
3.7 Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga .....	56
3.8 O Sistema de Suporte à Decisão SAD – IPH .....	58
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	67
4.1 Revisão Bibliográfica .....	68
4.2 Caracterização da Bacia Estudada .....	69
4.2.1 Aspectos Históricos da Ocupação da Bacia .....	71
4.2.2 Aspectos Físicos da Bacia .....	72
4.2.2.1 Clima .....	72
4.2.2.2 Geologia .....	73
4.2.2.3 Geomorfologia .....	74
4.2.2.4 Pedologia .....	75
4.2.2.5 Hidrografia .....	77
4.2.2.6 Uso e Ocupação do Solo .....	78

4.3 Levantamento de Dados em Campo .....	80
4.4 Aquisição dos Dados de Entrada do Modelo Hidrológico .....	82
4.5 Discretização da Bacia .....	84
4.5.1 Remoção de Depressões ( <i>pit removal</i> ) .....	84
4.5.2 Determinação de direções de escoamento .....	84
4.5.3 Área de drenagem acumulada .....	84
4.5.4 Rede de drenagem .....	85
4.5.5 Trechos individuais da rede de drenagem .....	85
4.5.6 Minibacias incrementais .....	85
4.5.7 Sub-bacias .....	85
4.6 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica .....	86
4.7 Aplicação do PréPro-MGB com interface no MapWindow GIS .....	87
4.8 Simulação no MGB-IPH com interface no MapWindow GIS .....	87
4.8.1 Calibração do Modelo .....	90
4.9 Simulação no SAD-IPH .....	91
4.10 Construção dos Cenários .....	94
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>96</b>
5.1 Discretização da Bacia do ribeirão Taquaruçu .....	96
5.2 Modelagem Hidrológica no MGB – IPH .....	100
5.3 Modelagem Matemática no SAD-IPH .....	107
5.3.1 Construção dos Cenários .....	107
5.3.1.1 Cenário 1 – Atual .....	107
5.3.1.1.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda Atual .....	108
5.3.1.1.2 Qualidade da Água Atual .....	121
5.3.1.2 Cenário 2 – Horizonte temporal de 10 anos .....	131
5.3.1.2.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda em 2025 .....	131

5.3.1.2.2 Qualidade da Água em 2025 .....	140
5.3.1.3 Cenário 3 – Horizonte temporal de 20 anos .....	144
5.3.1.3.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda em 2035 .....	144
5.3.1.3.2 Qualidade da Água em 2035 .....	151
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>155</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>158</b>
<b>8. APÊNDICE .....</b>	<b>171</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas são responsáveis por modificações consideráveis nas bacias hidrográficas, tendo em vista sua influência quantitativa e qualitativa direta sobre os processos hidrológicos. O resultado dessas modificações é percebido apenas quando da ocorrência de eventos hidrológicos extremos e de suas consequências, tais como, estiagens severas, inundações, produção e transporte de sedimentos, além da possibilidade de aumento no aporte de nutrientes em mananciais com influência direta na qualidade da água (ANDRADE *et al.*, 2013). Em função dessa degradação ambiental, a escassez e os conflitos envolvendo os usos múltiplos da água são cada vez mais proeminentes, visto que a disponibilidade hídrica qualitativa é um fator fundamental ao desenvolvimento econômico, social e cultural de uma região (BRITES, 2010).

O desequilíbrio entre a demanda e a disponibilidade de água tem levado à necessidade de se desenvolver uma gestão dos recursos hídricos mais eficiente, que tenha como referencial a compreensão da água enquanto um recurso natural, escasso, fundamental à vida e ao desenvolvimento, devendo ser tratada como um bem público, de uso comum a todos e um recurso de alto valor social, ambiental e econômico (SILVA, 2004a, p. 114).

A gestão de recursos hídricos tem avançado nas últimas décadas no Brasil, principalmente após a publicação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei Federal nº 9433/97), que apresenta o desenvolvimento sustentável regional como seu objetivo central, adotando a bacia hidrográfica como espaço geográfico para a sua implementação; além de estabelecer uma série de instrumentos de gestão de recursos hídricos que visam, entre outros, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” – Art. 2, Inciso I (BRASIL, 1997). A referida Política também inovou ao assegurar o acesso e usos múltiplos dos recursos hídricos e; ao abrir o processo decisório para a participação dos diferentes agentes interessados, com a criação de novos instrumentos (CAROLO, 2007; SANTOS e GUSMÃO, 2013).

O instrumento de gestão de maior importância para a viabilização dos fundamentos e objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos é a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, que consiste em uma autorização concedida pelo poder público, a qual

faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo (LEAL, 1997; FARIAS, 2008).

No Estado do Tocantins, a legislação referente à outorga foi aprovada em 22 de março de 2002, de acordo com a Lei Estadual nº 1.307, todavia o instrumento de outorga somente começou a ser implantado no ano de 2005, quando foi publicado o Decreto Regulamentador nº 2.432, de 06 de junho de 2005. Conforme o referido decreto, o órgão responsável pela análise e emissão das outorgas nas áreas de abrangência do Estado, é o Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS. Entretanto, a implementação desse instrumento ainda apresenta uma série de deficiências que necessitam ser mitigadas para que a outorga cumpra, de maneira adequada, o seu papel.

Para uma gestão efetiva dos recursos hídricos é imprescindível a utilização de bases de dados confiáveis. No entanto, estas frequentemente são insuficientes ou não existem. Neste caso, uma alternativa é a aplicação de modelos matemáticos que possam estimar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, possibilitando assim, a análise de alternativas que auxiliem na tomada de decisões, minimizando as incertezas das análises das outorgas pelo órgão gestor (CASTRO, 2013). Por meio desses modelos é possível quantificar a disponibilidade hídrica, bem como o aporte de sedimentos e contaminantes em pontos específicos das bacias hidrográficas em diferentes escalas espaciais e temporais, o que possibilita o estudo de cenários de forma rápida e a custo reduzido (BOURAOUI *et al.*, 1997).

Dentre os modelos hidrológicos existentes, o MGB-IPH (Modelo Hidrológico de Grandes Bacias) que foi desenvolvido ao longo da última década por Collischonn e Tucci (2001), membros do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, se destaca por ser um modelo matemático de parâmetros distribuídos capaz de simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (COLLISCHONN e TUCCI, 2001; COLLISCHONN *et al.*, 2007). Ressalta-se que esse modelo tem sido aplicado com sucesso em várias bacias de grande porte com diferentes características em todo o território brasileiro, como as bacias do Rio São Francisco, do Rio Amazonas e do Rio Uruguai (FAN, 2011). Outro modelo de destaque também desenvolvido pelo mesmo Instituto é o SAD-IPH, que é um sistema de suporte à decisão voltado à gestão do uso dos recursos hídricos e aplicável aos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos que permite realizar balanços hídricos quantitativos e simulações da qualidade da água em regime permanente de vazões e lançamentos de efluentes em modo contínuo

(MEDEIROS, 2014). Ambos os modelos possuem interface com programas SIG, o que possibilita melhor organização e definição dos dados de entrada por meio de um banco de dados, a elaboração e edição de cenários ambientais e sua representação em forma de gráficos e mapas, controle e simulações, além de extrair e organizar as saídas do modelo (MARCHIORO, 2008; MEIRA NETO *et al.*, 2011).

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do modelo hidrológico MGB-IPH para estimar a disponibilidade hídrica e do modelo SAD-IPH para quantificar o balanço hídrico entre a demanda e oferta da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, para diferentes cenários de demanda, de forma a subsidiar o órgão gestor dos recursos hídricos e o comitê de bacia na tomada de decisões quanto à análise para a emissão de outorgas de captação de água e lançamento de efluentes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Principal**

Avaliar a aplicabilidade dos modelos matemáticos MGB-IPH e SAD-IPH acoplados a uma ferramenta SIG para estimar a disponibilidade hídrica e o balanço hídrico entre a oferta e a demanda da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, situada em Palmas – TO, para diferentes cenários de demanda e lançamento de efluentes, de forma a subsidiar o órgão gestor dos recursos hídricos e o comitê de bacia na tomada de decisões quanto à análise para a emissão de outorgas de captação de água e lançamento de efluentes.

### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Calibrar e validar o modelo matemático hidrológico MGB para a simulação da vazão da bacia hidrográfica em estudo;
2. Calibrar o módulo qualitativo do modelo matemático SAD para a simulação da qualidade da água da bacia do ribeirão Taquaruçu;
3. Avaliar se os modelos MGB e SAD poderão facilitar e agilizar a análise técnica necessária para a tomada de decisão no que tange aos pedidos de outorga;
4. Avaliar a influência de diferentes cenários de demanda sobre a disponibilidade hídrica e a qualidade da água da bacia hidrográfica.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Bacia Hidrográfica e Balanço Hídrico

Uma bacia hidrográfica é um sistema que integra as conformações de relevo e drenagem. A parcela da precipitação nela incidente e que irá transformar-se em escoamento superficial direto, chamada precipitação efetiva, escoam a partir das maiores elevações do terreno, formando enxurradas em direção aos vales. Esses, por sua vez, concentram esse escoamento em córregos, riachos e ribeirões, que confluem e formam o rio principal da bacia. Assim, a bacia hidrográfica pode ser definida como uma área topográfica, drenada por um curso da água ou um sistema conectado de cursos da água de forma que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma única saída ou exutório (BALDISSERA, 2005).

De acordo com Cruz (2003), é possível afirmar que, tecnicamente, a bacia hidrográfica tornou-se uma importante unidade territorial para gerenciamento das atividades de uso e conservação dos recursos naturais, principalmente nas condições atuais com aumento da demanda e diminuição dos recursos hídricos disponíveis em função da contaminação e assoreamento dos cursos d'água (BLAINSKI *et al.*, 2008), fatores que têm impulsionado pesquisas a respeito das alterações na influência da dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas (SILVA, 2010).

A bacia hidrográfica enquanto sistema representa a transformação da precipitação (entrada) em vazão do rio principal (saída), de modo que há perdas intermediárias – representadas pela evapotranspiração e infiltração profunda (TUCCI, 2009), sendo a primeira a principal saída de água do sistema (HORNBERGER *et al.*, 1998). Com isso tem-se a estrutura para elaboração de um balanço hídrico para uma bacia hidrográfica, que é um sistema contábil de monitoramento da água no solo norteado pelo princípio de conservação da massa para a água para um determinado intervalo de tempo (TUCCI, 1997; PEREIRA *et al.*, 1997).

Conforme Tucci (1997), o balanço hídrico de bacias hidrográficas geralmente visa estimar a evapotranspiração, baseando-se em dados de precipitação, evaporação e escoamento superficial e profundo. É uma ferramenta utilizada em diversas áreas do conhecimento, tais como a agrícola, florestal e hidrológica (UZEIKA, 2009).



O balanço hídrico pode ser efetuado em diversos níveis, escolhendo-se o volume de controle conveniente. Caso esse volume de controle seja uma bacia hidrográfica ou um sistema hídrico particular, a equação hidrológica fundamental é expressa por (RIGHETTO, 1998):

$$Q_e - Q_s = \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Onde:

$Q_e$  = vazão de entrada;

$Q_s$  = vazão de saída e;

$V$  = volume armazenado na bacia ou no sistema hídrico.

O emprego dessa equação em um intervalo de tempo  $\Delta t$  possibilita que a equação do balanço hídrico superficial seja expressa da seguinte forma:

$$\Delta VP = \Delta VS + \Delta VQ + \Delta VI + \Delta VE \quad (2)$$

Sendo:

$\Delta VP$  = volume precipitado;

$\Delta VS$  = volume armazenado na superfície;

$\Delta VQ$  = volume escoado superficialmente;

$\Delta VI$  = volume infiltrado e;

$\Delta VE$  = volume evaporado.

Para um volume de controle subsuperficial, o balanço hídrico pode ser expresso por:

$$\Delta VI = \Delta VSOLO + \Delta VG + \Delta VET \quad (3)$$

Em que:

$\Delta VSOLO$  = volume de água armazenado no solo;

$\Delta VG$  = volume percolado e;

$\Delta VET$  = volume evapotranspirado.

Dessa forma, ao considerar-se um volume de controle que inclui a superfície e o perfil de solo, tem-se a seguinte expressão para o balanço hídrico:

$$\Delta VP = \Delta VS + \Delta VSOLO + \Delta VQ + \Delta VG + \Delta VE + \Delta VET \quad (4)$$

A análise de cada termo da equação do balanço envolve o levantamento de dados observados ou de expressões que expressem o mecanismo de transporte dos volumes. Para quantificação dessas variáveis, utilizam-se modelos empíricos ou determinísticos, com embasamento físico, com ou sem componentes aleatórios ou probabilísticos (UZEIKA, 2009).

O balanço hídrico pode ser contabilizado para diversos períodos de tempo, variando de horas a anos. As escalas de tempo mais utilizadas estão entre a diária e a anual, a escolha dessa escala temporal fica a critério da finalidade da contabilidade hídrica (GOMES, 2005).

Para Baldissera (2005), cada termo do balanço hídrico pode ser alterado por ações antrópicas, como o desmatamento, a mudança do uso e ocupação do solo e a construção de barragens, atingindo níveis locais e regionais. Conseqüentemente, qualquer atividade humana que altere os fatores básicos que determinam o balanço hídrico acaba por influir na disponibilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

### **3.2 Modelos Matemáticos Hidrológicos**

A necessidade de representar os processos físicos da natureza em relações analíticas para simulação fez surgir os modelos. Um modelo, segundo a conceituação de Tucci (2005), “é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas”, ou, de maneira mais direta, “é uma representação do comportamento do sistema”. Ao passo que “sistema” é “qualquer engenho que responde, através de uma saída, a uma entrada”.

Para Christofolletti (1999) um modelo é qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, possibilitando a reconstrução da realidade, a previsão de um comportamento, uma transformação ou uma evolução. Não é a realidade que está representada, mas sim a nossa visão e a maneira como percebemos e compreendemos esta realidade.

De acordo com Mendes e Cirilo (2001) para representar a realidade, algumas características do ambiente são reformuladas, sendo simplificadas. Após esse processo, são extraídas conclusões que podem ser reaplicadas na realidade, a fim de melhor compreendê-la e gerenciá-la. É necessário enfatizar que o desenvolvimento de modelos e o raciocínio são inseparáveis e que a utilização desta ferramenta requer uma vigilância constante, pois os

resultados ali apresentados podem trazer uma visão da realidade excessivamente formalizada e previsões inadequadas em virtude da estruturação equivocada dos dados.

Todos os modelos são aproximações da realidade, não representando o todo do sistema em estudo. Apesar desse problema, modelos são ferramentas essenciais no estudo e entendimento das interações dos processos físicos (SOUZA, 2011).

Os procedimentos para a montagem de um modelo matemático que represente um sistema real são citados por Hassuda (2000) por meio dos seguintes passos: desenvolvimento do modelo conceitual, envolvendo todo o levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real; seleção do programa computacional a ser utilizado segundo as necessidades e os dados existentes; tradução do modelo conceitual, para linguagem matemática, construindo-se os diversos bancos de dados para a entrada das informações no programa selecionado; e a calibração do modelo matemático construído de forma a minimizar dúvidas inerentes a uma representação simplificada (modelo matemático) de um sistema real, dada à complexidade de cada realidade local e regional.

É importante observar que os modelos não devem substituir as observações de campo e os experimentos de laboratório, mas podem colaborar para o entendimento do sistema em estudo. Dessa forma, possuem grande potencial para pesquisas na área de Geociências, Geografia Física e análise ambiental, como instrumento para previsões e também como ferramenta para compreensão teórica. Mesmo diante de suas limitações, com a contínua aplicação as dificuldades de sua implantação vão sendo gradativamente superadas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos podem ser classificados por diferentes aspectos como, geração, forma de representação dos dados, tipologia das variáveis aplicadas na modelagem, as relações entre as variáveis, existência de relações espaciais e dependência temporal (LIMA, 2010). Assim, os modelos são classificados como:

- **Conceitual e Empírico:** um modelo conceitual considera os processos físicos em suas funções. De acordo com Rennó e Soares (2000), esses modelos geralmente são mais complexos que os empíricos, pois procuram descrever todos os processos que envolvem o fenômeno estudado, mesmo usando muitas vezes relações empíricas entre variáveis. Já os modelos ditos empíricos ou “caixa preta” ajustam os valores calculados aos observados sem considerar os processos físicos envolvidos (TUCCI, 2005);

- **Estocástico e determinístico:** esta é uma das principais classificações dentro da simulação hidrológica. Quando a formulação do modelo insere o conceito de probabilidade, de modo que um valor fixo de uma variável de entrada poderá gerar diferentes saídas, ele é dito estocástico. Por outro lado, se o modelo segue uma lei definida, oposta a das probabilidades, um mesmo dado de entrada irá gerar a mesma saída, este é dito determinístico (TUCCI, 2005).
- **Contínuo e discreto:** um sistema é dito contínuo quando os fenômenos representados são contínuos no tempo, enquanto que no sistema discreto as mudanças de estado se dão em intervalos discretos (TUCCI, 2005);
- **Concentrado e distribuído:** um modelo é concentrado quando não considera a variabilidade espacial dos processos, considerando somente o tempo como variável independente, representando a área estudada como um todo, sem possibilidade de divisão (RENNÓ e SOARES, 2000). Um modelo é dito distribuído quando suas variáveis e parâmetros dependem das características de temporalidade e espacialidade. Conforme Tucci (2005) os modelos distribuídos são capazes de enxergar peculiaridades que individualizam ou particularizam áreas semelhantes dentro daquela maior que é estudada, e, portanto, tais observações são expressas nos dados de entrada e saída.

Para Silva (2005), a classificação não é excludente, assim um modelo pode possuir diferentes classificações para cada discretização do fenômeno, variável ou parâmetro.

Dentro desse contexto, surgem os modelos matemáticos hidrológicos, que representam o funcionamento da bacia hidrográfica, buscam respostas para diferentes entradas de diversas equações matemáticas que configuram o fluxo de água. Para isso é necessário que o modelo hidrológico seja capaz de reproduzir os principais processos na bacia, lidando com fenômenos contínuos e dinâmicos. O modelo hidrológico, devido à sua versatilidade favorece uma gama de oportunidades para simulações em bacias hidrográficas, o que possibilita estudar seu comportamento quando submetidas a diferentes usos e ocupações do solo (MEIRA NETO *et al.*, 2011).

Segundo Beven (2001) a maior razão para o uso de modelos hidrológicos deve-se as limitações nas técnicas de medição. Devido a essas limitações, não é possível medir tudo o que interessa no sistema hidrológico. Portanto, são necessários meios de extrapolação de dados medidos no tempo e espaço, particularmente para bacias não monitoradas e no futuro

para avaliar o impacto de mudanças no ciclo hidrológico. Assim, modelos de diferentes tipos fornecem meios para extrapolação quantitativa ou previsão que podem ser úteis na tomada de decisões. Além disso, tem-se as seguintes vantagens: baixo custo, rapidez do processamento, informação completa, criação de cenários diversificados, e proposição de cenários ideais (PESSOA *et al.*, 1997; MACHADO, 2002).

Wagener *et al.* (2004) e Souza (2011) relatam que os modelos hidrológicos também podem ser aplicados para avaliar estratégias de gerenciamento de recursos hídricos, a resposta de bacias hidrográficas a variações climáticas periódicas, cheias de projeto, cheias em tempo real, condições de contorno para modelos de circulação atmosférica, extensão de séries, previsão dos efeitos de mudanças físicas na bacia e a otimização do planejamento e procedimentos operacionais de projetos de recursos hídricos.

Na percepção de Viola *et al.* (2009), os modelos hidrológicos podem ser úteis para uma melhor gestão dos recursos hídricos, principalmente no contexto de bacias hidrográficas de pequeno porte. A verificação de vazões máximas, mínimas e de referência para outorga, propiciadas pela série simulada, possibilita a análise da aplicação do modelo como ferramenta de gestão e planejamento de recursos hídricos. Para Cruz e Tucci (2008), quando se trata da estimativa de vazões de referência para outorga há uma série de limitações para pequenas bacias, uma vez que é praticamente inexistente a disponibilidade de dados hidrológicos de vazão nessa escala no Brasil. A curva de permanência é uma das ferramentas para se determinar a disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica, porém a mesma não se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas sim a uma “garantia” de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento.

As limitações básicas dos modelos hidrológicos são a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, além da dificuldade de formular matematicamente alguns processos e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos (TUCCI, 2005). Outras limitações surgem devido ao desconhecimento do comportamento espacial de parâmetros e da não linearidade dos processos hidrológicos (SOUZA, 2011).

Viola *et al.* (2012) relatam que dentre os modelos hidrológicos mais utilizados em diferentes realidades físicas destacam-se: SWAT no Uruguai (STACKELBERG *et al.*, 2007), NRM3 no Quênia (NOTTER *et al.*, 2007), AGNPS no sul da Itália (LICCIARDELLO *et al.*, 2007), MGB-IPH no sul, sudeste e norte do Brasil (COLLISCHONN *et al.*, 2005;

NÓBREGA *et al.*, 2011; RIBEIRO NETO *et al.*, 2008) e LASH no sudeste do Brasil (MELLO *et al.*, 2008; VIOLA *et al.*, 2009; BESKOW *et al.*, 2011).

### 3.3 O Modelo MGB-IPH

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias, MGB-IPH, é um modelo conceitual, distribuído, que foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para simular o processo de transformação da chuva em vazão nestas bacias hidrográficas (COLLISCHONN, 2001). O modelo foi concebido com base nos modelos LARSIM (LUDWIG *et al.*, 2006) e VIC-2L (LIANG *et al.*, 1994), apresentando algumas modificações nos módulos de evapotranspiração, percolação e propagação de vazões (FAN, 2011).

O referido modelo tem sido aperfeiçoado nos últimos dez anos, tanto em sua estrutura, como no pré-processamento de dados de entrada e de interface ao usuário. Uma das alterações realizadas foi a substituição do uso de células regulares quadradas por unidades irregulares, definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação – MDE, denominadas minibacias, como unidade de discretização da bacia hidrográfica. Outra unidade maior de divisão da bacia são as sub-bacias, que correspondem a um conjunto de minibacias e tem seu exutório definido pelos locais onde existem postos fluviométricos com dados observados (FAN, 2011; MELLER *et al.*, 2012).

A variabilidade espacial da precipitação no modelo é considerada pela interpolação dos dados de postos pluviométricos para o centróide de cada minibacia. Nesse processo é utilizado o método do inverso do quadrado da distância. A variabilidade dos solos quanto ao tipo e uso é considerada com a utilização de planos de informação, determinados a partir de imagens de satélite ou mapas digitalizados. A variabilidade espacial do relevo é considerada com o uso do MDE (MELLER *et al.*, 2012).

O tipo de vegetação e uso do solo dentro de cada minibacia é categorizado dentro de uma ou mais classes utilizando a abordagem de Unidades de Resposta Hidrológica-URH ou Grouped Response Units (GRU), que também é utilizada no modelo SWAT. As URH's são áreas de comportamento hidrológico similar, definidas pela combinação e reclassificação dos mapas de tipo e uso do solo em um SIG (KOUWEN *et al.*, 1993). O número de URH's é escolhido de acordo com o número de grupos resultantes da combinação das características de

uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo. Dessa forma, o balanço hidrológico é calculado para cada URH de cada minibacia e as vazões estimadas em cada URH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem (MELLER *et al.*, 2012).

Segundo Collischonn (2001), o modelo é composto dos seguintes algoritmos ou módulos:

- Balanço de água no solo;
- Evapotranspiração;
- Escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e
- Escoamento na rede de drenagem.

Os dois primeiros algoritmos ou módulos do modelo (balanço de água no solo e evapotranspiração) ocorrem em cada bloco de cada mini bacia, enquanto o terceiro módulo (escoamento na célula) é o processo horizontal de fluxo no interior da mini bacia até a rede de drenagem e o quarto módulo é o processo horizontal de fluxo ao longo da rede de drenagem (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

O balanço de água no solo é realizado utilizando um método baseado na geração de escoamento superficial por excesso de capacidade de armazenamento, porém com uma relação probabilística entre a umidade do solo e a fração de área de solo saturada, onde a infiltração é nula (FAN, 2011). Este processo é representado no modelo pela seguinte equação (COLLISCHONN, 2001):

$$(W_{i,j}^t - w_{i,j}^{t-1}) \cdot \Delta t = P_{i,j} - ET_{i,j} - D_{sup_{i,j}} - D_{int_{i,j}} - D_{bas_{i,j}} + D_{cap_{i,j}} \quad (5)$$

Assim, a variação do volume armazenado no solo num intervalo de tempo ( $W_{i,j}^t - W_{i,j}^{t-1}$ ) (mm) é igual à precipitação que chega ao solo  $P_{i,j}$  (mm) menos a evapotranspiração  $ET_{i,j}$  (mm), menos os escoamentos superficiais  $D_{sup_{i,j}}$  (mm), sub-superficial  $D_{int_{i,j}}$  (mm) e subterrâneo  $D_{bas_{i,j}}$  (mm), mais o fluxo ascendente do aquífero ao solo  $D_{cap_{i,j}}$  (mm).

Para simular o processo vertical de evapotranspiração em cada mini bacia, o modelo utiliza o método Penman-Monteith mostrado na equação 6 (SHUTTLEWORTH, 1993). Este está entre os métodos mais utilizados na estimativa da evapotranspiração e é também recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) como método padrão.

$$E = \left( \frac{\Delta \cdot (R_L - G) + \rho_A \cdot C_p \cdot \frac{(e_s - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot \rho_w} \quad (6)$$

Onde:

$E$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ) é a taxa de evaporação da água;

$\lambda$  ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ ) é o calor latente de vaporização;

$\Delta$  ( $\text{KPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) é a taxa de variação da pressão de saturação do vapor;

$R_L$  ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) é a radiação solar líquida de onda longa na superfície;

$G$  ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) é o fluxo de energia para o solo;

$\rho_a$  ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) é a massa específica do ar;

$\rho_w$  ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ) é a massa específica da água;

$C_p$  ( $\text{MJ. Kg}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) é o calor específico do ar úmido ( $C_p = 1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ. Kg}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );

$e_s$  (kPa) é a pressão de saturação do vapor;

$e_d$  (kPa) é a pressão de vapor;

$\gamma$  ( $\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) é a constante psicrométrica ( $\gamma = 0,666$ );

$r_s$  e  $r_a$  ( $\text{s.m}^{-1}$ ) são as resistências superficial e aerodinâmica da vegetação, respectivamente.

O modelo MGB-IPH estima a radiação solar líquida disponível pelo balanço de energia na superfície da terra, que inclui a radiação de ondas curtas, a radiação de ondas longas e o fluxo de calor para o solo. A radiação de ondas curtas incidente sobre a superfície é utilizada como dado de entrada do modelo, a qual geralmente é obtida de forma indireta a partir da insolação (número de horas de sol por dia) em estações meteorológicas (SCHUTTLEWORTH, 1993). Os valores observados nas estações são interpolados com uso do método do vizinho mais próximo (equivalente aos polígonos de Thiessen) para as minibacias e para as URHs. Dessa forma, a radiação de ondas curtas líquida pode ser estimada pela diferença entre a radiação incidente e a refletida, como apresentado a seguir.

$$Rn_{i,j}^{t+1} = R_{i,j}^{t+1} \times (1 - \alpha_{j,m}) \quad (7)$$

Onde:

$R_{i,j}$  é a radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera [ $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ];

$\alpha_{j,m}$  é o albedo correspondente a UHR  $j$  e ao mês  $m$  do ano.

O albedo é o coeficiente de refletividade ou fração de radiação solar ao atingir a superfície do solo ou de um corpo e varia conforme o ângulo de incidência da radiação e características como cor, conteúdo de umidade e rugosidade (CHANG, 2006). O Quadro 1



apresenta os valores médios para o albedo de algumas classes de cobertura e uso do solo, que consiste em um dado de entrada do modelo MGB-IPH.

**Quadro 1.** Valores de albedo médio para algumas classes de cobertura da terra.

Tipo de cobertura		Albedo [ $\alpha$ ]	Fonte
Água		0,08	(Shuttleworth, 1993)
Neve e Gelo		0,20	(Shuttleworth, 1993)
	velho	0,45 – 0,70	(Chang, 2006)
		0,80	(Shuttleworth, 1993)
	novo	0,80 – 0,95	(Chang, 2006)
Florestas	Altas	0,11 – 0,16	(Shuttleworth, 1993)
	Amazônica	0,134	(Culf <i>et al.</i> , 1995)
	Coníferas	0,05 – 0,10	(Chang, 2006)
	Mistas	0,10 – 0,15	(Chang, 2006)
	Temperadas	0,15 – 0,20	(Chang, 2006)
Cultivos Agrícolas		0,15 – 0,25	(Chang, 2006)
	Altos (ex. cana de açúcar)	0,15 – 0,20	(Shuttleworth, 1993)
	Baixos (ex. soja, trigo)	0,20 – 0,26	(Shuttleworth, 1993)
Pastagens ou gramíneas		0,20 – 0,26	(Shuttleworth, 1993)
	Tropicais (Amazônia)	0,18	(Culf <i>et al.</i> , 1995)
	Gramíneas altas	0,15 – 0,20	(Chang, 2006)
	Gramíneas baixas	0,15 – 0,25	(Chang, 2006)
Cerrado brasileiro	Época úmida	0,13	(Miranda <i>et al.</i> , 1996)
	Época seca	0,18	(Miranda <i>et al.</i> , 1996)
Solo	Exposto úmido	0,10	(Shuttleworth, 1993)
	Exposto seco	0,35	(Shuttleworth, 1993)
	Argiloso	0,20 – 0,35	(Chang, 2006)
	Arenoso	0,25 – 0,35	(Chang, 2006)

**Fonte:** Bayer (2014).

Destaca-se que esse método de estimativa da evapotranspiração se fundamenta em uma rede de resistências, superficial e aerodinâmica, onde é assumido que toda energia proveniente do balanço de energia está disponível às plantas para a evapotranspiração (BAYER, 2014).

A resistência superficial ( $r_s$ ) consiste na resistência ao fluxo de umidade do solo para a atmosfera através das plantas. Esse fluxo de vapor é controlado pela abertura e fechamento dos estômatos dos vegetais, ou seja, é uma resistência genuinamente fisiológica (CALDER, 1993). De maneira sucinta, pode-se assumir que o sistema solo-planta-atmosfera é responsável pelo controle da absorção de água no solo através do gradiente de energia, ou gradiente de potencial de água, que é afetado pela pressão parcial de vapor d'água do sistema.

Além disso, a taxa de transpiração ainda é influenciada por outros fatores, como o teor de água no solo e a capacidade deste para conduzir a água para as raízes. O parâmetro resistência superficial varia em uma vasta faixa de valores, pelo fato deste estar associado a fatores fisiológicos, à quantidade de água no solo e às condições ambientais, como disponibilidade de energia, vento, umidade e temperatura do ar, dificultando, portanto, a sua determinação para diferentes usos e coberturas da terra (ALLEN *et al.*, 1998). Alguns valores de resistência superficial mínima, citados na literatura para diversas classes de vegetação, estão expostos no Quadro 2.

**Quadro 2.** Valores de resistência superficial mínima ou em ótimas condições de umidade do solo de diferentes tipos de vegetação adotados ou estimados em trabalhos da literatura.

<b>Tipo de cobertura</b>	<b><math>r_s</math></b>	<b>Fonte</b>
Gramíneas	69 <sup>1</sup>	Shuttleworth (1993)
	40 <sup>1</sup>	Hough e Jones (1997)
	71	Todorovic (1999)
	40 – 80	Hough e Jones (1997)
	100 – 250	Bathurst <i>et al.</i> (2004)
Cultivos agrícolas	40	Hough e Jones (1997)
	70 – 700	Bathurst <i>et al.</i> (2004)
Pastagens	50 – 65	Bathurst <i>et al.</i> (2011)
Florestas	100 – 250	Bathurst <i>et al.</i> (2004)
	50 – 100	Bathurst <i>et al.</i> (2011)
	70	Hough e Jones (1997)
	80 – 180	Hough e Jones (1997)
	70 – 160	Hough e Jones (1997)
	125 <sup>2</sup>	Granier <i>et al.</i> (1996)
	111 <sup>3</sup>	Soares e Almeida (2001)
Solo exposto	100	Hough e Jones (1997)

<sup>1</sup> grama idealizada na evapotranspiração de referência; <sup>2</sup> condutância máxima estimada de 0,008 m.s<sup>-1</sup>; <sup>3</sup> condutância máxima estimada de 0.009 m.s<sup>-1</sup>.

De acordo com Shuttleworth (1993), a taxa de transferência de vapor d'água a partir da superfície do solo se dá por difusão turbulenta e é controlada pela resistência aerodinâmica. Essa, por sua vez, é inversamente proporcional à velocidade do vento e varia conforme a altura da vegetação. Bayer (2014) enfatiza que para uma mesma velocidade do vento, a resistência aerodinâmica é menor quando a vegetação tem altura média maior, ou seja, a resistência aerodinâmica de florestas é menor do que a resistência das áreas de pastagem, ou agricultura, em que a altura média da vegetação é menor. Considerando apenas a influência

deste parâmetro, a consequência do desmatamento é uma redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial.

Dessa forma, verifica-se que a altura média da vegetação é um importante parâmetro fixo a ser definido para a calibração do modelo MGB. Os valores adotados por Collischonn (2001) e Collischonn *et al.* (2007) podem ser visualizados no Quadro 3.

**Quadro 3.** Valores da altura da vegetação utilizados pelo modelo MGB – IPH.

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Altura (m)</b>
Floresta	10,0
Floresta amazônica	30,0
Cerrado	5,00
Pastagem amazônica	0,53
Campo, pastagem	0,50
Agricultura	0,50

**Fonte:** Collischonn (2001).

A interceptação é a parcela da chuva precipitada sobre uma área ou bloco que é retida pela vegetação antes de atingir e umedecer o solo, simulada como um reservatório de volume dependente da cobertura do solo, expressa pelo índice de área foliar da vegetação (FAN, 2011). A equação 8 expressa a relação entre a capacidade de interceptação e o índice foliar (IAF) utilizada no modelo.

$$Smax_j = \alpha \cdot IAF_j \quad (8)$$

Onde:

$Smax_j$  (mm) é a capacidade máxima do reservatório de interceptação num intervalo de tempo;

$\alpha$  (mm) é o parâmetro de lâmina de interceptação (comumente  $\alpha = 0,2$ ) e;

$IAF$  ( $m \cdot m^{-1}$ ) é o índice de área foliar do bloco.

Segundo Jonckheere *et al.* (2004), o índice de área foliar está diretamente relacionado com as espécies vegetais e com o seu estágio de desenvolvimento, bem como com as condições que predominam na área, a sazonalidade e a prática de manejo. O Quadro 4 revela o valor de IAF para diferentes classes de cobertura da terra, encontrados na literatura.

**Quadro 4.** Valores de IAF citados na literatura para algumas classes de cobertura da terra.

Tipo de cobertura		IAF	Fonte
Cerrado brasileiro	Estação úmida	1,0	(Miranda <i>et al.</i> , 1996)
	Estação seca	0,4	(Miranda <i>et al.</i> , 1996)
	Cerradão	1,89 – 2,32	(Bitencourt <i>et al.</i> , 2007)
	Campo cerrado	1,15 – 2,32	(Bitencourt <i>et al.</i> , 2007)
Pastagens		0,66 – 2,45	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
		0,40 – 3,90	(Roberts <i>et al.</i> , 1996)
		2,0 ± 0,79	(Zanchi <i>et al.</i> , 2009)
		2,63 ± 0,77	(Caruzzo e Rocha, 2000)
Florestas	Decídua	4,97 ± 1,27	(Caruzzo e Rocha, 2000)
	Conífera	1,7 – 5,3	(Pierce e Running, 1998)
	Eucalipto	1,66 – 3,13	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Mata ciliar	1,71 – 4,9	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Amazônica	4,63 – 6,1	(Roberts <i>et al.</i> , 1996)
		2,97 – 9,6	(Honzak <i>et al.</i> , 1996)
Culturas anuais	Soja irrigada	4,7 – 7,6	(Fontana <i>et al.</i> , 1992)
	Soja não irrigada	2,8 – 6,2	(Fontana <i>et al.</i> , 1992)
	Milho	1,26 – 3,07	(Xavier e Vettorazzi, 2003)
	Trigo	2,83 – 3,39	(Oviedo e Rudorff, 2000)
	Cana de açúcar	0,12 – 3,34	(Xavier e Vettorazzi, 2003)

**Fonte:** Bayer (2014).

O balanço hídrico no reservatório de interceptação é dado pela equação 9:

$$S_{i,j}^t = \min(S_{i,j}^{t-1} + PC_i, Smax_j) \quad (9)$$

$$P_{i,j} = PC_i - (S_{i,j}^t - S_{i,j}^{t-1}) \quad (10)$$

$$S_{i,j}^t = S_{i,j}^{t-1} - EI_{i,j} \quad \text{quando:} \quad EI_{i,j} = \min(S_{i,j}^t, EPI_{i,j}) \quad (11)$$

Sendo:

$S_{i,i}^t$  (mm) a lâmina d'água interceptada ao final do intervalo de tempo no bloco j da célula i;

$S_{i,i}^{t-1}$  (mm) a lâmina d'água interceptada ao início do intervalo de tempo no bloco j da célula i;

$PC_i$  (mm) a precipitação no topo da vegetação em qualquer bloco da célula i;

$P_{i,j}$  (mm) a precipitação que atinge o solo no bloco j da célula i;

$EI_{i,j}$  (mm) a evaporação real da lâmina interceptada;

$EPI_{i,j}$  (mm) a evaporação potencial da lâmina interceptada calculada pela equação de Penman-Monteith com o parâmetro resistência superficial igual a 0. Os índices i e j indicam a célula e bloco, respectivamente.

A propagação de vazão é realizada em duas etapas. Em primeiro lugar é realizada a propagação de vazão no interior da minibacia, utilizando-se modelos de reservatórios lineares simples. Cada minibacia possui três reservatórios lineares que representam a propagação dos escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo. A soma dos valores de saída dos três reservatórios é o escoamento incremental da minibacia que é somado ao escoamento propagado pela rede de drenagem principal e escoado pela minibacia seguinte (MELLER *et al.*, 2012). Na sequência é apresentada a descrição matemática desses processos, utilizada para a modelagem no MGB-IPH.

O escoamento superficial  $Dsup_{i,j}$  é também chamado de rápido ou direto e é gerado após o solo atingir sua capacidade de saturação de umidade pela chuva. Para a sua determinação se utiliza uma relação probabilística entre umidade do solo e fração de área saturada (áreas onde a infiltração é nula), como expresso nas equações abaixo.

$$Dsup_{i,j} = \Delta t \cdot P_{i,j} - (Wm_j - W_{i,j}^{t-1}), \text{ quando } \delta \leq 0 \quad (12)$$

$$Dsup_{i,j} = \Delta t \cdot P_{i,j} - (Wm_j - W_{i,j}^{t-1}) + Wm_j \cdot \left( \left( 1 - \frac{W_{i,j}^{t-1}}{Wm_j} \right)^{\frac{1}{b_j+1}} \frac{\Delta t \cdot P_{i,j}}{Wm_j \cdot (b_j+1)} \right)^{\wedge b_j+1}, \text{ quando } \delta > 0 \quad (13)$$

$$\text{Onde } \delta = \left( \left( 1 - \frac{W_{i,j}^{t-1}}{Wm_j} \right)^{\frac{1}{b_j+1}} \frac{\Delta t \cdot P_{i,j}}{Wm_j \cdot (b_j+1)} \right) \quad (14)$$

Onde:

$Wm_j$  (mm) é o armazenamento máximo na camada superficial do solo do bloco j (parâmetro associado ao bloco);

$b_j$  (-) o parâmetro do modelo associado ao bloco que representa a não uniformidade da capacidade de armazenamento do solo do bloco;

$P_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) a precipitação efetiva (precipitação menos a interceptação ao longo do intervalo de tempo);

$Dsup_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) o escoamento superficial do bloco j da célula i.

A geração do escoamento sub-superficial é obtida por uma relação não linear com o armazenamento de água no solo, semelhante à equação de Brooks e Corey (RAWLS *et al.*, 1993).

$$Dint_{i,j} = kint_j \left( \frac{W_{i,j}^{t-1} - Wz_j}{Wm_j - Wz_j} \right)^{\wedge 3 + \frac{2}{\lambda}} \quad (15)$$

Sendo:

$Dint_{i,j}$  (mm) o volume gerado de escoamento subterrâneo;

$Wz_j$  (mm) o mínimo volume armazenado no solo para haver geração de escoamento sub-superficial;

$Kint_j$  (mm.dia<sup>-1</sup>) o parâmetro de drenagem sub-superficial;

$\lambda$  (adimensional) índice de porosidade do solo (parâmetro).

O escoamento subterrâneo consiste no volume perdido ao aquífero  $Dbas_{i,j}$  (mm) e é representado como função linear do volume armazenado no solo:

$$Dbas_{i,j} = kbas_{i,j} \left( \frac{w_{i,j}^{t-1} - w_{c_j}}{w_{m_j} - w_{c_j}} \right) \quad (16)$$

Onde:

$w_{c_j}$  (mm) o limite mínimo a partir do qual não ocorre percolação;

$kbas_j$  (mm.dia<sup>-1</sup>) o parâmetro que define a percolação máxima, quando o solo está saturado.

Cabe destacar que o modelo também representa o movimento de fluxo ascendente  $Dcap_{i,j}$  (mm), que ocorre quando o armazenamento do solo é baixo, podendo assim, ocorrer a transferência de água do reservatório subterrâneo para a camada de solo, possibilitando ao modelo simular situações em que as águas subterrâneas voltem a ser disponibilizadas para a evapotranspiração. Isto pode ocorrer no caso de regiões de fontes, matas ciliares e das veredas do cerrado. Esse fluxo é expresso pela equação 17.

$$Dcap_{i,j} = DMcap_j \left( \frac{w_{c_j} - w_{i,j}^{t-1}}{w_{c_j}} \right) \quad (17)$$

Sendo:

$Dcap_{i,j}$  (mm.dia<sup>-1</sup>) o fluxo de retorno para o solo;

$w_{c_j}$  (mm) o limite de armazenamento para haver fluxo ascendente ou descendente (parâmetro do modelo);

$DMcap_j$  o máximo fluxo de retorno para o solo.

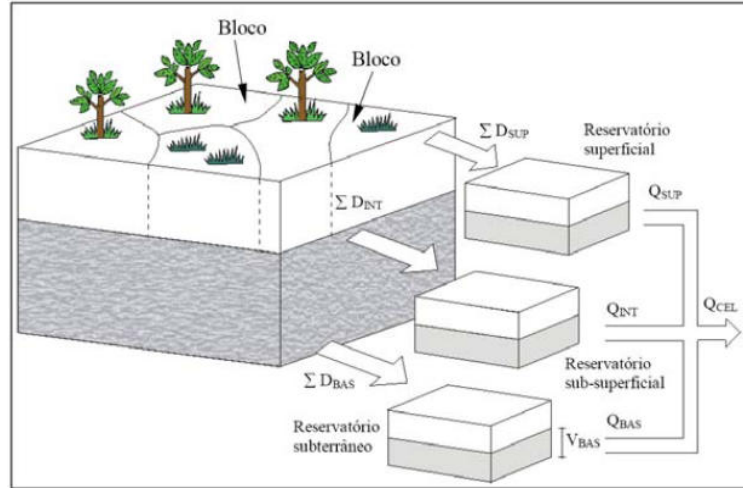
No que tange ao escoamento nas células, a água escoar através do solo e do aquífero sofrendo retardo e amortecimento no interior da célula até chegar à rede de drenagem. Esses efeitos são representados no modelo pela passagem do escoamento por reservatórios lineares, conforme demonstra a Figura 1. Os volumes gerados em cada bloco são armazenados nos respectivos reservatórios, de acordo com as equações 18 a 20.

$$Vsup_i = Vsup_i^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j Dsup_{i,j} \quad (18)$$

$$Vint_i = Vint_i^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j Dint_{i,j} \quad (19)$$

$$Vbas_i = Vbas_i^{t-1} + \Delta t \cdot (\sum_j Dbas_{i,j} - \sum_j Dcap_{i,j}) \quad (20)$$

Sendo:  $Vsup_i$ ,  $Vint_i$  e  $Vbas_i$  os volumes nos reservatórios superficial, sub-superficial e subterrâneo, respectivamente, para cada célula  $i, j$  se refere ao bloco.



**Figura 1.** Estrutura de cálculo de uma célula em blocos.

**Fonte:** Collischonn (2001).

Cada um dos reservatórios é expresso matematicamente por uma equação de reservatório linear simples, conforme as equações 21 a 23 (TUCCI, 2009).

$$Qsup_i = \frac{1}{TKS_i} \cdot Vsup_i \quad (21)$$

$$Qint_i = \frac{1}{TKI_i} \cdot Vint_i \quad (22)$$

$$Qbas_i = \frac{1}{TKB_i} \cdot Vbas_i \quad (23)$$

O somatório das três vazões -  $Qsup$ ,  $Qint$  e  $Qbas$  - resulta no escoamento da célula, onde  $TKS$ ,  $TKI$  e  $TKB$  (s) representam o tempo de retardo do reservatório superficial, sub-superficial e subterrâneo, respectivamente.

O valor  $TKB$  é obtido pelo emprego das seguintes equações:

$$TKS_i = CS \cdot Tind_i \quad (24)$$

$$TKI_i = CI \cdot Tind_i \quad (25)$$

O valor de  $Tind$  é estimado pela equação de Kirpich. O tempo de retardo do reservatório subterrâneo pode ser estimado por recessões dos hidrogramas em períodos de estiagem, expresso pela equação 26.

$$Qcel_i = Qsup_i + Qint_i + Qbas_i \quad (26)$$

As variáveis  $Wm$ ,  $b$ ,  $Kbas$ ,  $Kint$ ,  $Wc$ ,  $CS$ ,  $CI$ , já citadas e  $XL$ ,  $CAP$ ,  $CB$  e  $QB$  constituem-se nos parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH, isto é, podem ser alterados a cada simulação, de forma a obter o melhor ajuste entre os dados de vazão observados e calculados. Ressalta-se que um parâmetro calibrável associado a um determinado bloco assume esse valor para esse bloco em todas as células da bacia (SILVA, 2014). Na sequência será apresentada uma breve descrição destes parâmetros, conforme Collischonn (2001).

- **$Wm$  (capacidade de armazenamento no solo):** capacidade de absorver a água da chuva, gerando pouco ou nenhum escoamento superficial. Os valores usuais variam de 50 a 1000 mm, sendo maiores para solos mais arenosos;
- **$b$  (forma da relação entre armazenamento e saturação):** parâmetro que controla a separação de escoamento superficial até a saturação da capacidade de armazenamento do solo. Um aumento desse parâmetro faz com que um maior volume de água escoe superficialmente, e menos água infiltre no solo. O valor usual é 0,12 e pode chegar até 1,60. Este parâmetro ajusta os picos de vazão observados e calculados, principalmente durante as pequenas cheias;
- **$Kbas$  (escoamento residual):** parâmetro que controla a vazão durante a estiagem, pois é decorrente do escoamento subterrâneo. Os valores usuais variam entre 0,05 até 5 mm/dia;
- **$Kint$  (drenagem sub-superficial):** parâmetro que controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente. Os valores mais adequados de  $Kint$  giram em torno de 4 a 40 mm/dia;
- **$XL$  (forma da curva de redução da drenagem):** controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo. Os valores giram em torno de 0,67;



- **CAP (fluxo ascendente):** controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo. Geralmente a possibilidade de retorno da água subterrânea para a camada de solo é desprezada, por isso adota-se CAP igual a zero;
- **Wc (armazenamento residual):** esse parâmetro limita o escoamento sub-superficial e o escoamento subterrâneo, sendo pouco sensível em uma faixa razoável de valores e, em geral, é fixado em 10% da capacidade de armazenamento no solo ( $W_m$ );
- **CS:** parâmetro para calibração da propagação superficial nas células;
- **CI:** parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas minibacias;
- **CB:** parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo. Seu valor varia de normalmente entre 1200 a 8000 horas;
- **QB:** representa o fluxo de base da bacia. Os valores variam em torno de 0.01.

Por fim, o modelo estima a propagação na rede de drenagem utilizando o método de Muskingum Cunge. As vazões nos trechos de rio de cada célula são discretizadas em sub-trechos conforme critério de precisão numérica. O intervalo de tempo utilizado no modelo MGB-IPH é subdividido em intervalos menores durante a propagação na rede de drenagem, considerando o intervalo de tempo ideal para a propagação apresentar precisão no tempo de viagem e no amortecimento do hidrograma, conforme descrito em Tucci (2009).

Os parâmetros do modelo Muskingum Cunge são calculados com base nos dados de comprimento, rugosidade e largura média dos trechos de rio. A propagação é realizada em cada célula que tem pelo menos uma célula localizada a montante. Cada célula recebe como condição de contorno a vazão de saída das células localizadas imediatamente a montante à vazão de saída dos reservatórios lineares simples da própria célula. A vazão de saída é passada como informação de entrada para a célula seguinte.

A calibração do modelo é realizada em três etapas. Na primeira os valores dos parâmetros são definidos com base em características dos solos e vegetação, bem como em dados provenientes de aplicações anteriores em bacias semelhantes. Na segunda etapa, a calibração é realizada de forma manual, por tentativa e erro, em que os valores dos parâmetros são alterados manualmente, procurando uma boa representação dos hidrogramas em locais onde existem dados de vazão observados. Na terceira etapa é empregado um método de calibração automática multi-objeto, denominado MOCOM-UA (YAPO *et al.*, 1998).

A avaliação das incertezas referentes aos parâmetros calibrados é analisada por meio do Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe que, segundo Machado *et al.* (2003), é um dos critérios estatísticos para avaliar a precisão dos modelos hidrológicos. O coeficiente é dado pela Equação 27:

$$NS = 1 - \frac{\sum((Q_{obs} - Q_{est})^2)}{\sum((Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2)} \quad (27)$$

Onde:

$Q_{obs}$  corresponde à vazão observada;

$Q_{est}$  a vazão estimada e;

$\bar{Q}_{obs}$  a vazão observada média.

O coeficiente  $NS$  pode variar de infinito negativo até 1, sendo 1 referente ao ajuste perfeito entre vazões calculadas e observadas. O valor de  $NS$  é intensamente influenciado por erros nas vazões máximas, razão por que, quando  $NS$  é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de  $NS$  for superior a 0,75, e é considerado aceitável se o valor de  $NS$  estiver na faixa de 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

Outros testes estatísticos utilizados para avaliar a precisão da calibração do modelo são o Coeficiente de Nash-Sutcliffe para logaritmos ( $NS_{log}$ ) e a Relação entre volumes medidos e calculados ( $\Delta V$ ), dados pelas Equações 28 e 29, respectivamente.

$$NS_{log} = 1 - \frac{\sum((\ln Q_{obs} - \ln Q_{est})^2)}{\sum((\ln Q_{obs} - \ln \bar{Q}_{obs})^2)} \quad (28)$$

$$\Delta V = \frac{\sum(Q_{est}) - \sum(Q_{obs})}{\sum(Q_{obs})} \quad (29)$$

O coeficiente  $NS_{log}$  varia de 0 a 1, sendo que quanto maior, melhor será o resultado da simulação e é fortemente influenciado pelas vazões mínimas. O erro no volume ( $\Delta V$ ) não tem valor máximo nem mínimo determinado e não é influenciado por períodos de cheias ou de estiagens, apenas expressa a diferença relativa entre a soma de todas as vazões, calculadas e observadas, seu resultado expressa se as perdas de água por evapotranspiração estão sendo calculadas (COLLISCHONN, 2001; RIBEIRO NETO, 2006).

Collischonn (2006) destaca que o modelo MGB-IPH já foi aplicado com sucesso em várias bacias brasileiras com diferentes características, dentre elas: Bacia do rio São Francisco (SILVA, 2005); Bacia afluyente ao reservatório de Corumbá; Bacia do rio Paranaíba (ONS,

2005a); Bacia do rio Grande; Bacia incremental Itaipu (ONS, 2005b); Bacia do rio Uruguai (COLLISCHONN *et al.*, 2005); Bacia do rio Taquari-Antas (COLLISCHONN, 2001); Bacia dos rio Sinos, Bacia do Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2005); Bacia do rio Madeira (RIBEIRO NETO, 2005); Bacia do rio Tapajós; entre outras.

### **3.4 Gestão de Recursos Hídricos**

O uso da água pode gerar conflitos entre usuários, já que sua qualidade e disponibilidade podem ser limitantes ao desenvolvimento das atividades humanas em determinada bacia hidrográfica. Assim, a gestão de recursos hídricos busca a conciliação entre os possíveis usos da água. Como destacado por Lanna (1999), essa gestão diz respeito à formulação de princípios e diretrizes, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões com os objetivos de promover o uso, controle e proteção dos recursos hídricos.

No Brasil, a gestão de recursos hídricos começou a tomar corpo somente a partir do século XX, quando a demanda do setor elétrico impulsionou a publicação do Decreto nº 24.643 em 10 de julho de 1934, denominado Código das Águas, fato este que marcou o surgimento do modelo burocrático de gestão (CEDRAZ, 2000).

Na visão de Cedraz (2000) o Código das Águas embora de 1934, já incorporava quase todos os dispositivos hoje contidos nas leis mais modernas, embora privilegiasse o setor de geração de energia e a navegação. Nesse são expressas as figuras da outorga e a maioria dos condicionantes para a sua emissão, bem como a indicação para a cobrança pelo uso do domínio público hidráulico, como instrumento de gestão. Todavia, Lanna (1999) afirma que o ator central desse modelo de gestão foi o administrador público, que teve a racionalidade e a hierarquização como referências para o cumprimento da lei e, no período em que vigorou, apresentou sérias anomalias, tais como: a visão fragmentada do processo de gerenciamento dos recursos hídricos, o poder decisório centralizado nos altos escalões do governo, a padronização do atendimento das demandas e o desinteresse para com o ambiente externo ao sistema de gerenciamento, além da priorização das demandas de um único setor, o elétrico.

Dessa forma, em função das mudanças políticas, econômicas e sociais que transcorreram no país, o modo de gestão foi se transformando, ganhando novas formas para corrigir suas anomalias e se ajustar às novas demandas da sociedade (LANNA, 1999). Tucci *et al.* (2001) afirma que a promulgação da Constituição Federal de 1988 ocasionou um novo

rumo para a gestão da água, pois delegou competência à União para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH e repartiu o domínio das águas entre a União, os Estados e o Distrito Federal, por extensão, findando-se o conceito de águas comuns, particulares e municipais até então vigentes. A partir desse marco legal, ocorreu uma intensa reformulação das legislações estaduais e federal de recursos hídricos, tendo resultado na publicação, em 1997, da Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (RAMOS, 2007).

Esse instrumento jurídico é produto de um longo processo de amadurecimento na gestão das águas no Brasil e forneceu os princípios da participação, integração e descentralização, rompendo com as perspectivas setorialista e utilitarista amparadas pelo Código das Águas de 1934 e, se fundamenta no conceito da água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, além de estabelecer a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão para implementação da PNRH e atuação do SINGREH (GARCIA e FELICIDADE, 2003; GARCIA JR, 2007; SANTOS e GUSMÃO, 2013).

Garcia e Felicidade (2003) destacam que a PNRH inovou ao garantir a abertura do processo decisório para a participação dos diferentes agentes interessados no espaço criado pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH), com o chamamento à participação do setor público, dos usuários e da comunidade com vistas a estabelecer prioridades e tomar decisões para uma gestão integrada dos recursos hídricos. Outra importante abordagem definida na PNRH diz respeito às preocupações sobre disponibilidade e qualidade da água, visando assegurar o acesso e usos múltiplos dos recursos hídricos, por meio da criação de instrumentos de gestão (CAROLO, 2007; SANTOS e GUSMÃO, 2013).

Tais instrumentos são:

a) Plano de Recursos Hídricos que, segundo os artigos 6º e 7º da lei, são diretores e de longo prazo e visam fundamentar e orientar a implementação da PNRH e estabelecer os objetivos, as metas, as prioridades de ação e de investimento para o gerenciamento dos recursos hídricos, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos;

b) a Outorga de Direito de Usos das Águas, que tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos;

c) a Cobrança pelo uso da água, que visa estimular o uso racional da água, imputando um valor econômico ao recurso, com vistas a gerar arrecadação financeira local a ser investida na preservação e recuperação dos mananciais das bacias, baseando-se nos princípios usuário/poluidor-pagador;

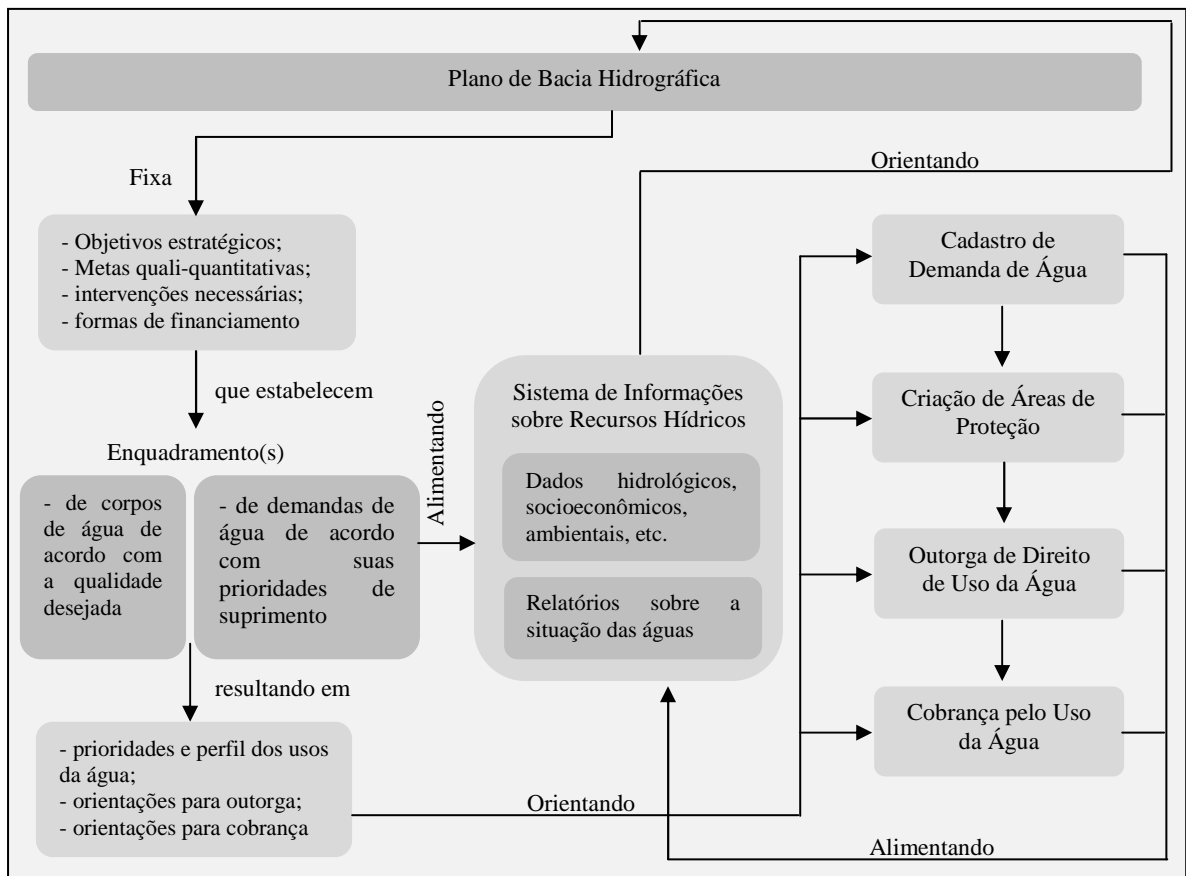
d) o Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, que estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo. Mais do que uma simples classificação, o enquadramento deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve tomar como base os níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade e não apenas a condição atual do corpo d'água em questão;

e) Sistema de Informação sobre Recursos Hídricos - SNIRH, que é um sistema de coleta, tratamento e armazenamento e recuperação de dados e fatores intervenientes para a gestão dos recursos hídricos. Tem por objetivo reunir, consistir e divulgar dados atualizados gerados pelos órgãos integrantes do SINGREH sobre a situação dos recursos hídricos no país, subsidiando a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997; SANTIN e GOELLNER, 2013; RODRIGUES, 2013).

Esses instrumentos são complementares entre si, estão interligados, e ao mesmo tempo são interdependentes, por este motivo somente se atingirá uma verdadeira gestão e um gerenciamento eficaz dos recursos hídricos no país quando todos forem implantados nas bacias hidrográficas (MEIER e FOLETO, 2013). Essa inter-relação pode ser observada no Quadro 5.

Devido às peculiaridades do domínio das águas previstas na Constituição Federal, foi preciso implantar organismos intergovernamentais para sua gestão, que podem ser colegiados ou não. Dentre os órgãos colegiados instituídos pela PNRH estão: o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e os Comitês de Bacia Hidrográfica; que são praticamente, em sua totalidade, plurigovernamentais e contam com a participação das várias esferas de governo e da sociedade civil (POMPEU, 2003). No âmbito dos órgãos não colegiados pode-se destacar a Agência Nacional de Águas – ANA e os respectivos órgãos gestores estaduais.

**Quadro 5. Instrumentos da PNRH e suas inter-relações.**



**Fonte:** GeoBrasil (2007, p. 188).

Para coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e implementar a PNRH, o Governo Federal criou, por meio da Lei Federal nº 9.984 de 17 de julho de 2000, a Agência Nacional de Águas – ANA, estabelecendo regras para a sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos. Essa autarquia vinculada ao Ministério do Meio Ambiente também se torna responsável pela gestão financeira da cobrança pelo uso da água (SOUZA, 1997).

A implantação do gerenciamento dos recursos hídricos deve ser um processo progressivo, gradual, em consonância com as peculiaridades e condições de cada região e bacia hidrográfica (ALMEIDA, 2003).

### 3.5 Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos

Um dos instrumentos de gestão definidos na Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei Federal nº 9.433/97 é a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, que pode ser

definida como uma autorização concedida pelo poder público, que faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo (FARIAS, 2008; LEAL, 1997). Para Granziera (2006) a outorga “*é um instrumento pelo qual o Poder Público atribui ao interessado, o direito de utilizar privativamente o recurso hídrico. Assim como a cobrança, é um mecanismo de controle do uso da água, porém, ao contrário dessa, a outorga exerce o controle direto*”.

Farias (2008) e Gonçalves (2012) afirmam que a outorga tem por objetivo garantir a distribuição quantitativa, qualitativa e o acesso equitativo ao recurso hídrico, o que garante tecnicamente o uso integrado e múltiplo da água. Devido essas características é considerado o instrumento de maior importância para a viabilização dos fundamentos e dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Deve-se observar que a outorga é um instrumento articulado com o Plano de Recursos Hídricos, o Enquadramento e a Cobrança pelo Uso da Água, uma vez que os critérios de alocação de água serão definidos pelo Plano, esses critérios deverão respeitar as metas de qualidade do Enquadramento e, ainda, deverão determinar os quantitativos a serem arrecadados pela Cobrança (ALMEIDA, 2003; SILVA e MONTEIRO, 2004).

De acordo com Farias (2008) estão sujeitas à outorga de direito de uso dos recursos hídricos as atividades que utilizam diretamente a água doce, ou que alteram ou podem alterar a qualidade desse recurso. Ou seja, outorga-se tanto o uso e a poluição causada quanto a simples possibilidade de se causar poluição hídrica. Na verdade, qualquer intervenção não insignificante em um corpo hídrico, o que compreende inclusive as águas subterrâneas, deve necessariamente se submeter a esse mecanismo.

O Poder Público pode dispensar a solicitação de outorga nas seguintes situações citadas no § 1º do art. 12 da Lei 9.433/97 “I – o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; II – as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; III – as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes”. É claro que a identificação do que é uso insignificante somente pode ser feita de acordo com a realidade de cada bacia hidrográfica, tendo em vista a existência das variadas realidades hídricas do país. Por isso, o inciso XXIX do art. 2º da Instrução Normativa nº 4/2000 do Ministério do Meio Ambiente determina que essa definição deve ser feita pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, podendo constar também no Plano de Recursos Hídricos (GRANZIERA, 2001).

Como visto, no art. 12, §1º, foi estabelecido que os usos insignificantes são dispensados de outorga, todavia há a responsabilidade de computá-las e quantificá-las nos balanços quali-quantitativos, uma vez que um conjunto de usos insignificantes pode tornar-se significativo. É importante frisar que os usos considerados insignificantes são dispensados da outorga e que isso também os dispensa da cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A leitura do art. 20 da Lei 9.433/97 permite essa conclusão: “art. 20. Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga...” (SILVA e MONTEIRO, 2004).

O poder público pode facultar o direito de uso da água sob o cumprimento de critérios preestabelecidos, podendo ainda revogar a emissão, caso esses critérios não sejam cumpridos pelo outorgado, ou em caso de interesse público, por necessidade de atendimento a situações ocasionadas por condições climáticas adversas, entre outros casos definidos pela própria Lei nº. 9.433/97 (CAROLO, 2007). A Resolução CNRH nº 16, de 2001 estabelece ainda que a suspensão da outorga também pode ocorrer no caso de indeferimento ou cassação da licença ambiental (GONÇALVES *et al.*, 2012). O prazo de vigência da outorga não pode exceder a 35 anos, renovável mediante a solicitação do outorgante e ao critério do Poder Concedente (CAROLO, 2007).

A competência para a emissão dos atos de outorga obedece a dominialidade constitucionalmente estabelecida, assim, a outorga das águas superficiais é de competência da União, dos Estados e do Distrito Federal, e, a das águas subterrâneas, dos Estados e do Distrito Federal. Quanto às águas minerais, a competência é atribuída ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

O Poder Executivo Federal pode delegar aos Estados e ao Distrito Federal a competência para conceder outorga de recursos hídricos de domínio da União. A delegação ou transferência do poder de outorga está condicionada à verificação da existência, nos Estados e no Distrito Federal, das condições administrativas para a perfeita execução da tarefa delegada. A delegação não constitui um direito a ser reclamado pela unidade federada, muito menos, pode ser imposta pela União. Por questão de prudência e eficácia no controle da outorga, a União deve conservar esse poder quando houver conflito de usos em um rio federal que banha dois ou mais Estados. A delegação da outorga não exime a União da corresponsabilidade pela implementação das regras da outorga, pois a responsabilidade pelo bom uso dos rios federais é originária (ALMEIDA, 2003).



Para que uma solicitação de outorga seja avaliada a contento, os órgãos outorgantes devem proceder basicamente a três análises: técnica (viabilidade do empreendimento), hidrológica (quantidade e qualidade da água do corpo hídrico) e jurídica (preenchimento dos requisitos legais impostos). Essas análises devem ser criteriosas para que os pedidos deferidos não inviabilizem a qualidade ambiental do corpo d' água, que necessita de certa reserva hídrica (saldo hídrico) para se adequar às exigências e emergências ambientais (ALMEIDA, 2003).

Na visão de Carolo (2007) e Gonçalves *et al.* (2012) a avaliação das solicitações de outorga deve levar em conta, primeiramente, as classes de enquadramento; a disponibilidade hídrica em termos quantitativos e qualitativos; as prioridades de uso estabelecidas nos planos de bacias; bem como a preservação do uso múltiplo dos recursos hídricos. Posteriormente, devem ser aplicados os critérios do uso racional da água e a verificação da existência de conflitos pelo seu uso (FERNANDES *et al.*, 2007). Assim, para esta avaliação é essencial a utilização de modelos de suporte à decisão (GONÇALVES *et al.*, 2012).

Em atendimento ao previsto na Resolução CNRH nº 16, a autoridade outorgante manterá cadastro dos usuários de recursos hídricos contendo, para cada corpo d' água, no mínimo (GONÇALVES *et al.*, 2012):

- Registro das outorgas emitidas e dos usos que independem de outorga;
- Vazão máxima instantânea e volume diário outorgado no corpo de água e em todos os corpos de água localizados a montante e a jusante;
- Vazão máxima instantânea e volume diário disponibilizado no corpo de água e nos corpos d' água localizados a montante e a jusante, para atendimento aos usos que independem de outorga;
- Vazão mínima do corpo d' água necessária à prevenção da degradação ambiental, à manutenção dos ecossistemas aquáticos e à manutenção de condições adequadas ao transporte hidroviário, quando couber, dentre outros usos.

Diante do exposto acima, verifica-se a necessidade de expressar a disponibilidade hídrica como uma vazão natural com certa permanência no tempo. Assim, o órgão gestor, notoriamente, deve instituir uma vazão de referência para estabelecer uma vazão outorgável, como um percentual, no qual o órgão estabelece um limite para a apropriação da água (LANNA, 2006).

Destaca-se que a vazão de referência tem sua representação restrita a duas grandes famílias de vazão característica, a saber:  $Q_{7,10}$  e  $Q_{90}$ . A vazão de referência  $Q_{90}$  é entendida como aquela em que 90% do tempo se têm vazões superiores a ela. Já a vazão  $Q_{7,10}$  pode ser definida como a vazão mínima com um período de retorno de 10 anos com duração de 7 dias consecutivos. Usualmente, a vazão  $Q_{7,10}$  é mais restritiva que a  $Q_{90}$  (VON SPERLING, 2005). Ressalta-se que a disponibilidade hídrica em meses do período chuvoso costuma ser maior do que as do período seco, e a vazão característica  $Q_{7,10}$  apresenta dificuldade em representar essa sazonalidade, o que restringe cada vez mais a sua utilização para efeito de alocação, outorga e cobrança. Essas vazões devem ser calculadas a partir de dados fluviométricos históricos do curso d'água (FERNANDES *et al.*, 2007).

Outra vazão característica importante é a de manutenção da biota aquática do rio, denominada vazão ecológica. Uma vez que devam existir, para cada trecho de rio, restrições ambientais e/ou hidráulicas, há que se preservar sempre a existência de certa vazão de restrição,  $Q_{rest}$ , para satisfazer as referidas exigências. Assim sendo, não se pode alocar vazões maiores do que aquela expressa pela diferença entre  $Q_{90}$  e  $Q_{rest}$  (FERNANDES *et al.*, 2007).

### **3.6 A Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Tocantins**

A outorga foi instituída no Estado do Tocantins pela Lei Estadual n° 1.307, de 22 de março de 2002 - Política Estadual de Recursos Hídricos e regulamentada pelo Decreto Estadual n° 2.432, de 06 de junho de 2005, o qual determinou que a gestão e a fiscalização dos recursos hídricos devem ser executadas pelo NATURATINS.

O referido Decreto Estadual n° 2.432/2005 definiu os usos sujeitos à outorga e que independem dessa, os critérios para a emissão de outorga de águas superficiais e subterrâneas, as restrições para o lançamento de efluentes, as obrigações do outorgado, os procedimentos para a suspensão e revogação e os prazos de vigência do ato administrativo.

O Artigo 2° do referido Decreto condiciona a concessão da outorga a dois parâmetros: disponibilidade hídrica e prioridades expressas no Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e nos Planos de Bacias Hidrográficas – PBHs. O PERH foi elaborado entre os anos de

2008 e 2011 e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 07 de dezembro de 2011, por meio da Resolução CERH n° 27.

No âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica, até o momento foram elaborados apenas seis Planos no Tocantins, são eles: PBH do Entorno do Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães, PBH dos rios Lontra e Corda, PBH dos rios Balsas e São Valério, PBH do Rio Manuel Alves, PBH do Rio Formoso e PBH do Rio Palma. Estes planos abrangem 77.235,97 km<sup>2</sup>, o que representa 27,82% da área do Estado. Todavia, conforme o Artigo 2º, quando da ausência do Plano de Bacia cabe ao NATURATINS definir os critérios e condições de disponibilidade por bacia hidrográfica, podendo, para tanto, solicitar a manifestação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

No Artigo 6º do Decreto 2.432/2005 foi estabelecido que a vazão de referência adotada no Estado é a Q<sub>90</sub>, sendo permitido outorgar até 75% da vazão de referência de um manancial. No Artigo 7º é determinado que “Nenhum usuário, individualmente, receberá autorização acima de 25% da vazão de referência, de um dado manancial, quando a captação for a fio d’água”. Nos casos de mananciais intermitentes, os limites poderão chegar a até 95% dos valores de referência, definidos para cada mês em que haja escoamento nos rios. Para os casos de barramento, a vazão de descarga mínima a ser mantida escoando para a jusante corresponde a 25% da Q<sub>90</sub> para captação a fio d’água. Todavia, com o advento dos planos de bacia, esses valores de referência podem ser modificados, levando em consideração as características e a necessidade de uso de cada bacia hidrográfica.

No Artigo 14º do mesmo Decreto foi definido que as vazões de captação consideradas insignificantes correspondem ao valor máximo de 1 l/s ou 21,6 m<sup>3</sup>/dia. Entretanto, é importante esclarecer que 1 l/s não corresponde ao valor de 21,6 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, o correto seria estabelecer o valor de 0,25 l/s que equivale a 21,6 m<sup>3</sup>/dia, ou limitar a captação ao no máximo a seis horas por dia. Assim sendo, verifica-se que esta discrepância de valores pode gerar conflitos, tendo em vista que o usuário pode requerer a maior vazão e, levando-se em consideração que os cursos hídricos no Estado sofrem uma diminuição da vazão no período de estiagem, o valor determinado como insignificante pode passar a ser significativo dependendo do manancial. Cabe destacar que para os usuários de volumes de água considerados insignificantes o NATURATINS emite uma Declaração de Uso Insignificante e mantém um cadastro desses usuários, devendo exercer o controle e a fiscalização no interesse público, assim como a conciliação de conflitos.

No Artigo 19 foram dispostos de forma sucinta os procedimentos para análise dos requerimentos de outorga de uso da água.

Como descrito no Decreto nº 2.432/2005, a outorga pode ser concedida com prazo de até 35 anos de vigência, limitando-se, quando for o caso, ao período coincidente à validade da concessão dos serviços públicos de abastecimento de água e de geração de energia elétrica (Art. 4º, inciso I). Essa ação é importante, já que leva em consideração o período de retorno do investimento. Para os demais casos, a outorga possuirá período de vigência de até 5 anos, sendo renovável por igual período, consecutivamente, desde que atendidas as exigências legais e regulamentares vigentes, observada a conveniência administrativa.

Apesar de estar expresso nos artigos 3º e 15, respectivamente, que as Portarias de Outorga e as Declarações de Uso Insignificante serão publicadas no Diário Oficial do Estado, o NATURATINS ainda não tornou esse procedimento padrão.

No ano de 2008, o órgão gestor dos recursos hídricos estaduais publicou 02 portarias (Portaria/NATURATINS nº. 904 de 06 de agosto, alterada pela Portaria/NATURATINS nº 1.016, de 11 de agosto) que estabeleceram os procedimentos técnicos e administrativos para emissão da Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica – DRDH para uso de potencial de energia hidráulica para aproveitamentos hidrelétricos em rios de domínio do Estado. Troncoso *et al.* (2009) verificou que estas Portarias/NATURATINS inovaram e causaram conflito de exigências entre a instituição de controle ambiental (NATURATINS) e a de controle dos potenciais de geração de energia (ANEEL) no que tange aos procedimentos para a concessão da DRDH e sua interface com o licenciamento ambiental. Uma terceira portaria (Portaria/NATURATINS nº 286) foi publicada em 27 de março do mesmo ano e definiu procedimentos para emissão da Outorga Prévia da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos.

Apesar de constar no Artigo 21 do Decreto nº 2.432 que é obrigação do outorgado instalar, manter e operar: a) dispositivos e obras hidráulicas de modo a preservar as vazões e as condições de escoamento; b) estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, encaminhando ao NATURATINS os dados medidos e os resultados de análises laboratoriais, em 2012 foi publicada a Portaria/NATURATINS nº 334, de 11 de julho, a qual tratou exclusivamente deste tema, sendo considerado um importante marco para o controle das outorgas estaduais. Esta estabeleceu critérios para a medição do volume de água captado em corpos de água de domínio do Estado, onde os usuários outorgados ficaram

sujeitos a instalar, operar e manter o seu respectivo sistema de medição e, transmitir ao NATURATINS, por meio de Declaração Semestral de Uso de Recursos Hídricos, a relação de volumes medidos a cada mês, conforme modelo anexo à portaria. Todavia, apesar da relevância dessa iniciativa o órgão gestor ainda não está exigindo dos usuários a implementação do disposto nessa portaria.

No que tange à análise das solicitações de Outorga, o setor do NATURATINS responsável por esta tarefa adotou o método descrito por Pereirá Pessoa *et al.* (2012), denominado regionalização de vazões, para quantificar a disponibilidade hídrica de um manancial. Este determina a disponibilidade pela extrapolação de dados da estação fluviométrica mais próxima ao corpo hídrico, permitindo assim, que os dados obtidos sejam empregados para se estimar vazões características em locais não medidos (NAGHETTINI, 2004). A adoção desse método ocorreu em função da inexistência de registros fluviométricos nas seções fluviais da maioria dos cursos hídricos do Estado, o que impede a estimativa das vazões mínimas de referência pelos métodos tradicionais. Todavia, para a eficiência do método de regionalização é necessário uma complexa rede de estações fluviométricas operando e repassando as informações para serem tratadas e utilizadas.

No Estado do Tocantins existem 214 estações fluviométricas instaladas, das quais nem todas estão em funcionamento, por isso somente as 58 estações operadas pela ANA são utilizadas nas análises de outorga do órgão ambiental, quantidade insuficiente que pode comprometer a aplicação do método de regionalização de vazões.

Para auxiliar os técnicos durante as análises, um Sistema de Suporte à Decisão para outorga que consiste em um sistema computacional constituído por bases de dados e modelos matemáticos é fundamental para dinamizar a análise dos pedidos de outorga, diminuindo o risco de erros e padronizando os procedimentos, dando o suporte necessário para a tomada de decisões (PEREIRÁ PESSOA *et al.*, 2012). No Estado do Tocantins o SAD-Outorga, sistema já elaborado, ainda não foi implementado. Assim, as análises realizadas pelos técnicos do NATURATINS consistem na avaliação de mapas, relatórios e a utilização de planilhas de cálculo de forma não integrada.

### 3.7 Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga

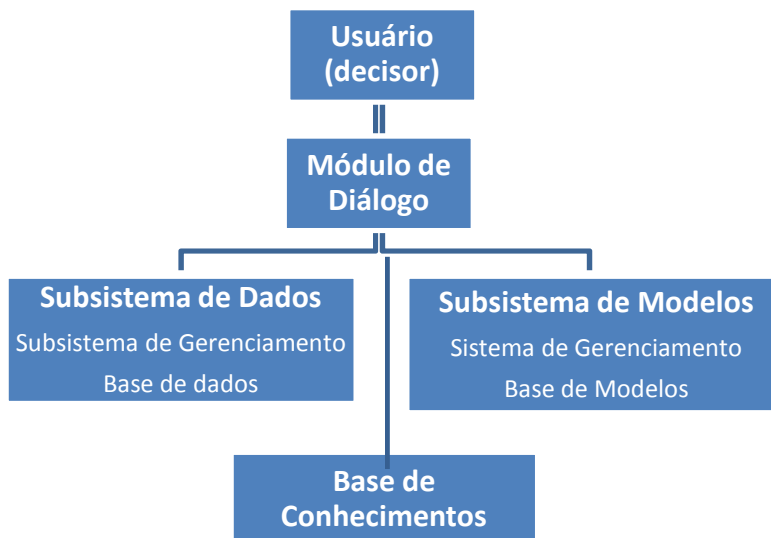
Para que os objetivos da outorga de direito de recursos hídricos sejam alcançados, são definidas, por meio de atos administrativos do órgão gestor de recursos hídricos, condições específicas para as captações de água e para os lançamentos de efluentes. Para tanto, a viabilização deste instrumento envolve a realização de uma série de análises técnicas relativamente aprofundadas, que abordam a eficiência na utilização de água por cada setor usuário e a capacidade do corpo hídrico de atender à demanda solicitada (captação ou lançamento), considerando os demais usos já existentes, a classe de enquadramento do corpo d'água e a hidrologia local (COLLISCHONN e LOPES, 2009).

Esse quadro já torna complexa a implantação e administração do instrumento. Todavia, a falta de informações confiáveis, tanto no âmbito da análise e monitoramento da disponibilidade hídrica, em seus aspectos quantitativo e qualitativo, quanto para conhecimento e gerenciamento da demanda, adicionam mais complexidade a estas tarefas. Nessa conjuntura, emergem a importância e a utilidade dos Sistemas de Suporte à Decisão - SSD (PORTO e AZEVEDO, 1997).

Os SSD nada mais são que sistemas computacionais constituídos por bases de dados e modelos matemáticos que, interagindo entre si, por meio de uma interface gráfica, auxilia indivíduos que tomam decisões no processo de busca, análise e seleção de alternativas para solução de seus problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Problemas não estruturados são aqueles para os quais não há soluções por algoritmos definidos, e em função disso não são facilmente tratáveis por computador. Em consequência, a solução desses problemas demanda uma estreita interação entre homem e máquina, fato que constitui uma das principais características de um SSD. O conceito de suporte (no sentido de ajuda, ou apoio) é essencial na definição acima, isto é, o computador deve estar à disposição do tomador de decisões, para que ele possa dispor de dados, identificar e formular problemas, conceber e analisar alternativas e assim escolher o melhor curso de ação (PORTO e AZEVEDO, 1997). Portanto, o uso de um SSD se constitui em uma alternativa interessante para agilizar o processo de análise de pedidos de outorga (PEREIRÁ PESSOA, 2010).

Azevedo *et al.* (2003) relatam que os SSD's são constituídos por quatro componentes básicos: módulo de diálogo (interação homem-máquina), subsistema de dados (aquisição, gerenciamento e processamento dos dados), subsistema de modelos (contém os modelos utilizados no sistema para análise e predição do problema) e base de conhecimentos

(experiência de especialistas, permitindo a incorporação de dados que não são passíveis de tratamento pelos módulos anteriores). A estrutura típica de um SSD é mostrada na Figura 2.



**Figura 2.** Componentes básicos de um SSD.

Pereirá Pessoa (2010) relata que um SSD para a outorga deveria manter uma base de dados sobre a hidrografia de uma bacia e sobre a disponibilidade hídrica em todos os pontos desta, bem como possuir modelos que representam a interação entre os diversos usuários, de forma a representar qual o impacto da retirada de água do usuário A sobre a disponibilidade de água para o usuário B. A base de conhecimentos incluiria, além dos conhecimentos dos especialistas, certas regras que dependeriam da legislação de outorga válida na área de estudo, permitindo verificar o máximo valor outorgável para um usuário individual e para todos os usuários coletivamente. Por fim, o módulo de diálogo ideal seria aquele que permitisse a visualização do sistema analisado na forma de mapas.

Azevedo *et al.* (2003) enfatizam que a utilização prática de SSDs para outorga, no Brasil, ainda é limitada. Todavia, três sistemas têm sido aplicados no Brasil, são eles: o Sistema de Controle de Balanço Hídrico para a Bacia do Rio São Francisco, proposto por Collischonn e Lopes (2008) e utilizado pela ANA, o qual vem sendo aplicado com sucesso em outras bacias como a do rio Paraná e rio Grande (COLLISCHONN e LOPES, 2009); o “SSD RB” – Sistema de Suporte à Decisão para a Gestão Quali-Quantitativa dos Processos de Outorga e Cobrança pelo uso da Água desenvolvido por Rodrigues (2005), como Tese de Doutorado na USP, que tem sido usado nas bacias dos rios Jundiá e Paraíba do Sul e; o

“SAD-IPH” - Sistema de Apoio à Decisão para gerenciamento de bacias hidrográficas, desenvolvido pelo IPH-UFRGS. A grande vantagem do SAD-IPH com relação a outros SSDs constitui-se no fato do mesmo poder se conectar diretamente a um banco de dados geoespacial, podendo ser flexível para qualquer bacia hidrográfica (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

### **3.8 O Sistema de Suporte à Decisão SAD - IPH**

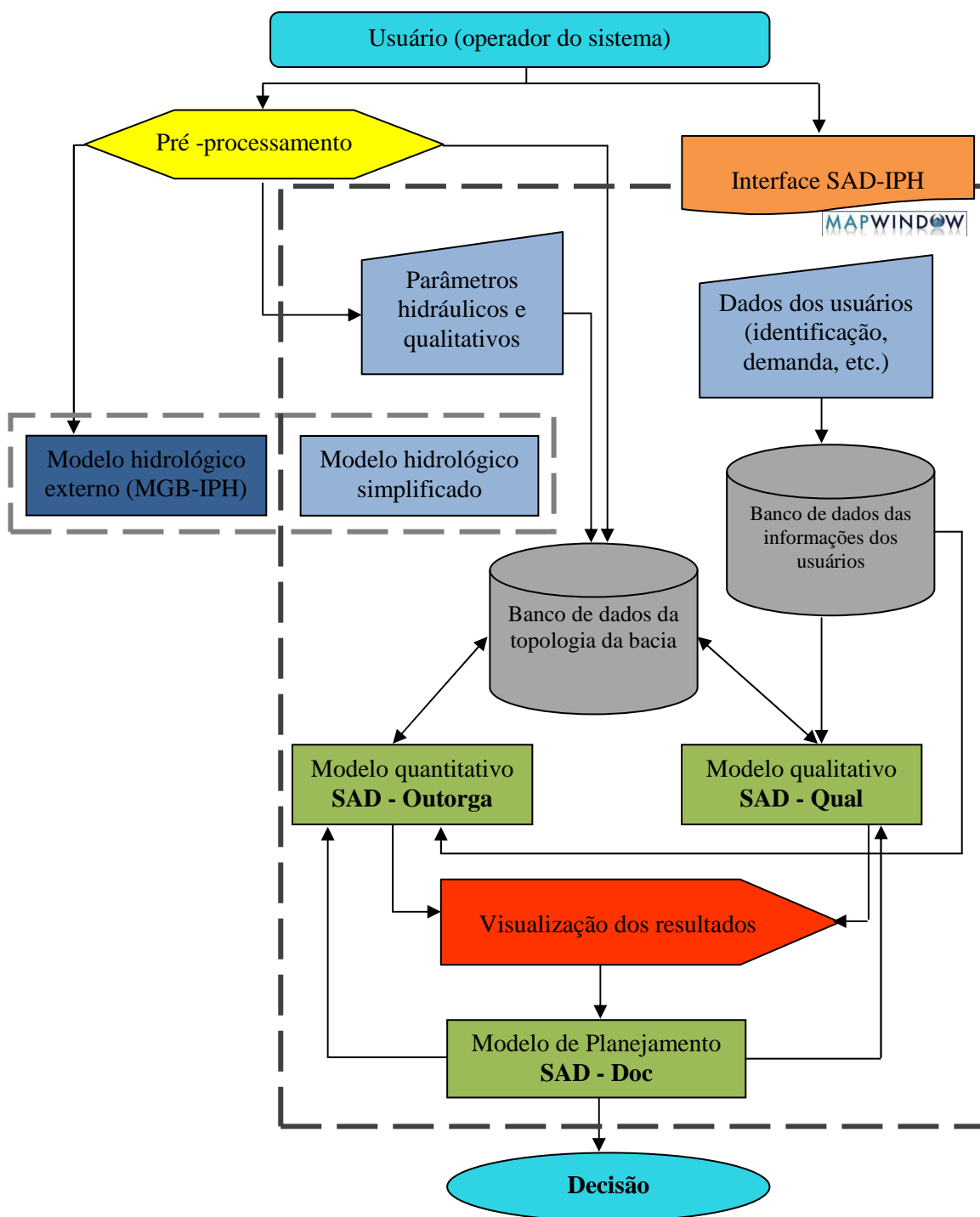
O SAD-IPH visa à integração de SSDs com modelos hidrológicos e SIG, cuja base é o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) (KAYSER, 2011). Sua concepção foi baseada no modelo de SSD proposto por Porto *et al.* (1997). A Figura 3 demonstra o funcionamento do SAD-IPH.

A linha tracejada indica as operações que são executadas no próprio sistema. A etapa de pré-processamento é responsável pela geração do banco de dados da bacia hidrográfica. Os dados dos usuários são inseridos através da interface do sistema, onde é criado um banco de dados específico para eles (SILVA, 2014).

A aplicação do SAD-IPH envolve as seguintes etapas:

- Pré-processamento ou discretização da bacia;
- Definição dos atributos de disponibilidade de água para cada trecho de rio;
- Definição de parâmetros gerais de simulação;
- Introdução de demandas consuntivas e lançamentos de efluentes;
- Cálculo das condições de quantidade e qualidade em cada trecho de rio;
- Análise e visualização dos resultados.





**Figura 3.** Esquema de funcionamento do SAD-IPH. Fonte: Kayser (2011).

Na etapa de pré-processamento ou discretização da bacia, tem-se como produto final um arquivo vetorial denominado rede de drenagem, que representa a drenagem de uma bacia graficamente segmentada em vários trechos individuais conectados em confluências. Cada

trecho de drenagem possui um conjunto de atributos, que são as variáveis que caracterizam o trecho (PEREIRÁ PESSOA, 2010; SILVA, 2014).

A definição dos valores da maior parte dos atributos dos trechos de rio da rede de drenagem é realizada utilizando o ArcHydro, que também é utilizado para realizar parte do pré-processamento dos dados para a aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH. As informações obtidas nesta fase são: direções de escoamento; área de drenagem; rede de drenagem; definição de trechos de rios; comprimento de cada trecho de rio; comprimento e largura do rio principal; declividade e definição das sub-bacias. Todas as informações geradas nessa etapa formam um arquivo vetorial que contém uma tabela de atributos que se constitui no banco de dados da bacia hidrográfica, onde os dados são lidos e armazenados (PEREIRÁ PESSOA, 2010; SILVA, 2014).

O comprimento do rio principal que atravessa uma minibacia é uma informação utilizada no SAD-IPH para calcular o decaimento e as transformações dos poluentes ao longo de um trecho de rio. A declividade também é importante para calcular a velocidade da água em um trecho de rio e para estimar os coeficientes de reoxigenação (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

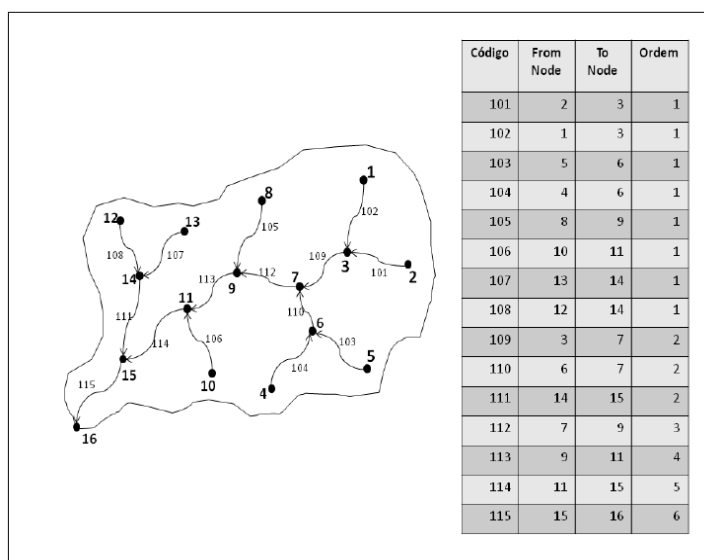
O Quadro 6 apresenta todos os atributos que um trecho de rio deve possuir para que o SAD-IPH seja aplicado.

**Quadro 6.** Atributos da rede de drenagem para aplicação no SAD-IPH.

ATRIBUTO	UNIDADE	MÉTODO DE OBTENÇÃO
HydroID	-	ArcHydro
NextDownID	-	ArcHydro
From_NODE	-	ArcHydro
To_NODE	-	ArcHydro
Ordem	-	SAD-IPH
Área de drenagem	km <sup>2</sup>	ArcHydro
Comprimento	km <sup>2</sup>	ArcHydro
Declividade	m/m	ArcHydro
Largura do rio	m	SAD-IPH
Vazão de disponibilidade	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	Simulação MGB-IPH
Velocidade	m.s <sup>-1</sup>	SAD-IPH
Parâmetros de Qualidade	dia <sup>-1</sup>	SAD-IPH
Demandas acumuladas	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	SAD-IPH
Concentrações dos parâmetros	mg/L	SAD-IPH

**Fonte:** Kayser (2011).

Os quatro primeiros itens do Quadro 6 referem-se aos códigos que estabelecem a estrutura topológica da bacia, resultantes do processamento do MDE. O código indicativo de cada trecho de rio é chamado “HydroID”. Esse código é importante, pois permite o acesso ao banco de dados referente a certo trecho selecionado. O código “NextDownID” refere-se ao “HydroID” do trecho seguinte, sendo essencial para a execução de gráficos, onde se pretende visualizar perfis de vazões e concentrações de uma determinada parte da rede de drenagem. Para cada trecho é informado o nó de onde o trecho de rio provém (FROM\_NODE) e o nó para o qual o trecho de rio segue (TO\_NODE) (SILVA, 2014). Ressalta-se que a atribuição dos códigos é feita de montante para jusante, de modo que os códigos mais altos se situam obrigatoriamente mais a jusante (RIO GRANDE DO SUL, 2011; SILVA, 2014), como denota a Figura 4.



**Figura 4.** Estrutura da rede de drenagem representada no SAD-IPH e tabela correspondente com os atributos topológicos. **Fonte:** Rio Grande do Sul (2011).

Cabe destacar ainda, que além do código, cada trecho de rio recebe um número que identifica a ordem do curso d’água. Não se trata do código de ordem de Strahler ou o de Horton, mas sim um número que identifica se o trecho de rio é de cabeceira (ordem 1) ou se existem outros trechos de rios a montante (ordem 2 ou maior). Esse atributo serve para ordenar o processo de cálculo, que é realizado de montante para jusante (KAYSER, 2011).

Os dados de vazão são obtidos a partir de simulações no modelo hidrológico MGB-IPH por se tratar de uma alternativa mais robusta em relação ao emprego das equações de regionalização, onde são estabelecidas curvas de regressão ou curvas de probabilidade que sejam função da área contribuinte de cada trecho. Como dado de saída, o modelo gera uma

série de vazões para cada segmento da bacia, correspondente ao período dos dados hidrológicos e meteorológicos utilizados. Esses dados são tratados estatisticamente para o estabelecimento de curvas de permanência, e definindo-se uma permanência específica, gera-se então um único valor de vazão para cada trecho da bacia. Esses valores são atributos da rede de drenagem (KAYSER, 2011). A vazão associada a cada trecho pode ser a vazão  $Q_{90}$ , a  $Q_{7,10}$ , ou outra vazão de referência. O programa também permite a definição de uma vazão de referência diferente para cada mês do ano (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

Como já relatado, o SAD-IPH possui dois módulos para a entrada de dados de quantidade e de qualidade referentes a retiradas de água e lançamentos de efluentes. Os dados referentes aos dois módulos são adicionados ao sistema conectando usuários de água aos trechos de rio. Esse processo é realizado por meio da criação de um arquivo vetorial de pontos sobre a rede de drenagem representando estes usuários, e posterior inserção destes pontos na rede, onde será lido o código do trecho mais próximo onde foi lançado cada ponto. Após o preenchimento dos atributos dessas demandas e lançamentos (vazão retirada, vazão efluente, concentrações), os dados são unidos com a tabela de atributos, de acordo com o código no qual o ponto foi inserido (RIO GRANDE DO SUL, 2011; SILVA, 2014).

No módulo quantitativo, após a inserção na tabela de atributos da vazão total demandada por todos os usuários ligados a cada trecho de rio e a todos os trechos situados à montante, podem ser executadas equações de balanço para verificação da disponibilidade hídrica no local e do efeito da inclusão de um novo usuário nos trechos a jusante do mesmo (PEREIRÁ PESSOA, 2010). Para tanto, após a inserção de um novo usuário o sistema executa um algoritmo que calcula o fator de comprometimento, para todos os trechos da rede de drenagem, segundo a equação 30.

$$FC = \frac{Q_{dem}}{Q_{ref}} \quad (30)$$

Onde:  $Q_{dem}$  representa o somatório das demandas à montante e  $Q_{ref}$  a vazão de referência.

Após o referido cálculo, o SAD classifica os valores obtidos em cinco faixas de comprometimento e para cada faixa o programa atribui uma cor.

Para a modelagem da qualidade da água da bacia, utiliza-se o módulo SAD-QUAL, que opera em regime permanente de vazões e desconsidera os efeitos de dispersão e advecção, focando nas transformações cinéticas que ocorrem em cada parâmetro. A operacionalização do modelo se dá fundamentalmente pela interação entre o banco de dados geoespacial da

bacia hidrográfica e o banco de dados dos usuários de lançamento de efluentes. Para cada trecho de rio são realizados cálculos de mistura de vazões provenientes de montante e aportadas ao trecho, mistura com os lançamentos realizados no trecho e cálculo de decaimento de poluentes. Após a mistura dos efluentes, e considerando que esses estejam localizados no ponto mais a montante do segmento, o modelo analisa o efeito das transformações que ocorrem em cada parâmetro simulado ao longo do trecho (SILVA, 2014).

Essas transformações envolvem reações, onde pode ocorrer ganho ou redução na concentração dos poluentes. Para realizar essa simulação é necessário informar os coeficientes de decaimento para todos os constituintes que se deseja simular. Todos esses coeficientes apresentam diversos valores sugeridos na literatura. Esses valores são atribuídos a cada trecho de rio, mas usualmente considera-se o mesmo valor para todos os trechos. Ressalta-se que os valores podem ser modificados, buscando uma melhor reprodução das condições medidas no campo, no que poderia ser chamado de calibração do modelo (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

O transporte dos poluentes no decorrer do trecho simulado se dá segundo uma equação de primeira ordem e segue uma relação definida pelo modelo de Streeter Phelps (CHAPRA, 1997), a qual estabelece que a alteração da concentração do poluente remanescente ( $C_{j,i}$ ) em um infinitésimo de tempo ( $dt$ ) é igual a concentração do poluente multiplicada por uma constante de decaimento ( $K$ ), podendo ser escrita como demonstrado na equação 31.

$$\frac{d(C_{j,i})}{dt} = -K * C_{j,i} \quad (31)$$

A equação diferencial (Equação 31) tem solução analítica, considerando a variação da concentração do espaço e regime permanente, dada pela equação (32).

$$C_{f,i} = C_{j,i} * \exp\left(\frac{K_i * L_i}{V_i}\right) \quad (32)$$

Onde:

$C_{f,i}$  é a concentração ao final do trecho  $i$ ;

$C_{j,i}$  é a concentração do poluente remanescente,

$K_i$  é a taxa de decaimento que pode variar por segmento;

$L_i$  é o comprimento do trecho de rio  $i$  em metros; e

$V_i$  é a velocidade média, em m/s.

Na versão atual o modelo simula até oito parâmetros de qualidade da água: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), formas nitrogenadas (nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e coliformes termotolerantes.

A diminuição da concentração de DBO se dá segundo uma equação de decaimento de primeira ordem, apresentada na Equação 33, na qual  $K_d$  é o coeficiente de decaimento,  $K_r$  a taxa de sedimentação da matéria orgânica,  $x$  o comprimento e  $v$  a velocidade do escoamento no trecho.

$$C_{DBO,d} = C_{DBO,ms} * e^{-(k_d+kr)*\frac{x}{v}} \quad (33)$$

O oxigênio dissolvido (OD) depende dos processos de reaeração, através da superfície da água e da redução de concentração para atender a DBO. A equação 34 é baseada no modelo de Streeter-Phelps e foi adaptada para emprego no modelo SAD-IPH, sendo o  $OD_{sat}$  o oxigênio dissolvido de saturação e  $K_a$  o coeficiente de reaeração.

$$C_{OD,d} = OD_{sat} - \left( (OD_{sat} - OD_{OD,ms}) * e^{(-k*\frac{x}{v})} \right) + \frac{K_d * C_{DBO,ms}}{K_a - K_r} * \left( e^{-K_r*\frac{x}{v}} - e^{-K_a*\frac{x}{v}} \right) \quad (34)$$

Os processos de transformação dos compostos nitrogenados assumem uma reação de primeira ordem e foram descritas por Chapra (1997). As Equações 35, 36, 37 e 38, descrevem as transformações, onde os subscritos  $o$ ,  $a$ ,  $i$  e  $n$  denotam nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, respectivamente.

$$\frac{dN_o}{dt} = K_{oa} * N_o \quad (35)$$

$$\frac{dN_a}{dt} = K_{oa} * N_o - K_{ia} * N_a \quad (36)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = K_{ai} * N_a - K_{in} * N_i \quad (37)$$

$$\frac{dN_n}{dt} = K_{in} * N_i \quad (38)$$

Para a estimativa da concentração do fósforo, o modelo considera que ocorre uma sedimentação de acordo com uma reação de primeira ordem dada pela equação 39, onde  $K_{sp}$  representa a taxa de sedimentação do fósforo.

$$C_{Pt,d} = C_{Pt,ms} * e^{(-K_{sp}*\frac{x}{v})} \quad (39)$$

O processo de transformação do número de coliformes termotolerantes é determinado por uma reação de primeira ordem, dada pela Equação 40, onde  $K_{col}$  é a taxa de decaimento bacteriano.

$$C_{Coli,d} = C_{Coli,ms} * e^{(-K_{col} * \frac{x}{v})} \quad (40)$$

Para realizar o cálculo da mistura dos lançamentos no trecho, levando em consideração as taxas cinéticas que ocorreram ao longo do segmento, o modelo estabelece que todos os lançamentos situados dentro da minibacia correspondente ao trecho analisado estejam localizados no ponto mais a montante do segmento. Dessa forma, é feito o cálculo da mistura das vazões e concentrações totais efluentes com as vazões e concentrações que aportam a esse trecho, conforme as Equações 41 e 42.

$$Q_{ms} = Q_i + Q_{ef,T} \quad (41)$$

$$C_{x,ms} = \frac{(Q_i * C_{x,i}) + (Q_{ef,T} * C_{ef,T})}{Q_i + Q_{ef,T}} \quad (42)$$

Para comparar os resultados simulados pelo modelo de qualidade da água com os dados das campanhas de monitoramento da qualidade da água, são calculados o erro médio quadrático (RMSE, do termo em inglês *Root Mean Square Error*) e o desvio padrão geral dos erros (STD), por meio das Equações 43 e 44:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} * \frac{1}{\bar{o}} \quad (43)$$

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n * \bar{o}}} \quad (44)$$

Onde:  $S_i$  são valores simulados no tempo  $i$ ;  $O_i$  são os valores observados (em campo) no tempo  $i$ ;  $\bar{o}$  é a média aritmética dos valores observados no tempo  $i$ ;  $n$  é o número de valores observados. Esses parâmetros avaliam a diferença entre o observado e o simulado. Quanto mais próximo de zero são os seus valores, mais os dados observados e simulados se assemelham (CHUNG *et al.*, 2009).

Além dos parâmetros estatísticos, o conhecimento e a interpretação dos dados podem ser facilitados por meio da análise visual de gráficos. O SAD apresenta dois tipos de gráficos:

os de análise temporal e os de análise espacial. A análise temporal considera todas as informações contidas em um único trecho e demonstram os cenários mensais em forma de gráfico. Já a análise espacial avalia os dados contidos dentro do intervalo de trechos, sendo que para isso é preciso estabelecer o trecho inicial e o final para a geração dos gráficos. O SAD ainda permite a visualização dos resultados de uma forma simples e prática que consiste na elaboração de mapas da rede de drenagem, em que as cores de rios estão associadas ao grau de comprometimento da disponibilidade hídrica e do Índice de Qualidade da Água - IQA da bacia hidrográfica (PEREIRÁ PESSOA, 2010).

É importante destacar que o modelo SAD-IPH tem sido utilizado com sucesso em planos de bacias hidrográficas para embasar as propostas de enquadramento dos recursos hídricos, dentre os estudos realizados, pode-se mencionar: o PBH da bacia do rio Ibicuí, o PBH da bacia do Alto Jacuí, o PBH do rio Santa Maria e o PBH do rio Camaquã, todas situadas no Estado do Rio Grande do Sul, o PBH do rio Tubarão e complexo lagunar no Estado de Santa Catarina e, o PBH da região de Macaé e Rio das Ostras no Estado do Rio de Janeiro.



#### **4. METODOLOGIA**

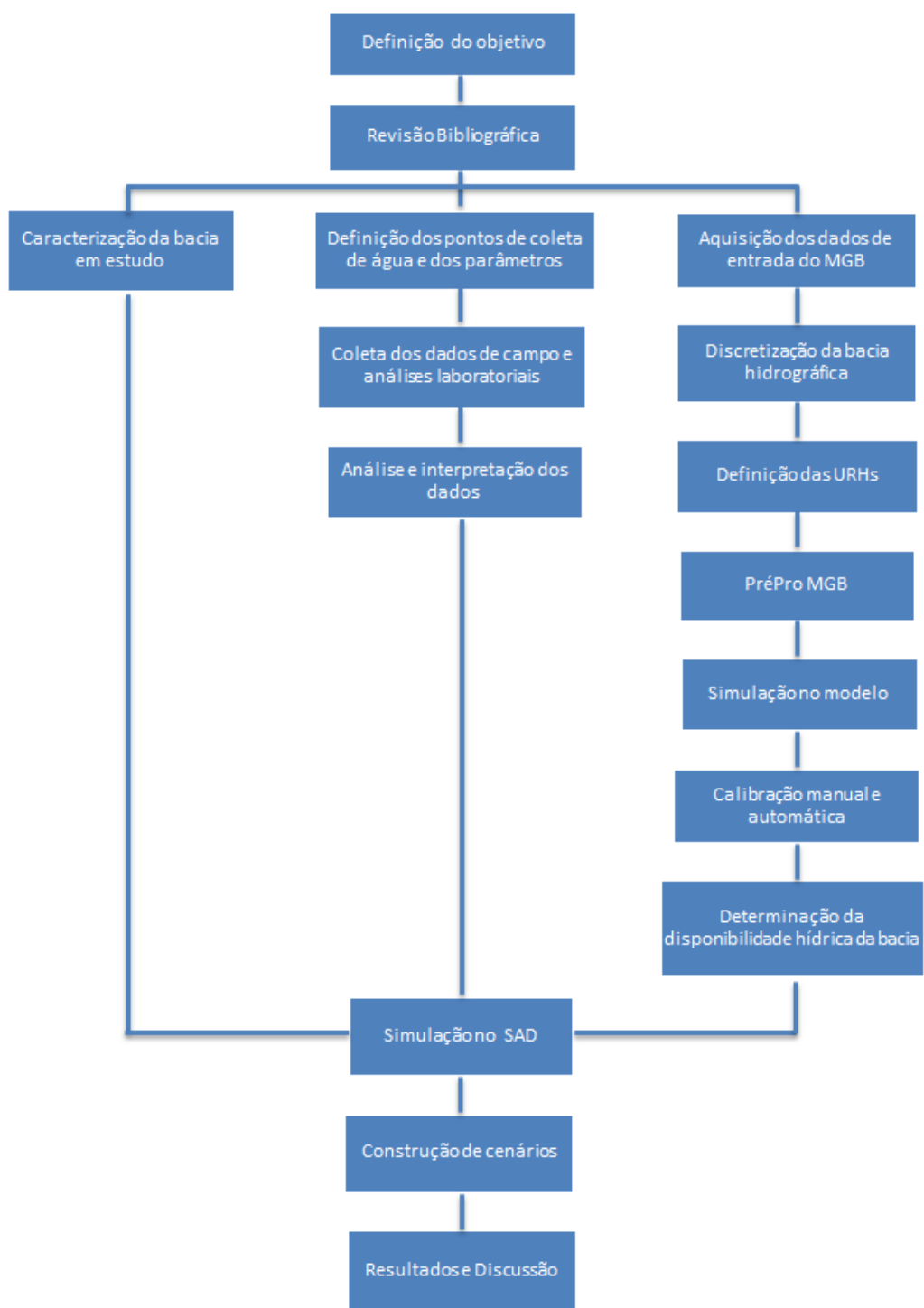
Para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados foram adotados procedimentos metodológicos que incluíram a utilização de um SIG conjuntamente com um modelo hidrológico chuva-vazão distribuído e um sistema de suporte à decisão.

O SIG foi utilizado no pré-processamento dos dados necessários para se estimar as disponibilidades hídricas da bacia hidrográfica. Para tanto, empregou-se as ferramentas do ArcHydro Tools.

A disponibilidade hídrica foi calculada por meio da utilização do modelo hidrológico MGB-IPH descrito por Collischonn (2001).

A última etapa consistiu na aplicação de um Sistema de Suporte à Decisão, SAD-IPH, o qual é integrado a um SIG. Este permite a utilização da mesma discretização da bacia empregada no modelo MGB-IPH. Os resultados obtidos na simulação do MGB em cada uma das minibacias foram transferidos ao SAD.

Como visto, este trabalho foi desenvolvido em várias etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 5. Cada uma das etapas está descrita na sequência.



**Figura 5.** Fluxograma do desenvolvimento do trabalho.

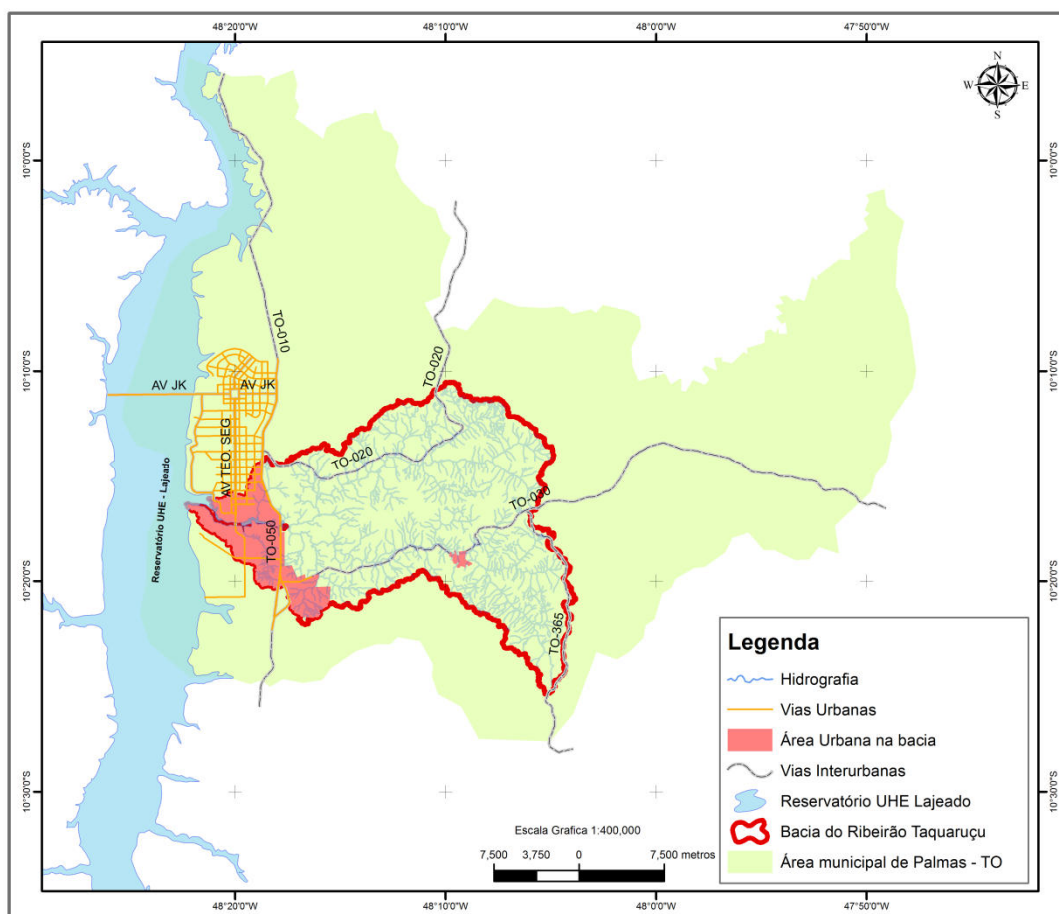
#### 4.1 Revisão Bibliográfica

Após a definição do objetivo do trabalho, iniciou-se uma ampla investigação bibliográfica acerca das temáticas abordadas na presente dissertação: bacia hidrográfica,

balanço hídrico, gestão de recursos hídricos, outorga de direito uso dos recursos hídricos, modelos matemáticos, sistemas de suporte à decisão, etc., onde foram analisados materiais já publicados, como teses, dissertações, manuais, legislação, artigos publicados em periódicos e em eventos científicos e material disponibilizado na internet.

## 4.2 Caracterização da Bacia Estudada

A bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu, localiza-se na parte centro-sul do município de Palmas, entre os paralelos  $10^{\circ}10'41''$  e  $10^{\circ}25'05''$  de latitude Sul e os meridianos  $48^{\circ}03'46''$  e  $48^{\circ}18'34''$  de longitude Oeste de Greenwich, apresenta  $461,39 \text{ km}^2$  de área, se estendendo por 29,2 km, como se observa na Figura 6.

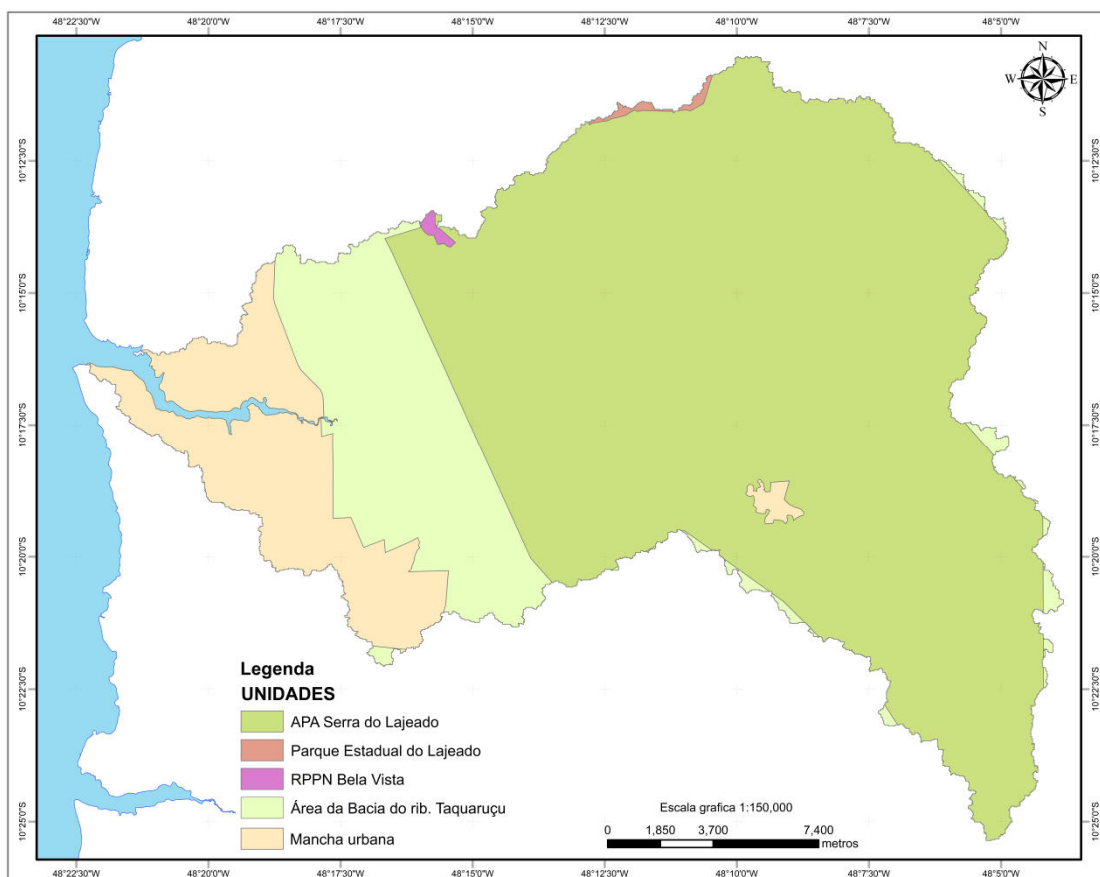


**Figura 6.** Localização da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

A nascente do Ribeirão Taquaruçu está situada na Serra do Lajeado, onde ocorrem diversas cascatas e balneários de interesse para o ecoturismo, e sua foz se dá no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães, junto à área urbana de Palmas (BARROS *et al.*, 2011).

Essa bacia hidrográfica é afluente direta do Rio Tocantins e seus principais contribuintes pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçzinho, o Córrego Machado e o Córrego Buritizal e pela margem direita são os Córregos Macacão e Tiúba (SANTOS, 2000). A bacia é interceptada pelas rodovias estaduais TO-050, TO-020 e TO-030 que dão acesso às regiões norte, sul e leste do Estado (TOCANTINS, 2012).

A mesma apresenta em sua área uma Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN denominada Bela Vista que possui 58,11 ha. Além disso, parte do seu território, cerca de 32.817,68 ha, integra a APA Serra do Lajeado e uma pequena parte de 89,68 ha, do Parque Estadual do Lajeado. Essa APA tem como objetivo principal proteger os mananciais que abastecem a cidade de Palmas, bem como ordenar a expansão urbana, próximo à encosta da serra. Aproximadamente 5.185,85 ha consistem em áreas urbanas do município de Palmas e do Distrito de Taquaruçu (Figura 7).



**Figura 7.** Áreas protegidas por unidades de conservação presentes na bacia estudada.

A escolha da bacia do Ribeirão Taquaruçu como unidade de estudo se justifica pela sua grande importância para o abastecimento público da cidade. Segundo Silva Neto (2011) a bacia é a principal fonte de captação de água para consumo humano do município, sendo

responsável por 66% do abastecimento público da cidade, abrangendo os bairros Taquaralto, Jardins Aurenny I, II, III e IV e, parte da região central de Palmas. Nesta está implantada a principal estação de tratamento de água da capital (ETA-06), operada pela Companhia de Saneamento do Tocantins-SANEATINS/Odebrecht Ambiental, atendendo aproximadamente 50 mil famílias.

A seguir, são apresentados os aspectos históricos de sua ocupação, além das características físicas da bacia, que são dados relevantes e necessários para o desenvolvimento do presente estudo.

#### **4.2.1 Aspectos Históricos da Ocupação da Bacia**

Pelo fato de a bacia do ribeirão Taquaruçu abranger a área do Distrito de Taquaruçu e parte da área urbana de Palmas, o histórico de ocupação da bacia está intimamente relacionado com a criação do distrito e, em um segundo momento, com a instalação da capital do Estado do Tocantins, Palmas.

Santos (1996) e Rios *et al.* (2010) relatam que migrantes agricultores advindos dos Estados do Maranhão e do Piauí deram início ao povoado de Taquaruçuzinho, entre as décadas de 1940 e 1960. Estavam em busca de terras férteis, água e sossego para plantar, colher e sobreviver e, foram atraídos pelas terras devolutas existentes no interior do ainda norte do Estado de Goiás, futuro Estado do Tocantins. Assim, se dedicaram a princípio à agricultura de subsistência (cultivo do arroz, milho, feijão e, principalmente da fava), à atividade extrativista do coco babaçu e à criação de animais domésticos, com significado na vida social, econômica e cultural da comunidade.

Ainda na década de 1940, a localidade passou a ser denominada de Distrito de Taquaruçu, pertencente ao município de Porto Nacional, e possuía baixa densidade demográfica e grande deficiência em infraestrutura (UNITINS, 1999).

No decorrer da década de 1950, o distrito era considerado um celeiro em extrativismo, todavia, na década seguinte, com a implantação da BR-153, Taquaruçu perdeu importância econômica regional, devido a criação de cidades ao longo da rodovia (SANEATINS, 2007).

Durante o período compreendido entre 1970 e 1988, culminando com a constituição do Estado do Tocantins, o fluxo de imigrantes permaneceu praticamente estacionário na região. Todavia, no decorrer da década de 1990 e primeira década do século XXI, ocorreu

aumento nesse fluxo devido ao fato do distrito ter cedido seus direitos político-administrativos para a nova capital, Palmas (PALMAS, 2002).

Uma série de acontecimentos resultou no desmembramento do Distrito de Taquaruçu de Porto Nacional para sua incorporação a Palmas. O primeiro evento ocorreu em 1º de janeiro de 1988, onde o Distrito de Taquaruçu foi desmembrado de Porto Nacional e elevado à categoria de município por meio da publicação da Lei Estadual nº 10.419, passando assim, a se denominar Taquaruçu do Porto. Em 18 de dezembro de 1989, foram criados os distritos de Taquaralto e Canela, que foram anexados ao referido município. Todavia, após o transcorrer de apenas 11 dias, foi publicada a Resolução nº 28, na qual o município de Taquaruçu do Porto foi extinto, passando a chamar-se Palmas. Dessa forma, Taquaruçu do Porto, passou novamente à categoria de Distrito, mas desta vez pertencendo à Capital (PALMAS, 2015).

Desde a criação de Palmas, a bacia do ribeirão Taquaruçu vem sofrendo um processo de ocupação acentuado, onde segundo estimativa realizada para o ano de 2015 o distrito de Taquaruçu possui população equivalente a 5.469 habitantes e a região sul de Palmas, que compreende os bairros de Taquaralto, Jardins Aurenys I, II, III e IV, Morada do Sol I, II e III, Vale do Sol, Setor Santa Fé, Setor Maria Rosa, Irmã Dulce e Bertaville, possui aproximadamente 88.350 habitantes (PALMAS, 2014).

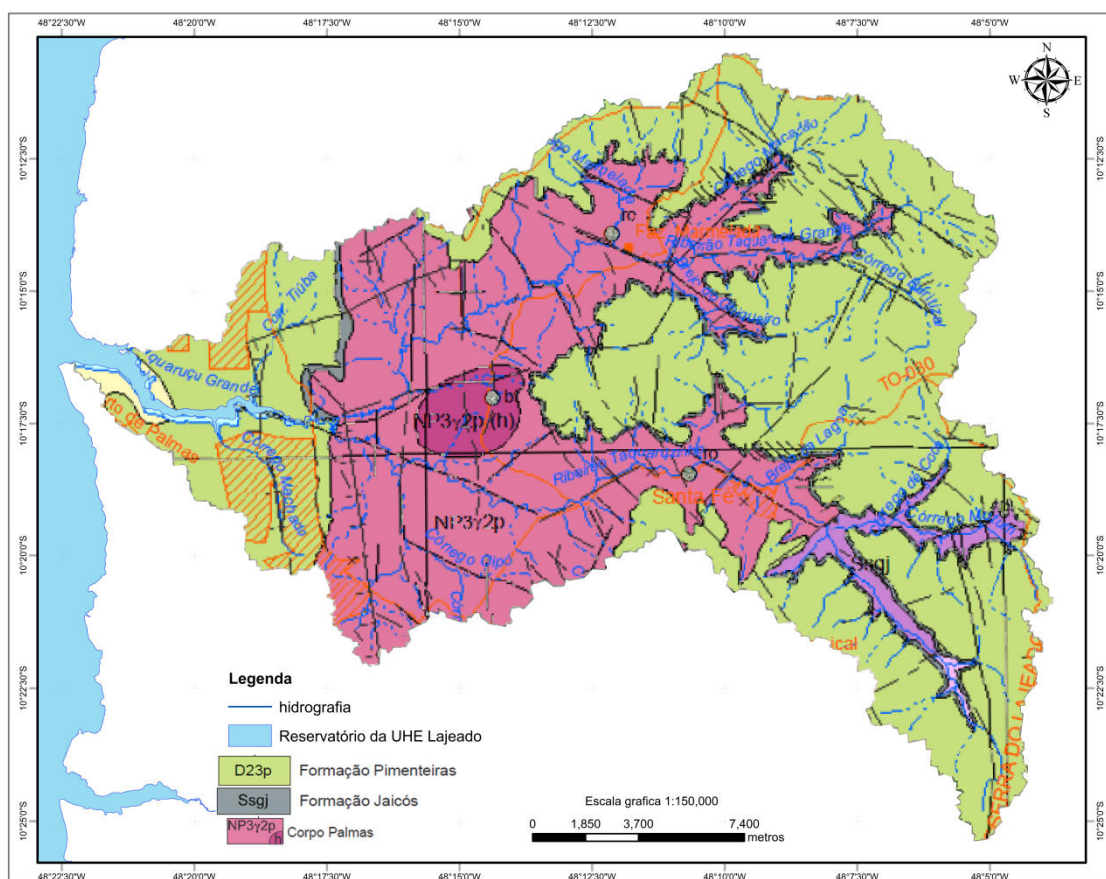
## **4.2.2 Aspectos Físicos da Bacia**

### **4.2.2.1 Clima**

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região corresponde ao tropical chuvoso dos cerrados tropicais (Aw), apresentando duas estações bem definidas, caracterizadas por máximo de precipitação no verão (outubro a março - 1500 mm a 2000 mm), concentrando 85% do total anual e o período seco no inverno (abril a setembro - inferior a 60 mm), corresponde a apenas 15% da precipitação anual. A temperatura média anual é de 28° C, as máximas absolutas superam os 41°C e as mínimas são maiores que 18°C (TOCANTINS, 2012).

#### 4.2.2.2 Geologia

De acordo com os levantamentos realizados por Brasil (1981), Santos (2000) e Tocantins (2012), a geologia da área de estudo é composta por litologias pertencentes aos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, representada pelas formações Pimenteiras e Serra Grande, do Paleozóico, e da Suíte Lajeado, do Neoproterozóico, como pode ser visualizado na Figura 8.



**Figura 8.** Mapa geológico da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

A seguir apresenta-se uma caracterização geológica, em termos da descrição das unidades litoestratigráficas presentes nos ambientes geológicos manifestados na bacia do ribeirão Taquaruçu.

O Domínio da Bacia Sedimentar do Parnaíba está representada pelas formações Pimenteiras e Serra Grande, as quais distribuem-se por quase toda a área estudada. A formação Pimenteiras é constituída por siltito amarelo e marrom, laminado, com intercalações de argilito roxo e vermelho e arenito branco fino a muito fino (BRASIL, 1981). Na parte

sudeste e noroeste da área em estudo há contato gradacional com os sedimentos fluviais da Formação Jaicós.

A Formação Jaicós, pertencente à formação Serra Grande, é constituída por arenito branco com tonalidades creme e amarelada, granulometria média a grossa, com grãos subarredondados, estratificação cruzada acanalada e plano-paralela com intercalações tabulares de arenito fino e siltito. Ainda há ocorrência de níveis métricos a centimétricos de conglomerado com seixos de quartzo bem arredondados. Localmente, contém blocos de arenito (intraformacionais).

O Corpo Palmas, que pertence à Suíte Lajeado, é caracterizado por apresentar rocha de cor rosa avermelhada, granulação grossa a muito grossa, porfirítica, com cristais com textura rapakivi e evidência de mistura de magma. Os granitos a hiperstênio (h), possuem cores variadas de cinza, preta a rosa, com cristais de feldspato alcalino que chegam a medir 2 cm. Entre estes cristais ocorrem cristais de plagioclásio e minerais escuros (hiperstênio): Monzogranito, sienogranito, hiperstenio metasienogranito ou charmoquito e quartzo-sienito. Ocorrem em corpos batolíticos geralmente isótipos com as bordas deformadas (BRASIL, 1981).

#### 4.2.2.3 Geomorfologia

Conforme UNITINS (1999), a bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande apresenta relevo pouco diversificado, onde foram identificadas apenas duas unidades geomorfológicas distintas, quais sejam:

- **Depressão Tocantins:** constituída pela superfície compreendida entre o Sopé das Serras do Carmo, Taquaruçu e Lajeado. Esta região que representa a calha do Rio Tocantins é constituída pelas formações Pimenteiras e Serra Grande apresentando relevo suave ondulado e altitude variando entre 200 e 300 metros;
- **Planalto Residual Tocantins:** formado pelas Serras do Carmo, Taquaruçu e Lajeado, sendo estas separadas por vales onde a incisão da drenagem está em média de 250 a 300 metros. Nesta área a estrutura exerce grande controle sobre a dinâmica da água, apresentando alta densidade de drenagem. Nas encostas destas serras são observadas superfícies escarpadas, tipo padrões de rochas, onde há muitos pontos de nascentes de



tributários que irão compor a rede de drenagem da bacia. Em áreas da encosta das serras, a região é recoberta por material coluvial, sendo comum a presença de blocos rolados.

#### 4.2.2.4 Pedologia

Santos (2000) elaborou a carta de solos do município de Palmas – TO considerando os seguintes mapeamentos pedológicos pré-existent: mapeamento na escala 1:1.000.000, como parte dos trabalhos do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981); mapeamento na escala 1:250.000 que integra a base de dados da Secretaria de Planejamento do Estado do Tocantins – SEPLAN, proveniente da compatibilização e uniformização de legendas das minutas originais do Projeto RADAMBRASIL (EMBRAPA, 1997) e, o mapa de solos do município de Palmas na escala 1:100.000 elaborado por Ranzani (1998).

A carta elaborada por Santos (2000) possui escala 1:250.000 (Figura 9) e revela que na bacia em estudo são encontradas, segundo suas porcentagens em relação a área total, as seguintes classes de solos: LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS (52,93%); LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS em associação com PLINTOSSOLOS PÉTRICOS (20,67%); CAMBISSOLOS HÁPLICOS em associação com NEOSSOLOS LITÓLICOS (20,34%); LATOSSOLOS VERMELHOS (3,13%); NEOSSOLOS FLÚVICOS em associação com GLEISSOLOS HÁPLICOS (1,23%); PLINTOSSOLOS PÉTRICOS (1,14%) e NEOSSOLOS LITÓLICOS (0,56%).

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS ocupam 235,79 km<sup>2</sup> distribuídos por quase toda a área de estudo, em áreas com relevo predominantemente plano e com declividades inferiores a 10%.

Os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS em associação com PLINTOSSOLOS PÉTRICOS ocupam 92,08 km<sup>2</sup> distribuídos em manchas no centro, nordeste, sudeste e sudoeste da área de estudo, em locais com relevo predominantemente plano a suave ondulado e declividades inferiores a 20%.

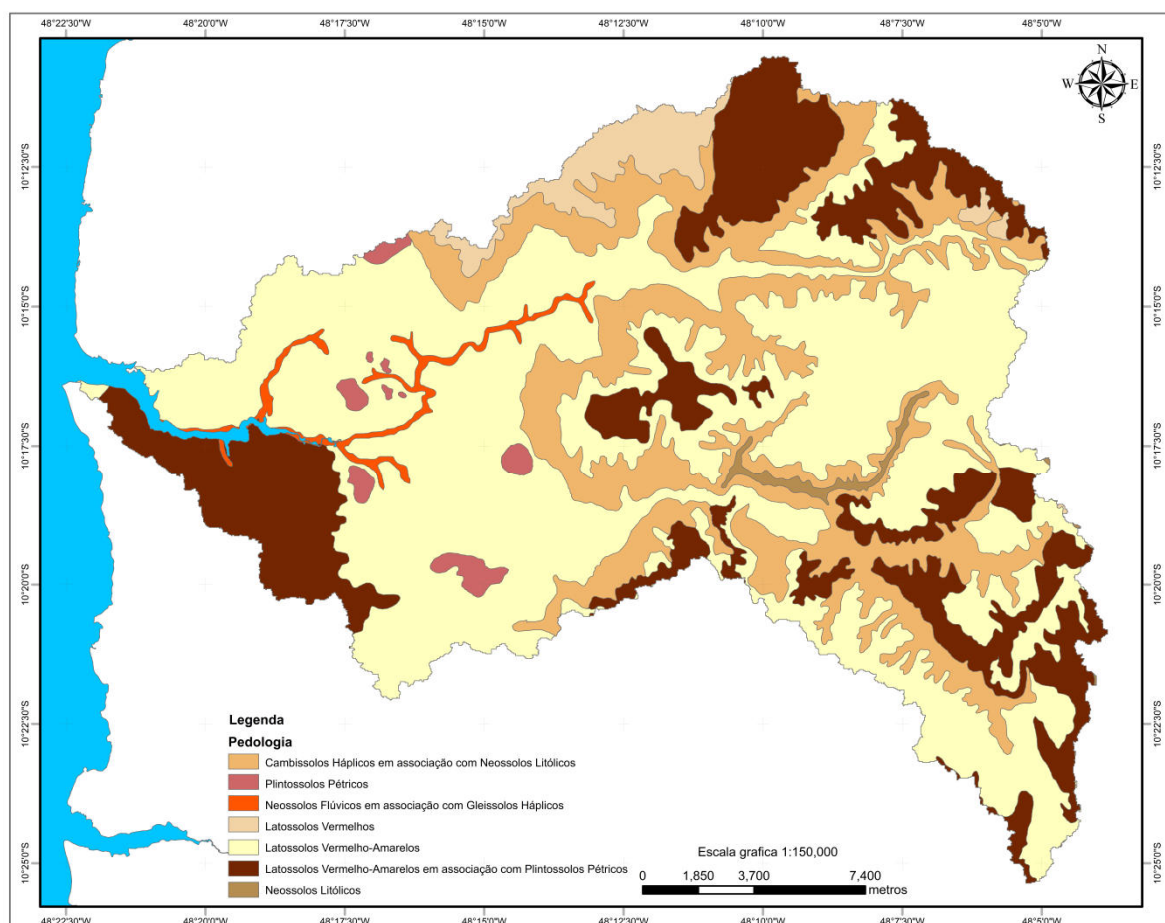
Os CAMBISSOLOS HÁPLICOS em associação com NEOSSOLOS LITÓLICOS ocupam 90,61 km<sup>2</sup> distribuídos em estreitas faixas que estendem-se do extremo norte ao extremo sudeste e no nordeste da área de estudo, em locais com relevo ondulado a fortemente ondulado e com declividades maiores que 20%.

Os LATOSSOLOS VERMELHOS ocupam 13,96 km<sup>2</sup> distribuídos em manchas no norte e nordeste da área de estudo, em locais com relevo predominantemente plano com declividades inferiores a 10%.

Os NEOSSOLOS FLÚVICOS em associação com GLEISSOLOS HÁPLICOS ocupam 5,47 km<sup>2</sup> distribuídos do centro da bacia para a foz, ocorrendo às margens do ribeirão Taquaruçu Grande e de alguns de seus tributários, em locais com relevo muito plano e declividades inferiores a 5%.

PLINTOSSOLOS PÉTRICOS ocupam 5,08 km<sup>2</sup> distribuídos em manchas ao centro, noroeste e sudoeste da área em estudo, em locais com relevo predominantemente plano e com declividades inferiores a 10%.

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS ocupam 2,51 km<sup>2</sup> distribuídos em uma estreita faixa no centro – leste da área de estudo, em locais com relevo ondulado a fortemente ondulado e com declividades maiores que 20%.



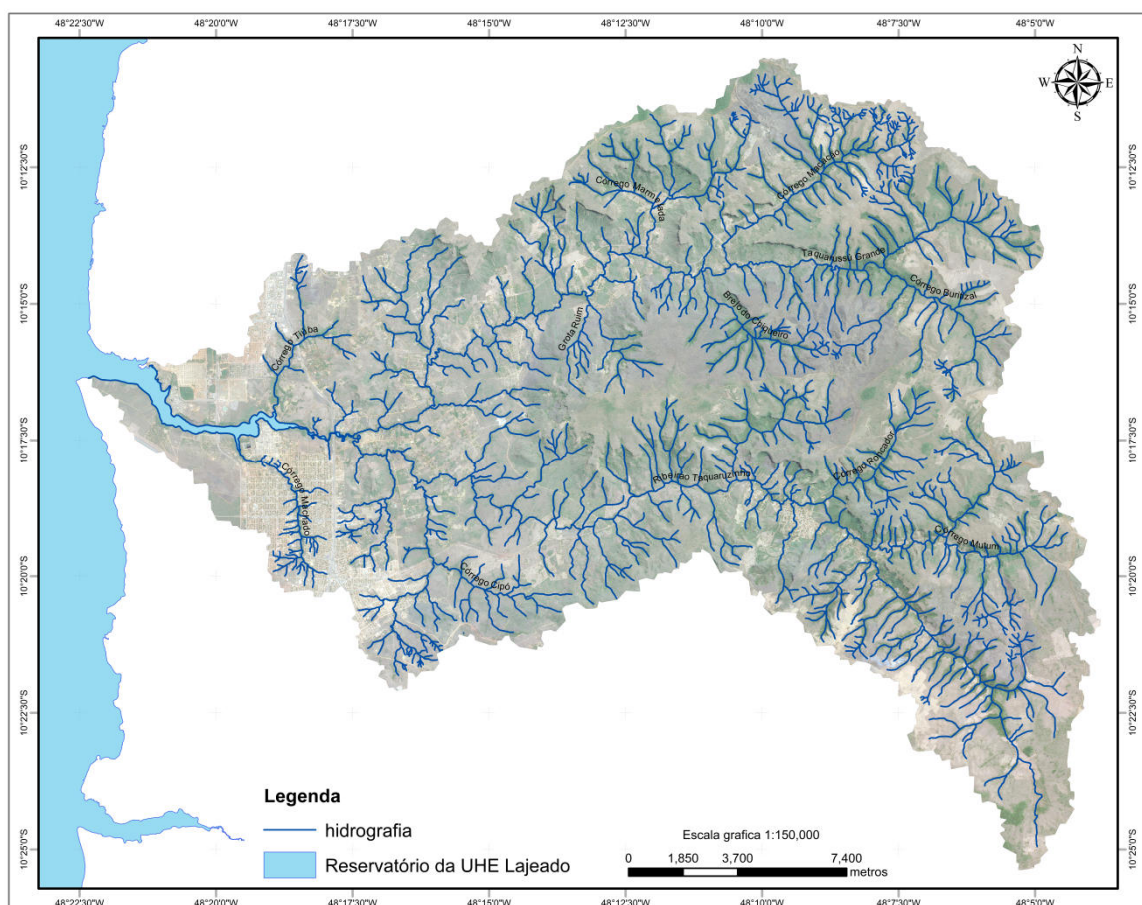
**Figura 9.** Mapa pedológico da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

#### 4.2.2.5 Hidrografia

A bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu é afluente direta do rio Tocantins. Sua foz deságua no Lago da UHE Luís Eduardo Magalhães desde a criação do reservatório, no ano de 2001.

É considerada uma bacia de 5ª ordem, conforme a classificação de Strahler (1957), e possui dois cursos d'água principais, sendo o Ribeirão Taquaruçu Grande e o Ribeirão Taquaruçuzinho. A estrutura de drenagem do Ribeirão Taquaruçu Grande é composta por ravinas, canais, tributários e o ribeirão principal. As nascentes localizam-se principalmente na encosta da serra e, em menor quantidade, nos limites das chapadas apresentando cotas de altitude elevada (UNITINS, 1999).

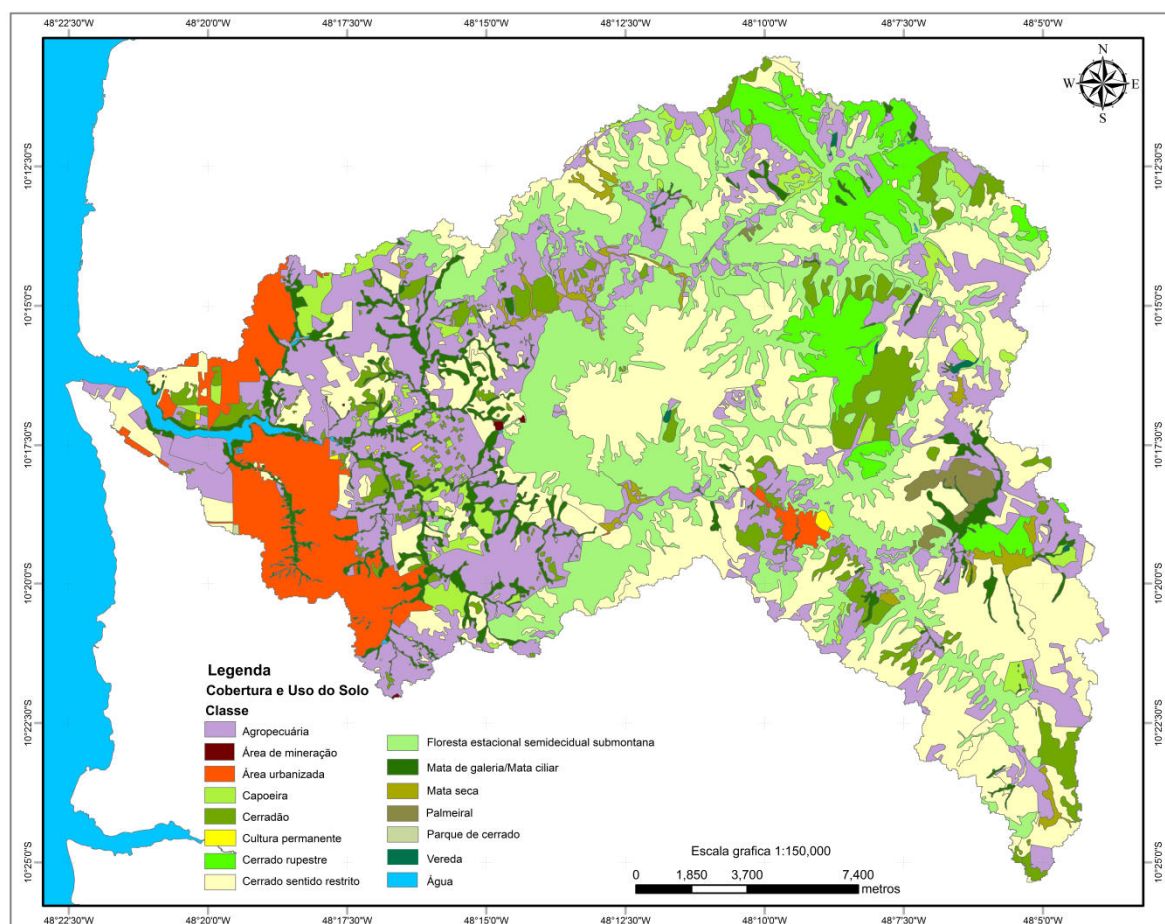
Os principais contribuintes da bacia pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçuzinho, o Brejo do Chiqueirinho, o Córrego Machado, o Grota Ruim, o Córrego Roncador e o Córrego Buritizal; e pela margem direita o Córrego Marmelada, Córrego Macacão, Córrego Pé do Morro e o Córrego Tiúba (TOCANTINS, 2012; SANTOS, 2000).



**Figura 10.** Mapa da rede hidrográfica da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

#### 4.2.2.6 Uso e Ocupação do Solo

De acordo com levantamento realizado por Barros (2007), a bacia do ribeirão Taquaruçu apresenta seis diferentes classes de uso e ocupação do solo, são elas: cerrado, mata de galeria, área urbana, solo exposto, corpos d'água e agropecuária. Entretanto, o levantamento realizado pela TNC para a atualização da base cartográfica do município de Palmas, na escala 1:25.000, permitiu maior detalhamento, sendo identificadas 15 classes de uso do solo da bacia: cerrado sentido restrito, cerrado rupestre, parque de cerrado, cerradão, floresta estacional semidecidual submontana, mata de galeria/mata ciliar, mata seca, palmeiral, vereda, capoeira, agropecuária, cultura permanente, área de mineração, área urbanizada e água (Figura 11).



**Figura 11.** Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.

Apesar de a área da bacia já apresentar considerável perturbação, a vegetação nativa ainda ocupa sua maior parcela de área (70,94%). As atividades agropecuárias ocupam 22,37% da área da bacia e, segundo Reis (2007) são desenvolvidas nas propriedades rurais de forma

extensiva, sendo destinadas ao sustento da família e o pequeno excedente obtido é comercializado nas feiras de Palmas.

A área urbana equivale a 6,64% da bacia, está concentrada na parte oeste, onde se situam os seguintes bairros de Palmas: Taquaralto; Jardins Aurenys I, II, III e IV; Morada do Sol I, II e III; Vale do Sol; Setor Santa Fé; Setor Maria Rosa; Irmã Dulce e Bertaville. Além disso, na parte central localiza-se o Distrito de Taquaruçu. Destaca-se que cerca de 93.819 habitantes residem na bacia, sendo 5.469 no Distrito de Taquaruçu e 88.350 moradores na parte sul de Palmas (PALMAS, 2014).

Destaca-se que na última década ocorreu um acentuado processo de degradação das matas ciliares principalmente nas áreas de nascentes, na parte baixa da bacia, que é uma área de expansão urbana acelerada, onde novos loteamentos peri-urbanos surgem por meio do micro parcelamento da terra, os quais são impulsionados pela crescente especulação imobiliária no município (CARMO, 2014).

De acordo com dados da Saneatins (2007), vários fatores têm contribuído para a degradação ambiental da bacia, todavia três obras de infraestrutura influenciaram de forma determinante nesse processo, dentre elas: 1) a construção da rodovia TO-030 que ocasionou uma forte alteração da paisagem; 2) a instalação e operação da ETA 006 que promoveu o aumento da retirada de água da bacia, devido a grande demanda (49.796 m<sup>3</sup>/dia) para o abastecimento da capital; 3) a instalação e operação da ETE localizada nas proximidades da foz do ribeirão Taquaruçu Grande que é responsável pelo tratamento da ordem de 30L/s do esgoto proveniente dos bairros da região.

Outro marco para a bacia foi a formação do reservatório da UHE – Luís Eduardo Magalhães que deu início no ano de 2001. Segundo Souza (2006) esse processo gerou significativos impactos ambientais relativos aos meios físico, biótico e socioeconômico, alterando de forma permanente a paisagem regional. Destaca-se que a bacia em questão, após a confluência do ribeirão Taquaruçu Grande com o Taquaruçu Pequeno, já sofre forte influência de um braço do lago, por aproximadamente 8,4 km, configurando-se assim, um local de remanso.

Diversas ações já foram planejadas para estimular a preservação e recuperação ambiental da bacia, todavia, até o momento estas se mostraram pouco efetivas. A primeira de destaque ocorreu no ano de 2007, onde a Prefeitura municipal instituiu o programa “Pra preservar basta começar” que teve como objetivo retirar o material sedimentado proveniente

do assoreamento, reflorestar as margens e cabeceiras de rios e córregos, e conscientizar os moradores por meio de ações de plantio de árvores e a retirada do lixo deixado por visitantes em locais de visitação (BRITO, 2012).

Outra iniciativa importante diz respeito à parceria firmada em 2011 entre o Governo do Estado, por meio da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável – SEMADES, a Prefeitura Municipal de Palmas, a Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS/Odebrecht Ambiental, o Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil – TNC e a Fundação O Boticário para o desenvolvimento do Projeto denominado “Projeto Taquaruçu: uma fonte de vida” que visa promover o manejo sustentável da bacia, em conjunto com os proprietários rurais, por meio de práticas de conservação e recuperação da vegetação das matas ciliares, a fim de melhorar a qualidade e aumentar a disponibilidade de água na bacia. Este projeto premia financeiramente proprietários que conservam suas áreas naturais e matas ciliares, e adotam práticas conservacionistas de uso do solo.

### **4.3 Levantamento de Dados em Campo**

A primeira etapa de levantamento de dados consistiu na aplicação de questionários, tendo como público alvo os usuários da água da bacia. Esse levantamento teve como objetivo verificar os principais usos da água, a vazão captada na bacia, status de conservação da APP dos rios, principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia, destinação dos resíduos sólidos e efluentes das propriedades rurais, uso de agrotóxicos e o assoreamento dos canais (segue em anexo o modelo do questionário). Esse levantamento de dados foi iniciado em 09/05/2014 e finalizado em 07/08/2015, onde foram visitadas 404 propriedades rurais.

Na segunda etapa foram realizadas coletas de amostras de água, com a finalidade de verificar a qualidade da água da bacia (Figuras 12 a 15). Foram realizadas duas campanhas de campo (estação chuvosa - 21 e 22/05/2015; estação de seca - 26 e 27/08/2015), que envolveu a coleta em 16 pontos amostrais selecionados, indicados na Figura 16, que compreendem os cinco pontos amostrais em que a Odebrecht Ambiental realiza o monitoramento, o que permitiu a análise de uma série histórica de dados, os quais foram acrescidos de 11 novos pontos, localizados nos exutórios das sub-bacias. Os parâmetros de qualidade da água selecionados, inseridos no Quadro 7, foram analisados pelo Laboratório de Microbiologia Ambiental - LAMBIO da UFT.





**Figura 12.** Coleta de amostra de água para análise físico-química.



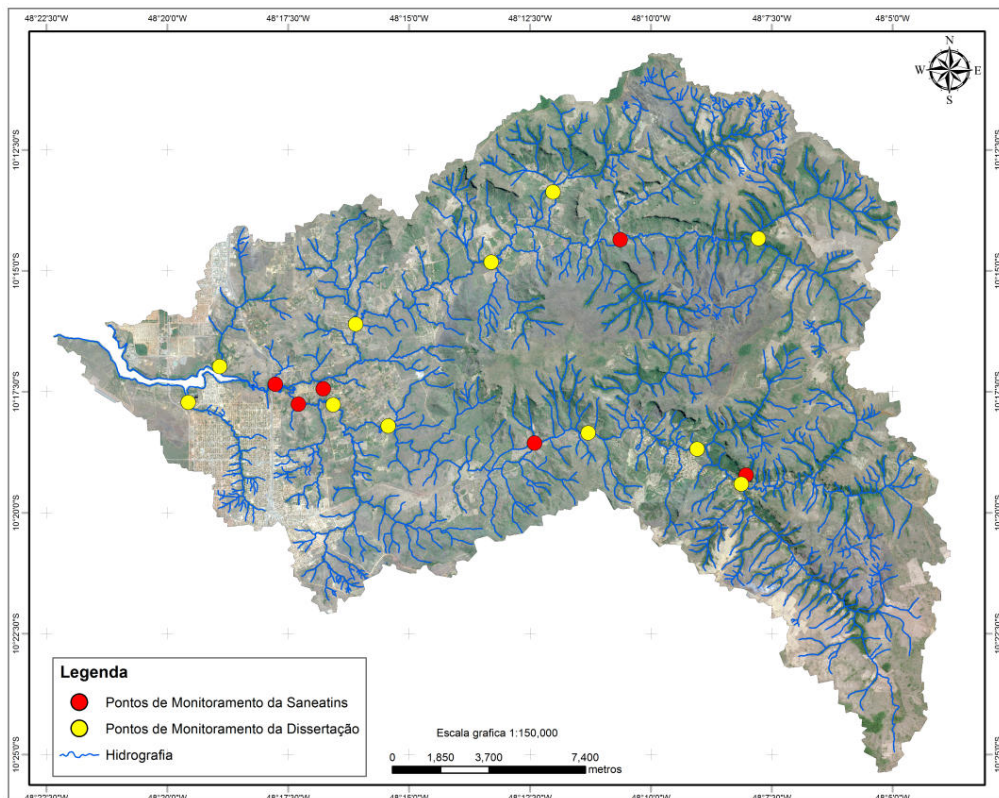
**Figura 13.** Coleta de amostra de água para análise bacteriológica.



**Figura 14.** Utilização de sonda para coleta de dados *in loco*.



**Figura 15.** Coleta de dados no ribeirão Taquaruçu Pequeno na 1ª campanha.



**Figura 16.** Mapa de localização dos pontos amostrais.

**Quadro 7.** Parâmetros avaliados.

PARÂMETROS		TÉCNICA	REFERÊNCIA
Temperatura (°C)		Medida Direta	APHA (2005)
Turbidez (NTU)		Nefelometria	APHA (2005)
pH (Escala)		Medida Direta	APHA (2005)
Condutividade Elétrica (µS/cm)		Medida Direta	APHA (2005)
Oxigênio dissolvido (mg/L)		Medida Direta	APHA (2005)
Sólidos Totais Dissolvidos (PPM)		Medida Direta	APHA (2005)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)		Diferenciação	APHA (2005)
Óleos e graxas (mg/L)		Extração de Soxhlet	APHA (2005)
Nitrogênio	Amônia (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Nitrito (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Nitrato (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
Sulfato (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Fósforo total (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Cloretos (mg/L)		Titulometria	APHA (2005)
Cloro livre (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Fluoreto (mg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Clorofila-a (µg/L)		Espectrofotometria	APHA (2005)
Metais	Ferro (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Manganês (mg/L)	Espectrofotometria	APHA (2005)
	Alumínio (mg/L)		APHA (2005)
Sólidos Suspensos (mg/L)		Calcinação	APHA (2005)
Coliformes Totais (NMP/100 mL)		Colilert	APHA (2005)
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		Colilert	APHA (2005)

#### 4.4 Aquisição dos Dados de Entrada do Modelo Hidrológico

Para a modelagem da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu foi utilizado o modelo matemático MGB-IPH, que visa auxiliar os gestores na avaliação das condições ambientais e tomada de decisões de gestão de recursos hídricos em grandes bacias hidrográficas.

Os principais dados de entrada no modelo são o tipo e uso do solo e dados hidroclimatológicos. Assim, foram utilizados como base de informação:

- (i) Dados climáticos:

**Quadro 8.** Estações meteorológicas consultadas para aquisição de dados.

Código	Estação	Latitude	Longitude	Período	Município
83033	INMET	-10°19'S	-48°03'W	1993-2015	Palmas
83064	INMET	-10°71'S	-48°41'W	1961-2015	Porto Nacional

- (ii) Dados pluviométricos:



**Quadro 9.** Estações pluviométricas consultadas para aquisição de dados.

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Período</b>	<b>Município</b>
1048005	Taquaruçu do Porto	-10°18'48"S	-48°09'45"W	1993-2015	Palmas
1048002	Porto Nacional	-10°43'0"S	-48°25'12"W	1969-1985	Porto Nacional
1048003	Palmas	-10°43'0"S	-48°25'0"W	1949-2015	Porto Nacional
1048001	Paraíso	-10°09'55"S	-48°53'26"W	1971-2015	Paraíso

(iii) Dados fluviométricos:

**Quadro 10.** Seções de controle das estações fluviométrica operadas pela SANEATINS/Odebrecht Ambiental.

<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Período</b>	<b>Ribeirão</b>
22351000	Taquaruçu do Porto	-10°15'49,89"S	-48°15'52,82"W	2002-2007	Taquaruçu Grande
00012013	MTP	-10°18'43,62"S	-48°09'16,48"W	2013-2015	Taquaruçuzinho
00022013	BTG	-10°17'13,95"S	-48°16'45,68"W	2013-2015	Taquaruçu Grande
00032013	BTP	-10°17'46,80"S	-48°17'16,76"W	2013-2015	Taquaruçuzinho
00042013	ATG	-10°14'17,29"S	-48°10'38,15"W	2013-2015	Taquaruçu Grande
00052013	ATP	-10°18'39,18"S	-48°12'23,80"W	2013-2015	Taquaruçuzinho

(iv) Dados cartográficos:

O primeiro dado de entrada do modelo MGB-IPH consiste na altimetria digital da bacia hidrográfica em estudo. Assim, para a obtenção do Modelo Digital de Elevação - MDE utilizou-se uma imagem do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) com resolução espacial de 30x30 m.

A base cartográfica (cobertura e uso da terra, estradas, áreas urbanizadas e áreas protegidas) utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi elaborada na escala 1:25.000 e advém do Projeto de Atualização Cartográfica e Mapeamento do Uso do Solo do Município de Palmas – TO, projeto executado em cumprimento do Termo de Ajuste de Conduta celebrado entre a 25ª Promotoria de Justiça da Capital e a Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS/Odebrecht Ambiental. Esta base foi elaborada a partir de imagens SPOT 5, com resolução espacial de 2,5 metros, referente ao ano de 2011 (Junho/Julho), sensor HRC (High-Resolution Geometric). Os mapas gerados tiveram como base o sistema de projeção UTM com referencial geodésico SIRGAS 2000 e foram trabalhados no software ArcGIS 9.2. Dando continuidade ao mesmo projeto, uma segunda etapa consistiu na contratação de novos produtos, como o Mapa de Cobertura e Uso do Solo da bacia do ribeirão Taquaruçu.

Posteriormente, para a confecção dos polígonos relativos à pedologia da área de estudo foi utilizada a base cartográfica elaborada por Santos (2000) na escala 1: 250.000.

## **4.5 Discretização da Bacia**

O processo de discretização da bacia foi realizado utilizando-se o conjunto de ferramentas ArcHydro Tools, que foi desenvolvido pela Universidade do Texas em parceria com a empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute), que opera internamente no Programa ArcGIS. Assim, na sequência serão descritos de forma sucinta os procedimentos adotados para a preparação dos dados de entrada espaciais do MGB para a bacia estudada.

### **4.5.1 Remoção de Depressões (*pit removal*)**

A primeira etapa da discretização consiste na remoção de depressões espúrias existentes num MDE. Depressões ou áreas planas que apresentam cotas inferiores à vizinhança podem ocorrer naturalmente no relevo, mas, geralmente, são resultantes de erros nos processos de geração do MDE. Por essa razão, essas depressões devem ser retiradas por um procedimento automático, ao executar a ferramenta *Terrain Processing/DEM Manipulation/Fill Sinks*.

### **4.5.2 Determinação de direções de escoamento**

Consiste em assumir uma única direção de fluxo de cada pixel MDE, no qual a água flui de cada célula para uma das oito células vizinhas e o resultado é uma imagem raster, onde a cada pixel é atribuído um valor ou código que denota para qual dos vizinhos ele drena (PEREIRÁ PESSOA, 2010). Para a determinação das direções de fluxo, o ArcHydro Tools emprega o algoritmo conhecido como D8 ou Deterministic Eighth Neighbours que é acionado pela ferramenta *Terrain Processing/Flow Direction*.

### **4.5.3 Área de drenagem acumulada**

A terceira etapa da discretização da bacia constituiu na determinação da drenagem acumulada. O procedimento consiste na geração de uma nova imagem raster, levando-se em

consideração exclusivamente as direções de fluxo, onde cada pixel tem como atributo o valor correspondente ao somatório das áreas superficiais de todos os pixels cujo escoamento contribui para o pixel em questão. No ArcHydro esta operação é realizada pela ferramenta *Terrain Processing/Flow Accumulation*.

#### **4.5.4 Rede de drenagem**

O Arhydro permite a geração automática de um plano de informações referente à rede de drenagem a partir do raster de áreas acumuladas (Fac). A função de definição da rede de drenagem é acionada a partir da ferramenta *Terrain Processing/Stream Definition*.

#### **4.5.5 Trechos individuais da rede de drenagem**

A rede de drenagem gerada na etapa anterior pode apresentar locais em que dois ou mais rios se unem e pontos em que a rede de drenagem se inicia. Assim, os trechos individuais são gerados pela segmentação da rede de drenagem *raster* e são definidos como trechos da rede que une duas confluências ou um trecho que parte do início da drenagem e chega até a primeira confluência subsequente. Para segmentar a rede de drenagem em trechos é utilizada a função *Terrain Preprocessing / Stream Segmentation*.

#### **4.5.6 Minibacias incrementais**

No mapa de trechos individualizados são identificadas todas as células que drenam para um mesmo trecho e as estas células é atribuído o mesmo código de grade dos trechos.

Dessa forma, a partir da operação descrita no item anterior é criado o mapa de minibacias raster, selecionando a função *Terrain Preprocessing/Catchment Grid Delineation*.

#### **4.5.7 Sub-bacias**

No modelo MGB, as sub-bacias são unidades maiores que as minibacias. Para definir as sub-bacias considerou-se a localização dos postos fluviométricos operados pela Odebrecht Ambiental. Para tanto, usou-se a função *Watershed Processing/ Batch Subwatershed Delineation*.

#### 4.6 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica

Para a definição das URHs na bacia em estudo foi utilizado o mapa de solos elaborado por Santos (2000) e o mapa de cobertura e uso disponível na base de dados da Prefeitura de Palmas.

Em função do objetivo da criação de URHs estar relacionado com a identificação de áreas com comportamento hidrológico similar, e pelo fato de o mapeamento de solos e de uso do solo ter objetivos que vão além da questão hidrológica, é necessária a reclassificação dos mapas digitais utilizados em um número menor de classes, considerando o potencial de geração de escoamento superficial e de base.

Assim sendo, para a bacia do ribeirão Taquaruçu, os solos originalmente classificados em Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico; Plintossolo Pétrico; Gleissolo Háplico + Neossolo Flúvico; Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho Amarelo + Plintossolo Pétrico; Latossolo Vermelho Amarelo e Neossolo Litólico, foram reclassificados em apenas 2 classes: solos rasos (alto potencial de geração de escoamento superficial) e solos profundos (baixo potencial de geração de escoamento superficial). No Quadro 11 abaixo, segue a relação estabelecida entre as classes de solos originais e as novas classes estabelecidas.

**Quadro 11.** Relação entre as classes de solos originais e as novas classes.

<b>Classes Originais</b>	<b>Classes de Potencial de Geração de Escoamento Superficial</b>
Latossolo Vermelho	1
Latossolo Vermelho Amarelo	1
Latossolo Vermelho Amarelo + Plintossolo Pétrico	1
Neossolo Litólico	5
Gleissolo Háplico + Neossolo Flúvico	5
Cambissolo Háplico + Neossolo Litólico	5
Plintossolo Pétrico	5

**Legenda:** 1 = solos profundos (baixo potencial); 5 = solos rasos (alto potencial).

O mapa de cobertura e uso do solo, originalmente constituído por 15 classes, foi reclassificado, o que permitiu a criação de apenas 04 classes, são elas: água, agropecuária, vegetação e área urbana.

Após estes procedimentos, os dois planos de informação foram combinados, por meio da utilização da ferramenta *Union* do *Analysis Tools* do ArcGIS, resultando em um nome arquivo raster.

#### **4.7 Aplicação do PréPro-MGB com interface no MapWindow GIS**

A função do PréPro é gerar as informações de entrada do modelo hidrológico MGB-IPH, referentes às características fisiográficas de cada mini-bacia, a partir de arquivos raster gerados anteriormente pelo conjunto de ferramentas ArcHydro, no processo de discretização.

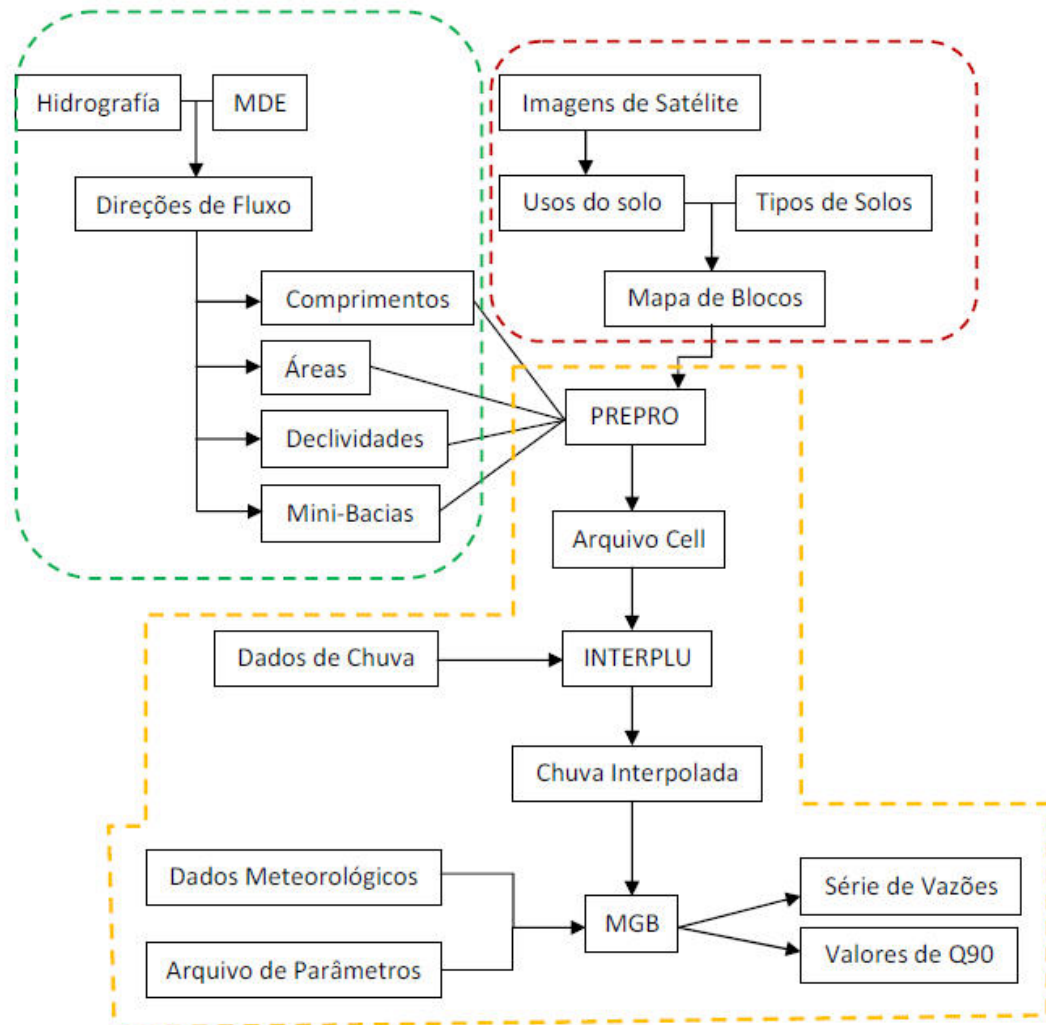
Para a aplicação do PréPro-MGB foram necessários 6 arquivos de entrada no formato ASCII: Modelo Digital de Elevação - MDE, Direções de Fluxo, Minibacias, Rede de Drenagem, Unidades de Resposta Hidrológica – URHs e Sub-bacias. Todos estes arquivos apresentavam a mesma resolução espacial e as mesmas coordenadas do retângulo envolvente (área de trabalho).

Após o carregamento de todos esses arquivos, o PréPro foi executado. O principal resultado do programa é o arquivo MINI.MGB, em formato ASCII (TXT). Esse é o principal arquivo de entrada para a aplicação do modelo MGB-IPH, porque contém as informações de discretização, topologia hídrica e de características físicas da bacia hidrográfica que vai ser simulada (área, área acumulada, comprimentos e declividades de trechos de rios, etc.).

#### **4.8 Simulação no MGB-IPH com interface no MapWindow GIS**

Para a determinação da disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Taquaruçu utilizou-se o modelo hidrológico MGB-IPH.

Para a sua aplicação foram necessários os seguintes dados de entrada da bacia do ribeirão Taquaruçu: séries históricas de chuva e vazão, séries de temperatura, pressão, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento, além dos dados gerados no pré-processamento no PréPro-MGB (arquivo MINI.MGB). A Figura 12 demonstra a preparação dos dados de entrada, os processos e os resultados do modelo.



**Figura 17.** Etapas de preparação dos dados, processos e resultados do MGB-IPH.

**Fonte:** Collischon (2009).

O primeiro passo para a aplicação do modelo foi criar um projeto no Mapwindow, e então gerar um arquivo shapefile dos centróides das minibacias na própria interface do MGB no MapWindow. Na sequência, foram gerados dois arquivos shapefile, um contendo as coordenadas dos postos fluviométricos utilizados e outro dos postos pluviométricos.

O modelo MGB-IPH ainda necessita de um arquivo de dados de chuva interpolados. Para isto, é necessário interpolar os dados de chuva dos postos pluviométricos para a posição dos centróides das minibacias. Essa etapa foi realizada na ferramenta "Precipitação". Para tanto, foi especificado o período compreendido entre 10/02/2002 a 31/08/2015 para a interpolação, pelo fato deste intervalo apresentar dados de vazão disponíveis. Assim, foi gerado o arquivo "CHUVA.MGB".

Ainda foi gerado um arquivo das vazões observadas nos postos fluviométricos. O período de dados selecionado foi exatamente o mesmo da chuva interpolada, isto é, 10/02/2002 até 31/08/2015.

No que tange aos dados meteorológicos, o modelo necessita de dois tipos de arquivos: dados de clima diários e dados de clima médios mensais. Esses dados foram gerados na ferramenta “Clima” após a seleção dos dados das duas estações meteorológicas do INMET (83033 e 83064) disponíveis na base interna do MGB-IPH.

O último passo para a aplicação do modelo consistiu na definição dos parâmetros fixos e calibráveis. Os parâmetros fixos compreendem: albedo, altura da vegetação, índice de área foliar, e resistência superficial em boas condições de umidade do solo. Todos esses parâmetros são utilizados no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith. Os parâmetros fixos adotados no presente trabalho estão dispostos no Quadro 12 e, se baseiam nos intervalos de valores sugeridos por Collishonn (2001), adotando-se uma variação dos parâmetros conforme a estação do ano (seca e chuvosa).

**Quadro 12.** Parâmetros fixos utilizados para a simulação no modelo MGB.

<b>ALBEDO</b>												
<b>Uso</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Veg_p rof	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
Agro_p rof	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15
Veg_ra so	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
Agro_r aso	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15
Area_u rb	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Água	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
<b>5. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR</b>												
<b>Uso</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Veg_p rof	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.90
Agro_p rof	1.50	2.00	2.50	1.50	1.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.90	1.00	1.20
Veg_ra so	1.00	1.00	1.00	0.80	0.60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.70	0.80	0.90
Agro_r aso	1.50	2.00	2.50	1.50	1.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.90	1.00	1.20

Area_urb	0.50	0.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.20	0.20	0.20	0.35	0.40	0.45
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES</b>												
<b>Uso</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Veg_prof	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Agro_prof	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Veg_raso	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Agro_raso	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Area_urb	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Água	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>RESISTÊNCIA SUPERFICIAL</b>												
<b>Uso</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
Veg_prof	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Agro_prof	60.0	60.0	60.0	70.0	70.0	80.0	80.0	80.0	90.0	80.0	70.0	60.0
Veg_raso	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Agro_raso	60.0	60.0	60.0	70.0	70.0	80.0	80.0	80.0	90.0	80.0	70.0	60.0
Area_urb	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

O arquivo dos parâmetros calibráveis foi modificado inúmeras vezes no decorrer da calibração das sub-bacias, todavia, nos Quadros 13 e 14 são apresentados os valores adotados para a simulação preliminar no MGB-IPH.

**Quadro 13.** Parâmetros calibráveis associados às URHs adotados na simulação preliminar.

<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>Cap</b>	<b>Wc</b>
Veg_prof	1000	0.1	1.0	2.0	0.6	0	0.1
Veg_raso	300	0.1	1.0	2.0	0.6	0	0.1
Agro_prof	1000	0.1	1.0	2.0	0.6	0	0.1
Agro_raso	300	0.1	1.0	2.0	0.6	0	0.1
Area_urb	130	0.1	1.0	2.0	0.6	0	0.1
Água	0	0	0	0	0	0	0



**Quadro 14.** Parâmetros calibráveis associados às sub-bacias adotados na simulação preliminar no MGB-IPH.

PARAMETRO	Wm	UNIDADE
CS	13	Adimensional
CI	100	Adimensional
CB	1200	Horas

### 5.1.1 Calibração do Modelo

A etapa de calibração do modelo foi desenvolvida em duas etapas: calibração manual e automática. Em ambas as etapas, as funções objeto escolhidas para avaliar os parâmetros selecionados neste trabalho foram as seguintes, na presente ordem:

- 1°. Erro dos valores das vazões  $Q_{90}$  observadas e calculadas ( $NS_{log}$ ), por ser influenciado pelas vazões mínimas;
- 2°. Diferença de volumes totais calculados e observados ( $\Delta V$ ) e;
- 3°. Coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $NS$ ).

## 5.2 Simulação no SAD-IPH

Para a simulação no modelo SAD-IPH foram utilizados os dados provenientes do pré-processamento no ArcHydro, que também foram usados na aplicação no MGB-IPH.

O SAD-IPH possui dois módulos distintos para simulação, o quantitativo e qualitativo. Para a simulação do primeiro foram incluídas as informações dos usuários da água da bacia, resultantes do levantamento de campo efetuado, onde foram aplicados 404 questionários. No arquivo *Excel* denominado “Retiradas” foram inseridas as seguintes informações: identificação de cada usuário, as coordenadas geográficas de cada ponto de captação, o uso a que se destina a água captada e a vazão demandada, como pode ser visualizado na Figura 18. Esses dados foram carregados de forma automática no SAD-IPH.

A inserção dos dados de vazão foi realizada por meio da importação dos dados gerados no MGB-IPH.

Nome	x	y	abastecimento	dessedentacao animal	saneamento	industria	irrigacao	total
Douzia	1019134	4808330	0.00001215	0.0000003703	0	0	0	0.0000125203
Valder	1019553	4808781	0.000005208	0.0000000000	0	0	0	0.0000052080
Vitau Batista	1019292	4808510	0.00000868	0.0000000861	0	0	0	0.0000087661
Gilberto Gomes Borges	1019456	4808528	0.00008208	0.0000024650	0	0	0.00111	0.0000845450
Elizena Moto	1019320	4808416	0.00001736	0.0000000579	0	0	0	0.0000174179
Amorim	1019379	4808443	0.000000463	0.0000000347	0	0	0	0.0000000810
Valner Cleison	1019218	4808335	0.00001041	0.0000000261	0	0	0	0.0000104361
Daniel Budolg	1019356	4808371	0.000001736	0.0000000000	0	0	0	0.0000017360
Nizamar	1019437	4808292	0.000005208	0.0000000261	0	0	0	0.0000052341
Maria Jessa	1018093	4816188	0.00000868	0.0000000579	0	0	0	0.0000087379
Maia de Fatima	1018014	4816251	0.00000868	0.0000000000	0	0	0	0.0000086800
Paulo Renato	1017553	4816247	0.000005208	0.0000004074	0	0	0	0.0000092820
Geraldo Ferreira Martins	1017165	4816007	0.00001736	0.0000000579	0	0	0	0.0000174179
Ariston Lima Cotrim	1017509	4816155	0.00001736	0.0000096875	0	0	0	0.0000270475
Gecivane	1017592	4816212	0.00001418	0.0000003587	0	0	0	0.0000145387
Maria Aparecida Mendonça	1019084	4817177	0.00001215	0.0000005472	0	0	0	0.0000176220
Irani P Carvalho	1019030	4817146	0.000000463	0.0000000827	0	0	0	0.0000001290
Luiz de Oliveira	1018134	4815335	0.00001215	0.0000003703	0	0	0	0.0000125203
Jose Monteiro Filho	1018072	4815189	0.000005208	0.0000002453	0	0	0	0.0000076610
Maria de Jesus	1018282	4816142	0.000005208	0.0000002453	0	0	0	0.0000076610

**Figura 18.** Arquivo *Excel* com as informações dos usuários de água da bacia.

Para executar o módulo quantitativo ainda é necessária a inserção das regras de outorga. Neste caso, adotou-se as regras definidas pelo órgão estadual de meio ambiente que efetua a gestão dos recursos hídricos – NATURATINS, onde a vazão de referência é a  $Q_{90}$ . O limite de vazão outorgável corresponde a 75% da  $Q_{90}$  e a vazão máxima requerida por usuário não pode ultrapassar 25% da  $Q_{90}$ . Essas regras e critérios foram considerados por meio da interface mencionada que indicou esses limites como coeficientes nos cálculos efetuados.

Para a simulação no módulo qualitativo são imprescindíveis dados acerca das cargas de poluição de origem pontual e/ou difusa. Em função das incertezas sobre os seus respectivos valores de concentração, usados como dados de entrada no modelo, essas variáveis foram consideradas na análise de incertezas. Assim, o Quadro 15 apresenta a localização dos pontos de lançamento pontuais de efluentes e o Quadro 16 os intervalos de variação das concentrações de poluentes, definidos com base em dados da literatura.

**Quadro 15.** Dados dos lançamentos pontuais efetuados na bacia em estudo.

Localização	Longitude	Latitude
ETE Aurenly	-48.3264	-10.2896
Distrito de Taquaruçu	-48.1505	-10.3113
Chacareiros – ribeirão Taquaruçu Grande	-48.2572	-10.3033
Chacareiros – ribeirão Taquaruçu Pequeno	-48.2781	-10.2956

**Quadro 16.** Intervalo de variação das concentrações de poluentes no esgoto doméstico.

DBO (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Nitrogênio (mg/L)	Coliformes (NMP/L)
60 – 200 (150)	1 – 11 (1.5)	3 – 24 (5)	$10^5 - 10^7 (5.10^6)$

**Fonte:** Larentis (2004).

A carga proveniente da poluição difusa, que varia em função do uso do solo, também foi considerada na simulação da qualidade da água da bacia. Pelo fato de haver grande dificuldade para estimar essas cargas, utilizou-se intervalos de valores descritos na literatura (Quadro 17).

**Quadro 17.** Intervalo de variação das concentrações de poluentes difusos.

Classe de Uso do Solo	DBO (mg/L)	Nitrogênio (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Coliformes (NMP/L)
Urbano	8 – 16 (20)	0,5 – 3 (2,5)	0,05 – 1,6 (1,0)	$10^4 - 10^8$ ( $10^8$ )
Agrícola	0,6 – 5 (10)	0,08 – 8 (1,5)	0,02 – 0,8 (0,35)	$10^3 - 10^7$ ( $10^4$ )
Pastagem	1 – 2,7 (4,5)	0,3 – 2 (0,8)	0,15 – 0,3 (0,20)	$10^3 - 10^7$ ( $10^6$ )
Floresta	0,3 – 1,1 – (2)	0,3 – 1,6 (0,5)	0,01 – 0,15 – (0,10)	$0 - 1,5 \cdot 10^1$ ( $10^1$ )

**Fonte:** Larentis (2004).

Além das cargas dos poluentes, foram definidos os parâmetros hidráulicos (declividade, profundidade, largura, velocidade e temperatura da água) e físico-químicos (oxigênio dissolvido de saturação, coeficiente de reaeração -  $K_a$ , coeficiente de remoção de matéria orgânica -  $K_r$ , coeficiente de decaimento bacteriano -  $K_{col}$ , coeficiente de decaimento do fósforo total -  $K_p$ , e os coeficientes de reação dos compostos nitrogenados).

**Quadro 18.** Intervalo de valores dos coeficientes para a simulação da qualidade da água.

$K_{col}$	$K_{oa}$	$K_{ai}$	$K_{in}$
0,5 – 1,5	0,20 – 0,25	0,15 – 0,25	0,10 – 1,00

**Fonte:** Von Sperling (2007).

Os dados acerca da qualidade da água, que foram gerados por meio da coleta e análise da água em 16 pontos distintos da bacia hidrográfica do ribeirão Taquaruçu, foram inseridos de forma automática, sendo que o SAD exige um arquivo *Excel* específico para cada ponto de monitoramento. Cada arquivo continha o nome do ponto na 1ª linha, as coordenadas x e y (longitude e latitude) na 2ª linha, e nas linhas seguintes os valores dos parâmetros, onde cada coluna representa uma campanha de monitoramento (Figura 19).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Nome:	Ponto1							
2	Coordenadas:	-10.305833	-48.18833						
3	DBO	3.86	2.03	0	0	0	0	0	0
4	OD	7.53	8.18	0	0	0	0	0	0
5	N org	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Amônia	0.04	0.07	0	0	0	0	0	0
7	Nitrito	0.002	0.002	0	0	0	0	0	0
8	Nitrato	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0
9	P total	0.91	0.04	0	0	0	0	0	0
10	Coliformes	2419.6	1600	0	0	0	0	0	0
11									
12									
13									

**Figura 19.** Arquivo Excel com os dados de monitoramento da qualidade da água da bacia.

Assim, de posse desses dados, o SAD foi calibrado. Esse procedimento consistiu na inserção de diferentes valores de concentração dos poluentes difusos e pontuais, bem como dos parâmetros físico-químicos até que a simulação dos parâmetros analisados obtivesse comportamento semelhante aos dados do monitoramento da qualidade da água da bacia.

### 5.3 Construção dos Cenários

O presente trabalho estabeleceu três diferentes cenários para a bacia do ribeirão Taquaruçu, onde foram modificados apenas os dados de demanda da água e de lançamento de efluentes.

O Cenário Atual 1 representa a situação presente dos recursos hídricos no que tange à qualidade e quantidade de água demandada na bacia hidrográfica. Assim, o objetivo da simulação desse cenário foi avaliar as condições atuais dos recursos hídricos da bacia e dos elementos e fatores a eles vinculados, bem como analisar o seu histórico e as causas da atual situação.

O Cenário Futuro 2 analisa a evolução da situação dos recursos hídricos da bacia e de seus aspectos condicionantes, detectados e avaliados na condição atual em um horizonte temporal de 10 anos (2015-2025). Incorpora as tendências e projeções passíveis de mensuração, como o aumento da demanda da água da bacia em função do aumento

populacional, considerando os critérios de outorga da bacia. Cabe destacar que este cenário incorpora apenas projeções de crescimento de demanda dos usos abastecimento urbano, abastecimento rural e dessedentação animal, visto que esses são os usos mais expressivos existentes na bacia.

O Cenário Alternativo 3 levou em consideração a análise da situação atual (cenário 1) e seus fatores intervenientes, bem como a projeção de sua evolução (cenário 2), para um horizonte temporal de 20 anos (2015 – 2035).

Assim, os cenários 2 e 3 permitem avaliar a capacidade do sistema hídrico de atendimento das demandas estimadas na bacia para diferentes horizontes temporais, considerando a disponibilidade de água definida por critérios de outorga.

Para tanto, foram utilizados os dados de projeção populacional do município para um horizonte de 20 anos (2015-2035), contemplados no Plano Municipal de Saneamento (PALMAS, 2014). Essa projeção levou em consideração as taxas geométricas de crescimento anual (TGCA) decrescentes com base nas informações de projeção populacional mais recente realizada pelo IBGE. Para a estimativa do consumo de água da população urbana atendida pelas duas ETAs instaladas na bacia, considerou-se um consumo per capita de 250 L/hab.dia, valor adotado pela Companhia de Saneamento do Tocantins - SANEATINS/Odebrecht Ambiental para moradores da área urbana. Assim, utilizou-se a Equação 41 para estimar a vazão média diária para o período avaliado:

$$Q_m = \frac{P*q}{86400} \quad (41)$$

Onde:

$Q_m$  = vazão média em L/s;

$P$  = população urbana (hab.);

$q$  = consumo per capita em L/hab.dia.

Como a projeção deve considerar apenas a população atendida pela água advinda da bacia do ribeirão Taquaruçu, foram feitas as seguintes ponderações: a ETA 006, situada na bacia, atende 70% da população urbana de Palmas e a ETA 007, 100% da população urbana residente no distrito de Taquaruçu.

Para a projeção da demanda hídrica para o abastecimento da população rural, adotou-se o consumo per capita de 150 L/hab.dia. Em seguida, foram determinadas as demandas para a população rural, a partir do produto do consumo per capita pela respectiva população rural

projetada para a bacia, adotando-se taxas de crescimento, que segundo o IBGE equivalem a 1.0% a.a.

A projeção da demanda hídrica para a dessedentação animal levou em consideração os dados obtidos no levantamento de campo, além de uma taxa geométrica de crescimento de 1% a.a, adotado pela Secretaria Municipal da Agricultura e Desenvolvimento Rural (2010).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

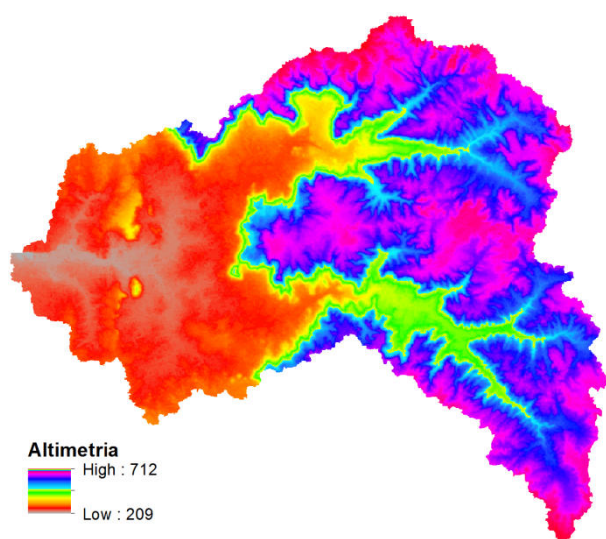
Neste item são apresentados os resultados da discretização da bacia hidrográfica; dos parâmetros usados para calibração e modelagem hidrológica, utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH; da modelagem da quantidade e qualidade da água utilizando o Sistema de Apoio à Decisão SAD-IPH e; da simulação de três cenários.

### 6.1 Discretização da Bacia do ribeirão Taquaruçu

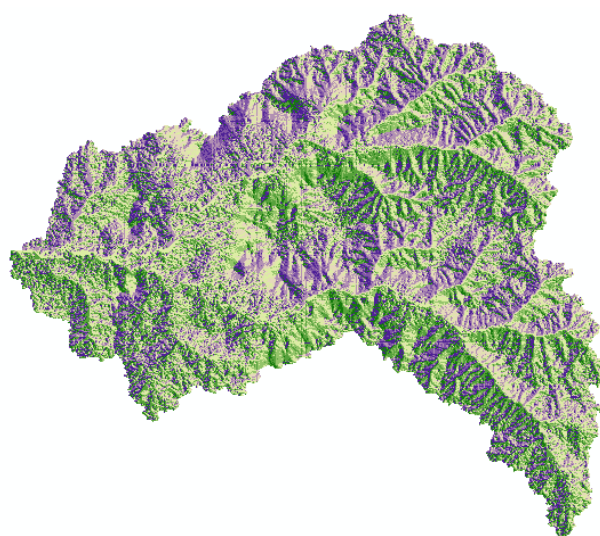
Os resultados apresentados na sequência correspondem à etapa de pré-processamento dos dados, na qual as características físicas da bacia são organizados e/ou processados, para utilização nos modelos MGB-IPH e SAD-IPH.

A representação altimétrica, obtida por meio de imagens ASTER, mostra que as altitudes na bacia em estudo variam de 209 a 714 metros, aproximadamente. Na Figura 20 é apresentado um mapa do modelo digital de elevação, após a remoção de depressões espúrias, onde se evidencia que o relevo da bacia é acidentado em sua maior parte, sendo suave apenas na parte oeste, onde se encontra o maior adensamento populacional.

A Figura 21 expressa o resultado da operação para a determinação das direções de fluxo da água no ArcHydro, a qual leva em consideração o relevo da bacia (MDE), expresso pela Figura 20.

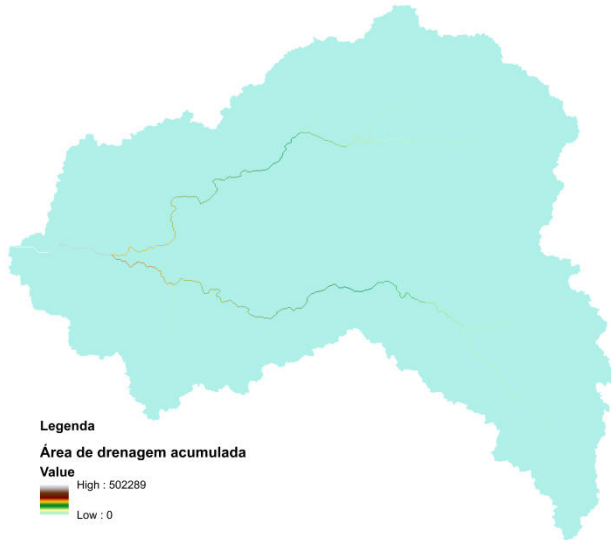


**Figura 20.** Variação altimétrica da bacia.



**Figura 21.** Direções de escoamento, onde cada pixel indica o sentido que a água escoará.

A partir das direções de fluxo foi determinada a área de drenagem acumulada da bacia (Figura 22). A Figura 23 representa a rede de drenagem da bacia, definida de forma automática no ArcHydro, tendo como dado de entrada a área de drenagem acumulada.

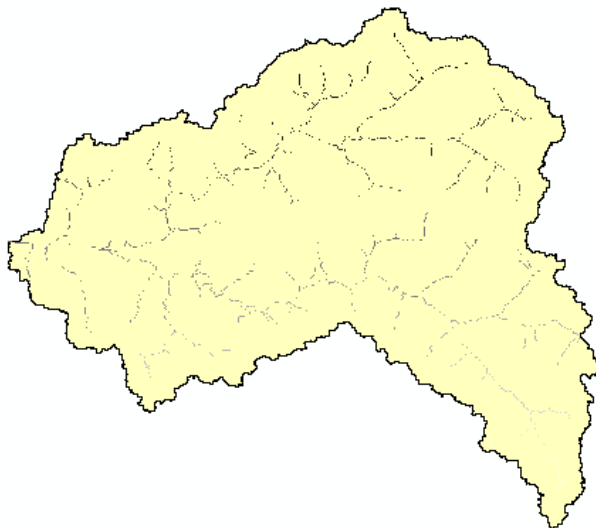


**Figura 22.** Área de drenagem acumulada.

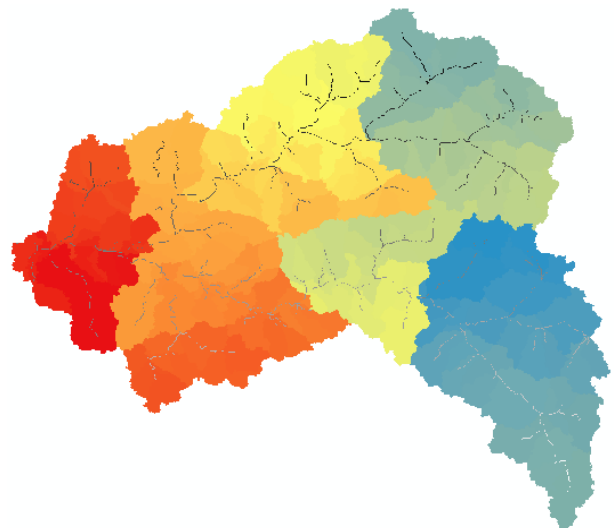


**Figura 23.** Rede de drenagem.

A Figura 24 demonstra a rede de drenagem segmentada em trechos individuais localizados entre duas confluências sucessivas, ou entre o início da rede de drenagem e a próxima confluência. Ao todo foram gerados 205 trechos de rio. Na sequência, cada trecho de rio foi contemplado com uma minibacia incremental, como pode ser visualizado na Figura 25.



**Figura 24.** Trechos de rios individualizados.

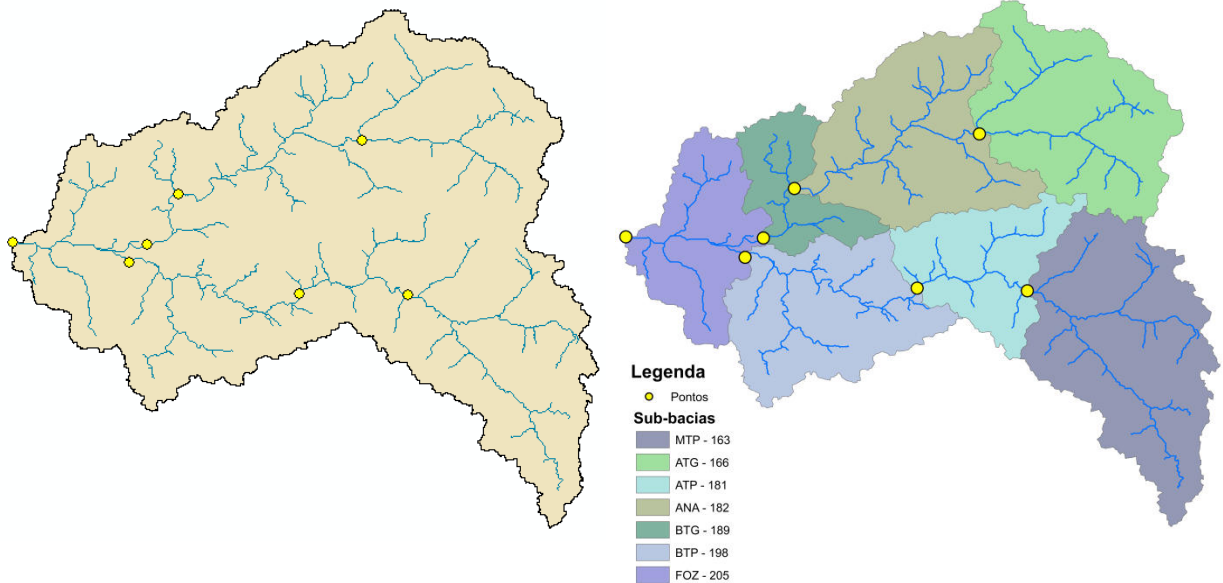


**Figura 25.** Minibacias incrementais.

A Figura 27 mostra a divisão da área da bacia em 7 sub-bacias, que foram delimitadas a partir da localização dos pontos de controle (postos fluviométricos) operados pela Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS/Odebrecht Ambiental (Figura 26).



Como pode ser visto, cada sub-bacia corresponde a área à montante de cada posto fluviométrico.

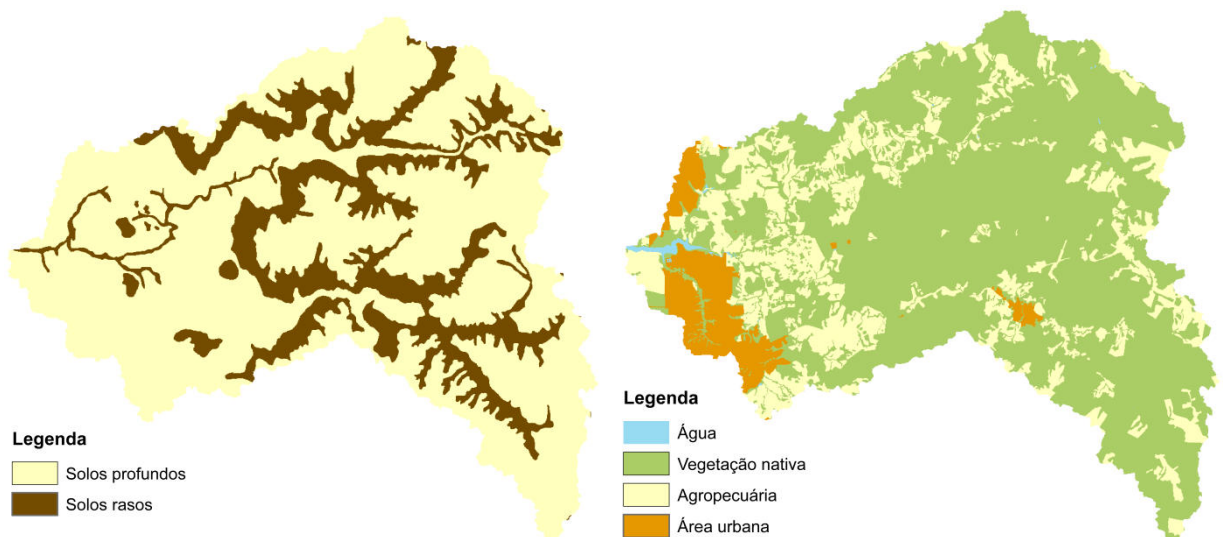


**Figura 26.** Localização dos postos fluviométricos.

**Figura 27.** Sub-bacias definidas a partir da localização dos postos fluviométricos.

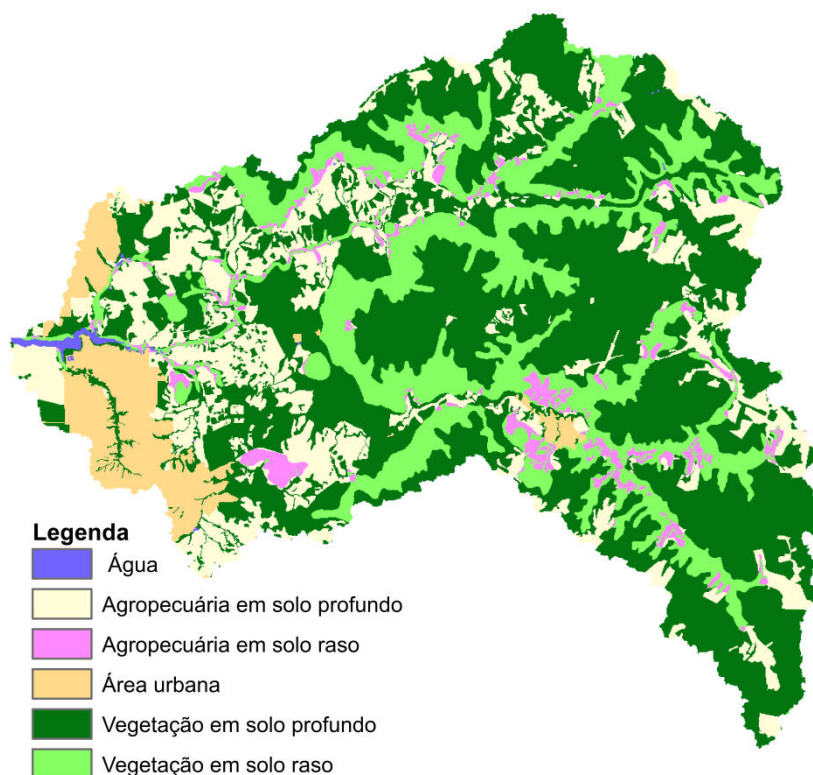
Após a reclassificação dos mapas de solos e cobertura e uso da terra (Figuras 28 e 29, respectivamente), ficou evidente o predomínio de solos profundos e de vegetação nativa na área da bacia.

A combinação desses planos de informação gerou seis unidades de resposta hidrológica (URH), que são áreas de comportamento hidrológico similar, também denominado bloco. Na Figura 30 são apresentadas as URHs e na Tabela 01 as características de cada bloco. Como já era esperado, a UHR prevalente foi *Vegetação em solo profundo*.



**Figura 28.** Mapa de solos.

**Figura 29.** Mapa de cobertura e uso da terra.



**Figura 30.** Mapa das URHs da bacia do ribeirão Taquaruçu.

**Tabela 1.** Dados das URHs geradas para a bacia em estudo.

Valor	Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Representatividade
1	Vegetação em Solo Profundo	222,816136	50,78%
2	Agropecuária em Solo Profundo	83,884896	19,12%
3	Vegetação em Solo Raso	88,739639	20,22%
4	Agropecuária em Solo Raso	14,28220	3,25%
5	Área Urbana	27,595762	6,29%
6	Água	1,481374	0,34%
	<b>Total</b>	<b>438,800</b>	<b>100%</b>

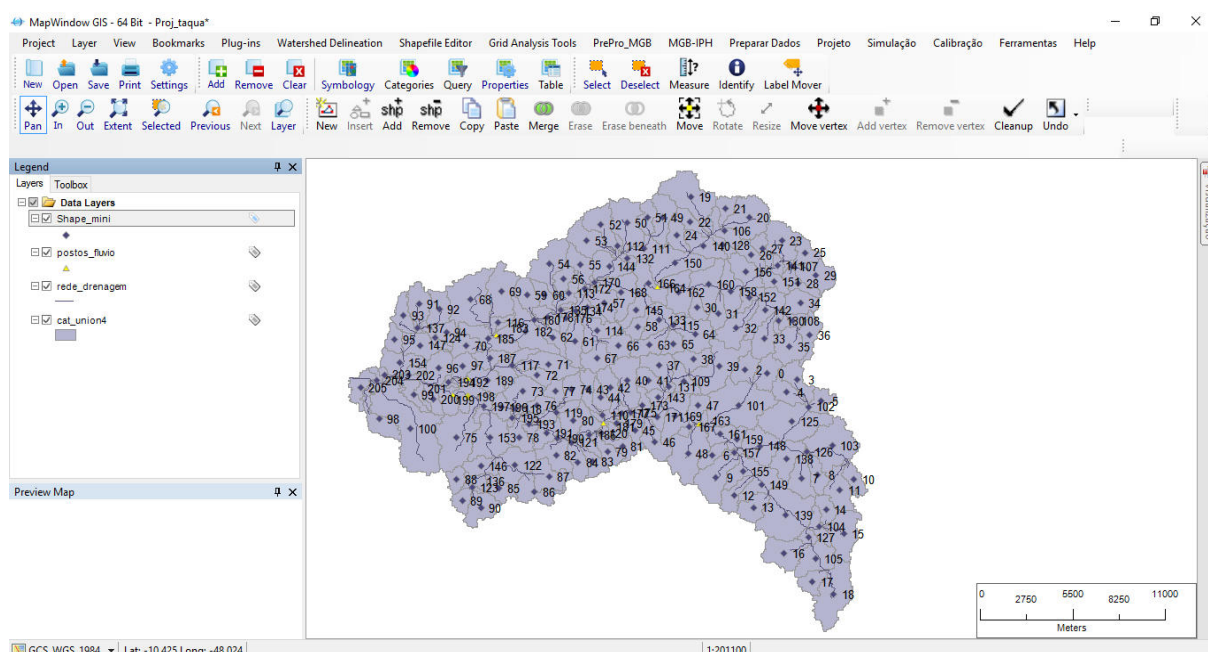
Após a transformação dos arquivos raster da rede de drenagem, MNT, direção de fluxo, sub-bacias, minibacias e URHs, em ASCII, estes foram carregados no Pré-Pro, onde então foi gerado o arquivo MINI.MGB.

Este arquivo contém os seguintes dados de cada minibacia: código (CatID), número de identificação em ordem topológica (iniciando pelas minibacias de cabeceira até o exutório), as coordenadas X e Y do centróide, sub-bacia a que pertence, área de drenagem (km<sup>2</sup>), área de drenagem total a montante (km<sup>2</sup>), comprimento (Ltr) e declividade (Str) do rio principal que atravessa a minibacia, comprimento (Lrl) e declividade (Srl) do afluente mais longo que

atravessa a minibacia, número da minibacia localizada imediatamente a jusante, ordem do curso d'água, campo para indicação do tipo de propagação da vazão no trecho da minibacia (Hdr), porcentagem da área da minibacia que existe cada uma das URHs (BLC).

## 6.2 Modelagem Hidrológica no MGB – IPH

Ao finalizar as etapas anteriores, iniciou-se o processo de simulação no MGB-IPH, que assim como o Pré-Pro MGB e o SAD-IPH, possui interface com o programa Mapwindow, como demonstra a Figura 31.



**Figura 31.** Dados carregados para simulação no MGB.

O Quadro 19 apresenta os valores para os parâmetros calibráveis adotados na simulação final do modelo MGB-IPH, para cada sub-bacia, os quais foram obtidos após várias tentativas de calibração manual e automática.

**Quadro 19.** Parâmetros calibráveis utilizados na simulação final.

SUB-BACIA MTP - 163							
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	Cap	Wc
Veg_prof	1000.0	0.12	1.46	27.40	0.89	0.00	0.10
Veg_raso	506.9	0.12	4.06	28.89	0.34	0.00	0.20
Agro_prof	381.4	0.12	4.49	5.89	0.43	0.00	0.10
Agro_raso	202.7	0.13	2.71	33.46	0.36	0.00	0.10
Area_urb	127.9	0.15	2.07	18.25	0.50	0.00	0.10
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.01	CI	151.97	CB	1212.00	QB	0.0100

<b>SUB-BACIA ATG - 166</b>							
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>Cap</b>	<b>Wc</b>
Veg_prof	1463.0	0.14	1.22	20.64	0.36	0.00	0.30
Veg_raso	496.0	0.09	2.01	26.72	0.96	0.00	0.10
Agro_prof	900.3	0.22	1.23	33.66	0.88	0.00	0.28
Agro_raso	304.8	0.14	6.51	11.60	0.32	0.00	0.20
Area_urb	82.1	0.24	5.39	26.84	0.89	0.00	0.21
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.00	CI	142.00	CB	1200.00	QB	0.0100
<b>SUB-BACIA ANA - 182</b>							
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>Cap</b>	<b>Wc</b>
Veg_prof	2230.2	0.12	2.11	16.01	0.38	0.00	0.15
Veg_raso	462.2	0.04	2.09	18.08	0.96	0.00	0.05
Agro_prof	936.0	0.15	2.34	22.34	0.88	0.00	0.14
Agro_raso	363.9	0.06	5.07	10.53	0.28	0.00	0.10
Area_urb	120.3	0.13	3.38	12.01	0.51	0.00	0.10
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.00	CI	140.62	CB	1211.00	QB	0.0100
<b>SUB-BACIA BTG - 189</b>							
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>Cap</b>	<b>Wc</b>
Veg_prof	2291.8	0.01	0.01	13.66	0.29	0.00	0.16
Veg_raso	1983.7	0.03	0.02	19.24	0.25	0.00	0.16
Agro_prof	999.5	0.02	0.02	16.66	0.09	0.00	0.03
Agro_raso	912.9	0.03	0.02	21.63	0.24	0.00	0.15
Area_urb	115.1	0.04	0.03	31.57	0.44	0.00	0.06
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.46	CI	111.96	CB	1565.00	QB	0.0100
<b>SUB-BACIA BTP - 198</b>							
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>Cap</b>	<b>Wc</b>
Veg_prof	663.0	0.19	0.01	30.14	0.36	0.00	0.15
Veg_raso	333.9	0.18	0.03	39.70	0.67	0.00	0.10
Agro_prof	529.0	0.26	0.02	36.34	0.88	0.00	0.14
Agro_raso	219.2	0.27	0.04	30.70	0.67	0.00	0.10
Area_urb	118.5	0.57	0.05	29.38	0.67	0.00	0.10
Água	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	24.15	CI	158.20	CB	1200.00	QB	0.0100

Para a calibração do modelo levou-se em consideração as informações de solos, geologia e usos e cobertura vegetal de cada sub-bacia, uma vez que essas características refletem o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Como visto na Figura 28 da seção 5.1 a bacia apresenta predomínio de solos profundos, principalmente em sua parte baixa, assim, nestas regiões ocorrem maiores taxas de absorção de água no solo. A ocorrência de solos rasos se restringiu às áreas das cabeceiras dos corpos hídricos, nas encostas e no topo da Serra do Lajeado, região onde ocorre maior contribuição para o escoamento superficial. No que tange à cobertura e uso do solo (Figura 29 da seção 5.1) a classe mais expressiva foi a vegetação nativa, cobrindo 71% da área total da bacia. Dessa forma, verifica-se que as

características das sub-bacias são homogêneas, havendo pequenas distinções apenas nas sub-bacias BTG - 189 e BTP - 198, que apresentam maiores ocorrências de atividades agropecuárias e área urbana.

Diante dessa constatação, foram testados diferentes valores para os parâmetros calibráveis do modelo, na tentativa de fazer com que o MGB concebesse as diferenças entre os usos e cobertura do solo na taxa de evapotranspiração e na propagação do escoamento nas URH's. Todavia, como visto no Quadro 19 não houve variação considerável entre os valores adotados para os mesmos parâmetros entre as sub-bacias.

O valor do parâmetro  $W_m$ , que retrata a taxa de absorção de água no solo, foi o parâmetro que mais diferenciou os blocos e foi inserido conforme as características do uso e cobertura para cada bloco/UHR. Os blocos que apresentam cobertura vegetal nativa receberam valores entre 333.9 e 2291 mm, já para os blocos contendo pastagem ou plantio de culturas foram adotados valores menores de  $W_m$  que variaram de 202.7 a 999.5 mm.

O parâmetro  $b$ , que representa a taxa de escoamento superficial após a saturação do solo variou de 0.01 a 0.57. Esses valores foram obtidos durante a etapa de calibração automática e foram modificados manualmente, de forma sutil, visando tornar mais suave a curva dos hidrogramas e ajustar melhor as vazões mínimas. Os valores adotados para  $K_{int}$ , que retrata o escoamento da camada do solo que escoam sub-superficialmente, variaram de 10.03 a 39.70.

Para o parâmetro  $K_{bas}$ , que representa o escoamento de base, foram adotados valores que variaram de 1.22 a 6.51 para as sub-bacias MTP - 163, ATG - 166 e ANA - 182, que possuem características semelhantes, já para as sub-bacias BTG - 189 e BTP - 198 os valores variaram de 0.01 a 0.57.

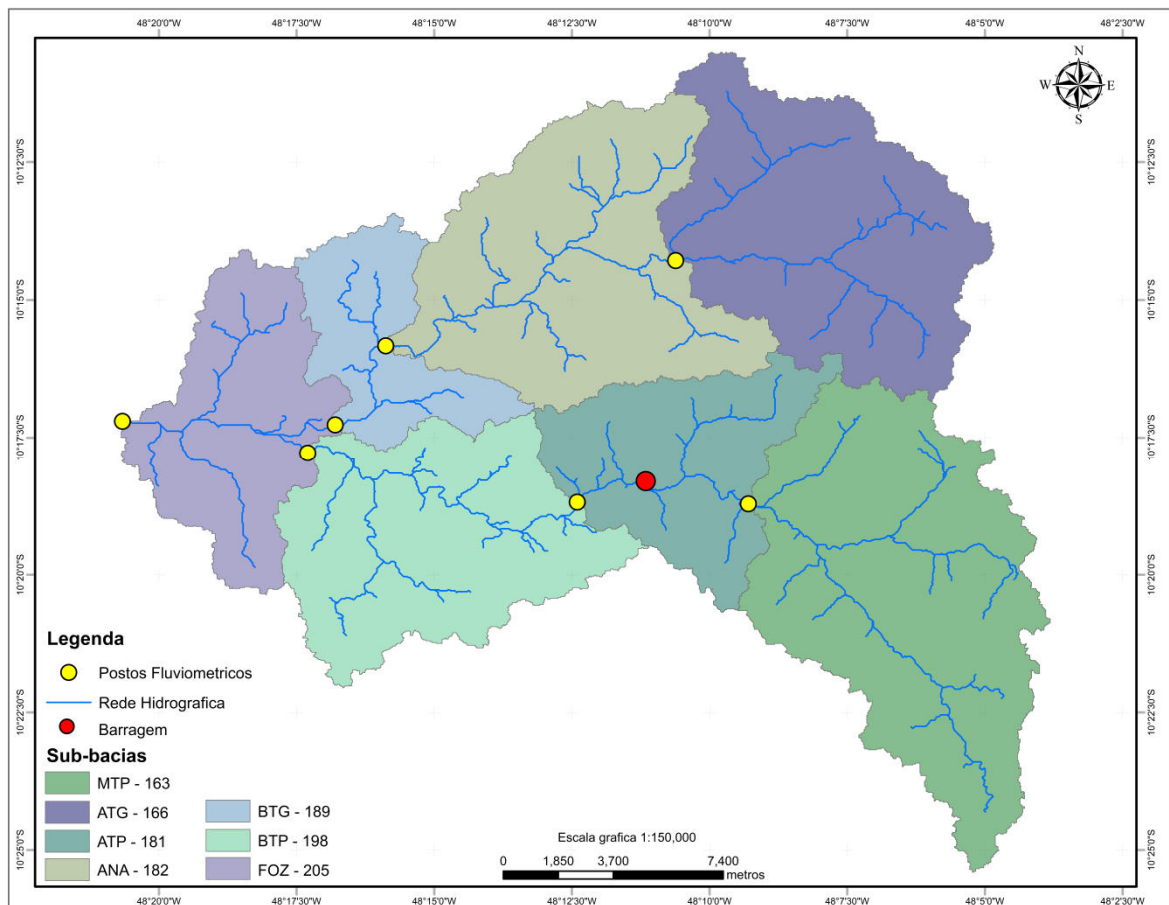
Para a porosidade dos solos representada por  $XL$ , foram utilizados os valores decorrentes da calibração automática, onde na maioria dos casos, atribuiu-se maior coeficiente para os solos argilosos, os mais profundos e, menores foram para os solos rasos.

O parâmetro  $CAP$ , que diz respeito ao fluxo de água subterrânea para superfície do solo, como visto no Quadro 19 permaneceu igual à zero para todos os blocos, visto que contribuição da água subterrânea para a o solo é desprezada no modelo.

A última etapa da calibração consistiu no ajuste do parâmetro  $W_c$ , o qual possui relação com  $W_m$ , que representa a taxa de absorção do solo.

Cabe ressaltar, que após varias tentativas de calibração manual e automática, os valores dos parâmetros, constantes no Quadro 19, foram adotados devido ao melhor ajuste na comparação dos valores de vazão calculada com as observadas, refletida na análise visual dos hidrogramas e curvas de permanências.

Destaca-se ainda, que as sub-bacias ATP – 181 e FOZ – 205 foram desconsideradas na etapa de calibração do modelo. A primeira foi desconsiderada pelo fato de haver uma barragem de acumulação de água em seu território (Figuras 32 e 33), o que modificou o regime de escoamento da água nesse trecho da bacia, gerando uma considerável discrepância entre os dados calculados pelo modelo e os dados de monitoramento da água desta sub-bacia. Assim, para neutralizar a presença dessa barragem, utilizou-se no processo de calibração do modelo um arquivo de vazões substituídas para essa sub-bacia. Esse procedimento é utilizado com frequência em bacias onde há barragens. A segunda sub-bacia (FOZ – 205) teve que ser desconsiderada visto que não há dados fluviométricos no exutório da sub-bacia, impossibilitando assim, a sua calibração.



**Figura 32.** Localização da barragem de acumulação de água, na sub-bacia ATP - 181.



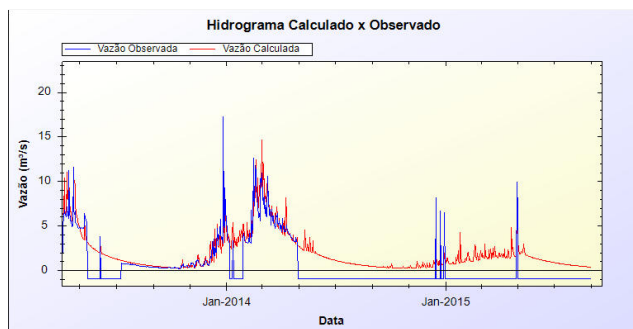


**Figura 33.** Vista da barragem de acumulação de água no ribeirão Taquaruçu Pequeno.

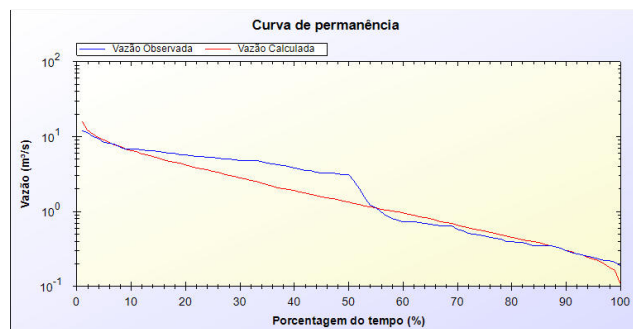
Os resultados da aplicação do modelo hidrológico são apresentados a seguir em termos de valores atingidos das funções objetivo, hidrogramas de vazões diárias e curva de permanência de vazões diárias. Esses resultados são referentes aos cinco postos fluviométricos instalados na bacia estudada. As Figuras 34 a 43 exibiram os hidrogramas e as curvas de permanência de cada sub-bacia.

Como pode ser visto, os postos localizados nas sub-bacias ATG-166 (Figura 32) e ANA-182 (Figura 39) obtiveram os melhores ajustes na curva de permanência entre os valores calculados e observados. Apesar disso, observa-se que as vazões máximas calculadas ou de cheia (parte superior esquerda da curva) da sub-bacia ATG – 166 foram superestimadas e as vazões de estiagem (parte inferior direita) subestimadas. Na sub-bacia ANA - 182, o modelo superestimou as vazões de estiagem. Essas constatações também podem ser observadas nas ascensões e recessões dos hidrogramas (Figuras 36 e 38).

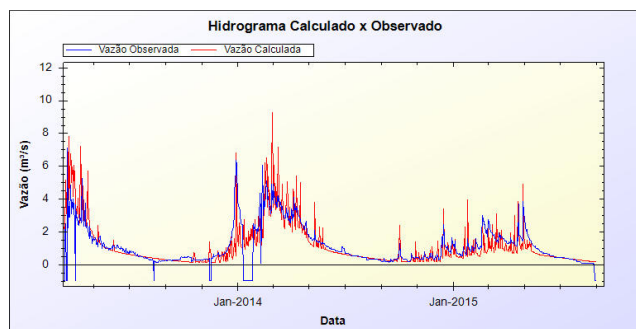
Para a sub-bacia MTP – 163, o modelo subestimou as vazões médias, porém as vazões extremas (de cheia e de estiagem - Figura 35) ajustaram-se adequadamente às observadas praticamente em todo o período modelado. Esse resultado, provavelmente, se deve à carência de dados da série histórica deste posto fluviométrico. Quanto às sub-bacias BTG - 189 (Figura 41) e BTP – 198 (Figura 43), o modelo superestimou as vazões de cheia, média e de estiagem.



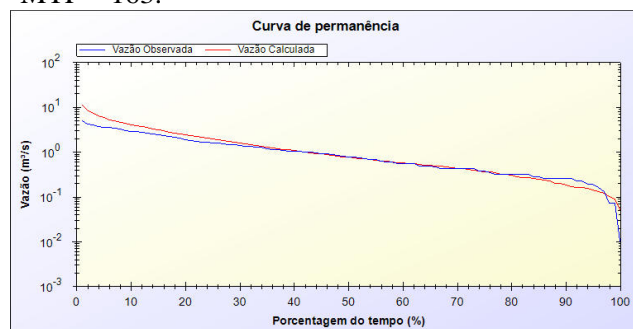
**Figura 34.** Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico MTP – 163.



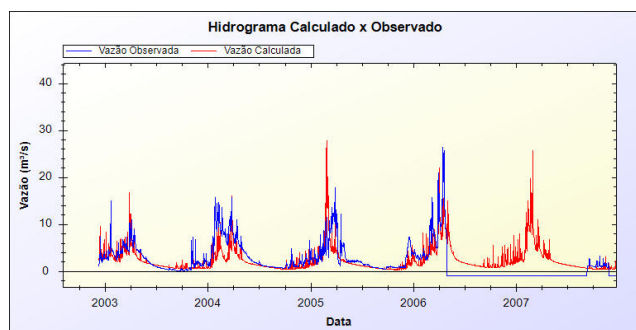
**Figura 35.** Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico MTP – 163.



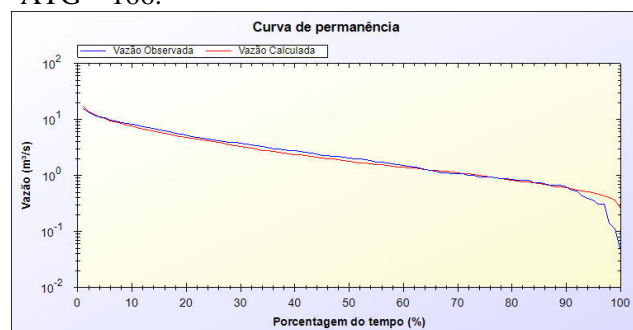
**Figura 36.** Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ATG – 166.



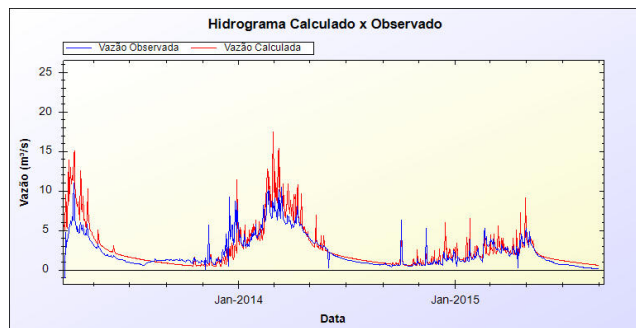
**Figura 37.** Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ATG – 166.



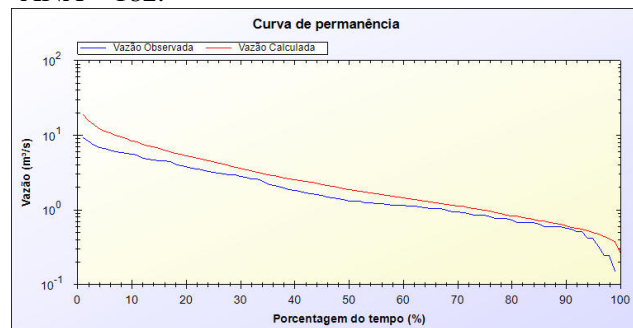
**Figura 38.** Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ANA – 182.



**Figura 39.** Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico ANA – 182.

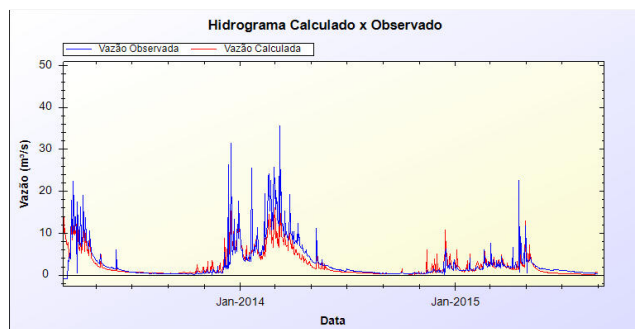


**Figura 40.** Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTG – 189.

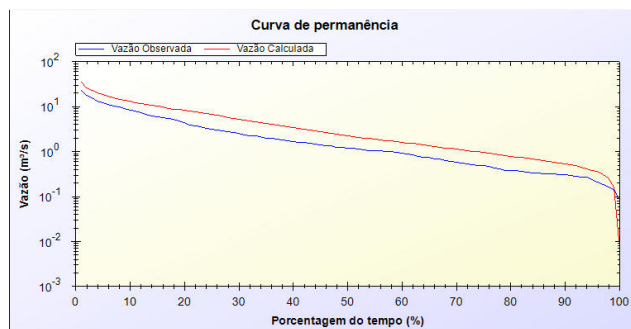


**Figura 41.** Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTG – 189.





**Figura 42.** Hidrograma das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTP – 198.



**Figura 43.** Curva de permanência das vazões calculadas e observadas do posto fluviométrico BTP – 198.

O Quadro 20 apresenta o resultado do desempenho da simulação do MGB-IPH quanto às funções objetivo.

**Quadro 20.** Resultados das funções objetivo das simulações realizadas nas sub-bacias.

Sub-bacia	Área de contribuição (km <sup>2</sup> )	NS	NSlog	$\Delta V$	Q <sub>90</sub> observada	Q <sub>90</sub> calculada
MTP - 163	97,67	0,806	0,932	2,576	0,2950	0,3335
ATG - 166	77,60	0,535	0,705	-7,190	0,2540	0,1970
ANA - 182	78,12	0,406	0,435	-32,398	0,7408	0,4170
BTG - 189	28,38	0,531	0,645	18,522	0,5469	0,6162
BTP - 198	65,85	0,677	0,597	-19,478	0,3071	0,2572

A correlação entre as vazões calculadas e observadas, expressa pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe, apresentou o melhor valor na estação 0012013 – MTP, correspondendo a 0,806, o que permite classificar o desempenho do modelo como satisfatório. Os valores obtidos desse coeficiente para as demais bacias são considerados aceitáveis.

No que tange a função objetivo NSlog, percebe-se que a sub-bacia MTP também obteve o melhor resultado na simulação (0,932), seguida da bacia ATG (0,705), BTG (0,645) e BTP (0,597).

Como esperado, o erro no volume da Q<sub>90</sub> foi menor na sub-bacia MTP – 163, que correspondeu a apenas 2,576 e o maior foi observado na bacia ANA – 182, equivalente a -32,398. O valor negativo para este coeficiente representa que o modelo simulou uma vazão mais baixa que a observada. Pereira Pessoa (2010) ao estudar a bacia do rio dos Sinos – RS obteve valores de erro no volume de suas cinco sub-bacias, na fase de calibração do MGB, superiores aos alcançados neste estudo, que variou de -9 a 78%.

É importante ressaltar que os melhores coeficientes, bem como as melhores curvas de permanência foram obtidos nas sub-bacias de cabeceira e os piores resultados nas sub-bacias

situadas nas proximidades da foz. A justificativa para tais resultados reside no fato de que as vazões observadas, utilizadas na calibração do MGB-IPH, consideram as captações efetuadas pelos usuários, ou seja, essas vazões não representam a vazão natural dos rios, mas sim a vazão real disponível nos mesmos. Dessa forma, as sub-bacias de jusante, que são as mais impactadas pelas retiradas de água da bacia em estudo, não obtiveram bons ajustes.

Diante dos dados aqui apresentados, pode-se considerar a calibração alcançada como adequada para o modelo MGB-IPH, tendo em vista a carência de dados das séries temporais dos dados hidrológicos e climáticos na bacia do ribeirão Taquaruçu, o que dificultou e limitou a calibração manual do modelo. Collischonn (2001) salientou em seus trabalhos que a qualidade dos resultados obtidos da modelagem se mostra dependente da quantidade de informações pluviométricas disponíveis, e a qualidade do ajuste dos hidrogramas calculados e observados é muito melhor em locais com alta densidade de postos pluviométricos, o que não é o caso da bacia em estudo, visto que as séries fluviométrica e pluviométrica utilizadas em quatro postos apresentavam apenas dois anos de dados. Além disso, a bacia não possui estação meteorológica. Assim, foram utilizados dados de duas estações do INMET situadas fora dos limites da bacia, uma em Palmas e outra no município de Porto Nacional, localizado a mais de 60 km da área em estudo. Os dados de clima são fundamentais para o cálculo de evapotranspiração para toda bacia. Para tanto, seria conveniente dados de pelo menos um posto climático situado na bacia. Outro fator que pode ter limitado a calibração foi o curto período das séries temporais disponíveis para os postos existentes, o que também impediu a validação do modelo.

Ainda, deve ser considerado que o modelo foi desenvolvido para grandes bacias hidrográficas, isto é, bacias com área superior a 10.000 km<sup>2</sup>, área bem superior à bacia estudada, que corresponde a 461,39 km<sup>2</sup>.

## **6.3 Modelagem Matemática no SAD-IPH**

### **6.3.1 Construção dos Cenários**

#### **6.3.1.1 Cenário 1 – Atual**

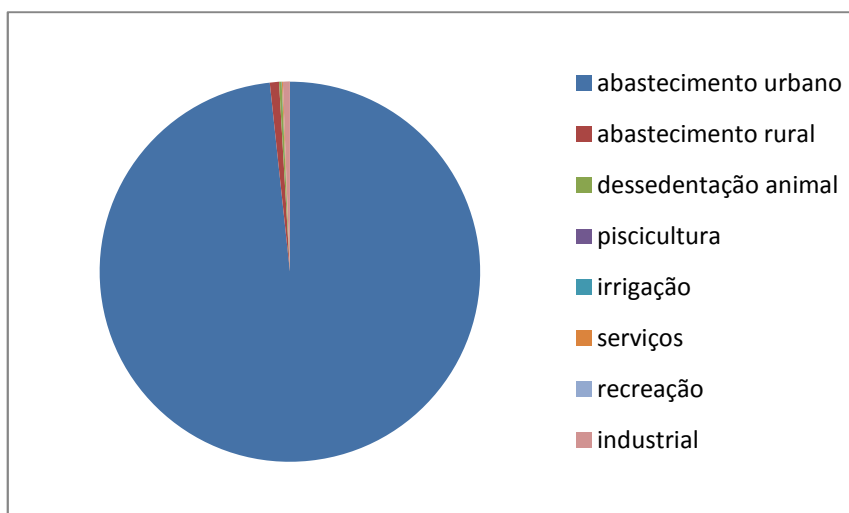
Nesse item serão apresentados os resultados da simulação no SAD-IPH tanto do módulo quantitativo quanto do módulo qualitativo, referentes aos dados de consumo e qualidade da água atual, configurando-se assim, em um panorama atual da bacia.

### 6.3.1.1.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda Atual

Como demonstrado no item 5.2, a disponibilidade hídrica da bacia foi estimada pelo modelo MGB-IPH. Já a demanda atual de água da bacia foi aferida por meio do levantamento de campo efetuado por meio da aplicação de questionários. Ao todo, foram visitadas 404 propriedades, entretanto, desse total, apenas 295 questionários foram validados para constituir o arquivo de entrada do SAD. O resultado deste levantamento pode ser verificado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Demanda atual de água na bacia do ribeirão Taquaruçu.

USO	DEMANDA (m <sup>3</sup> /s)
Abastecimento urbano	0,714000
Abastecimento rural	0,005727
Dessedentação animal	0,001676
Piscicultura	0,000001
Irrigação	0,000016
Serviços	0,000669
Recreação	0,000000
Industrial	0,004278
<b>TOTAL</b>	<b>0,726367</b>

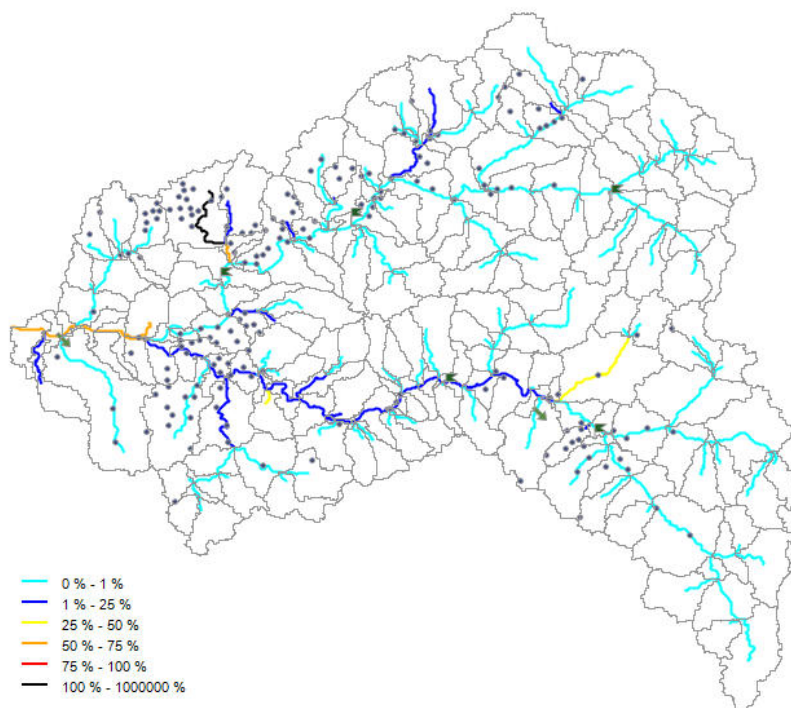


**Figura 44.** Demanda atual da bacia em m<sup>3</sup>/s por tipo de uso.

Como visto na Figura 44, o abastecimento urbano é o uso que mais demanda água da bacia, cerca de 98,29% da demanda hídrica total. Na sequência desponta o abastecimento rural, o industrial e a dessedentação animal. Os demais usos se mostraram pouco expressivos em termos de consumo de água.

Assim, para avaliar a interferência do consumo de água pelos usuários na disponibilidade hídrica da bacia e verificar se os limites para captação estabelecidos pela legislação estadual estão sendo respeitados, foram simuladas diferentes situações. Em todas as simulações utilizou-se a vazão  $Q_{90}$  como referência e a demanda hídrica foi mantida estável.

Na primeira simulação foi observada a interferência do consumo atual na disponibilidade hídrica –  $Q_{90}$  anual (Figura 45). Analisando esta situação, pode-se verificar que a maioria dos corpos hídricos da bacia está em condição favorável, onde o valor máximo da vazão captada em cada trecho representa apenas 1% da  $Q_{90}$ . Alguns afluentes dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçu Pequeno, além de um trecho expressivo do ribeirão Taquaruçu Pequeno encontram-se com o limite de 1 a 25% da  $Q_{90}$  comprometidos.



**Figura 45.** Vazão  $Q_{90}$  anual x demanda atual.

Entretanto, o córrego Roncador, tributário do Taquaruçu Pequeno, onde é realizada a captação da Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS/Odebrecht Ambiental para o abastecimento público do Distrito de Taquaruçu, já possui cerca de 25 a 50% de sua vazão de referência utilizada. Considerando que nesse trecho há apenas dois usuários

cadastrados e, que a Companhia de Saneamento capta o volume mais significativo de água - 0,014 m<sup>3</sup>/s ou 14 L/s - , pode-se afirmar que provavelmente essa captação, outorgada pelo órgão gestor estadual, está fora dos limites estabelecidos pela legislação estadual, onde um único usuário não pode captar volume maior que 25% da vazão de referência do curso hídrico.

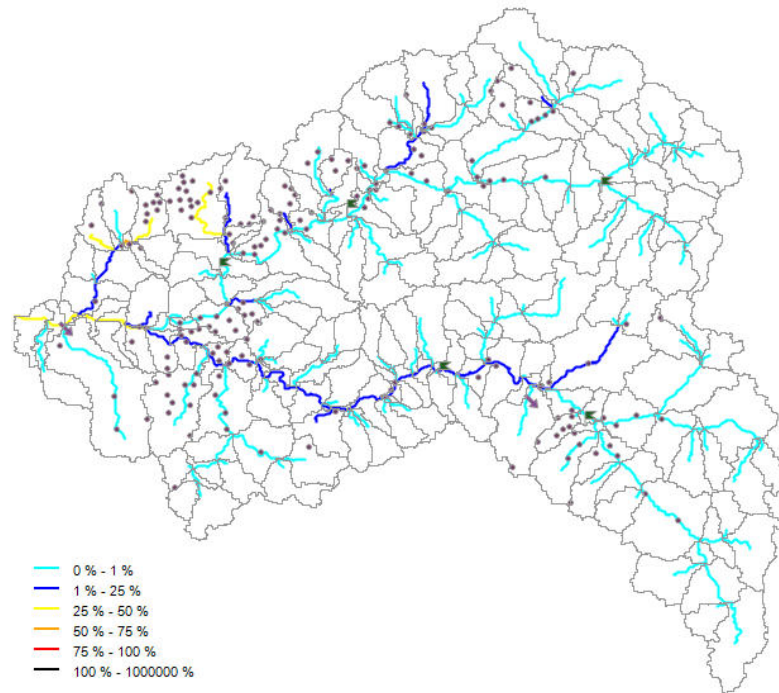
Ainda há dois trechos em que a Q<sub>90</sub> encontra-se comprometida entre 50 e 75%. O primeiro se refere a um pequeno trecho de um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande, onde chacareiros captam água para abastecimento humano e dessedentação animal e, o outro, maior, está situado após a confluência dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçu Pequeno, no qual a Companhia de Saneamento realiza a captação de 0,7 m<sup>3</sup>/s ou 700 L/s para o abastecimento da região sul de Palmas. Ressalta-se que a vazão ecológica, correspondente a 25% da Q<sub>90</sub>, ainda está sendo mantida nos dois trechos, todavia, nenhuma outra captação pode ser autorizada pelo órgão gestor, visto que o limite de 75% da Q<sub>90</sub> fora atingido. Destaca-se que a captação efetuada pela Companhia de Saneamento ocorre em uma barragem de acumulação, sendo essa outorgada pelo NATURATINS e, conforme o artigo 7º do Decreto nº 2432/2005, em caso de captação em barragem, pode-se outorgar até 90% da Q<sub>90</sub> e um único usuário pode captar até 25% desse percentual. Portanto, nesse caso, a Companhia de Saneamento está cumprindo o disposto na legislação.

Para esse cenário referente à Q<sub>90</sub> anual, apenas um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande apresentou o comprometimento total de sua vazão de referência, não sendo preservado nem o limite da vazão ecológica do corpo hídrico. Ali são realizadas captações irregulares de água por chacareiros, que a utilizam para o desenvolvimento de suas atividades. Essa situação demonstra a dificuldade do órgão gestor, que provavelmente desconhece esse fato e, que se medidas não forem adotadas, provavelmente conflitos pelo uso da água se tornarão mais acentuados nos próximos anos, já que a sustentabilidade do recurso hídrico não está sendo mantida.

Na sequência serão apresentados 12 panoramas da Q<sub>90</sub>, mês a mês, visto que esta vazão é variável no tempo. Essa análise permitirá verificar em quais meses o balanço hídrico é mais crítico, possibilitando assim, propor medidas de gestão que levem à sustentabilidade da bacia.

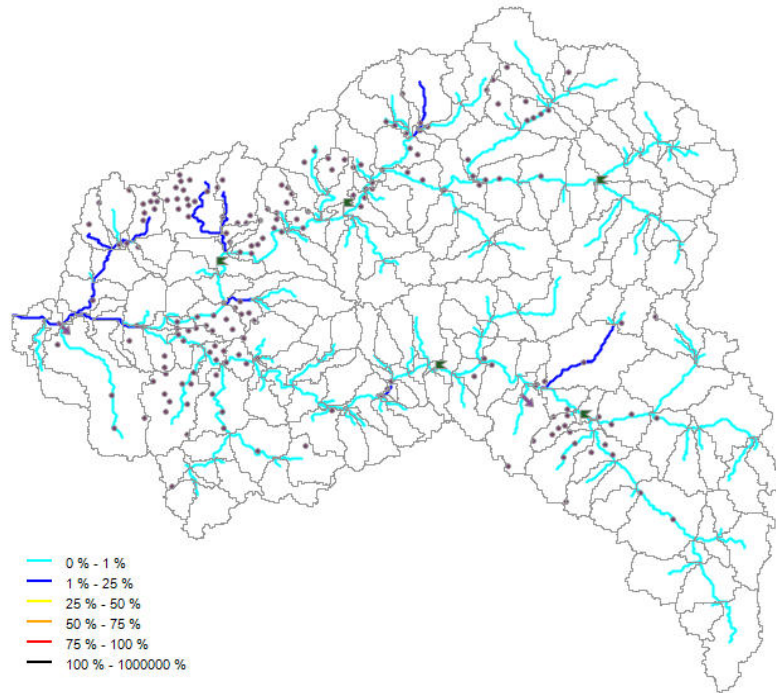
A Figura 46 expressa o balanço hídrico da bacia no mês de janeiro. É o mês mais chuvoso do ano, então é esperado que a disponibilidade hídrica seja alta e que a interferência

da demanda dos usuários se torne menos proeminente e, é exatamente isso que a figura demonstra. Como pode ser visto, os trechos mais críticos são aqueles onde a demanda dos usuários afetou a disponibilidade hídrica em 25 a 50% da  $Q_{90}$ , ou seja, o limite estabelecido pela legislação estadual está sendo cumprido.



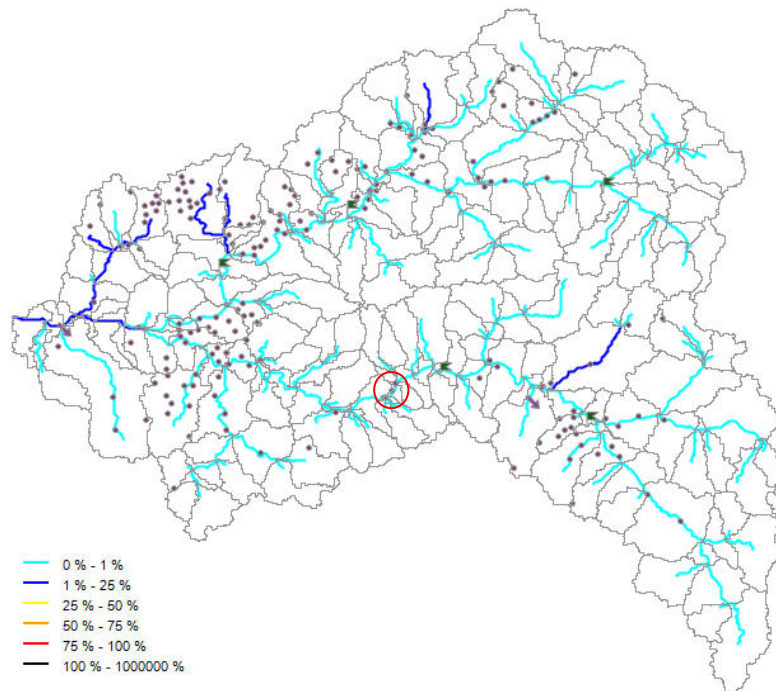
**Figura 46.**  $Q_{90}$  janeiro x demanda atual.

No mês de fevereiro (Figura 47), observa-se que devido à continuidade da precipitação, a vazão dos rios continua a aumentar, refletindo também no incremento da disponibilidade hídrica da bacia. Dessa forma, os trechos mais críticos são aqueles em que a demanda dos usuários afetou apenas 1 a 25% da vazão de referência, assim, há água em quantidade suficiente para atender a demanda de todos os usuários.



**Figura 47.**  $Q_{90}$  fevereiro x demanda atual.

O balanço hídrico para o mês de março (Figura 48) se mostra muito similar ao de fevereiro. Nesse período do ano as precipitações continuam, porém se tornam menos frequentes, por isso a disponibilidade hídrica da bacia continua a subir lentamente.

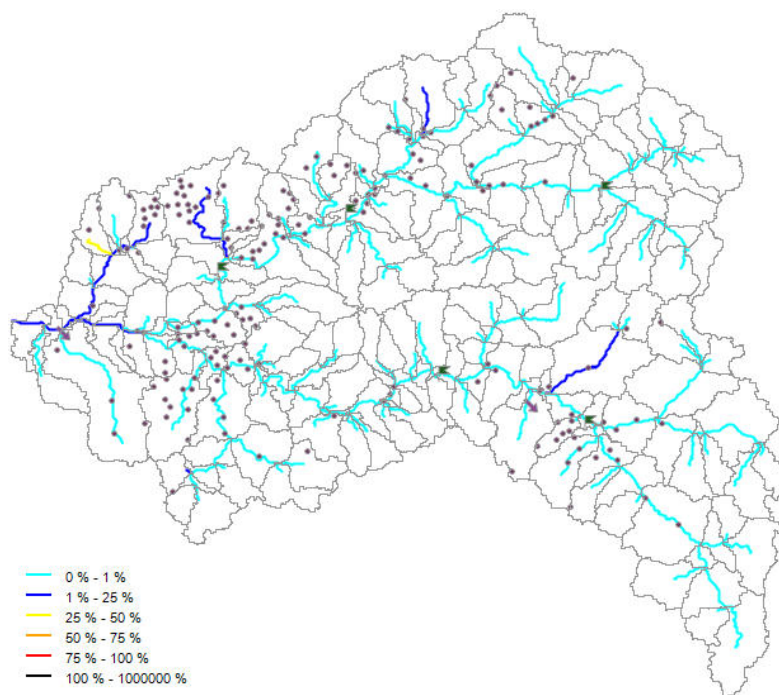


**Figura 48.**  $Q_{90}$  março x demanda atual.



Essa afirmativa pode ser confirmada na figura acima, em que somente um pequeno trecho do ribeirão Taquaruçu Pequeno que no mês de fevereiro apresentava cerca de 1 a 25% de sua  $Q_{90}$  comprometida passou, no mês em apreço, a aumentar esse limite para 0 a 1% (trecho em destaque).

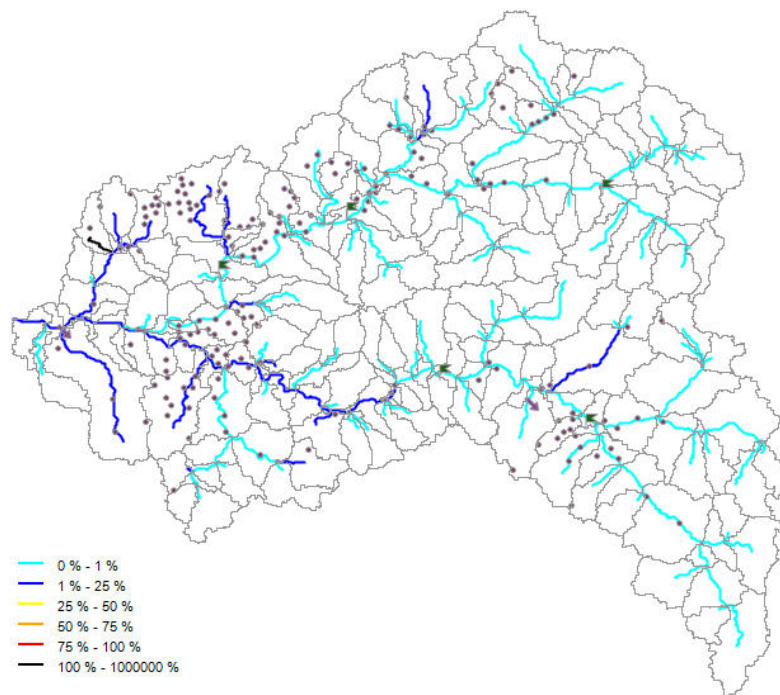
Em abril as chuvas se tornam mais esparsas e a disponibilidade hídrica permanece praticamente inalterada, sendo observadas somente duas modificações em relação a março (Figura 49). A primeira diz respeito a um pequeno tributário do córrego Tiúba, que no mês anterior apresentava 1 a 25% de sua vazão de referência comprometida e passou então ao limite de 25 a 50%. O segundo trecho que sofreu alteração foi um afluente do ribeirão Taquaruçu Grande, que em março possuía de 1 a 25% da  $Q_{90}$  demandada pelos usuários e em abril esse limite diminuiu para 0 a 1%.



**Figura 49.**  $Q_{90}$  abril x demanda atual.

Em maio a disponibilidade hídrica começa a diminuir, visto que nesse mês ocorrem as últimas chuvas, já pouco frequentes e, se inicia o período de estiagem. Isso pode ser confirmado na Figura 50, onde um extenso trecho do ribeirão Taquaruçu Pequeno, o córrego Machado e, outro tributário que em abril apresentavam até 1% da  $Q_{90}$  utilizada, passaram a ter em maio esse limite acrescido para 1 a 25%.





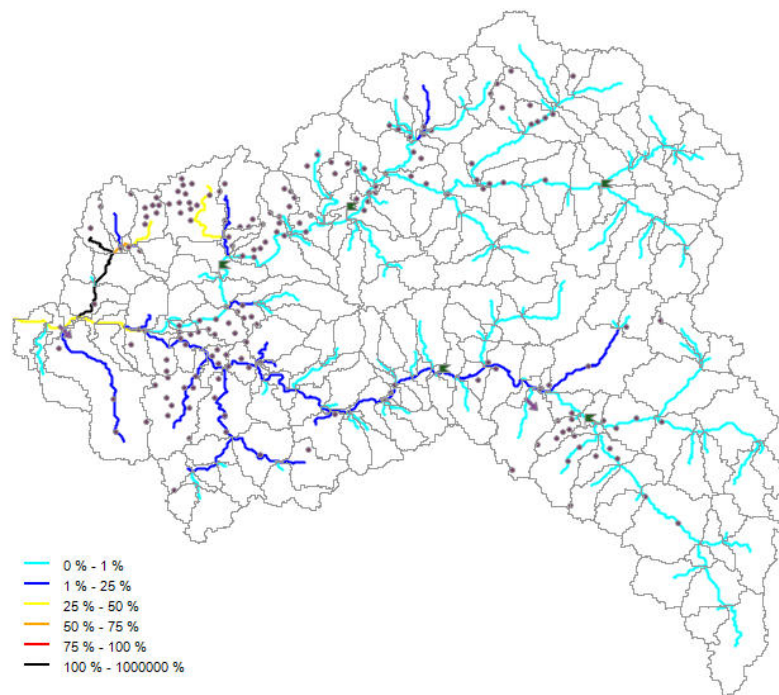
**Figura 50.**  $Q_{90}$  maio x demanda atual.

Além disso, os dois trechos de rios que sofreram alterações na disponibilidade hídrica em abril continuaram esse processo em maio, sendo que o tributário do córrego Tiúba passou a apresentar 100% de sua vazão de referência comprometida, ou seja, a partir deste mês seria necessária a adoção de medidas de gestão para que a disponibilidade hídrica da bacia fosse menos impactada nos subsequentes meses de seca.

No mês de junho, como já era esperado, a disponibilidade hídrica diminuiu em relação a maio, já que as chuvas cessaram. Dessa forma, o balanço hídrico se torna mais crítico, como pode ser visualizado na Figura 51.

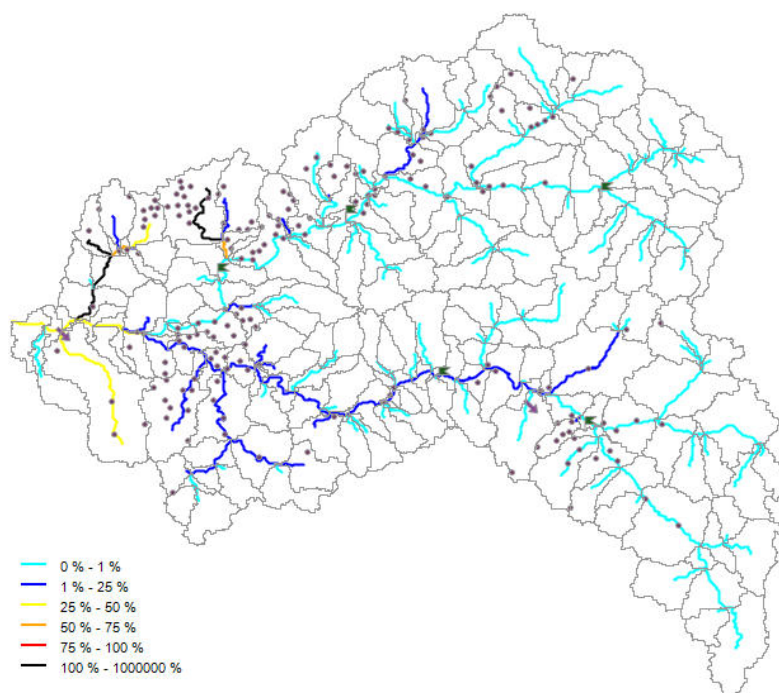
Neste mês, a situação se agrava no córrego Tiúba, onde 100% da  $Q_{90}$  foi comprometida em quase toda a sua extensão. Um pequeno trecho desse mesmo córrego passa a ter de 25 a 50% de sua  $Q_{90}$  utilizada, sendo que no mês anterior esse limite não passava de 1 a 25%. Nessa mesma situação se encontram outros dois trechos, o primeiro se refere a um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande e o segundo ao trecho após a confluência dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçu Pequeno. Um terceiro trecho do córrego Tiúba passou a apresentar cerca de 50 a 75% de sua  $Q_{90}$  demandada pelos usuários.

Outra alteração significativa observada ocorreu em um extenso trecho do ribeirão Taquaruçu Pequeno e em um dos seus afluentes, em que o comprometimento da  $Q_{90}$  aumentou de 0 a 1% para 1 a 25%.



**Figura 51.** Q<sub>90</sub> junho x demanda atual.

No mês de julho a situação novamente piora (Figura 52). O córrego Machado passou a apresentar de 25 a 50% de sua Q<sub>90</sub> utilizada pelos usuários. Outra alteração se deu em um tributário do Taquaruçu Grande que agora contém 100% de sua vazão de referência comprometida, assim como ocorreu com o córrego Tiúba em junho e ainda permanece. Ainda um pequeno trecho do referido tributário passou a ter de 50 a 75% de sua Q<sub>90</sub> demandada.

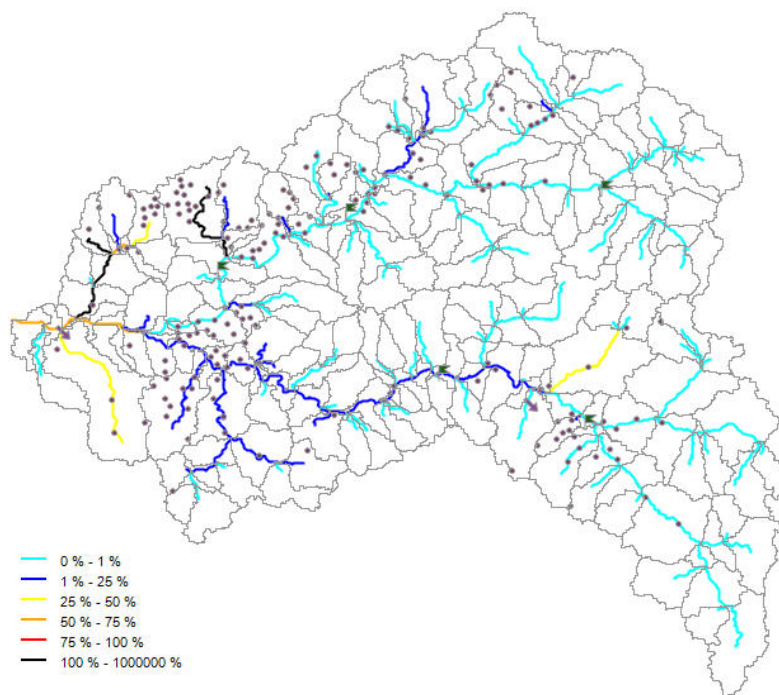


**Figura 52.** Q<sub>90</sub> julho x demanda atual.

Em agosto ocorrem novas alterações no balanço hídrico da bacia. A partir desse mês o córrego Roncador, onde a Companhia de Saneamento realiza a captação de água para o abastecimento público do distrito de Taquaruçu, passa a apresentar de 25 a 50% de sua vazão de referência comprometida.

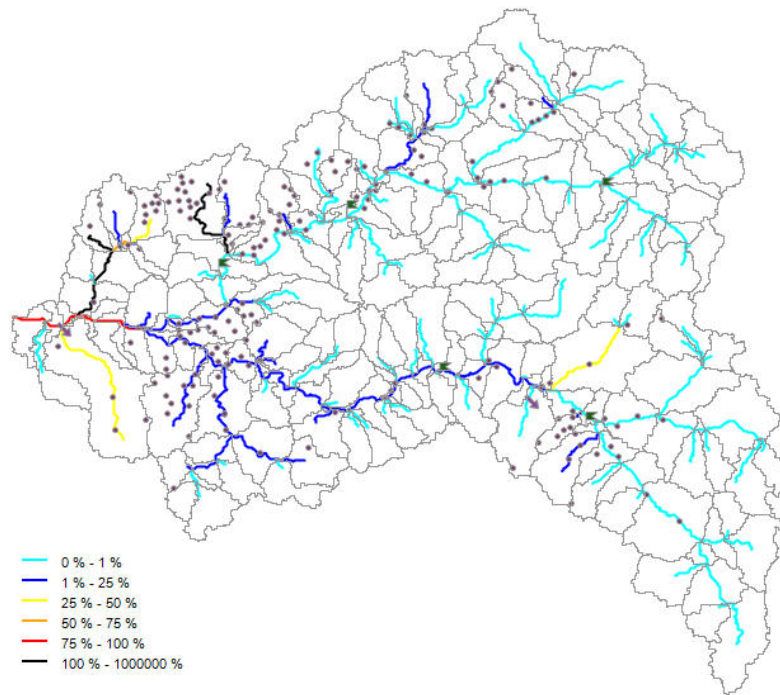
A disponibilidade hídrica após o trecho de confluência dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçu Pequeno também diminuiu, sendo observado que a  $Q_{90}$  até então utilizada de 25 a 50% passa a 50 a 75% em agosto.

A Figura 53 ainda expõe que outro pequeno trecho de um tributário do Taquaruçu Grande possui 100% da  $Q_{90}$  utilizada.



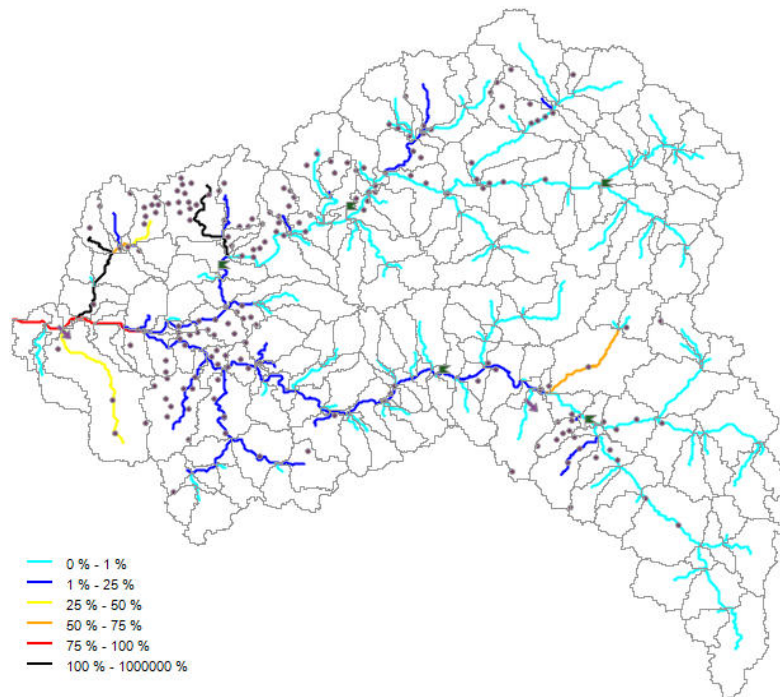
**Figura 53.**  $Q_{90}$  agosto x demanda atual.

No mês de setembro a única alteração efetuada foi no trecho após a confluência dos ribeirões Taquaruçu Grande e Taquaruçu Pequeno (Figura 54), que coincide com o local onde a Companhia de Saneamento realiza a captação para o abastecimento público da região sul de Palmas. Esse trecho passa então a apresentar de 75 a 100% de sua  $Q_{90}$  comprometida, ou seja, nenhuma captação poderá ser autorizada pelo órgão gestor no trecho à jusante da captação da SANEATINS/Odebrecht Ambiental, visto que o limite estabelecido pela legislação fora atingido e, provavelmente até mesmo a vazão ecológica já está impactada.



**Figura 54.** Q<sub>90</sub> setembro x demanda atual.

O balanço hídrico do mês de outubro se mostrou o mais crítico do ano, como pode ser observado na Figura 55. Quando comparado ao mês de setembro, verifica-se apenas uma alteração, a qual ocorreu no córrego Roncador, onde a disponibilidade hídrica diminuiu e a Q<sub>90</sub> passou a apresentar um grau de comprometimento de 50 a 75%.

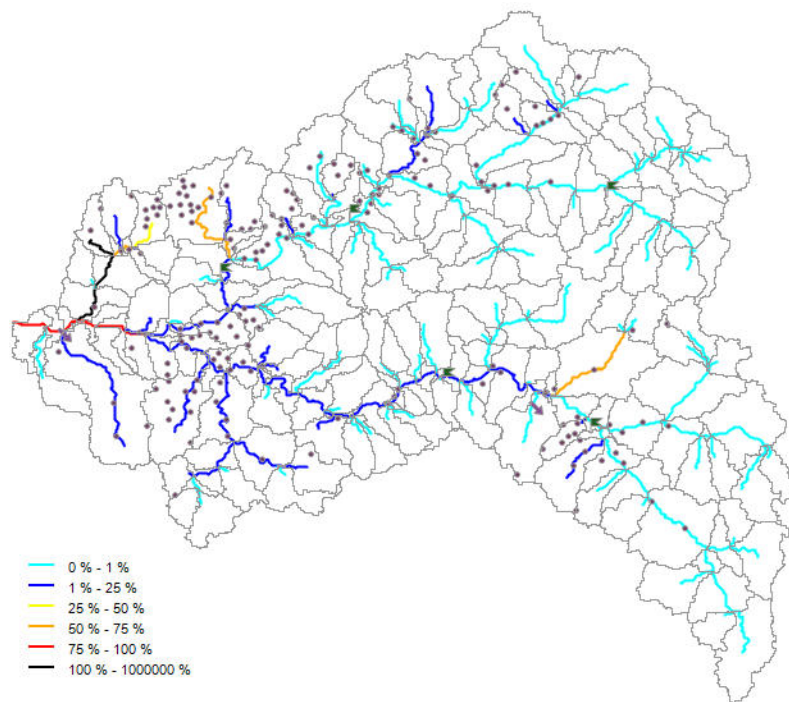


**Figura 55.** Q<sub>90</sub> outubro x demanda atual.



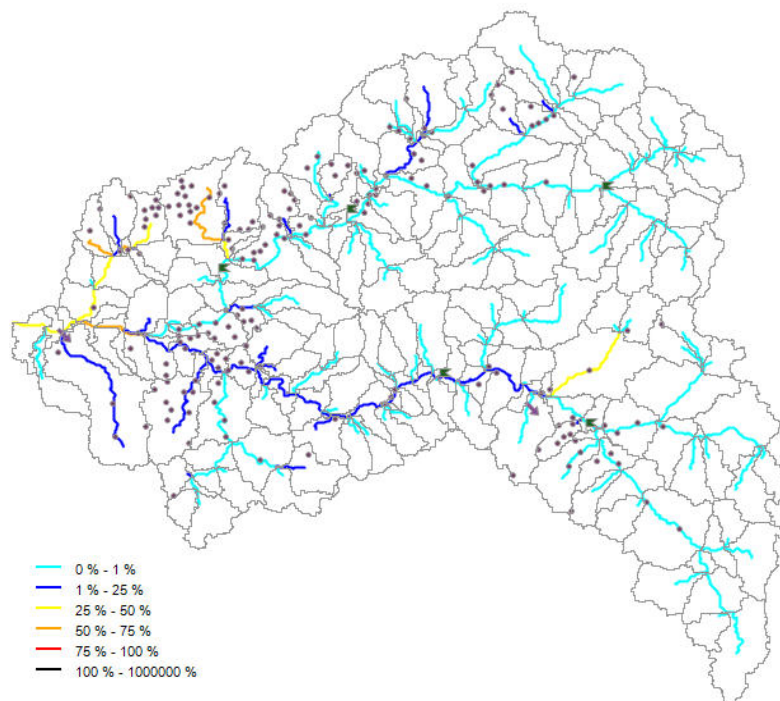
Em novembro inicia-se o período chuvoso, assim, a disponibilidade hídrica da bacia começa a aumentar lentamente. Como visto na Figura 56, um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande, que desde o mês de julho apresentava 100% de sua vazão de referência comprometida, tem sua disponibilidade hídrica aumentada e a demanda da  $Q_{90}$  retorna ao patamar de 50 a 75%.

A segunda modificação ocorreu no córrego Machado, onde a demanda da  $Q_{90}$  passou de 25 a 50% para 1 a 25%, retornando a mesma condição observada em junho.



**Figura 56.**  $Q_{90}$  novembro x demanda atual.

No mês de dezembro as chuvas começam a se intensificar e a disponibilidade hídrica da bacia melhora consideravelmente (Figura 57). Nesse momento nenhum trecho da bacia apresenta comprometimento total da  $Q_{90}$ . Nos trechos mais críticos, a demanda da vazão de referência diminuiu para 50 a 75%.



**Figura 57.**  $Q_{90}$  dezembro x demanda atual.

Após a análise da  $Q_{90}$ , mês a mês, pode-se constatar que o mês de março (último mês do período chuvoso) apresentou o melhor balanço hídrico e o mês de outubro o pior (último mês de estiagem), como já era esperado. Portanto, o modelo matemático SAD-IPH representou de forma adequada a sazonalidade climática da região.

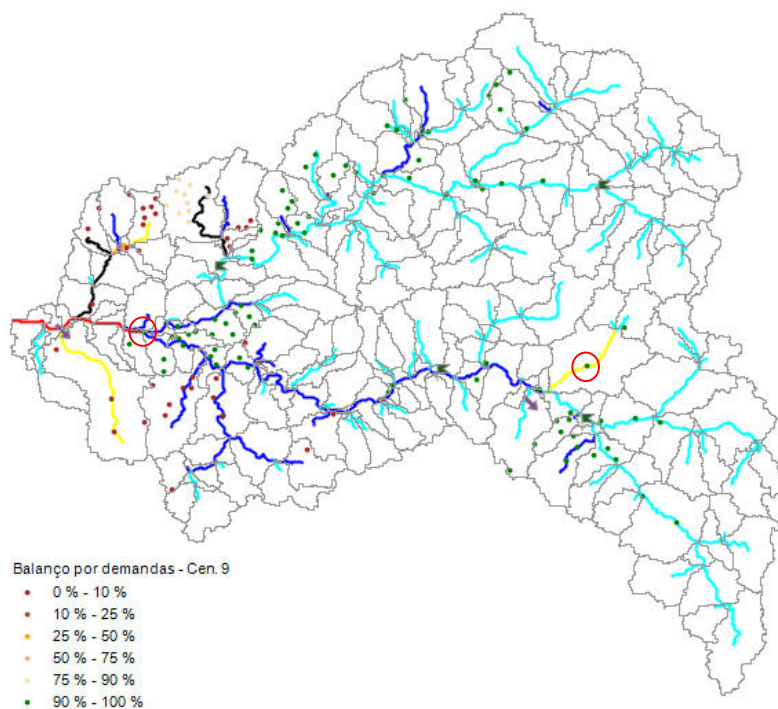
A representação da sazonalidade da  $Q_{90}$ , mês a mês, gerada pelo Sistema de Suporte à Decisão – SAD-IPH consiste em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, visto que esta representação permite verificar com maior acurácia o balanço hídrico da bacia, quando comparada ao resultado obtido da simulação para a  $Q_{90}$  anual. Como visto na Figura 40, se o órgão ambiental levar em consideração a  $Q_{90}$  anual para a análise de solicitações de outorgas de captação de água, não seria autorizada nenhuma captação no tributário do ribeirão Taquaruçu Grande que apresenta 100% de sua  $Q_{90}$  comprometida. Todavia, ao avaliar a  $Q_{90}$ , mês a mês, verifica-se que essa captação poderia ser autorizada em 8 meses do ano, compreendidos na estação chuvosa e no início da estação seca (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, novembro e dezembro).

A análise feita a partir dos dados do SAD-IPH permite que tanto o órgão gestor quanto o comitê da bacia possam ter acesso a dados antes não disponíveis para a tomada de decisões. Além disso, esses dados tornariam a análise das solicitações de outorga mais ágil e precisa, visto que a interpretação dos resultados gerados pelo modelo quanto ao impacto das retiradas

na disponibilidade hídrica da bacia é de fácil compreensão para os técnicos, incidindo assim, em menos erros nesse procedimento.

O modelo ainda permite verificar o balanço hídrico por usuário, isto é, saber se o quantitativo captado por cada usuário está superando ou não o limite de 25% da  $Q_{90}$ . A Figura 58 demonstra o grau de comprometimento da  $Q_{90}$  para o mês de setembro, onde é destacado o balanço hídrico por usuário.

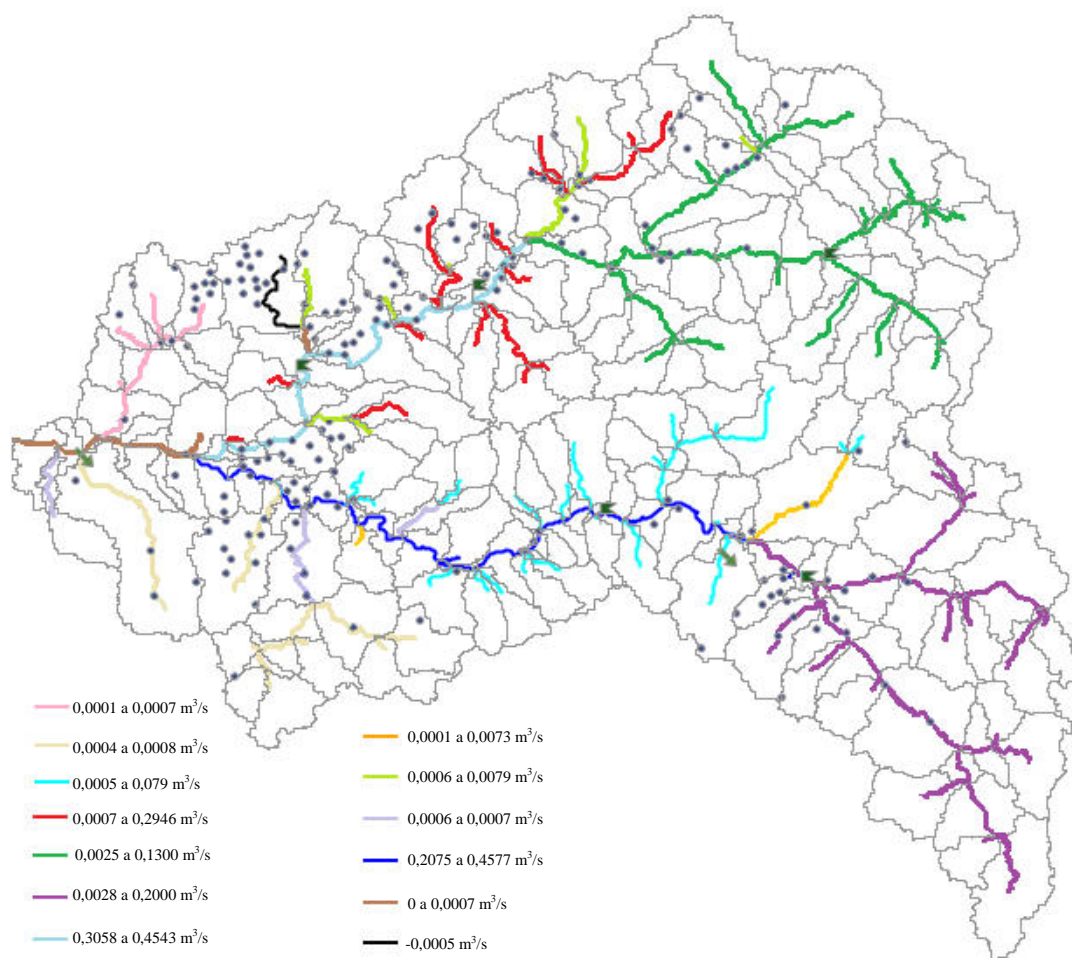
Avaliando a referida Figura, percebe-se que a maioria dos usuários da bacia do ribeirão Taquaruçu não está respeitando esse limite, pelo contrário, está utilizando volume bem superior ao estabelecido pela legislação. As duas captações realizadas pela Companhia de Saneamento superaram o limite de 25% da  $Q_{90}$  para o mês de setembro (em destaque). Ambas atingiram de 90 a 100% da  $Q_{90}$ .



**Figura 58.** Balanço hídrico atual por usuário para o mês de setembro.

Outra informação importante para a gestão adequada da água da bacia diz respeito ao quantitativo de água disponível para a outorga. A Figura 59 expressa por meio de diferentes cores os volumes que ainda podem ser outorgados, bem como o déficit já observado em um trecho. Como pode ser verificado, a vazão disponível na bacia varia de  $0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$  em pequenos tributários a  $0,4577 \text{ m}^3/\text{s}$  no ribeirão Taquaruçu Pequeno.

O trecho a jusante da ETA 006 possui de 0,007 m<sup>3</sup>/s outorgáveis. O tributário do Taquarucu Grande, impactado pelas captações dos chacareiros, apresenta déficit de 0,0005 m<sup>3</sup>/s e um pequeno trecho a jusante desse tributário não apresenta vazão disponível para outorga.



**Figura 59.** Vazão Q<sub>90</sub> atual disponível para outorga na bacia estudada.

### 6.3.1.1.2 Qualidade da Água Atual

Para a simulação do módulo qualitativo do SAD-IPH foi necessária a calibração do modelo. Para tanto, foram inseridos os seguintes dados de entrada:

- Valores das concentrações das cargas dos poluentes de lançamentos pontuais (Figura 60);
- Valores das concentrações das cargas difusas, geradas pelo escoamento superficial, em função do uso do solo da bacia (Figura 61);



- Valores dos parâmetros hidráulicos e físico-químicos (Quadro 21);
- Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos das campanhas de monitoramento realizadas (Figuras 62 a 68);
- No que tange aos parâmetros das cabeceiras dos corpos hídricos, foram mantidos os valores padrões do modelo (Figura 69).

Attribute Table Editor - Lancamentos.shp

Edit View Selection Tools

SHAPE_ID	Nome	Mini_ID	EF_Q_1	EF_DBO_1	EF_OD_1	EF_No_1	EF_Na_1	EF_NO2_1	EF_NO3_1	EF_Pt_1	EF_Coli_1
0	Distrito de Ta	163	0.004983	80	0	12	5	0.2	15	18	100000
1	Chacareiros_	192	0.001886	160	0	12	5	0.2	13	15	260000
2	Chacareiros_	195	0.001886	140	0	3	5	0.1	3	16	200000
3	ETE Aurený	204	0.03	70	0	3	5	0.1	2	15	51490

0 of 4 Selected

Apply Close

**Figura 60.** Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais.

Inserção de cargas distribuídas

Inserir shapefiles

Inserir shapefile de caracterização do solo: C:\Quali\_SAD-26-02-16\Cob\_Usos\_Bacia\cob\_usos\_se

Nome da coluna de classe de uso: Classe

Nome da coluna de área do polígono: Area\_SAD

Nome da coluna de código da mini-bacia: Mini\_ID

OK

**Cargas unitárias de poluentes (Kg/ha\*ano):** \*máximo: oito classes de uso do solo

Uso do solo	Carga DBO	Red. DBO(%)	Carga Nit.	Red. Nit. (%)	Carga Fosf.	Red. Fosf. (%)	Carga Coli.	Red. Coli. (%)
Ad	12	50	2.2	0	0.7	0	100000000	0
Ag	6	50	0.8	0	0.15	0	10000	0
Água	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	12	50	2.2	0	0.7	0	100000000	0
Ce	1	50	0.8	0	0.1	0	0	0
Cr	1	50	0.8	0	0.1	0	0	0
Fs	1	50	0.8	0	0.1	0	0	0

**Uso do solo por mini-bacia (km²):**

Código	Ad	Ag	Á
1	0	0.44	0
2	0.22	0.17	0
3	0	0.88	0
101	0.09	0.67	0
4	0	0.91	0
5	0	0.27	0
102	0	0	0
125	0	1.25	0
163	0	0.07	0
161	0	0.41	0
6	0	0.17	0
159	0	0.13	0

**Cargas de poluentes por mini-bacia (Kg/dia):** Calcular

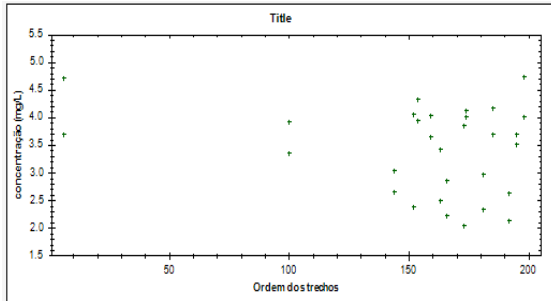
Código	DBO	Nit. total	F <sub>c</sub>
1	0.64	0.54	0.0
2	0.73	0.54	0.0
3	0.93	0.53	0.0
101	1.77	1.92	0.0
4	0.91	0.46	0.0
5	0.41	0.36	0.0
102	0	0	0
125	1.82	1.54	0.0
163	0.21	0.11	0.0
161	0.67	0.4	0.0
6	0.31	0.31	0.0
159	0.22	0.21	0.0

Cancelar Salvar dados

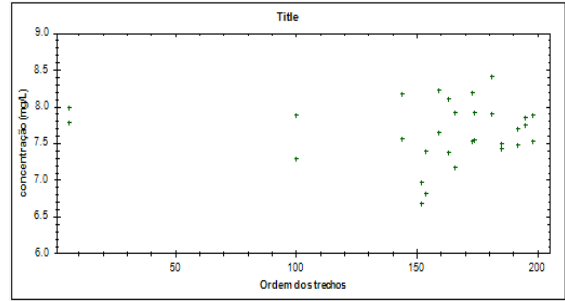
**Figura 61.** Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos das fontes difusas.

**Quadro 21.** Valores dos parâmetros hidráulicos e físico-químicos utilizados na simulação final do SAD-IPH.

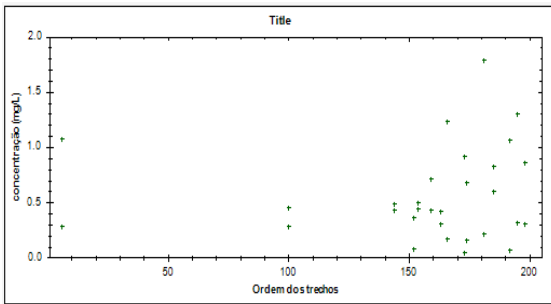
Temperatura	Velocidade	OD saturação	Kr	Ka	Kp	Kcol	Koa	Kai	Kin
24,27°C	0,6 m/s	7,68	0,3	1,78	0,2	1,0	0,5	0,25	0,65



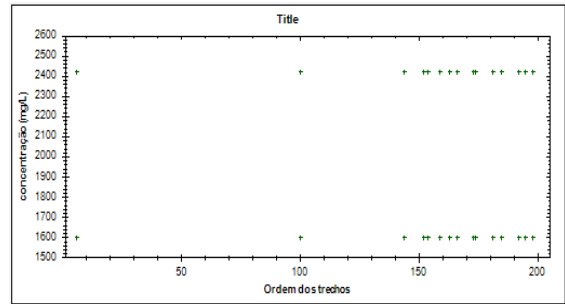
**Figura 62.** Valores de DBO obtidos nas campanhas de monitoramento.



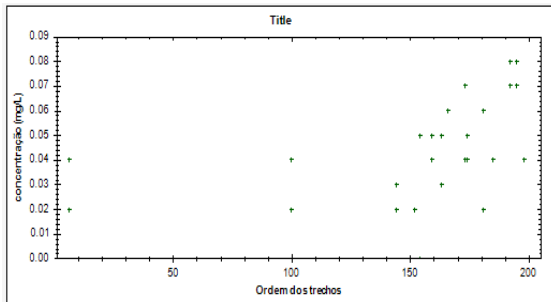
**Figura 63.** Valores de OD obtidos nas campanhas de monitoramento.



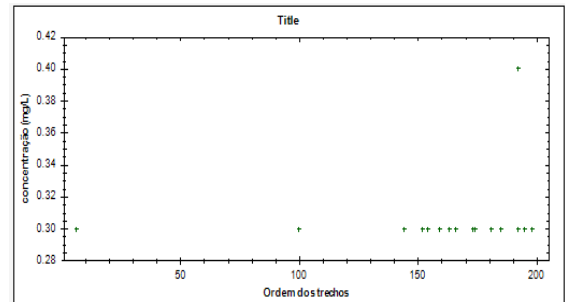
**Figura 64.** Valores de Fósforo obtidos nas campanhas de monitoramento.



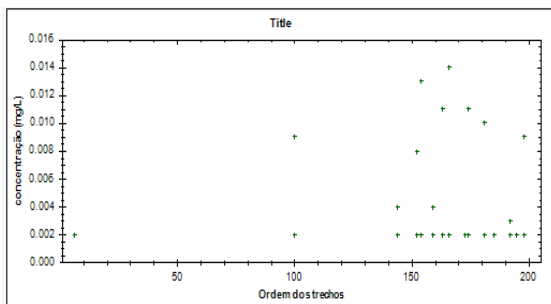
**Figura 65.** Valores de Coliformes Termotolerantes obtidos nas campanhas de monitoramento.



**Figura 66.** Valores de Nitrogênio amoniacal obtidos nas campanhas de monitoramento.



**Figura 67.** Valores de Nitrato obtidos nas campanhas de monitoramento.



**Figura 68.** Valores de Nitrito obtidos nas campanhas de monitoramento.

**SAD-IPH** Simulação de qualidade da água

Parâmetros hidráulicos | Parâmetros físico-químicos | Cabeceiras | Dados de monitoramento | Simulação

Informe os valores iniciais dos parâmetros da simulação qualitativa:

Parâmetro	Unidade	Valor
DBO5	mg/L	<input type="text" value="2"/>
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Oxigênio Dissolvido de Saturação
Nitrogênio Orgânico	mg/L	<input type="text" value="0.1"/>
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<input type="text" value="0.07"/>
Nitrito	mg/L	<input type="text" value="0.007"/>
Nitrato	mg/L	<input type="text" value="0.12"/>
Fósforo Total	mg/L	<input type="text" value="0.035"/>
Coliformes Fecais	MNP/100mL	<input type="text" value="50"/>

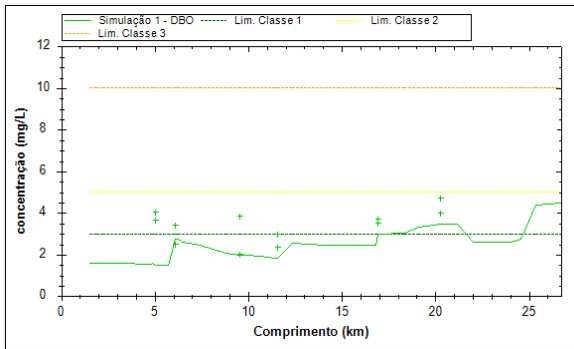
Percentual da vazão inicial no trecho (%):

**Figura 69.** Parâmetros físico-químicos e biológicos das cabeceiras.

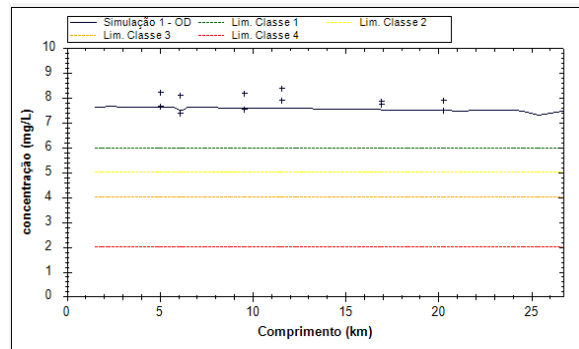
A calibração do modelo visa obter um bom ajuste entre os dados observados e estimados pelo modelo, por meio da variação dos coeficientes.

Destaca-se que os dados observados foram obtidos por meio da realização de duas campanhas de monitoramento, efetuadas em períodos hidrológicos distintos, uma no final do período de estiagem e outra no início da estação chuvosa. Assim sendo, na calibração do modelo, buscou-se um melhor ajuste com os resultados obtidos na estação seca e não na chuvosa, visto que a vazão utilizada para a simulação foi a  $Q_{90}$ .

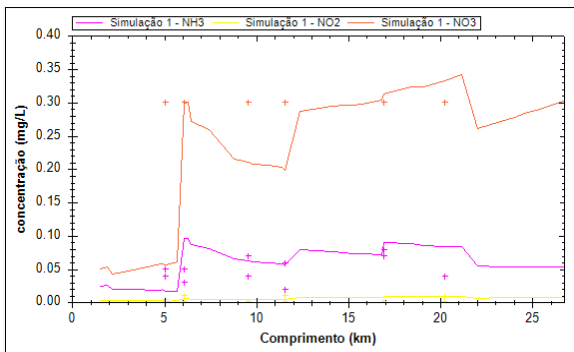
Segue abaixo, as figuras 70 a 74, que demonstram os ajustes obtidos para cada um dos parâmetros simulados no SAD-IPH. De forma geral, pode-se considerar que foram obtidos bons ajustes da curva da  $Q_{90}$  para todos os parâmetros avaliados. Os picos observados nos gráficos estão relacionados com a descarga de efluentes pontuais realizados na bacia.



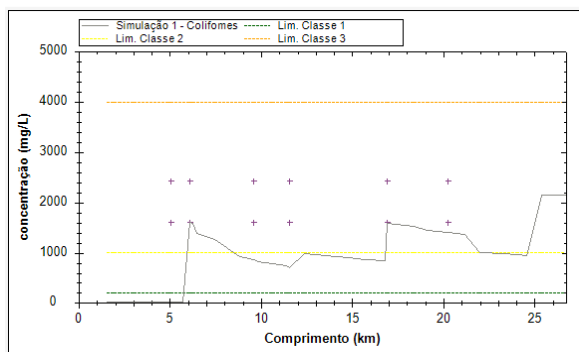
**Figura 70.** Calibração do parâmetro DBO.



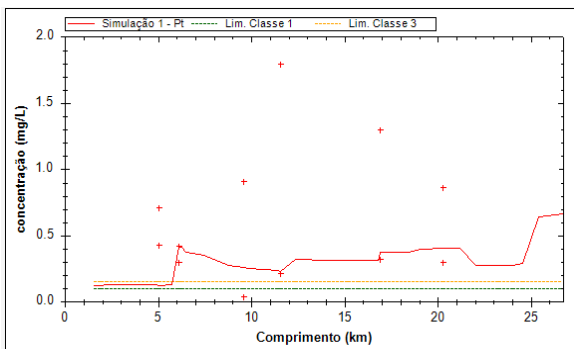
**Figura 71.** Calibração do parâmetro OD.



**Figura 72.** Calibração dos parâmetros Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato.



**Figura 73.** Calibração do parâmetro Coliformes Termotolerantes.

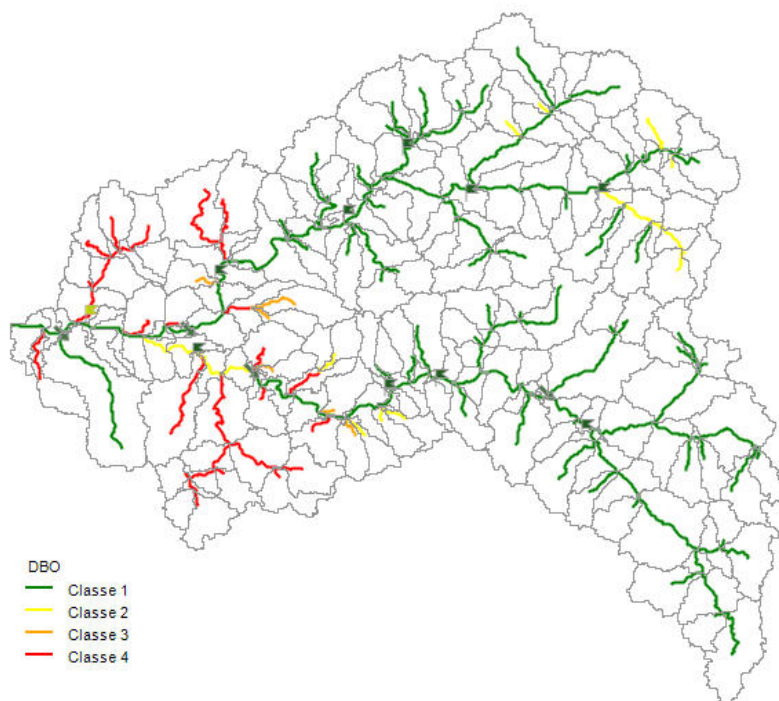


**Figura 74.** Calibração do parâmetro Fósforo.

Findada a calibração, procedeu-se a simulação para averiguar a qualidade atual das águas da bacia do ribeirão Taquaruçu. O SAD-IPH realiza a simulação individual de cada parâmetro, identificando em cada trecho a classe CONAMA a que ele pertence, como pode ser visualizado nas próximas figuras.

O primeiro parâmetro simulado foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. Na Figura 75 é apresentado um mapa de distribuição da concentração de DBO ao longo de toda a rede hidrográfica da bacia do ribeirão Taquaruçu, conforme as classes de enquadramento da Resolução CONAMA nº 357/2005.

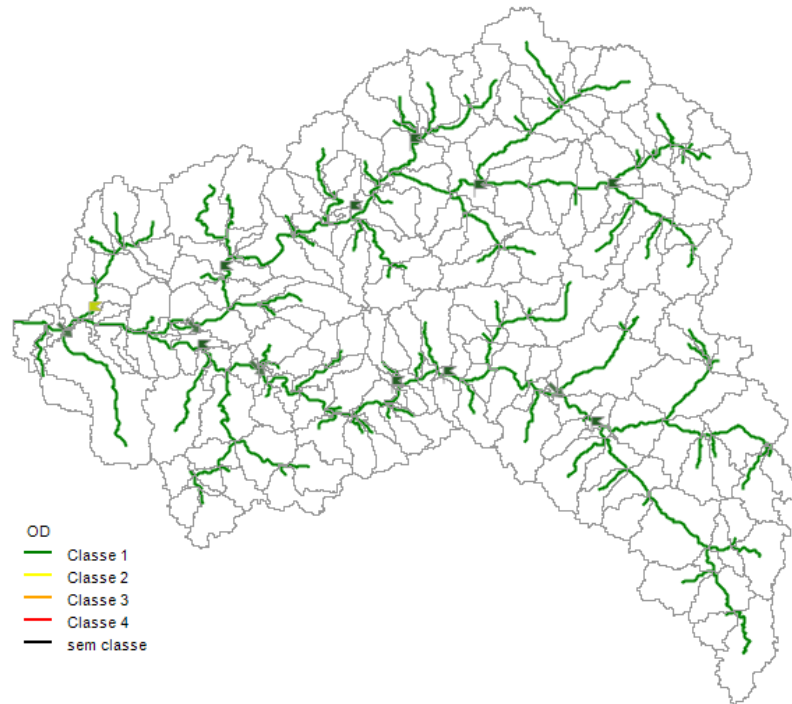
O resultado obtido demonstra que grande parte dos rios da bacia ainda apresenta baixa concentração de DBO ( $\leq 3$  mg/L), sendo estes então classificados como Classe 1. Alguns trechos em amarelo foram classificados como Classe 2 ( $>3$  e  $\leq 5$  mg/L de DBO). Todavia, nos trechos de tributários do rio principal, situados nas adjacências de áreas urbanizadas, esta concentração aumenta para  $>5$  e  $\leq 10$  mg/L ou  $>10$  mg/L de DBO, sendo observada assim, a predominância das Classes 3 (laranja) e 4 (vermelho). Ressalta-se que esta alteração significativa da concentração da DBO nessa região da bacia se deve a três fatores: aumento da carga da poluição difusa devido à classe de uso do solo – urbana; proximidade com os pontos de lançamento pontuais de efluentes e; baixa vazão destes trechos, refletindo, dessa forma, no aumento da concentração da DBO.



**Figura 75.** Concentração da DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

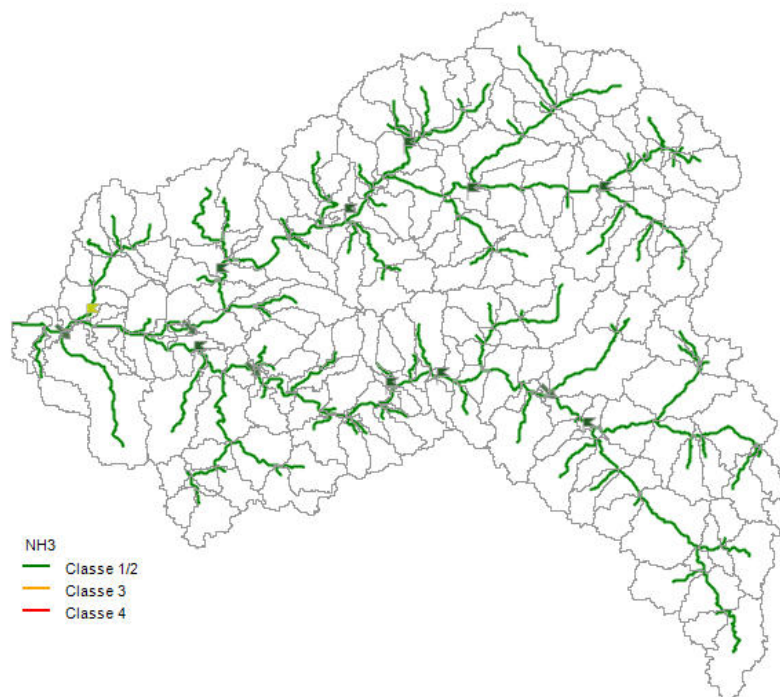
A simulação do parâmetro Oxigênio Dissolvido – OD indicou que a situação atual da bacia ainda está confortável, tendo em vista as altas concentrações de OD, mesmo com a entrada de cargas poluentes, enquadrando a bacia, em sua totalidade, na Classe 1 (Figura 76).

Esse resultado já era esperado, visto que a bacia possui rios encachoeirados, o que garante que o fluxo d'água seja mais turbulento devido a maior velocidade, aumentando assim a dissolução do oxigênio atmosférico na água.



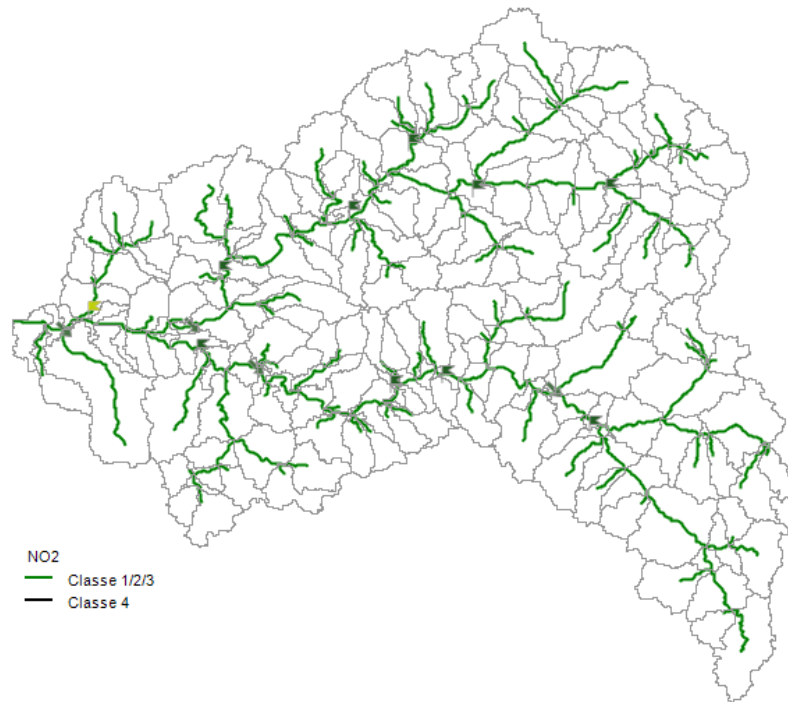
**Figura 76.** Concentração do OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

As Figuras 77 a 79 representam, respectivamente, a concentração de Nitrogênio Amomiacal, Nitrito e Nitrato em trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo. Nessas três simulações todos os trechos da bacia foram enquadrados na Classe 1, ou seja, a bacia não está em situação crítica para estes parâmetros.

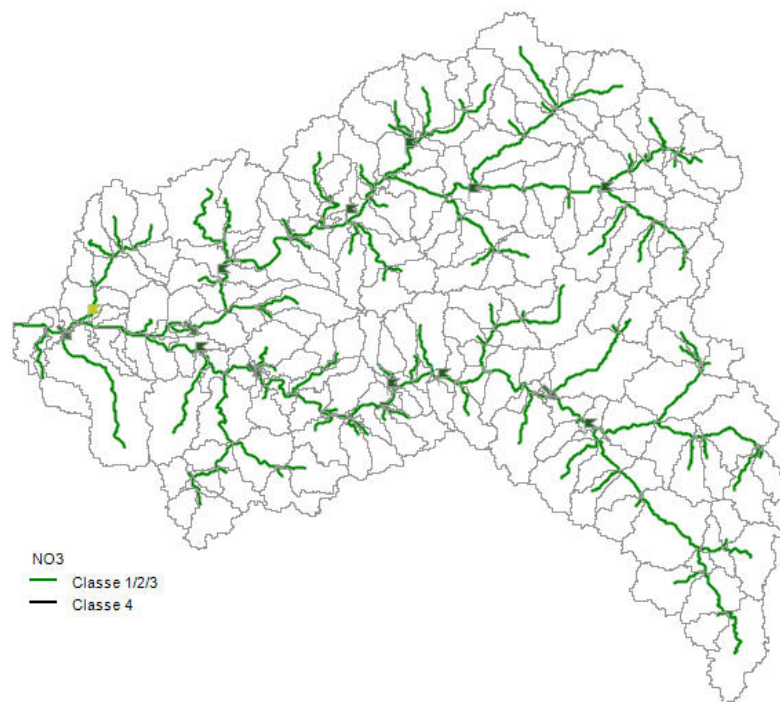


**Figura 77.** Concentração de Amônia nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.





**Figura 78.** Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

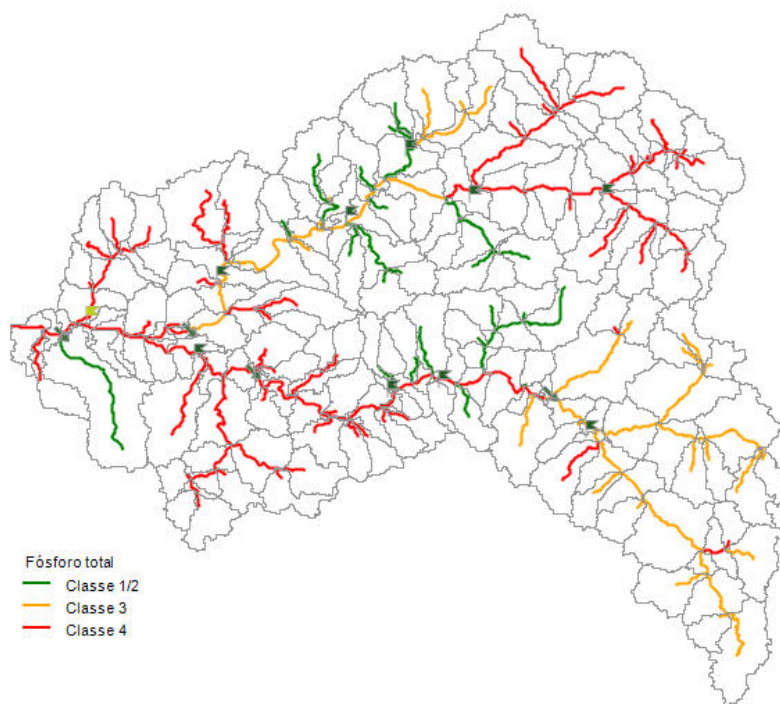


**Figura 79.** Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

A simulação do Fósforo Total demonstrou que a bacia apresenta altas concentrações deste parâmetro na maior parte dos trechos da rede hidrográfica, ocasionando o

enquadramento destes nas Classes 3 e 4 (Figura 80). Este resultado surpreendeu, visto que até mesmo os trechos de cabeceiras, que não recebem a contribuição de efluentes apresentaram altas concentrações de fósforo.

Entretanto, essa situação de criticidade das águas da bacia em relação ao fósforo também foi verificada por Marques (2011) que afirmou que os níveis mais elevados de fósforo observados no córrego Serrote, situado em área preservada, são de origem natural e, que sua ocorrência torna o fósforo um parâmetro inadequado para a caracterização da qualidade da água da bacia, se utilizado como parâmetro de referência regional, uma vez que faz parte das características geoquímicas do local e normalmente se encontra em elevadas concentrações, ocorrendo muitas vezes acima dos limites propostos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2.



**Figura 80.** Concentração de Fósforo Total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

A justificativa para a alta concentração de fósforo nas águas da bacia apresentada por Marques (2011) é corroborada por Lima *et al.* (1978), que realizaram um estudo significativo quanto às possibilidades da Bacia Sedimentar do Parnaíba conter horizontes fosfatados e, concluíram que aspectos geoquímicos, faciológicos, litológicos e ambientais definem as Formações Longá, Pimenteiras e Pedra de Fogo como as mais prospectáveis para esse



mineral. Os dados analíticos dos teores de sedimentos fosfatados da Formação Pimenteiras, resultantes da pesquisa desses autores podem ser observados no Quadro 22.

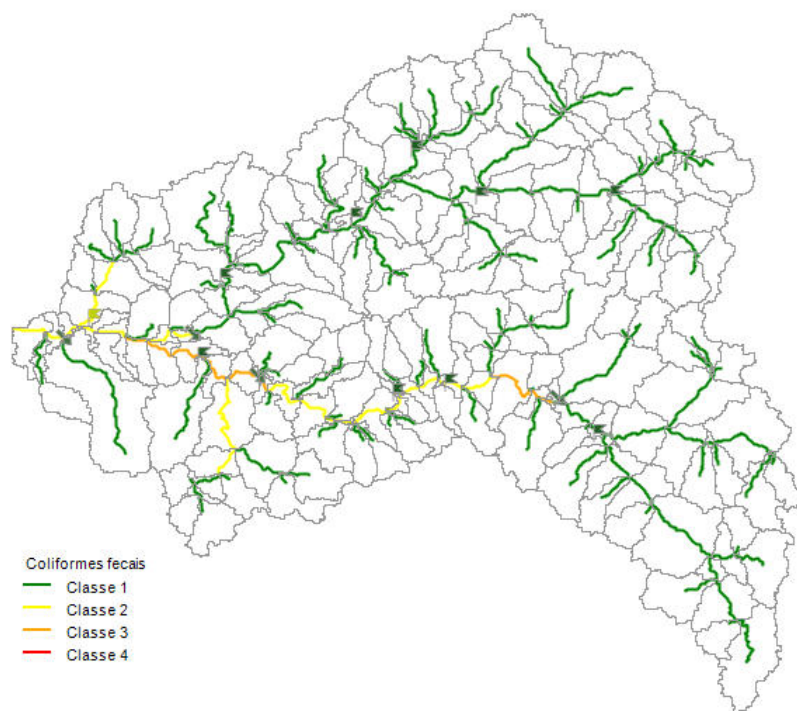
**Quadro 22.** Localidades e teores de sedimentos fosfatados na Formação Pimenteiras.

Localidade	Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Teores Máximos		
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %*	F (ppm)	Ca%
Paraíso do Tocantins - TO	Pimenteiras	Siltito parcialmente silicificado	6,57	4.500	5,0
Miracema do Tocantins - TO	Pimenteiras	Siltito argiloso	3,82	2.000	1,5
Porto Nacional - TO	Pimenteiras	Siltito micáceo argiloso	3,58	2.000	1,5
Pedro Afonso - TO	Pimenteiras	Folhelho a siltito	3,38	1.400	2,0
Pedro Afonso - TO	Pimenteiras	Folhelho	2,35	800	0,5
Porto Nacional - TO	Pimenteiras	Oócitos/matriz carbonática	2,19	1.200	1,5
Miracema do Tocantins - TO	Pimenteiras	Siltito impregnado de grãos de oócitos	1,67	600	0,5
Miracema do Tocantins - TO	Pimenteiras	Siltito	1,5	--	0,7
Porto Nacional - TO	Pimenteiras	Oócitos em matriz carbonática	1,49	600	1,0

**Fonte:** Lima *et al.* (1978). \* 1% = 10.000 ppm.

Esses resultados evidenciam o alto teor de fósforo na Formação Pimenteiras, na qual estão situadas a maioria das nascentes da bacia do ribeirão Taquaruçu, como pode ser observado na Figura 8 da seção 4.2.2.2. Portanto, admite-se que o ambiente geológico é determinante para as altas concentrações desse parâmetro nas águas da bacia.

A última simulação foi efetuada para o parâmetro Coliformes termotolerantes. De acordo com a Figura 81, a maior parte da bacia apresenta baixas concentrações de coliformes ( $\leq 200$  NMP/100 ml), resultando no enquadramento destes na Classe 1. Entretanto, alguns trechos que recebem a contribuição de efluentes, apresentam maiores concentrações, refletindo também na mudança da classe 1 para a 2 e a 3. Os trechos classificados como classe 3 são aqueles situados logo após a entrada dos efluentes e, provavelmente, estão situados nas zona de degradação e de decomposição ativa, e os trechos classe 2 localizam-se a jusante dos trechos classe 3, possivelmente, nas zonas de recuperação e de águas limpas.



**Figura 81.** Concentração de Coliformes termotolerantes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em estudo.

Como demonstrado neste item, o SAD-IPH conseguiu simular adequadamente a qualidade das águas da bacia do ribeirão Taquaruçu, mostrando ser uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos da bacia.

### **6.3.1.2 Cenário 2 – Horizonte temporal de 10 anos**

O cenário 2 avalia a situação futura das águas da bacia hidrográfica em termos quantitativos e qualitativos para um horizonte temporal de dez anos.

#### **6.3.1.2.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda em 2025**

A estimativa do crescimento da demanda hídrica da população rural e dos animais que habitam a bacia, bem como da população urbana atendida pelas ETA 007 e ETA 006 foi efetuada com base em dados de projeção demográfica oficiais. Ressalta-se que os demais usos existentes na bacia não foram considerados na projeção, em função de serem pouco expressivos. No caso do uso industrial, que é considerado relevante, sua projeção não foi realizada por não existirem dados oficiais que subsidiem a sua estimativa.

Como já relatado na metodologia, o aumento da população urbana do município de Palmas foi estimado tendo como fonte a projeção populacional empregada no Plano Municipal de Saneamento (2013), apresentada no Quadro 23.

**Quadro 23.** Projeção populacional de Palmas – TO – 2012-2025 (IBGE).

ANO	TGCA	POP. TOTAL	TX. URB.	POP. URBANA	POP. RURAL
2012	2,87%	242.070	97,17%	235.111	6.851
2013	2,87%	249.019	97,20%	241.875	6.973
2014	2,87%	256.167	97,23%	248.833	7.096
2015	2,87%	263.521	97,25%	255.991	7.247
2016	2,87%	271.086	97,28%	263.355	7.374
2017	2,87%	278.867	97,31%	270.931	7.502
2018	2,87%	286.873	97,34%	278.725	7.631
2019	2,87%	295.108	97,36%	286.743	7.791
2020	2,87%	303.579	97,39%	294.992	7.923
2021	2,73%	311.858	97,42%	303.055	8.046
2022	2,59%	319.937	97,45%	310.924	8.158
2023	2,46%	327.812	97,48%	318.596	8.261
2024	2,34%	335.476	97,50%	326.065	8.387
2025	2,22%	342.928	97,53%	333.327	8.470

**Fonte:** Palmas (2013).

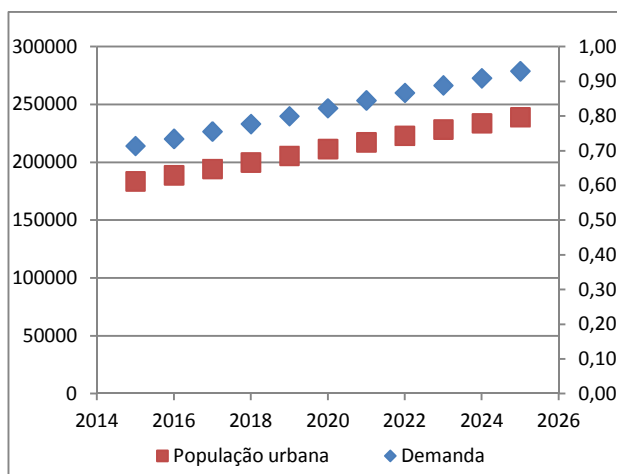
Assim, a projeção de aumento de demanda da água da bacia considerou os dados da projeção acima apresentada, bem como as seguintes informações:

- 70% da população urbana de Palmas é atendida pela água captada na bacia do ribeirão Taquaruçu, tratada na ETA 006;
- 99,9% da população urbana do Distrito de Taquaruçu é atendida pela ETA 007, também inserida na bacia em estudo;
- O consumo per capita equivale a 250 L/dia.

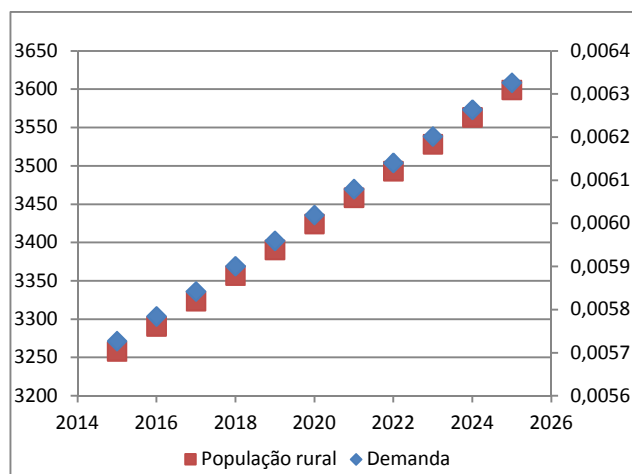
Para a projeção do aumento da demanda de água advinda da população rural residente na bacia foram considerados os seguintes dados:

- Taxa geométrica de crescimento de 1% a.a.;
- O consumo per capita equivale a 150 L/dia.

O resultado desta projeção, tanto da população urbana, quanto da rural, estão expressos nas Figuras 82 e 83, respectivamente.



**Figura 82.** Projeção de aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento urbano de 2015 - 2025.

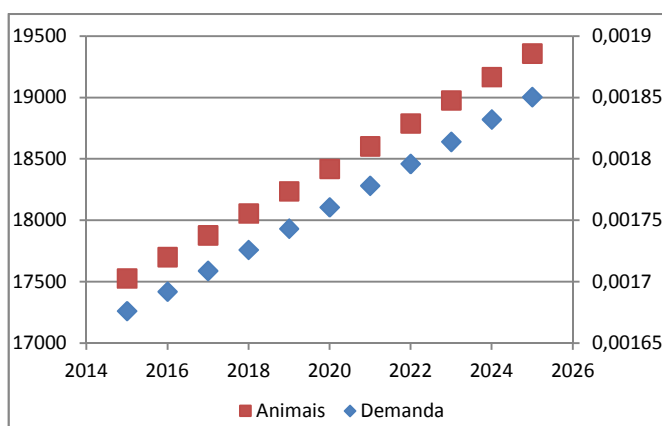


**Figura 83.** Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento rural de 2015 - 2025.

A projeção referente ao aumento da demanda de água para a dessedentação animal levou em consideração as seguintes informações:

- Taxa geométrica de crescimento de criação de animais de 1% a.a.;
- Consumo per capita: bovinos e equinos = 35 L/dia; ovinos = 0,1 L/dia; suínos = 15L/dia; caprinos = 8L/dia.

A Figura 84 representa a projeção efetuada para o aumento da demanda de água para atendimento da dessedentação animal.



**Figura 84.** Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para a dessedentação animal de 2015 - 2025.

O Quadro 24 apresenta os dados relativos à estimativa da evolução da demanda hídrica da bacia em estudo, para o horizonte temporal de dez anos (2015-2025), considerando

os três usos mais significativos, existentes na bacia. Ressalta-se que a demanda dos demais usos, considerados pouco expressivos, foi mantida constante em todo o período avaliado.

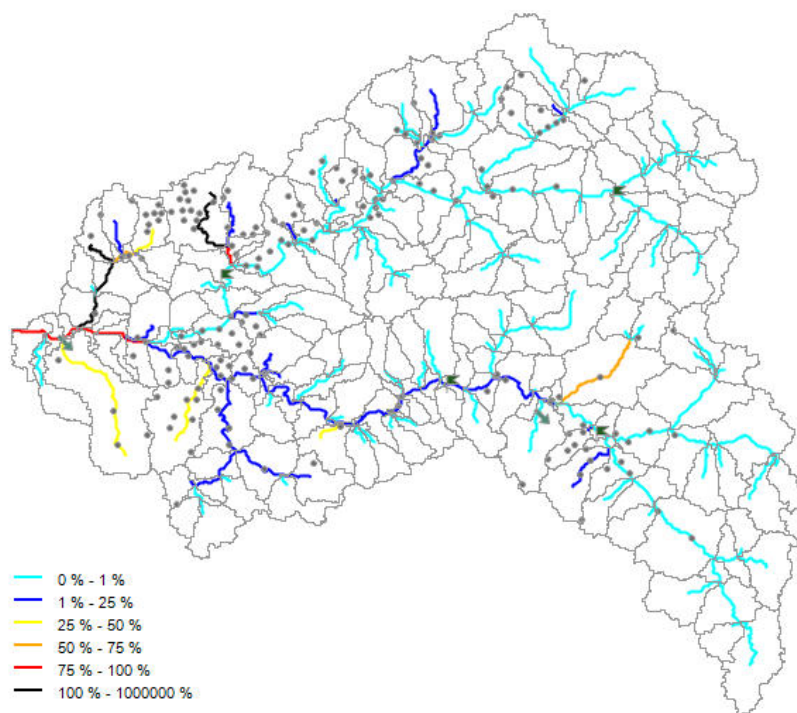
**Quadro 24.** Projeção de demanda hídrica da bacia para o período de 2015 a 2025.

ANO	USOS				TOTAL (m <sup>3</sup> /s)
	Dessedentação animal (m <sup>3</sup> /s)	Abastecimento rural (m <sup>3</sup> /s)	Abastecimento urbano (m <sup>3</sup> /s)	Demais usos (m <sup>3</sup> /s)	
2015	0,001676	0,005727	0,714	0,005358	0,726367
2016	0,001692	0,005784	0,734	0,005358	0,746977
2017	0,001709	0,005842	0,755	0,005358	0,768181
2018	0,001726	0,005901	0,777	0,005358	0,789994
2019	0,001743	0,005960	0,799	0,005358	0,812434
2020	0,001761	0,006019	0,822	0,005358	0,835515
2021	0,001778	0,006079	0,845	0,005358	0,858083
2022	0,001796	0,006140	0,867	0,005358	0,880111
2023	0,001814	0,006202	0,888	0,005358	0,901589
2024	0,001832	0,006264	0,909	0,005358	0,922503
2025	0,001850	0,006326	0,929	0,005358	0,942843

Avaliando os dados acima, pode-se aferir que no decorrer dos próximos dez anos a demanda hídrica da bacia aumentará em 29,8%.

Na sequência são apresentados os resultados da simulação desse cenário no SAD-IPH, que levou em consideração a vazão de referência adotada pelo NATURATINS, a  $Q_{90}$ .

Ao avaliar a Figura 85, apresentada a seguir, verifica-se que se não forem adotadas medidas de gestão dos recursos hídricos da bacia em estudo, o balanço hídrico irá se agravar em 2025, como já era esperado. Essa constatação se refletiu na simulação com a  $Q_{90}$  anual – Figura 85 e também na  $Q_{90}$  mensal – Figuras 86 a 97.



**Figura 85.**  $Q_{90}$  anual x demanda em 2025.

Comparando o balanço hídrico referente ao cenário de 2025 com o cenário 1 - atual percebe-se que houve aumento da criticidade de 17 trechos, sendo destacadas as principais:

- Córrego Roncador, utilizado pela Companhia de Saneamento para o abastecimento público do Distrito de Taquaruçu, que teve o limite de uso da  $Q_{90}$  aumentado de 25 a 50% para 50 a 75%;
- Trecho do ribeirão Taquaruçu, situado a jusante da ETA 006, houve aumento do grau de comprometimento de sua vazão de referência de 50 a 75% para 75 a 100%. Na mesma situação se encontra um pequeno trecho de um afluente do ribeirão Taquaruçu Grande, fortemente impactado pelas captações efetuadas por chacareiros.
- Trecho do córrego Tiúba apresentou aumento do grau de comprometimento da vazão de referência de 75 a 100% para 100% ou mais. Esse e outro trecho de um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande, que já apresentou esta configuração no cenário atual, são os trechos mais críticos da bacia.

As Figuras 86 a 97 na sequência, apresentam os resultados obtidos nessa simulação para cada mês do ano, utilizando-se para tanto, a  $Q_{90}$  mensal.

Cabe salientar que as áreas destacadas em vermelho presentes nas figuras foram inseridas para ressaltar os trechos que obtiveram desempenho diferente da simulação realizada

para o mesmo mês no cenário atual. O único mês que manteve o balanço hídrico no mesmo patamar atual foi março, apesar do aumento da demanda pelos usuários em 2025 (Figura 88).

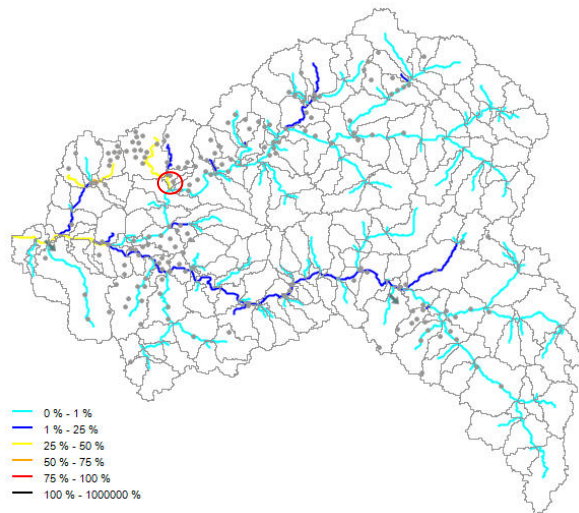
Quanto ao córrego Roncador, utilizado pela Companhia de Saneamento para captação de água para o abastecimento do Distrito de Taquaruçu, percebe-se que houve um aumento de sua criticidade em relação à condição atual. Nessa simulação o referido córrego atinge o limite de uso de 25 a 50% da  $Q_{90}$  em julho (Figura 92), um mês antes do que foi observado no cenário atual. No mês de setembro este limite sobe para 50 a 75%, no mês seguinte para 75 a 100% e em novembro a situação piora, alcançando os 100% da  $Q_{90}$  ou mais. No cenário atual o córrego Roncador apresentou sua pior condição em outubro e novembro, quando atingiu o comprometimento de 50 a 75% da  $Q_{90}$ , ou seja, o aumento da demanda dos usuários em 2025 fará com que a Companhia de Saneamento busque alternativas para o abastecimento público do Distrito de Taquaruçu nos meses de estiagem.

No que se refere ao impacto das retiradas no curso d'água principal, observa-se que o trecho mais afetado continua sendo aquele situado a jusante do ponto de captação da Companhia de Saneamento, na ETA 006. Igualmente ao verificado no córrego Roncador, a criticidade do balanço hídrico deste trecho aumentou em relação ao cenário atual. Em julho, a  $Q_{90}$  já apresenta comprometimento de 50 a 75%, o que ocorreu somente no mês posterior do cenário atual. Nos meses de outubro e novembro esse trecho passa a apresentar grau de comprometimento de sua  $Q_{90}$  equivalente a 100% ou mais, fato que não ocorreu no cenário atual, que registrou o valor máximo de 75 a 100% de uso da vazão de referência. Portanto, verifica-se que a Companhia de Saneamento também deverá buscar rapidamente novas alternativas para o abastecimento público de 70% da população urbana de Palmas, nos meses de estiagem, para que não seja necessária a adoção de medidas de racionamento.

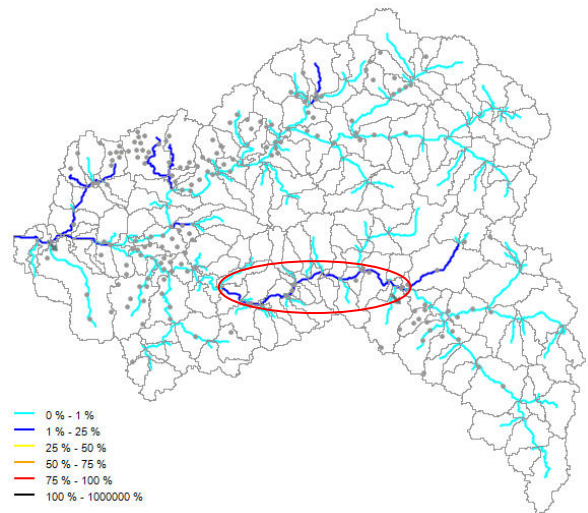
Um pequeno trecho de um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande também sofreu alterações frente ao cenário atual nos meses de janeiro, junho, julho e novembro, sendo verificado que em todas essas situações apresentou um grau de comprometimento acima do que foi observado para o mesmo mês do cenário atual.

Outra diferença marcante observada nesse cenário com horizonte temporal de dez anos diz respeito a dois tributários do ribeirão Taquaruçu Pequeno, que de junho a novembro passaram a apresentar de 25 a 50% da vazão de referência comprometida, fato esse, não observado em nenhum mês do cenário atual.

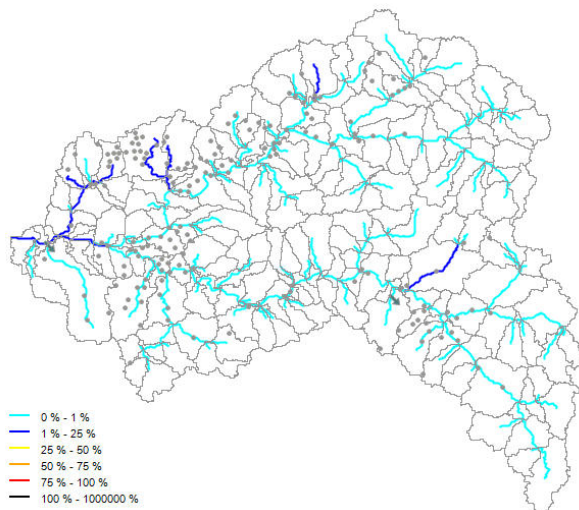
Assim como foi constatado no cenário atual, verifica-se que após dez anos, o mês de março (último mês do período chuvoso) continua a apresentar o melhor balanço hídrico, tendo em vista que o limite de utilização da  $Q_{90}$  não ultrapassa os 25% em toda a bacia e, o mês de outubro ainda apresenta o pior (último mês de estiagem), apesar de o córrego Roncador atingir o limite de 100% do uso da  $Q_{90}$  em novembro.



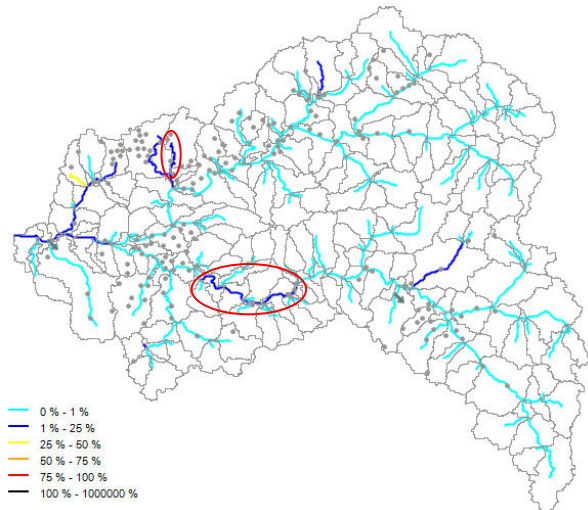
**Figura 86.**  $Q_{90}$  janeiro x demanda em 2025.



**Figura 87.**  $Q_{90}$  fevereiro x demanda em 2025.

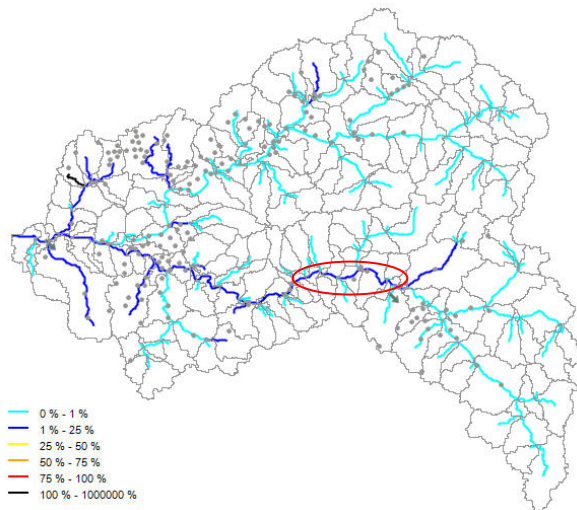


**Figura 88.**  $Q_{90}$  março x demanda em 2025.

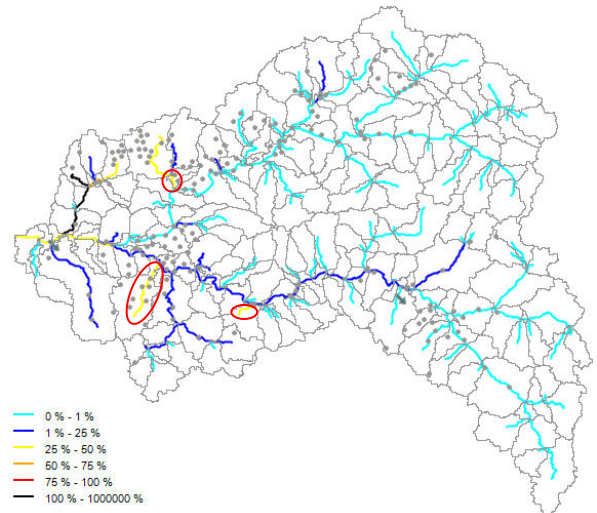


**Figura 89.**  $Q_{90}$  abril x demanda em 2025.

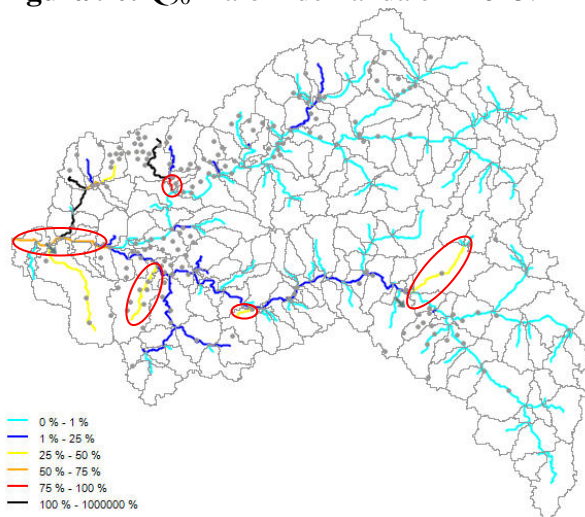




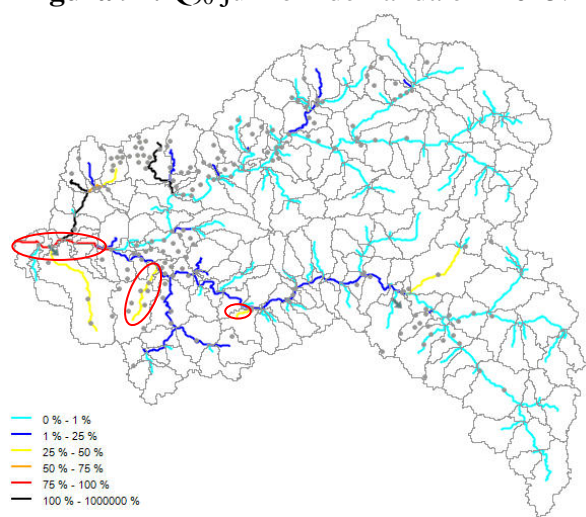
**Figura 90.** Q<sub>90</sub> maio x demanda em 2025.



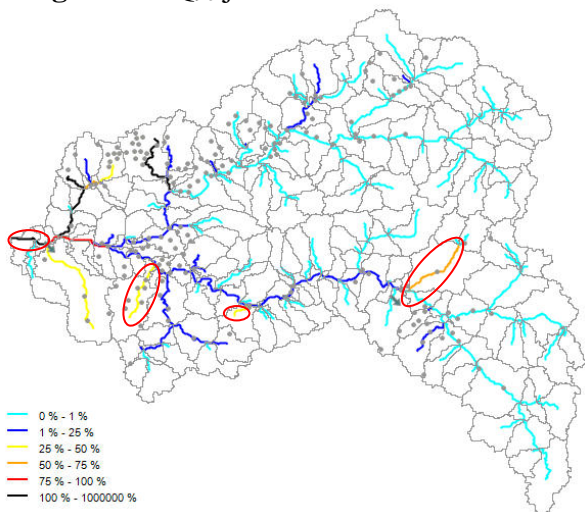
**Figura 91.** Q<sub>90</sub> junho x demanda em 2025.



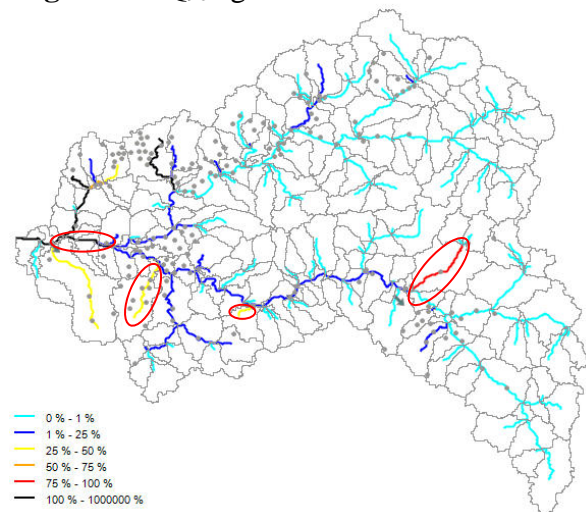
**Figura 92.** Q<sub>90</sub> julho x demanda em 2025.



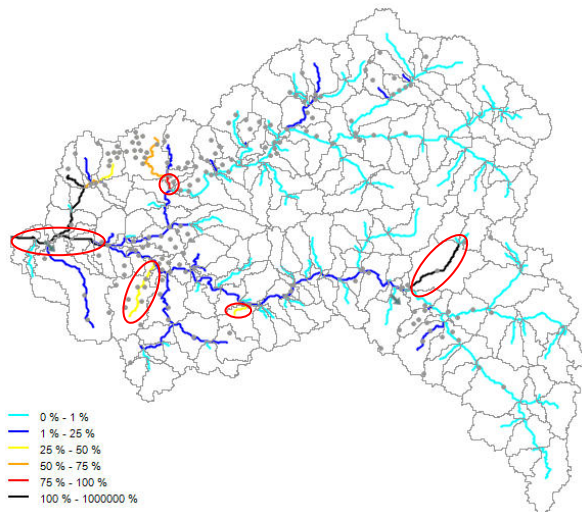
**Figura 93.** Q<sub>90</sub> agosto x demanda em 2025.



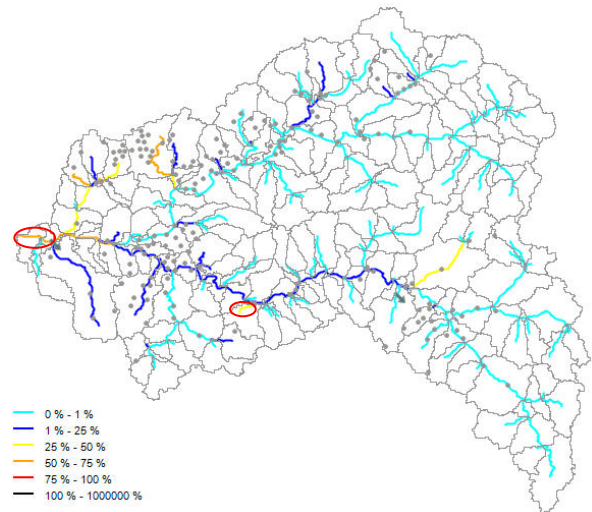
**Figura 94.** Q<sub>90</sub> setembro x demanda em 2025.



**Figura 95.** Q<sub>90</sub> outubro x demanda em 2025.

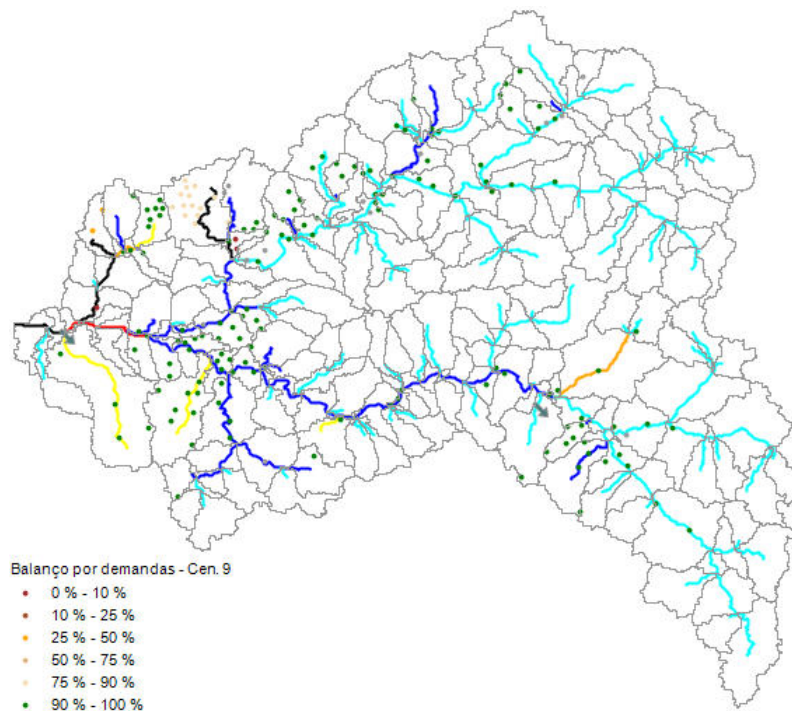


**Figura 96.** Q<sub>90</sub> novembro x demanda em 2025.



**Figura 97.** Q<sub>90</sub> dezembro x demanda em 2025.

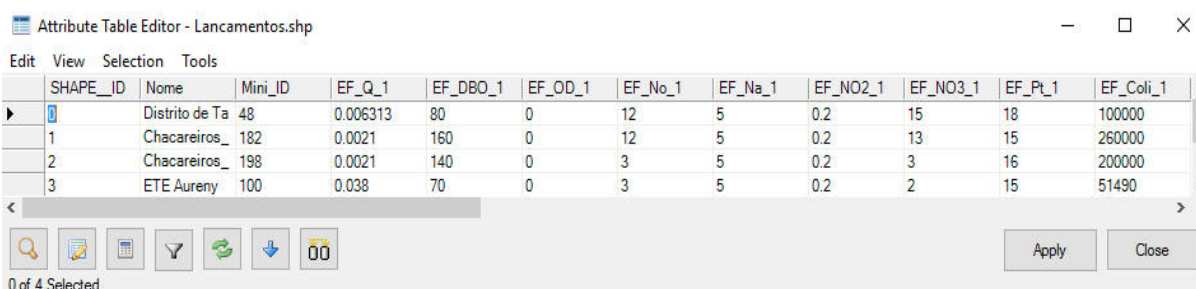
Ao analisar a Figura 98, que expressa o balanço hídrico em 2025 por usuário da bacia para o mês de setembro, percebe-se que a maioria dos usuários, inclusive a Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS/Odebrecht Ambiental, continuará a captar um volume maior do que é permitido por lei, isto é, o limite de 75% da Q<sub>90</sub> será ultrapassado. Esse fato demonstra novamente que a fiscalização por parte do órgão gestor é fundamental para que os usuários irregulares possam ser cadastrados e regularizados, bem como para que os usuários regulares capturem somente o quantitativo autorizado pelo órgão ambiental.



**Figura 98.** Balanço hídrico em 2025 por usuário para o mês de setembro.

### 6.3.1.2.2 Qualidade da Água em 2025

Para averiguar a qualidade da água da bacia em 2025 foi realizada a simulação no SAD-IPH considerando que haverá aumento da vazão dos efluentes pontuais em função do aumento populacional projetado para a bacia, sendo essa a única alteração efetuada para a simulação. A Figura 99 mostra os dados de entrada usados, com os novos valores de vazão dos efluentes.



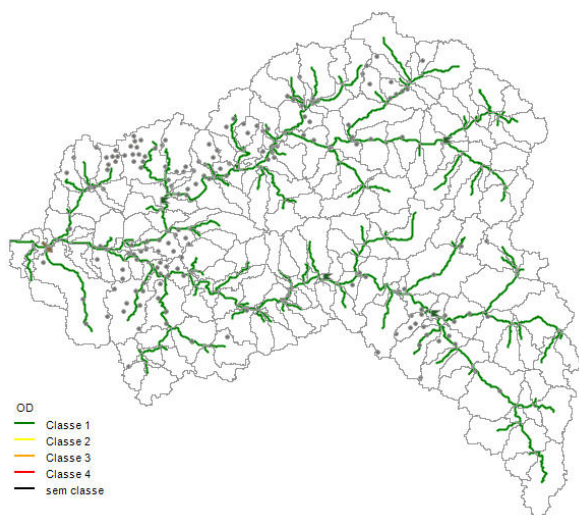
SHAPE_ID	Nome	Mini_ID	EF_Q_1	EF_DBO_1	EF_OD_1	EF_No_1	EF_Na_1	EF_NO2_1	EF_NO3_1	EF_Pt_1	EF_Coli_1
0	Distrito de Ta	48	0.006313	80	0	12	5	0.2	15	18	100000
1	Chacareiros_	182	0.0021	160	0	12	5	0.2	13	15	260000
2	Chacareiros_	198	0.0021	140	0	3	5	0.2	3	16	200000
3	ETE Auren	100	0.038	70	0	3	5	0.2	2	15	51490

**Figura 99.** Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais.

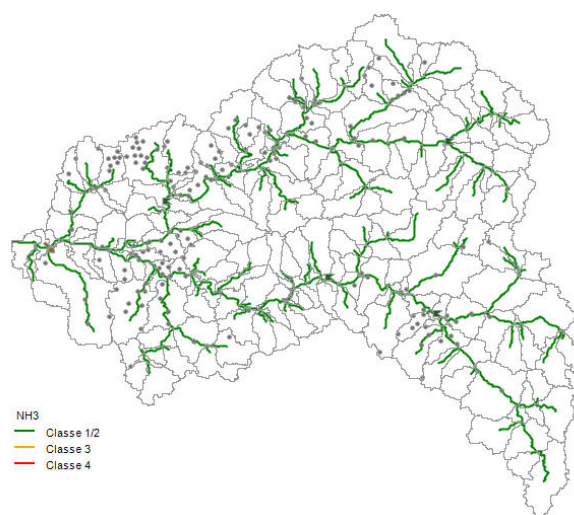
Ressalta-se que para a poluição difusa, foram utilizados os mesmos dados da simulação realizada para o cenário 1 – atual, visto que não foi possível gerar um novo *shapefile* da cobertura e uso do solo, o qual refletisse a provável alteração do uso do solo nos próximos dez anos. Dessa forma, os resultados obtidos nessa simulação foram considerados bastante conservativos, ou seja, refletem o melhor resultado que a bacia poderá apresentar no período avaliado.

As Figuras 100 a 103 apresentam a distribuição da concentração de OD, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato, respectivamente, ao longo da rede hidrográfica da bacia do ribeirão Taquaruçu. A simulação destes parâmetros demonstrou que a concentração deles permanecerá constante, na classe 1, mesmo com o decorrer de dez anos e o consequente aumento do volume de efluentes.

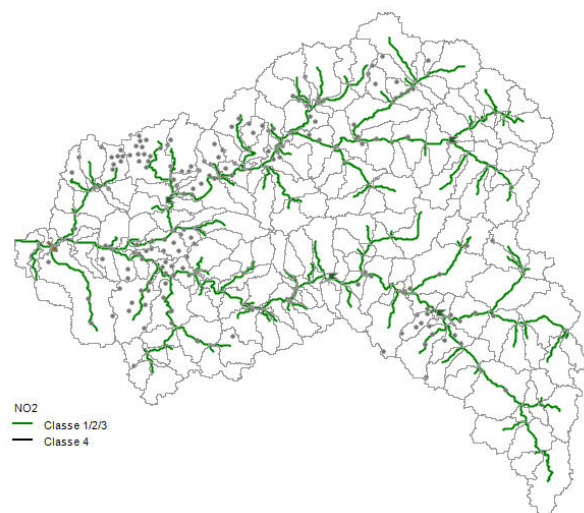




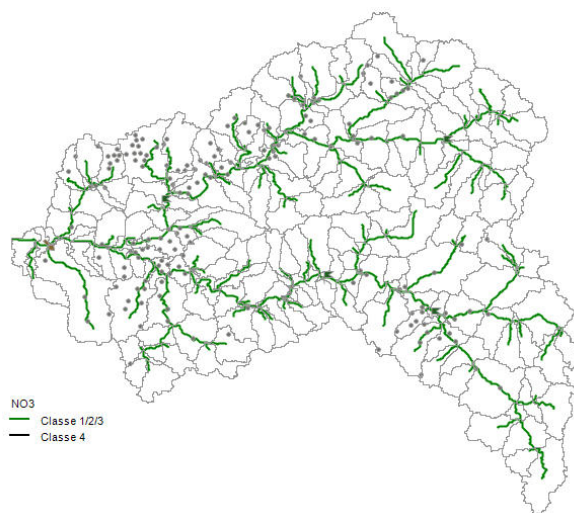
**Figura 100.** Concentração de OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.



**Figura 101.** Concentração de Nitrogênio Amoniacal nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.



**Figura 102.** Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.

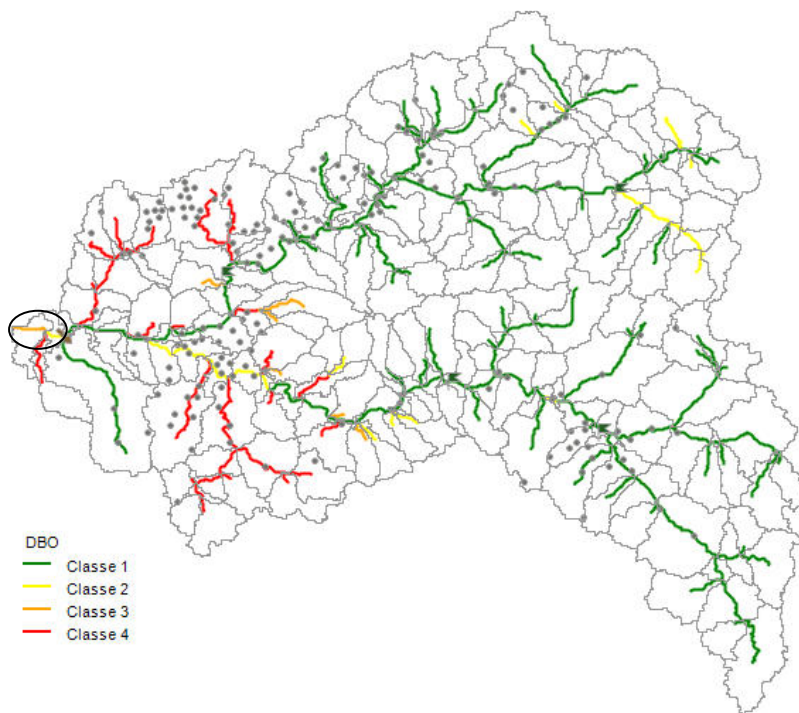


**Figura 103.** Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.

Já os parâmetros DBO, Coliformes e Fósforo total, apresentaram variações na concentração ao longo da rede hidrográfica em relação ao resultado obtido no cenário 1 - atual, como pode ser visualizado nas próximas figuras. Essas alterações estão destacadas em preto nas figuras.

Como visto na Figura 104, a concentração da DBO ao longo da rede hidrográfica sofreu alteração apenas no trecho situado a jusante do ponto de lançamento de efluentes da ETE Aurenny. Na simulação efetuada para o cenário 1 - atual o referido trecho foi enquadrado na classe 1 e, em 2025 estaria atendendo as classe 2 e 3, respectivamente. Essa alteração é decorrente do aumento da vazão dos efluentes emitidos nesse ponto. Apesar de a vazão de

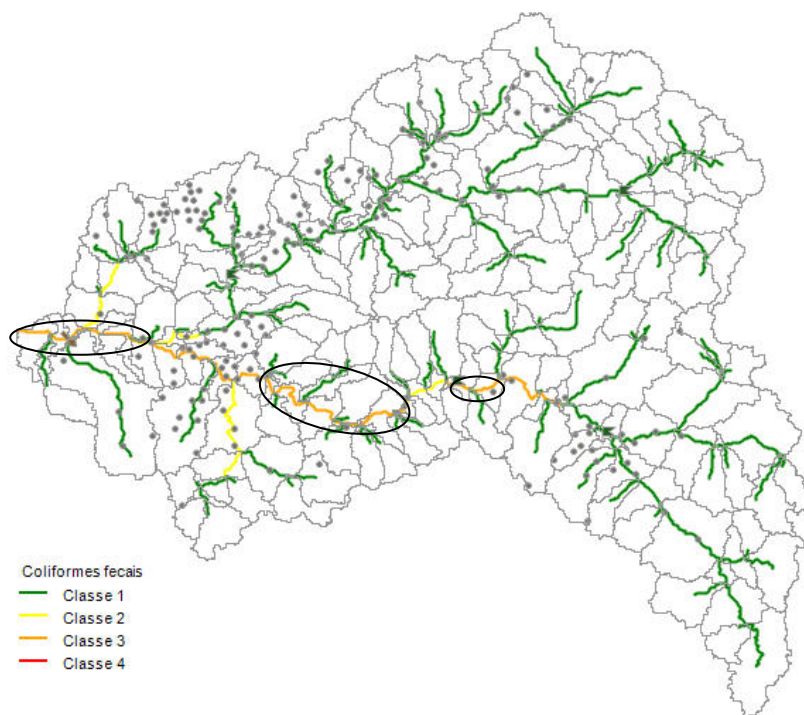
efluentes ter sido aumentada em todos os quatro pontos de lançamentos pontuais, a modificação de classe de enquadramento efetivamente somente ocorreu no ponto mencionado, demonstrando, assim que a qualidade da água permanecerá estável nos próximos dez anos para os demais trechos da bacia.



**Figura 104.** Concentração de DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.

No que tange ao comportamento do parâmetro Coliformes, ao longo da rede hidrográfica, verifica-se que houve modificação em três trechos da bacia, quando comparado ao cenário 1 – atual. Atualmente enquadrados na classe 2, em 2025 irão integrar a classe 3. Os trechos mencionados se situam a jusante de pontos de lançamento de efluentes.

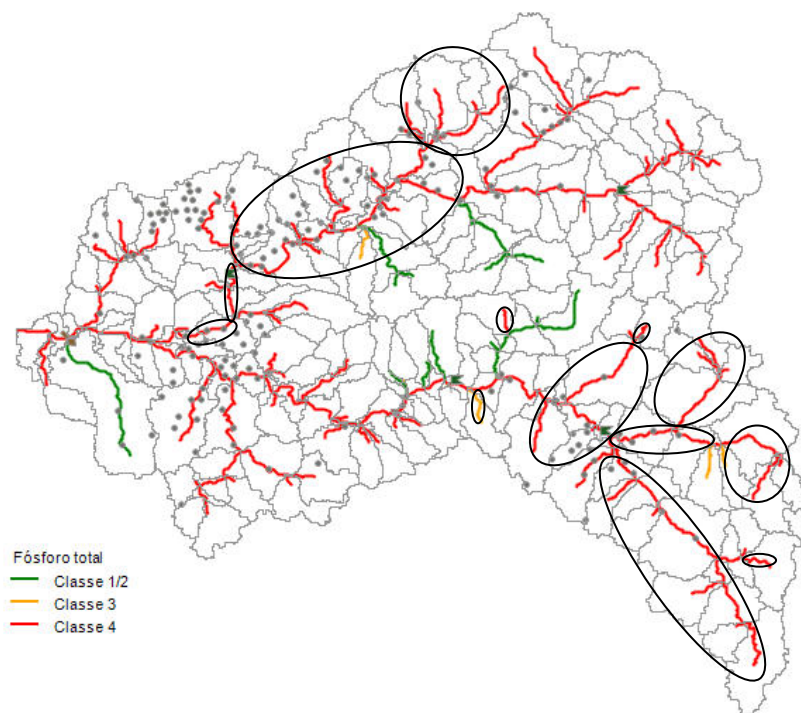
Ressalta-se que os trechos enquadrados na classe 3 são considerados impróprios para a recreação de contato primário, tendo em vista o disposto no Artigo 2º da Resolução CONAMA nº 274/2000, que define que a água para essa atividade não pode apresentar concentração superior que 1.000 coliformes fecais (termotolerantes) e que os trechos classe 3 apresentam concentração que varia de 1.001 a 4.000 coliformes fecais. Dessa forma, a atividade de recreação, tão difundida na bacia, poderá ficar comprometida nesses trechos a partir de 2025.



**Figura 105.** Concentração de Coliformes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.

Para o parâmetro Fósforo total, a simulação referente ao ano de 2025, revela aumento de sua concentração, o que tornará praticamente toda a rede hidrográfica da bacia enquadrada na classe 4, como já era esperado (Figura 106). Apenas 11 tributários foram enquadrados nas classes 1, 2 e 3. Assim, mais uma vez fica evidente que o fósforo é um parâmetro que não poderá ser considerado no enquadramento dos corpos hídricos da bacia em estudo.

Diante dos resultados aqui apresentados, verifica-se que para o cenário avaliado houve um aumento da criticidade para três parâmetros, implicando na restrição da atividade de recreação de contato primário em trechos do ribeirão Taquaruçu Pequeno. Além disso, verifica-se que a alta velocidade das águas da bacia propicia a permanência da elevada concentração de oxigênio dissolvido no meio hídrico, apesar da maior entrada de efluentes. A alta concentração de fósforo poderia desencadear o processo de eutrofização dos corpos hídricos, entretanto, a probabilidade de que esse fenômeno ocorra na bacia em questão é baixa, devido à alta velocidade de suas águas. Todavia, maior atenção deve ser dada ao trecho da foz, situado no lago de Palmas, por se tratar de ambiente de transição de lótico para lântico.



**Figura 106.** Concentração de Fósforo total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2025.

### 6.3.1.3 Cenário 3 – Horizonte temporal de 20 anos

O cenário 3 avalia as águas da bacia do ribeirão Taquaruçu em termos quantitativos e qualitativos para um horizonte temporal de 20 anos (2015 - 2035).

#### 6.3.1.3.1 Disponibilidade Hídrica x Demanda em 2035

A construção deste cenário levou em consideração os mesmos critérios que embasaram a elaboração do cenário 2, anteriormente apresentado. Assim, de forma a não ficar redundante, neste item será demonstrado apenas o resultado final da projeção efetuada.

O Quadro 25 apresenta os dados relativos à projeção populacional do município de Palmas para o período de 2012 a 2035, os quais foram obtidos no Plano Municipal de Saneamento e subsidiaram a elaboração do presente cenário.

**Quadro 25.** Projeção populacional de Palmas – TO – 2012-2035 (IBGE).

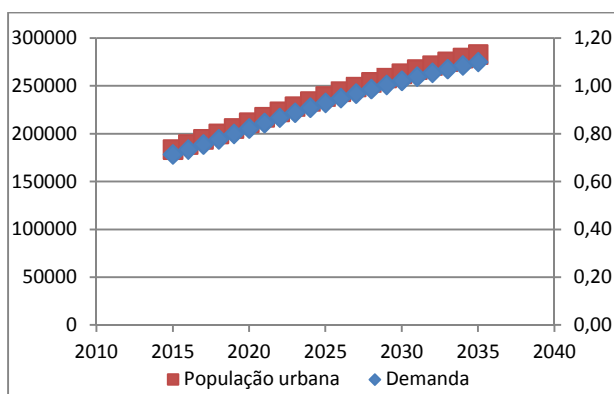


<b>7. ANO</b>	<b>8. TGCA</b>	<b>9. POP. TOTAL</b>	<b>10. TX. URB.</b>	<b>11. POP. URBANA</b>	<b>12. POP. RURAL</b>
<b>13. 2012</b>	<b>14. 2,87%</b>	<b>15. 242.070</b>	<b>16. 97,17%</b>	<b>17. 235.111</b>	<b>18. 6.851</b>
<b>19. 2013</b>	<b>20. 2,87%</b>	<b>21. 249.019</b>	<b>22. 97,20%</b>	<b>23. 241.875</b>	<b>24. 6.973</b>
<b>25. 2014</b>	<b>26. 2,87%</b>	<b>27. 256.167</b>	<b>28. 97,23%</b>	<b>29. 248.833</b>	<b>30. 7.096</b>
<b>31. 2015</b>	<b>32. 2,87%</b>	<b>33. 263.521</b>	<b>34. 97,25%</b>	<b>35. 255.991</b>	<b>36. 7.247</b>
<b>37. 2016</b>	<b>38. 2,87%</b>	<b>39. 271.086</b>	<b>40. 97,28%</b>	<b>41. 263.355</b>	<b>42. 7.374</b>
<b>43. 2017</b>	<b>44. 2,87%</b>	<b>45. 278.867</b>	<b>46. 97,31%</b>	<b>47. 270.931</b>	<b>48. 7.502</b>
<b>49. 2018</b>	<b>50. 2,87%</b>	<b>51. 286.873</b>	<b>52. 97,34%</b>	<b>53. 278.725</b>	<b>54. 7.631</b>
<b>55. 2019</b>	<b>56. 2,87%</b>	<b>57. 295.108</b>	<b>58. 97,36%</b>	<b>59. 286.743</b>	<b>60. 7.791</b>
<b>61. 2020</b>	<b>62. 2,87%</b>	<b>63. 303.579</b>	<b>64. 97,39%</b>	<b>65. 294.992</b>	<b>66. 7.923</b>
<b>67. 2021</b>	<b>68. 2,73%</b>	<b>69. 311.858</b>	<b>70. 97,42%</b>	<b>71. 303.055</b>	<b>72. 8.046</b>
<b>73. 2022</b>	<b>74. 2,59%</b>	<b>75. 319.937</b>	<b>76. 97,45%</b>	<b>77. 310.924</b>	<b>78. 8.158</b>
<b>79. 2023</b>	<b>80. 2,46%</b>	<b>81. 327.812</b>	<b>82. 97,48%</b>	<b>83. 318.596</b>	<b>84. 8.261</b>
<b>85. 2024</b>	<b>86. 2,34%</b>	<b>87. 335.476</b>	<b>88. 97,50%</b>	<b>89. 326.065</b>	<b>90. 8.387</b>
<b>91. 2025</b>	<b>92. 2,22%</b>	<b>93. 342.928</b>	<b>94. 97,53%</b>	<b>95. 333.327</b>	<b>96. 8.470</b>
<b>97. 2026</b>	<b>98. 2,11%</b>	<b>99. 350.164</b>	<b>100. 97,56%</b>	<b>101. 340.381</b>	<b>102. 8.544</b>
<b>103. 2027</b>	<b>104. 2,00%</b>	<b>105. 357.184</b>	<b>106. 97,59%</b>	<b>107. 347.226</b>	<b>108. 8.608</b>
<b>109. 2028</b>	<b>110. 1,90%</b>	<b>111. 363.986</b>	<b>112. 97,61%</b>	<b>113. 353.860</b>	<b>114. 8.699</b>
<b>115. 2029</b>	<b>116. 1,81%</b>	<b>117. 370.572</b>	<b>118. 97,64%</b>	<b>119. 360.283</b>	<b>120. 8.745</b>

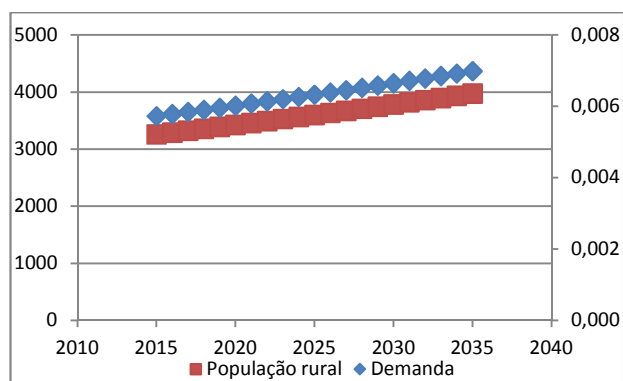
121. 030	122. ,72%	123. 76.941 <sup>3</sup>	124. 7,67% <sup>9</sup>	125. 66.498 <sup>3</sup>	126. .783
127. 031	128. ,63%	129. 83.096 <sup>3</sup>	130. 7,70% <sup>9</sup>	131. 72.504 <sup>3</sup>	132. .811
133. 032	134. ,55%	135. 89.038 <sup>3</sup>	136. 7,73% <sup>9</sup>	137. 78.305 <sup>3</sup>	138. .831
139. 033	140. ,47%	141. 94.771 <sup>3</sup>	142. 7,75% <sup>9</sup>	143. 83.903 <sup>3</sup>	144. .882
145. 034	146. ,40%	147. 00.297 <sup>4</sup>	148. 7,78% <sup>9</sup>	149. 89.301 <sup>3</sup>	150. .887
151. 035	152. ,33%	153. 05.621 <sup>4</sup>	154. 7,81% <sup>9</sup>	155. 94.502 <sup>3</sup>	156. .883

Fonte: Palmas (2013).

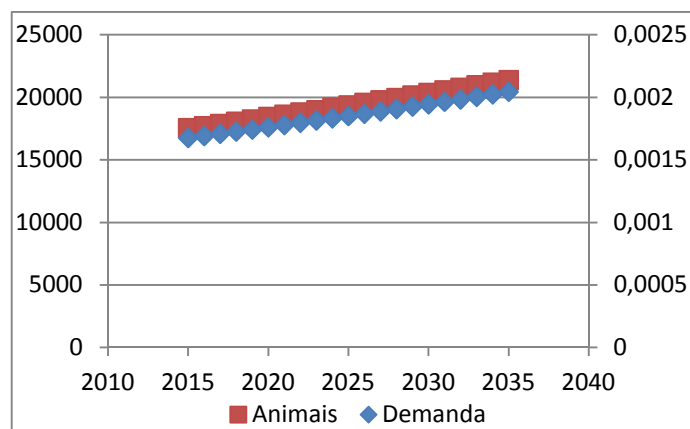
As Figuras 107, 108 e 109, representam a projeção de aumento da demanda de água da bacia para o abastecimento urbano, abastecimento rural e dessedentação animal, respectivamente, para o período avaliado.



**Figura 107.** Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento urbano de 2015 - 2035.



**Figura 108.** Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para o abastecimento rural de 2015 - 2035.



**Figura 109.** Projeção do aumento da demanda hídrica ( $m^3/s$ ) da bacia para a dessedentação animal de 2015 - 2035.

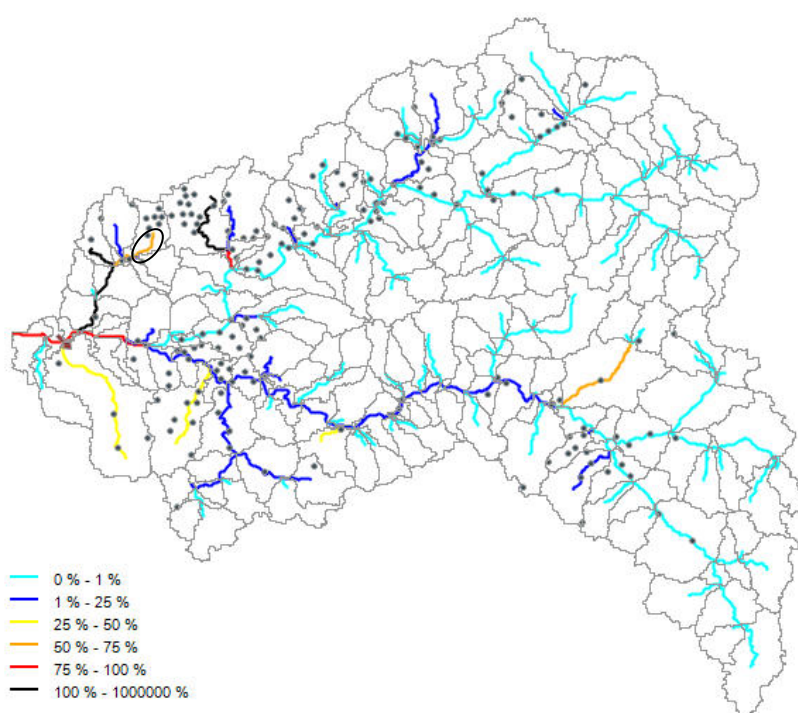
O Quadro 26 sintetiza os dados obtidos nas projeções efetuadas, onde é esperado um aumento de 53,42% da demanda hídrica da bacia no decorrer de 20 anos.

**Quadro 26.** Projeção de demanda hídrica da bacia para o período de 2015 a 2035.

ANO	USOS				TOTAL ( $m^3/s$ )
	Dessedentação animal ( $m^3/s$ )	Abastecimento rural ( $m^3/s$ )	Abastecimento urbano ( $m^3/s$ )	Demais usos ( $m^3/s$ )	
2015	0,001676	0,005727	0,714	0,005358	0,726367
2016	0,001692	0,005784	0,734	0,005358	0,746977
2017	0,001709	0,005842	0,755	0,005358	0,768181
2018	0,001726	0,005901	0,777	0,005358	0,789994
2019	0,001743	0,005960	0,799	0,005358	0,812434
2020	0,001761	0,006019	0,822	0,005358	0,835515
2021	0,001778	0,006079	0,845	0,005358	0,858083
2022	0,001796	0,006140	0,867	0,005358	0,880111
2023	0,001814	0,006202	0,888	0,005358	0,901589
2024	0,001832	0,006264	0,909	0,005358	0,922503
2025	0,001850	0,006326	0,929	0,005358	0,942843
2026	0,001869	0,006389	0,949	0,005358	0,962605
2027	0,001888	0,006453	0,968	0,005358	0,981780
2028	0,001907	0,006518	0,987	0,005358	1,000374
2029	0,001926	0,006583	1,005	0,005358	1,018379
2030	0,001945	0,006649	1,022	0,005358	1,035806
2031	0,001964	0,006715	1,039	0,005358	1,052650
2032	0,001984	0,006783	1,055	0,005358	1,068925
2033	0,002004	0,006850	1,070	0,005358	1,084633
2034	0,002024	0,006919	1,085	0,005358	1,099789
2035	0,002044	0,006988	1,100	0,005358	1,114395

O impacto do aumento da demanda de água pelos usuários no balanço hídrico da bacia, para o ano de 2035, pode ser visualizado nas próximas figuras. A primeira delas, Figura 110, demonstra o balanço hídrico referente à vazão  $Q_{90}$  anual.

Comparando-se o resultado obtido para o balanço hídrico anual de 2035 com o do cenário anterior, de 2025, observa-se que ocorreu apenas a alteração de um pequeno trecho de um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande. Este, em 2025, apresentava o comprometimento de sua  $Q_{90}$  anual de 25 a 50% e, em 2035, esse percentual aumenta para 50 a 75%. Portanto, a alteração para o balanço hídrico da bacia se mostra pouco significativa, embora haja a previsão de aumento expressivo da demanda pelos usuários.



**Figura 110.**  $Q_{90}$  anual x demanda em 2035.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos na simulação mês a mês desse cenário, que possui horizonte temporal de 20 anos. Como previsto, o balanço hídrico da bacia piorou em relação aos outros 2 cenários já simulados.

As áreas destacadas em vermelho se referem aos trechos que apresentam diferenças entre essa simulação e a do cenário 1 - atual, todavia são iguais ao do cenário 2, ou seja, essas alterações ocorridas no cenário 2 se mantiveram no cenário 3. Já as áreas destacadas na cor preta simbolizam as diferenças entre essa simulação e as dos outros cenários, isto é, são alterações intrínsecas do cenário 3.

Nessa simulação o balanço hídrico de todos os meses do ano foram alterados, aumentando, obviamente, a criticidade de vários trechos da rede hidrográfica da bacia, em função do aumento da demanda pelos usuários. Igualmente observado nas simulações anteriores, março continua apresentando o melhor balanço hídrico do ano e outubro o pior.

Os trechos mais críticos continuam sendo o córrego Roncador, o trecho do ribeirão Taquaruçu Grande a jusante da ETA 006, o córrego Tiúba e um tributário do Taquaruçu Grande.

Quanto ao córrego Roncador, observa-se que houve aumento de sua criticidade, tendo em vista que o limite de utilização de sua  $Q_{90}$  subiu de 25 a 50% no mês de agosto de 2025 para 50 a 75% em agosto de 2035. Em setembro esse percentual de 2035 subiu para 75 a 100% e nos meses de outubro e novembro permaneceu com 100% ou mais de uso de sua vazão de referência, ou seja, esse limite que em 2025 foi mantido por apenas um mês, em 2035 se prolonga por dois meses.

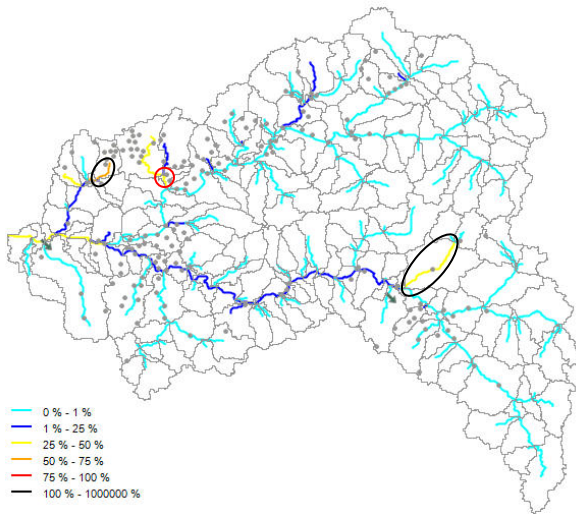
O trecho do ribeirão Taquaruçu Grande localizado a jusante da ETA 006 também se comportou de forma diferente da descrita para o cenário de dez anos. Ocorreu aumento da criticidade, onde a  $Q_{90}$  é 100% consumida por três meses consecutivos (setembro, outubro e novembro). Isso demonstra a gravidade da situação, que deve ser avaliada pela Companhia de Saneamento na busca de alternativas para o abastecimento de 70% da população urbana de Palmas.

Outro trecho crítico, o córrego Tiúba, que atravessa a área urbana de Palmas, como verificado no cenário anterior, permanece com a  $Q_{90}$  100% utilizada em quase toda sua extensão por seis meses do ano, de junho a novembro. Entretanto, poucas captações de água são efetuadas no mesmo.

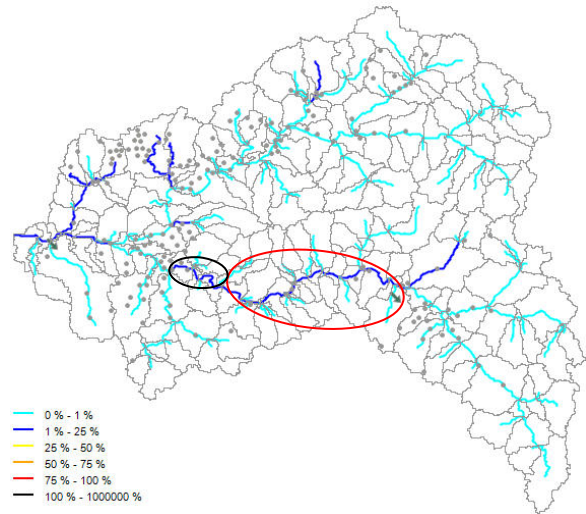
Quanto ao tributário do ribeirão Taquaruçu Grande, intensamente impactado pelas captações de água realizadas por chacareiros, verifica-se que em três meses do ano (agosto, setembro e outubro) sua  $Q_{90}$  está 100% comprometida, todavia em julho a situação já se encontra bem crítica.

Em outros oito trechos da bacia, não tão críticos como os analisados anteriormente, observou-se a mudança de faixa de limite de uso, o que gerou a piora do balanço hídrico. Isso representa que apesar de não estar em situação de atenção, haverá menos água na bacia para a satisfação das necessidades de sua população, assim, a adoção de medidas de gestão são

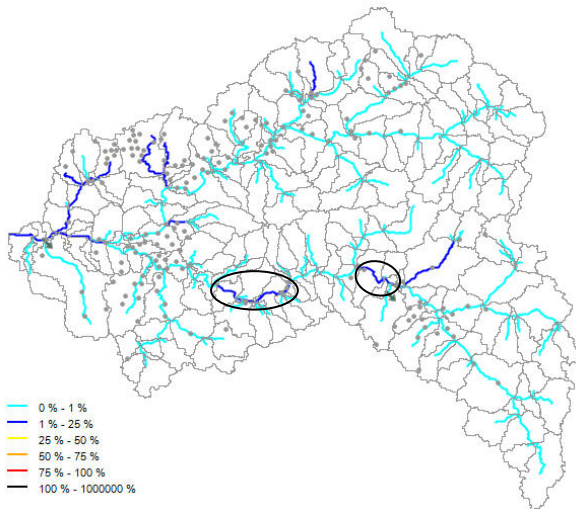
essenciais para a manutenção do equilíbrio hídrico, dirimindo possíveis conflitos pelo uso do recurso hídrico.



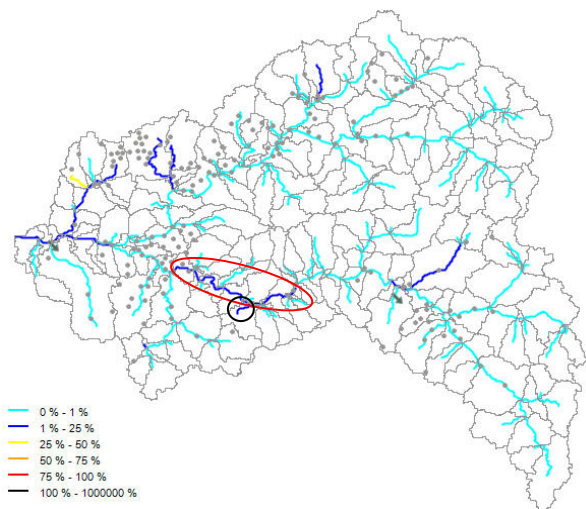
**Figura 111.** Q<sub>90</sub> janeiro x demanda em 2035.



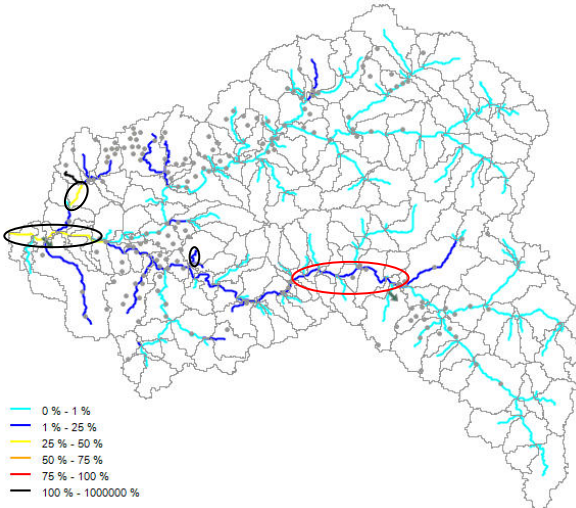
**Figura 112.** Q<sub>90</sub> fevereiro x demanda em 2035.



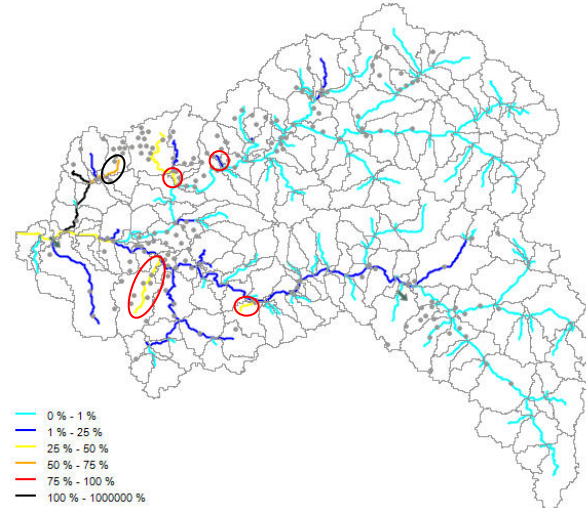
**Figura 113.** Q<sub>90</sub> março x demanda em 2035.



**Figura 114.** Q<sub>90</sub> abril x demanda em 2035.

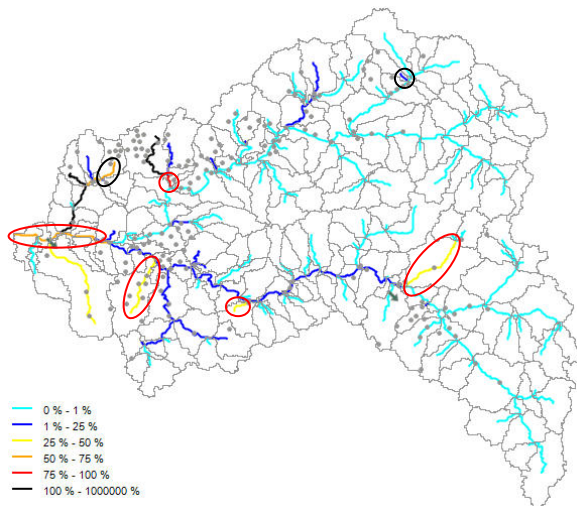


**Figura 115.** Q<sub>90</sub> maio x demanda em 2035.

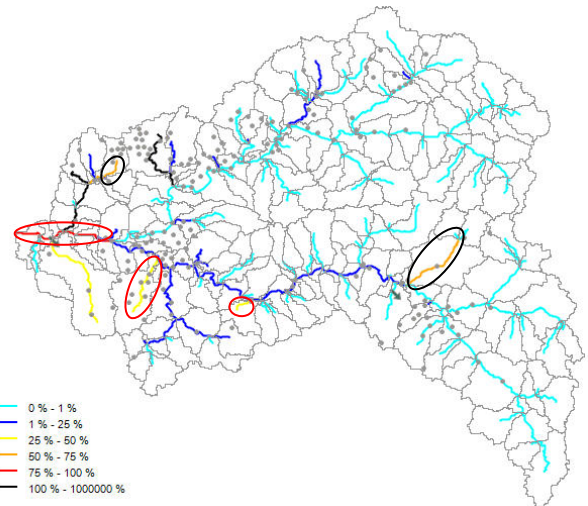


**Figura 116.** Q<sub>90</sub> junho x demanda em 2035.

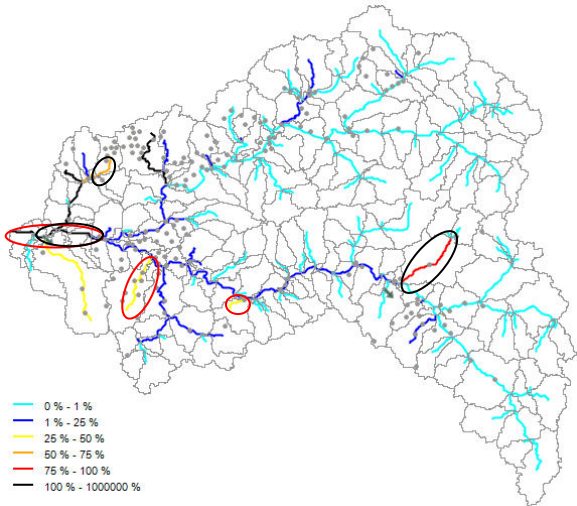




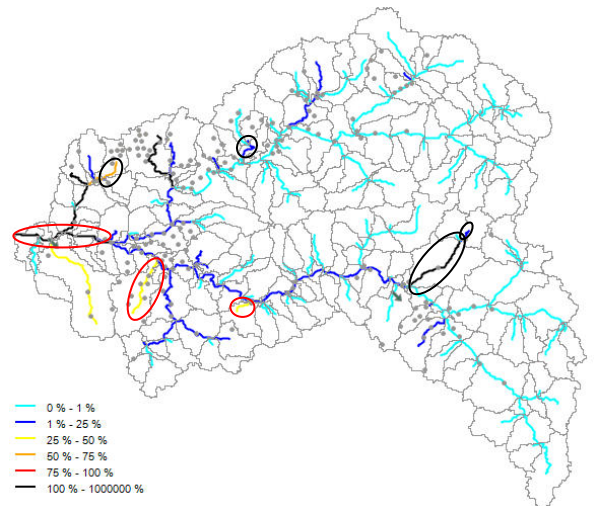
**Figura 117.** Q<sub>90</sub> julho x demanda em 2035.



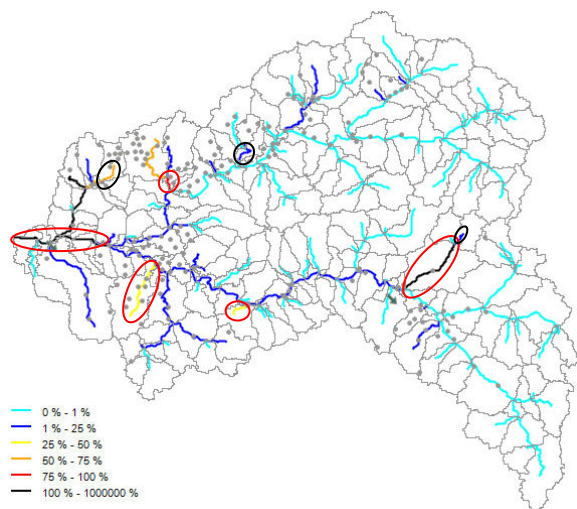
**Figura 118.** Q<sub>90</sub> agosto x demanda em 2035.



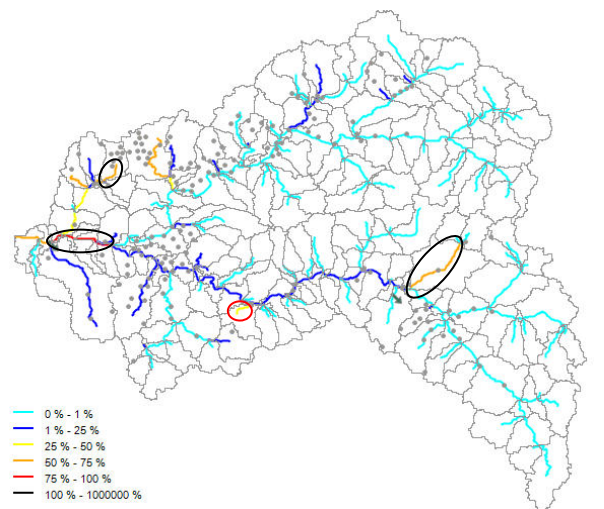
**Figura 119.** Q<sub>90</sub> setembro x demanda em 2035.



**Figura 120.** Q<sub>90</sub> outubro x demanda em 2035.

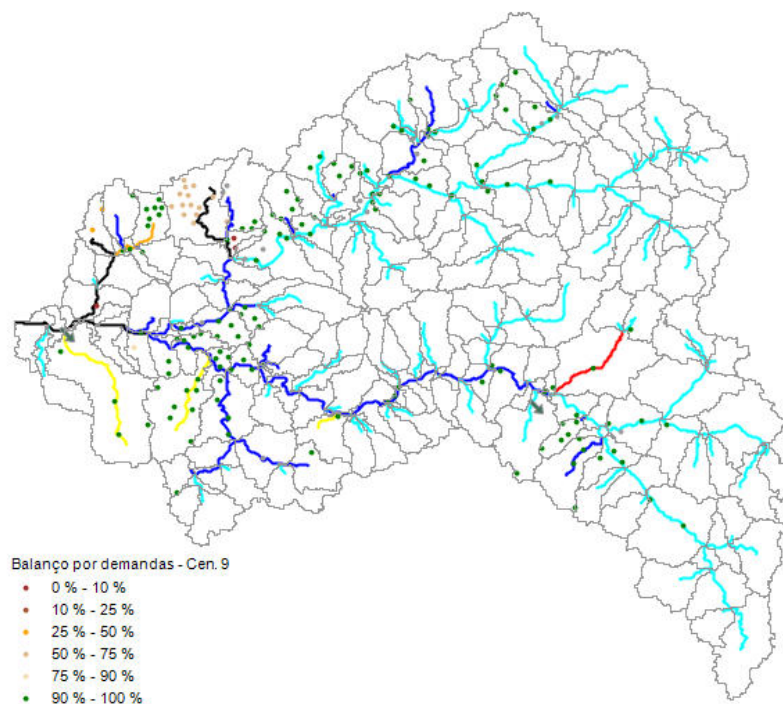


**Figura 121.** Q<sub>90</sub> novembro x demanda em 2035.



**Figura 122.** Q<sub>90</sub> dezembro x demanda em 2035.

A Figura 123, que expressa o balanço hídrico em 2035 por usuário para o mês de setembro, revela mais uma vez, que a absoluta maioria dos usuários da água da bacia, irão captar volume acima do limite estabelecido pela legislação estadual, caso a projeção realizada se concretize.



**Figura 123.** Balanço hídrico em 2035 por usuário para o mês de setembro.

### 156.3.1.2.1 Qualidade da Água em 2035

Para avaliar o impacto do aumento da emissão de efluentes na qualidade da água da bacia no ano de 2035, realizou-se a simulação do módulo qualitativo do SAD-IPH. Para tanto, foi realizado o mesmo procedimento já descrito no cenário anterior, onde foi alterada apenas a vazão dos efluentes de origem pontual, estimada com base no aumento da população da bacia, como pode ser observado na Figura 124.

Attribute Table Editor - Lancamentos.shp

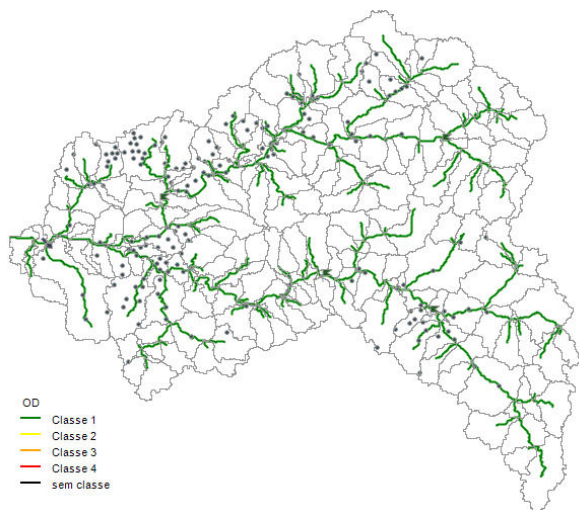
SHAPE_ID	Nome	Mini_ID	EF_Q_1	EF_DBO_1	EF_OD_1	EF_No_1	EF_Na_1	EF_NO2_1	EF_NO3_1	EF_Pt_1	EF_Coli_1
0	Distrito de Ta	163	0.0074	80	0	12	5	0.2	15	18	100000
1	Chacareiros_	192	0.0023	160	0	12	5	0.2	13	15	260000
2	Chacareiros_	195	0.0023	140	0	3	5	0.1	3	16	200000
3	ETE Aurenly	204	0.044	70	0	3	5	0.1	2	15	51490

0 of 4 Selected

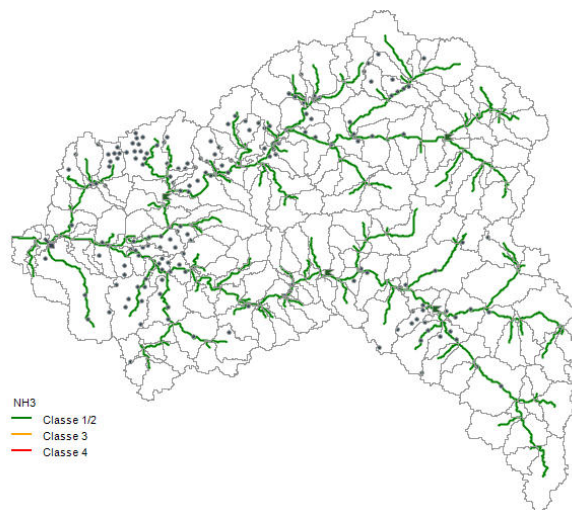
**Figura 124.** Valores dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos lançamentos pontuais.



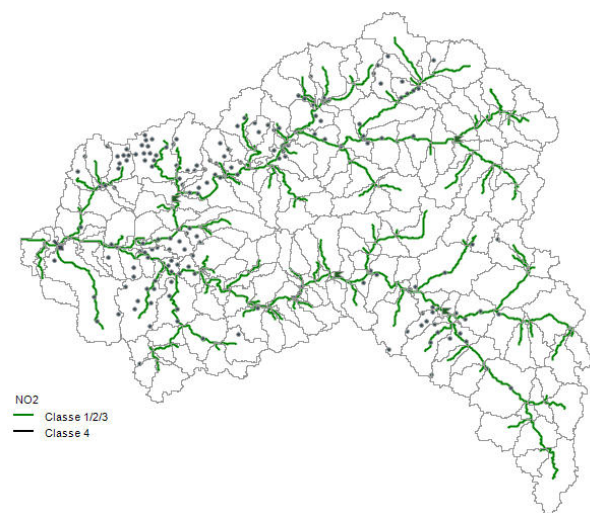
Conforme exibido nas Figuras 125 a 128, na simulação da qualidade da água realizada para o ano de 2035, as concentrações dos parâmetros OD, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato permanecerão estáveis, na mesma classe de enquadramento, como verificado desde a simulação realizada para o cenário 1 - atual. Esse fato evidencia mais uma vez, que as características físicas da bacia, propiciam a manutenção da qualidade da sua água, apesar da maior entrada de efluentes.



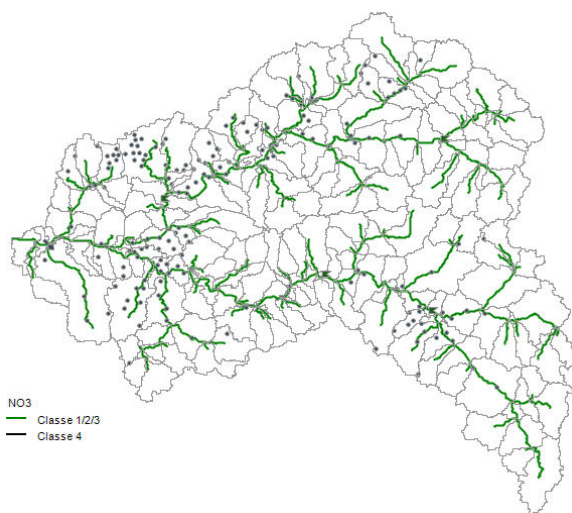
**Figura 125.** Concentração de OD nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.



**Figura 126.** Concentração de Nitrogênio Amoniacal nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.



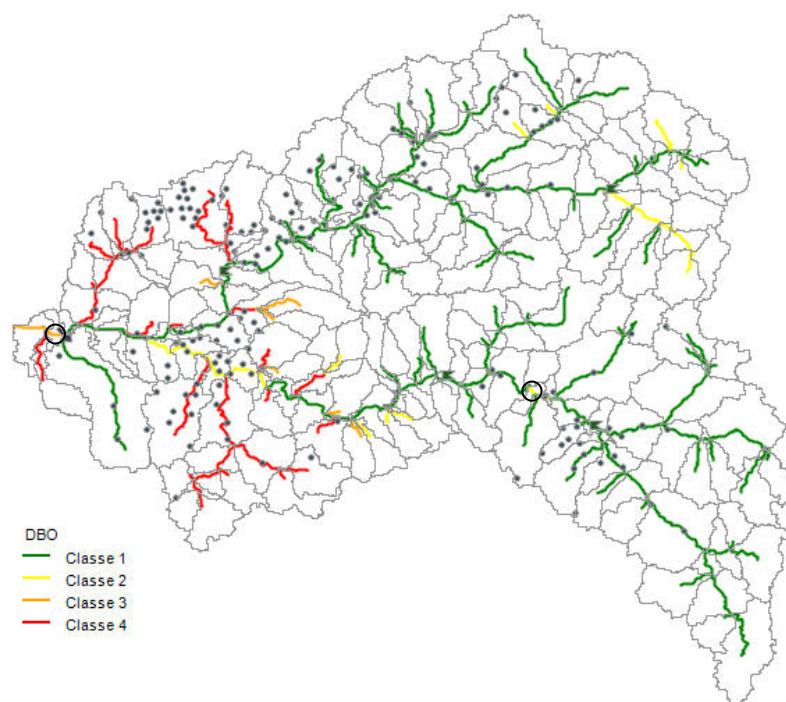
**Figura 127.** Concentração de Nitrito nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.



**Figura 128.** Concentração de Nitrato nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.

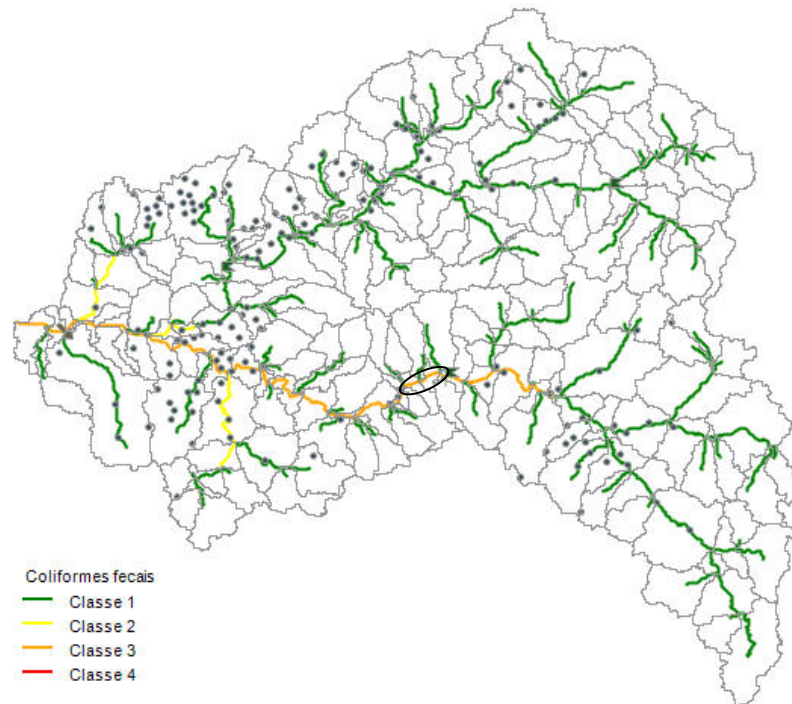
Nessa simulação, foi alterada apenas a distribuição da concentração dos parâmetros DBO e Coliformes termotolerantes (Figuras 129 e 130, respectivamente).

No caso da DBO, verifica-se o aumento da concentração do referido parâmetro em dois pequenos trechos da rede hidrográfica do ribeirão Taquaruçu Pequeno, sendo um situado à jusante do Distrito de Taquaruçu e outro a jusante do ponto de lançamento da ETE Aurenny. Essas alterações podem ser consideradas pouco expressivas, tendo em vista o aumento significativo da vazão de efluentes que serão emitidos nos corpos hídricos.



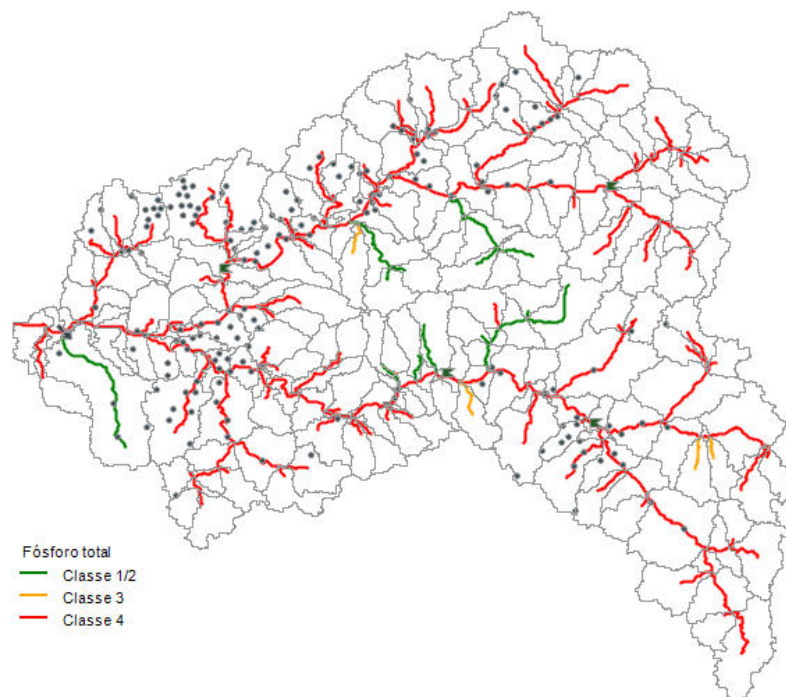
**Figura 129.** Concentração de DBO nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.

O aumento da concentração de Coliformes se dará somente em um pequeno trecho do ribeirão Taquaruçu Pequeno, situado a jusante do Distrito de Taquaruçu. A nova condição mostrada na Figura 124, revela que em 2035 todo o trecho do ribeirão, localizado a jusante do Distrito, se tornará impróprio para a atividade de recreação de contato primário, dificultando o funcionamento dos balneários instalados nesse trecho, os quais são importantes atrativos turísticos e fonte de renda para a comunidade local.



**Figura 130.** Concentração de Coliformes nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.

A simulação realizada para o parâmetro Fósforo Total (Figura 131), demonstra que não houve nenhuma alteração entre o cenário 2 e 3, isto é, a concentração será mantida estável de 2025 a 2035, mesmo com a maior entrada de efluentes na bacia.



**Figura 131.** Concentração de Fósforo total nos trechos da rede hidrográfica da bacia em 2035.

## 157. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para avaliar quais conclusões podem ser extraídas do presente trabalho, foram retomados os objetivos inicialmente propostos, com o intuito de verificar em que medida estes foram cumpridos. Ainda serão apontadas as principais deficiências identificadas, bem como sugestões de melhorias, tanto do sistema de apoio à decisão como do sistema de gerenciamento de recursos hídricos do NATURATINS.

Os objetivos do presente trabalho foram: 1 - Avaliar a aplicabilidade dos modelos matemáticos MGB-IPH e SAD-IPH acoplados a uma ferramenta SIG para estimar a disponibilidade hídrica e o balanço hídrico entre a oferta e a demanda da água da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, para diferentes cenários de demanda e de lançamento de efluentes; 2 - Calibrar e validar o modelo matemático hidrológico MGB para a simulação da vazão da bacia hidrográfica em estudo; 3 – Calibrar o módulo qualitativo do modelo matemático SAD para a simulação da qualidade da água da bacia do ribeirão Taquaruçu; 4 - Avaliar se os modelos MGB e SAD poderão facilitar e agilizar a análise técnica necessária para a tomada de decisão no que tange aos pedidos de outorga; 5 - Avaliar a influência de diferentes cenários de demanda sobre a disponibilidade hídrica e a qualidade da água da bacia hidrográfica.

O primeiro, o segundo e o terceiro objetivos foram plenamente atingidos, visto que os modelos utilizados geraram resultados satisfatórios para a bacia em estudo. A maior preocupação envolvia o modelo hidrológico MGB-IPH, visto que este foi desenvolvido para a modelagem de grandes bacias hidrográficas, ou seja, com área superior a 10.000 km<sup>2</sup>, o que não é o caso da bacia do ribeirão Taquaruçu, que possui apenas 461,39 km<sup>2</sup> de área. Dessa forma, havia a expectativa de que o modelo não gerasse bons ajustes para as vazões de cheia, todavia, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, apesar das dificuldades encontradas na modelagem em função da escassez de séries históricas de dados climáticos e hidrológicos da bacia.

Quanto ao quarto objetivo, pode-se constatar ao longo do desenvolvimento deste trabalho que tanto o MGB-IPH quanto o SAD-IPH se mostraram importantes ferramentas para tornar as análises dos processos de outorga mais ágeis, eficientes e menos sujeitos a erros, pois permitem a realização de previsões, análises de disponibilidade e qualidade da

água e o apoio a decisões. Além disso, ambos são programas computacionais implantados em uma plataforma SIG gratuita, disponível para download na internet, o que torna ainda mais interessante a adesão de ambos para o gerenciamento de recursos hídricos efetuado pelos órgãos gestores. Todavia, cabe destacar que a utilização dos dois modelos mencionados requer que o analista apresente um bom conhecimento técnico em SIG para a correta preparação dos arquivos de entrada.

O quinto objetivo também foi cumprido, sendo possível verificar que o aumento da demanda hídrica nos próximos 20 anos irá agravar ainda mais o comprometimento da  $Q_{90}$  de alguns trechos da rede hidrográfica da bacia, principalmente aqueles mais demandados pelos usuários, como o córrego Roncador, onde é realizada a captação para o abastecimento do Distrito de Taquaruçu, o trecho do ribeirão Taquaruçu a jusante da ETA 006, onde a Companhia de Saneamento efetua a captação para o abastecimento de 70% da população urbana de Palmas, bem como um tributário do ribeirão Taquaruçu Grande, onde vários chacareiros realizam captações. Assim, verifica-se que a Companhia de Saneamento deve buscar de forma emergencial novas alternativas para suprir a demanda de seus usuários, principalmente nos meses de seca da região, onde a disponibilidade hídrica da bacia é baixa. No que tange à qualidade da água da bacia, as simulações do SAD-IPH indicaram que haverá uma piora da qualidade com o passar dos anos, todavia, alguns parâmetros avaliados, continuarão estáveis. Esses dados demonstram que a emissão de novas outorgas para o lançamento de efluentes na rede hidrográfica da bacia poderá ser autorizada, desde que as tecnologias a serem utilizadas para o tratamento dos efluentes apresentem a eficiência necessária para a remoção da DBO, dos Coliformes termotolerantes e, principalmente do Fósforo total, que apesar de não poder ser considerado em uma eventual proposta de enquadramento, já possui concentração muito elevada e o aporte de uma carga maior via efluentes, poderia ocasionar o desencadeamento do processo de eutrofização das águas da bacia, o que é pouco provável devido à alta velocidade das águas, e/ou o aporte ao lago de Palmas, onde o ambiente lântico seria propício para a ocorrência da eutrofização. Ressalta-se, entretanto, que os cenários de qualidade da água podem ser considerados conservativos, visto que o SAD-IPH ainda não efetua a interação entre os módulos qualitativo e quantitativo, não sendo possível avaliar a influência do aumento da demanda hídrica da bacia sobre a qualidade da água, assim, provavelmente os resultados obtidos na simulação demonstraram uma situação menos crítica que a possível realidade futura.

Como recomendações de melhorias, sugere-se que a Companhia de Saneamento, que se configura como principal usuário da bacia, dê continuidade ao monitoramento dos postos fluviométricos e pluviométricos existentes. Além disso, verifica-se a necessidade de instalação de uma estação meteorológica nos limites da bacia. A existência de séries históricas de dados climáticos e hidrológicos na bacia tem a finalidade de melhorar a calibração e validação dos modelos hidrológicos aplicados no ribeirão Taquaruçu.

Quanto ao modelo matemático SAD-IPH, que está em fase de aperfeiçoamento, sugere-se que seja viabilizada a interação entre os módulos qualitativo e quantitativo, visto que as captações de água da bacia, efetuadas pelos usuários, diminuí a disponibilidade hídrica, o que tornará a simulação da qualidade da água mais real. Ainda sugere-se que a entrada dos dados seja mais dinâmica, pois alguns itens do programa ainda não permitem a importação de planilhas já preenchidas, o que torna o processo de criação do projeto mais demorado.

O desenvolvimento deste trabalho ainda permitiu constatar o quanto o gerenciamento dos recursos hídricos efetuado pelo NATURATINS é ineficiente. Do total de 404 propriedades visitadas, foram utilizados os dados de 295 para as simulações na bacia, e deste quantitativo apenas 24 usuários possuem a Outorga de Direito de Uso da Água expedida pelo órgão ambiental. Dessa forma, fica evidente que o órgão pode estar cometendo sérios equívocos na emissão desses atos administrativos ao desconhecer os usuários da bacia, liberando um quantitativo maior do que realmente existe disponível para um usuário. Ainda fica clara a inoperância do órgão que não efetiva ações de fiscalização nem mesmo na principal bacia da capital do Estado, que abastece 70% da população urbana de Palmas.

## 158. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Technical report, FAO Irrigation and drainage paper 56 – Food and Agriculture Organization of United Nations. 300p. 1998.

ALMEIDA, C.C. de. Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos. **Revista Jus Navegandi**, Teresina, ano 8, n. 61, jan. 2003. Disponível em: <http://jus.com.br/revista/texto/3680/outorga-dos-direitos-de-uso-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 05 jan. 2015.

ANDRADE, M.A.; MELLO, C.R. de; BESKOW, S. Simulação hidrológica de uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.69-76, 2013.

APHA, AWWA, and WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washigton: American Public Health Association, 2005.

ARAÚJO, J.C.; DÖLL, P.; GÜNTNER, A.; KROL, M.; ABREU, C.B.R.; HAUSCHILD, M.; MENDIONDO, E.M. Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid northeastern Brazil. **International Water Resources Association**, v. 29, n. 2, p. 209-220, 2004.

AZEVEDO, L. G.; BALTAR, A M.; RÊGO, M.; PORTO, L. R. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil**. Brasília: Banco Mundial (Série Água Brasil, 2). 2003.

BALDISSERA, G.C. **Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. 2005. 144f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

BARROS, D. J. *et al.* Análise da Ocorrência de Metais em Águas Superficiais e Produção de Sedimentos na Rede Hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas - TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...Maceió: ABRH**, 2011.

BARROS, E. K. E. **Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação de conflito no uso da terra na bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande**,



**Palmas – TO.** 2007. 84f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2007.

**BAYER, D.M. Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala.** 2014. 172f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

**BEVEN, K.J. Rainfall – Runoff Modelling: the primer.** John Wilwey & Sons Ltda. Chichester, England, 2001.

**BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F.A.; CONCEIÇÃO, G.** Utilização do modelo hidrológico SWAT para estudos na microbacia hidrográfica do rio Araranguá/SC. In: TALLER INTERNATIONAL RED RIEGOS – CYTED. Florianópolis, 2008.

**BOURAOUI, F.; VACHAUD, G.; HAVERKAMP, R.; NORMAND, B.** A distributed physical approach for surface-subsurface water transport modeling in agricultural watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 203, p. 79-92, 1997.

**BRASIL.** Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 6, 9 jan. 1997. p. 470-474.

**BRASIL.** Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 53, 18 mar. 2005. p. 58-63.

**BRASIL. Projeto RADAMBRASIL Folha SC 22 Tocantins.** Geologia, Geomorfologia e Vegetação. DNPM, Rio de Janeiro, RJ. 520p. 1981.

**BRITES, A. P. Z. Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica.** 2010. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010.

**BRITO, C. de F. P. Avaliação da produção de sedimentos em duas microbacias hidrográficas do Ribeirão Taquaruçu Grande, Município de Palmas, TO.** 128 f, 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, 2012.



CALDER, I.R. **Handbook of Hydrology**, chapter Hydrologic effects of land-use change, pp. 13. New York: McGraw-Hill, 1993. p. 13-50.

CARMO, M. C. do. **Análise Espacial e Temporal dos Usos da Água**: o Caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquarussu Grande, Palmas - TO. 2014. 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

CASTRO, K.B. **Avaliação do Modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CEDRAZ, M. Gerenciamento dos Recursos Hídricos – um tema em discussão. In: MUÑOZ, Héctor Raúl (Org.). **Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos**: desafios da Lei de Águas de 1997. 2 ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. p. 110 – 125.

CHANG, M. **Forest Hydrology**: an introduction to water and forests. 2. ed. Taylor & Francis. 2006.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality models**. Chicago: Springer-Verlag, 1997. 424 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo-Sp. 1999. cap 02, p 19-34.

CHUNG, E. G.; BOMBARDELLI, F.A.; SCHLADOW, S. G. Modeling linkages between sediment resuspension and water quality in a shallow, eutrophic, wind-exposed lake. **Ecological Modeling**, v. 220, p.1251-1265, 2009.

COLLISCHONN, B.; LOPES, A.V. Sistema de Controle de Balanço Hídrico para apoio a outorga na bacia do São Francisco. In: ENCONTRO NACIONAL DE HIDROINFORMÁTICA, 1., 2008, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: UNIFOR, 2008. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: jun. 2015.

COLLISCHONN, B.; LOPES, A. V. Sistema de Apoio à Decisão para análise de outorga na bacia do rio Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: ABRH, 2009.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, 2001.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. 270f. Tese (Doutorado em Engenharia). Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 193f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007.

CRUZ, B. S. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG**. 2003, 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, p.111-124, 2008.

FAN, F.M. **Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica: integração do modelo MGB-IPH**. 2011. 186 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; CAUDURO, R.; KAYSER, R. **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH**. Versão 4.1. Projeto integrado de cooperação amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. 2010.

FARIAS, T.Q. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos no ordenamento jurídico brasileiro. **Revista Direito e Liberdade**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2008.

FERNANDES, F.R.C.; MATOS, G.M.M. de; CASTILHOS, Z.C.; LUZ, A.B. **Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

GALLINA, K. L.; TEIXEIRA, E. C. Análise de procedimentos metodológicos para a fase de diagnóstico do enquadramento de corpos de água em pequenas/micro bacias hidrográficas rurais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2013.

GARCIA, A. C. M. C.; FELICIDADE, N. L. S. V. Gestão de recursos hídricos no Estado de São Paulo: obstáculos técnicos e políticos à sustentabilidade das práticas decisórias em Comitês de Bacias. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C. M.; LEME, A. A. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil**. São Carlos: RIMA, 2003. p. 187-221.

GARCIA JR, L. T. **Política Nacional de Recursos Hídricos: metodologia para avaliação de sua implantação nos estados**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

GEO BRASIL. **Recursos Hídricos**: componente da série de relatórios sobre o Estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: ANA; PNUMA, 2007. 264 p. (GEO Brasil Série Temática; GEO Brasil Recursos Hídricos).

GOMES, S. **Ajuste e avaliação de um modelo de balanço hídrico descendial e estudo dos limites de sua utilização em algumas localidades no Estado do Paraná**. 103 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

GONÇALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. **Revista Ambiente & Água - 93 An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n.3, 2012.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito das águas**: disciplina jurídica das águas doces. 3. ed. rev. e atual. São Paulo: Atlas, 2006.

HASSUDA, S. Modelagem matemática: elaboração do modelo conceitual. Informática em águas subterrâneas. **Informativo da Sociedade Brasileira de Águas Subterrâneas**, n. 10, p.2-3, março, 2000.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Elsevier Academic Press, 2004. 494 p.

HORNBERGER, G. M.; RAFFENSPERGER, J. P.; WIBERG, P. L.; ESHLEMAN, K. N. **Elements of Physical Hydrology**. J. Hopkins, p. 302, 1998.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B; COPPIN, P.W.M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, p. 19-35, 2004.

KAYSER, R. H. B. **Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos**. 2011. 123 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KOUWEN, N., SOULIS, E.D., PIETRONIRO, A., *et al.* Grouped response units for distributed hydrologic modeling. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 119, n. 3, p. 289-305, 1993.

LANNA, A. E. **Aspectos conceituais da gestão das águas**. 1999. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip78/1.pdf>>. Acesso em: 16 de jan. de 2015.

LANNA, A. E. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Formoso no Estado do Tocantins**. 1 disco compacto. SDP N° 002/GOPSEPLAN. Estado do Tocantins. 2006.

LARENTIS, D.G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: sistema Taquari-Antas – RS**. 177f. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

LEAL, M. S. **Gestão de Recursos Hídricos por Bacias Hidrográficas: sugestões para o modelo brasileiro**. 228 f. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE/U FRJ, Rio de Janeiro, 1997.

LIMA, E. de A. M. *et al.* **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba, integração geológico-metalogenética**. Relatório final da etapa II. Recife: DNPM/CPRM, 1978.

LIMA, J. E. F. W. **Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado**. 2010. 312f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 147-155, 2003.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** Piracicaba. 2002. 152f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2002.

MARCHIORO, E. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria: Subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste fluminense.** 2008. 189f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MARQUES, A.K. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande e área de sua influência no reservatório da Usina Hidroelétrica Luís Eduardo Magalhães, TO.** 2011. 229 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MATEUS, R.S. **Modelo hidrológico da bacia hidrográfica da represa Guarapiranga – São Paulo, SP.** 2006. 154f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MEDEIROS, W. Manual de **Aplicação do modelo SAD-IPH na bacia do rio Capim no Estado do Pará.** Diretoria de Recursos Hídricos, SEMA. 2014. Disponível em: <<http://willmedeiros.blogspot.com.br/2014/03/manual-de-aplicacao-do-modelo-sad-iph.html>>. Acesso em: ago. 2015.

MEIER, M.A.; FOLETO, E.M. Implementação dos instrumentos de planejamento das águas no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...**Porto Alegre: ABRH, 2013. 1 CD-ROM.

MEIRA NETO, A.A.; FONTES, A.S.; MEDEIROS, Y.D.P. Aplicabilidade do modelo SWAT a um sistema hidrológico complexo de clima semi-árido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...**Maceió: ABRH, 2011. 1 CD-ROM.

MELLER, A.; BRAVO, J.M; e COLLISCHONN, W. Assimilação de Dados de Vazão na Previsão de Cheias em Tempo-Real com o Modelo Hidrológico MGB-IPH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 209-224, jul./set. 2012.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001.

NAGHETTINI, M. Mananciais superficiais. Aspectos quantitativos. In: HELLER *et al.*, (2004). **Apostila da disciplina Abastecimento de água**. DESA – UFMG, 2004.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias**. Estudo de caso: bacia do rio Solimões. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PALMAS. Agência de Meio Ambiente e Turismo de Palmas. **Diagnóstico Turístico do Distrito de Taquaruçu, Palmas - TO**. Palmas: SEPLAN, 2002.

PALMAS. Secretaria Municipal de Assuntos Jurídicos. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas: Volume II: Água e Esgoto**. 2014. Disponível em: <http://www.palmas.to.gov.br/servicos/pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico/179/>. Acesso em: jan. 2015.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba: FEALQ. 183 p., 1997.

PEREIRÁ PESSOA, M.M.E; KAYSER, R.B.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **REGA**, v. 9, n. 2, p. 21-33, jul./dez. 2012.

PEREIRÁ PESSOA, M.M.E. **Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS**. 2010. 91f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna, EMBRAPA/CNPMA, 1997. 83p. (EMBRAPA. CNPMA. Documentos, 8).

PIZELLA, D.G. & SOUZA, M.P. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 139-148, 2007.

POMPEU, C.T. O papel do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 42-44, out./dez. 2003.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de suporte a decisões de recursos hídricos. In: Porto, R. L. L. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1997. cap. 2, p.43-95.

PORTO, R.; LANNA, A. E.; BRAGA, B. P.; CIRILO, J. A.; ZAHED, K.; AZEVEDO, L. G. T.; CALVO, L.; DE BARROS, M. T. L.; BARBOSA, P. S. F. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 1997. 420 p.

RAWLS, W. J.; AHUJA, L. R.; BRAKENSIEK, D. L.; SHIRMOHAMMADI, A. Infiltration and soil water movement. **In:** Maidment, D. Handbook of hydrology. 1993.

RAMOS, M. Gestão de Recursos Hídricos e Cobrança pelo Uso da Água. **Revista CEPAL**, São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, EBAPE, Chile, 2007. Disponível em: <<http://www.eclac.org/dmaah/noticias/paginas/9/28579/Cobrancelousoda.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

REIS, P. T. B. **Caracterização da Demanda por Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquarussu Grande**. 2007. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2007.

RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. **Modelos hidrológicos para a gestão ambiental**: Relatório técnico parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2000.

RIBEIRO NETO, A. **Simulação hidrológica na Amazônia**: bacia do rio Madeira. 2006. 195f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

RIGHETTO, A.M. 1998. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: Eesc-USP. 819 p.

RIOS, M. V.; MARQUES, S. E.; BARBOSA, E S. L. Percepção Ambiental no Distrito de Taquaruçu, Município de Palmas (TO): a relação dos moradores com as transformações da paisagem ao longo da história local. **Caderno Virtual de Turismo**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1-14, 2010.

RODRIGUES, A. C. de J. **Aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos outorga e enquadramento para o setor de saneamento no perímetro urbano da bacia do rio Coxipó Cuiabá/MT**. 2013. 151 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

RODRIGUES, R.B. **SSD RB – Sistema de Suporte a Decisão proposto para a Gestão Quali-Quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água**. 2005. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Processo de Planejamento da Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí – Fases A e B: Definição do processo de enquadramento**. Porto Alegre: SEMA, 2011.

SANEATINS - Companhia de Saneamento do Tocantins. **Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande**, Palmas. 2007. 53p.

SANTHI, C., J. G. ARNOLD, J. R. WILLIAMS, W. A. DUGAS, R. SRINIVASAN, and L. M. HAUCK. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **J. Am. Water Resources Assoc**, v. 37, n. 5, p. 1169–1188, 2001.

SANTIN, J. R.; GOELLNER, E. A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso. **Sequência**, Florianópolis, n. 67, p. 199-221, 2013.

SANTOS, B. B. M.; GUSMÃO, P.P. de. Ampliando o debate sobre a lei das águas: uma consideração sobre os conflitos socioambientais. In... **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...**Porto Alegre: ABRH, 2013. 1. CD-ROM.

SANTOS, J. E. B. **O cotidiano e o trabalho em Taquaruçu 1940 – 1960**. 1996. Dissertação (Mestrado em História de Filosofia e Ciências Humanas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

SANTOS, L.F. dos. **Cartografia Geotécnica Regional do Município de Palmas/TO: área a oeste do meridiano 48° W Gr**. 2000. 176f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hydrology**. New York: McGraw- Hill, 1993.

SILVA, A. M. *et al.* Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.374–380, 2006.



SILVA, I. X. **Uma Proposta de Planejamento Ambiental para a sub-bacia do Córrego Machado em Palmas – TO**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidad de Las Palmas de Gran Canária, Florianópolis, 2004b.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. In: MACHADO, C. J. S. (Org.). **Gestão de águas doces**. Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, 2004, v.1, p.135-178.

SILVA, M.M.A.P. de M. **Modelagem da qualidade da água na bacia do rio Piracicaba - MG**. 2014. 164f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, R.V. **Análise comparativa de três formulações do Topmodel na Bacia do Rio Pequeno – PR**. 2005. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, U. P. A. **Análise da importância da gestão participativa dos recursos hídricos no Ceará: um estudo de caso**. 2004. 246f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004a.

SILVA, V. de A.; AMORIM, R. R.; SANTOS, M.C.F.; PEREZ FILHO, A.; MOREAU, M.S. A utilização de técnicas de geoprocessamento para modelagem de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do rio colônia no litoral sul da Bahia (Brasil). In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

SILVA NETO, A. R. S. N. **Cenários de Abastecimento Futuro de Palmas com base na simulação da disponibilidade hídrica do Ribeirão Taquaruçu Grande**. 2011. 91f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. p 35- 51.

SOUZA, M. A. A. **Reuso de Água**. Programa de Educação Continuada em Tecnologia Apropriada e Saneamento para Professores Universitários. Original Reprográfico. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Organización Pan-Americana de Saúde (OPS), 1997.

SOUZA, M.A.V. **Dinâmica da paisagem na sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande no município de Palmas – TO.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2006.

SOUZA, R. M. de. **Estimativa de vazões mínimas na Bacia do Altíssimo Rio Negro, Região Sul-Brasileira, com aplicação do modelo SWAT.** 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

STRAHLER, A.N. 1957. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** New Haven: Transactions: American Geophysical Union, v.38, 1957. p. 913-920.

TEDESCO, A. N. de S. **Subsídios para integração da gestão das águas com a gestão urbana:** desenvolvimento de um modelo conceitual para a conexão de mecanismos e instrumentos de gestão. 2009. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

TOCANTINS (Estado). Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins:** Subsídios ao planejamento da Gestão Territorial. Palmas: SEPLAN, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 02, n 01, p. 135- 152, 1997.

TUCCI, M., CARRETTI, E., CECCHINI, S., CORTIGLIONI, S., FABBRI, R., PIERPAOLI, E. In: TEXAS SYMPOSIUM ON RELATIVISTIC ASTROPHYSICS, 20., 2001. **Anais...** New York: J. C. Craig & H. Martel, 2001.

UNITINS. **Plano de Manejo da Sub-Bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – TO (S.O.S. Taquaruçu):** Relatório Técnico Final. Palmas, v. 1, 1999.

UZEIKA, T. **Aplicabilidade do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural.** 2009.

130f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SILVA, A. M. Modelagem hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 581-591, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

WAGENER, T.; WHEATER, H.; GUPTA, H. V. **Rainfall-runoff modeling in gauged and ungauged catchments**. 1.ed. Londres: Imperial College, 2004. 306p.

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. Multi-objective global optimization for hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 204, p. 83-97, 1998.

## APÊNDICE

QUESTIONÁRIO			
EQUIPE:			
DATA DA ENTREVISTA:			
ENTREVISTA REALIZADA COM:			
MORADOR ( )	PROPRIETÁRIO ( )	OUTRO ( )	
1.0 IDENTIFICAÇÃO			
1.1 NOME DA PROPRIEDADE:			
1.2 TAMANHO DA PROPRIEDADE (HA):			
1.3 COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM):			
1.4 MANANCIAL:			
( ) TAQUARUSSU GRANDE: E ( ) D ( )	( ) TAQUARUSSUZINHO: E ( ) D ( )		
AFLUENTE: E ( ) D ( )	AFLUENTE: E ( ) D ( )		
2.0 RECURSOS HÍDRICOS E SOCIOECONOMIA			
2.1 HÁ QUANTO TEMPO MORAM NO LOCAL:			
2.2 QUANTAS PESSOAS RESIDEM NO LOCAL:			
2.3 QUAL É O PRINCIPAL USO DA PROPRIEDADE:			
( ) LAZER	( ) AGRICULTURA	( ) SUSBISTÊNCIA	( ) COMÉRCIO
( ) TURISMO	( ) AGROPECUÁRIA	( ) SUSBISTÊNCIA	( ) COMÉRCIO
( ) OUTRO:			
2.4 AGRICULTURA			
( ) ARROZ	( ) MANDIOCA	( ) FEIJÃO	( ) MILHO
( ) SOJA	( ) PASTO	( ) OUTRO	
2.5 UTILIZA AGROTÓXICOS? ( ) SIM ( ) NÃO			
2.6 PECUÁRIA			
( ) BOVINOS	QUANTIDADE:		
( ) SUÍNOS	QUANTIDADE:		
( ) OVINOS	QUANTIDADE:		
( ) APICULTURA	QUANTIDADE:		
( ) CAPRINOS	QUANTIDADE:		
( ) EQUINOS	QUANTIDADE:		
2.6.1 ONDE JOGA OS DEJETOS DA CRIAÇÃO?			
2.6.2 ACESSO AO RIO? SIM ( ) NÃO ( )			
3.0 MEIO AMBIENTE			
3.1 QUAL A DESTINAÇÃO DO LIXO PRODUZIDO?			
( ) ENTERRA	( ) QUEIMA	( ) JOGA EM QUALQUER LUGAR	
( ) OUTRO			

3.2 POSSUI INSTALAÇÃO SANITÁRIA?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.3 QUAL É O TIPO DE INSTALAÇÃO SANITÁRIA?		
<input type="checkbox"/> FOSSA NEGRA	<input type="checkbox"/> SUMIDOURO	<input type="checkbox"/> PRIVADA
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.4 PROCEDÊNCIA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO		
<input type="checkbox"/> RIBEIRÃO	<input type="checkbox"/> CISTERNA	
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.5 PROCEDÊNCIA DA ÁGUA PARA AS ATIVIDADES PRODUTIVAS		
<input type="checkbox"/> RIBEIRÃO	<input type="checkbox"/> CISTERNA	<input type="checkbox"/> NASCENTE
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.6 VOLUME ESTIMADO DE ÁGUA UTILIZADO DIARIAMENTE		
<input type="checkbox"/> 0 - 1 M <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/> 1 - 5 M <sup>3</sup>	<input type="checkbox"/> acima 5 M <sup>3</sup>
OUTRO:		
3.7 FAZ CAPTAÇÃO/ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.8 SE SIM QUAL É A DESTINAÇÃO?		
<input type="checkbox"/> IRRIGAÇÃO	<input type="checkbox"/> CONSUMO HUMANO	<input type="checkbox"/> DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS
<input type="checkbox"/> OUTRO		
3.9 NOS ÚLTIMOS ANOS A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA PROPRIEDADE:		
<input type="checkbox"/> AUMENTOU	<input type="checkbox"/> ESTABILIZOU	
<input type="checkbox"/> DIMINUIU	<input type="checkbox"/> NÃO SEI	
3.10 NOS ÚLTIMOS ANOS PERCEBEU QUE O MANANCIAL ESTÁ ASSOREANDO?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.11 SE SIM QUAIS AS CAUSAS DESSE ASSOREAMENTO?		
3.12 HÁ BARRAMENTO NA PROPRIEDADE?		
<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
3.13 SE HÁ IRRIGAÇÃO QUAL O METODO UTILIZADO?		
<input type="checkbox"/> ASPERSÃO CONVENCIONAL	<input type="checkbox"/> GOTEJAMENTO	<input type="checkbox"/> SULCOS/DECLIVIDADE
<input type="checkbox"/> MANUAL COM MANGUEIRAS/BALDES	<input type="checkbox"/> OUTRO	
4.0 MATA CILIAR		
<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ PROTEGIDO COM MATA CILIAR NATIVA	<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO	
<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO, MAS O PLANTIO COM ESPÉCIES NATIVAS ESTÁ SENDO REALIZADO	<input type="checkbox"/> O RIBEIRÃO ESTÁ DESPROTEGIDO E NENHUMA MEDIDA ESTÁ SENDO TOMADA	
<input type="checkbox"/> LARGURA DA MATA:		

