



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Bruno Cavalcante da Silva

**CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA TAQUARUÇU GRANDE:**

**Análise da vazão**

Palmas – TO

2018

Bruno Cavalcante da Silva  
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA TAQUARUÇU GRANDE:  
Análise da vazão

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Ms. Carlos Spartacus de Oliveira

Palmas – TO  
2018

Bruno Cavalcante da Silva  
CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA SUB-BACIA TAQUARUÇU GRANDE:  
Análise da vazão

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Ms. Carlos Spartacus de Oliveira

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

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ms. Carlos Spartacus de Oliveira

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – (CEULP/ULBRA)

---

Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA)

---

Prof. Ms. Mênfis Bernardes Alves

Avaliador Externo

(Convidado)

Palmas – TO

2018

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e filha, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Obrigado meus irmãos, que nos momentos de minha ausência dedicada ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

Obrigado! Ao meu professor Orientador M.s Carlos Spartacus, pela orientação, tempo disponibilizado e valiosos ensinamentos.

Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

## EPÍGRAFE

“Ser homem é ser responsável. É sentir que colabora na construção do mundo.” Antoine de Saint-Exupéry

## **RESUMO**

A crise hídrica, já se faz uma preocupação presente em todo o mundo, com várias iniciativas propostas para melhores monitoramento, fiscalização, este estudo por sua vez busca analisar e quantificar o comportamento hidrológico, da bacia do ribeirão Taquaruçu Grande, localizado no município de Palmas, Tocantins. Esta bacia é de fundamental importância para o abastecimento populacional da região, devido a isso surge a necessidade de se conhecer o seu comportamento, e seu balanço hídrico, podendo este chegar a ser insuficiente para o abastecimento que de acordo com estudos anteriores o fornecimento deste ribeirão é de 66% da água utilizada em Palmas.

.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Bacia Hidrográfica.....	16
<b>Figura 2:</b> Divisor de água.....	16
<b>Figura 3:</b> Ciclo hidrológico global.....	17
<b>Figura 4:</b> Balanço Hídrico em micro-bacia hidrográfica.....	19
<b>Figura 5:</b> Ilustração do Raciocínio Típico da Hidrologia Estatística.....	23
<b>Figura 6:</b> Localização da bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO.....	28
<b>Figura 7:</b> Classes de solos identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	30
<b>Figura 8:</b> Classes de uso da terra identificados na bacia RTG.....	31
<b>Figura 9:</b> Hidrografia bacia RTG.....	32
<b>Figura 10:</b> Formulas e Características de forma.....	33
<b>Figura 11:</b> classificação pelo método de Horton modificado por Strahler.....	34
<b>Figura 12:</b> Mapas Sequenciais para a geração da rede de drenagem da bacia com informações topográficas.....	41
<b>Figura 13:</b> Mapa de classes e associações de classes de uso da terra em 4 classes na bacia RTG.....	42
<b>Figura 14:</b> Mapa de classes de solos raso e profundo da bacia RTG.....	44
<b>Figura 15:</b> Mapa de classificação de uso da terra de acordo com as classes de solos.....	45
<b>Figura 16:</b> Arquivo MINI.....	46
<b>Figura 17:</b> Mapa de centroides da bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	46
<b>Figura 18:</b> Parâmetros fixos estabelecidos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	47
<b>Figura 19:</b> Sub-bacias definidas em função dos postos fluviométricos e a barragem identificada na bacia.....	50
<b>Figura 20:</b> Hidrograma calculado e observado para a bacia 1 – Médio Taquaruçu Pequeno – MTP.....	53
<b>Figura 21:</b> Hidrograma calculado e observado para a bacia 2 – Alto Taquaruçu Grande – ATG.....	53
<b>Figura 22:</b> Hidrograma calculado e observado para a bacia 4 – Agência Nacional de Águas - ANA.....	53
<b>Figura 23:</b> Hidrograma calculado e observado para a bacia 5 – Baixo Taquaruçu Grande - BTG.....	54

<b>Figura 24:</b> Hidrograma calculado e observado para a bacia 6 – Baixo Taquaruçu Pequeno – BTP.....	54
<b>Figura 25:</b> Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 1– MTP.....	55
<b>Figura 26:</b> Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 2 – ATG.....	56
<b>Figura 27:</b> Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 4 – ANA.....	56
<b>Figura 28:</b> Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 5 – BTG.....	57
<b>Figura 29:</b> Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 6 – BTP.....	57
<b>Figura 30:</b> Dados dos usuários de água da bacia inseridos no modelo.....	59
<b>Figura 31:</b> Forma de representação.....	60
<b>Figura 32:</b> Disponibilidade hídrica do mês de janeiro com relação ao somatório das demandas (total).....	61
<b>Figura 33:</b> Disponibilidade hídrica do mês de agosto com relação ao somatório das demandas (total).....	62
<b>Figura 34:</b> Disponibilidade hídrica do mês de novembro com relação ao somatório das demandas (total).....	62



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características e variáveis hidrológicas – unidades.....	20
<b>Tabela 2:</b> Protocolo de pesquisa.....	26
<b>Tabela 3:</b> Chave inicial da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de umidade.....	29
<b>Tabela 4:</b> Chave secundária da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de aridez (Ia) e umidade (Iu).....	29
<b>Tabela 5:</b> Determinação do terceiro item de classificação climática de Thornthwaite.....	29
<b>Tabela 6:</b> Quarta chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre a ETP de verão e anual.....	30
<b>Tabela 7:</b> Características de compacidade.....	33
<b>Tabela 8:</b> Classificação de Densidade de Drenagem.....	34
<b>Tabela 9:</b> Localização dos Postos fluviométricos operados pela Saneatins/Odrebrecht na bacia RTG.....	35
<b>Tabela 10:</b> Localização das Estacoes Pluviométricas utilizadas na bacia RTG.....	36
<b>Tabela 11:</b> Modelo de dados de máx. de precipitação 2003.....	37
<b>Tabela 12:</b> Valores dos dados calibráveis para as bacias do RTG.....	48
<b>Tabela 13:</b> Resultados das funções objetivo para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.....	51

## **Lista de Abreviaturas e siglas**

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Preservação Ambiental

BH – Bacia Hidrográfica

BRK – Brookfield (Empresa de abastecimento e saneamento de Palmas-TO)

hab. - Habitantes

km – Quilometro

km<sup>2</sup> - Quilometro quadrado

MGB – Modelo matemático para grandes bacias

m<sup>3</sup> - Metro Cúbico

m<sup>3</sup>/s – Metros Cúbicos por segundo

mm- Milímetros

ONU – Organização das Nações Unidas

Saneatins – Empresa de Abastecimento e Saneamento do Tocantins

RTG – Ribeirão Taquaruçu Grande

TO – Tocantins

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>PROBLEMA DE PESQUISA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
<b>1.4</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>CONCEITOS GERAIS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Da Legislação.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Bacias Hidrográficas .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Processo hidrológicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Balanco Hídrico .....</b>	<b>19</b>
2.1.5	Variáveis hidrológicas .....	20
2.1.6	Series hidrológicas .....	21
<b>2.1.7</b>	<b>Precipitação.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Evapotranspiração.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.9</b>	<b>Infiltração .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.10</b>	<b>Escoamento.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.11</b>	<b>Amostra e população.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.12</b>	<b>Forma da bacia .....</b>	<b>24</b>
2.1.13	Modelos de Grandes Bacias Hidrográficas – MGB-IPH.....	25
2.1.14	Dados fluviométricos .....	25
	<b>HIDROLOGIA ESTATÍSTICA.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.15</b>	<b>Teste tendenciosa .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.16</b>	<b>Hidrologia estocástica.....</b>	<b>26</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>TIPO DE PESQUISA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>COLETA DE DADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>DADOS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>

3.3.1	Area da Bacia.....	29
3.3.2	Características climáticas:.....	30
3.3.3	Classificação do Solo.....	31
3.3.4	Uso e Ocupação do Solo.....	32
3.3.5	Hidrografia.....	32
3.3.6	Tempo de concentração (Tc).....	33
<b>3.3.7</b>	<b>Sistema de Drenagem.....</b>	<b>33</b>
3.3.8	Densidade de drenagem (Dd).....	34
3.3.9	Coeficiente de compacidade (Kc):.....	34
3.3.10	Fator de forma (Kf):.....	34
3.4	VAZÃO DE REFERÊNCIA.....	35
3.5	DADOS DE ENTRADA PARA O MGB-IPH.....	36
3.5.1	Dados Meteorológicos.....	36
3.5.2	Unidades de Resposta Hidrológicas – URHs.....	38
3.5.3	Discretização da bacia.....	39
3.6	AS ETAPAS NECESSÁRIAS PARA APLICAÇÃO DO MODELO MGB-IPH.....	39
3.7	PARA CALIBRAR O MODELO MGB-IPH.....	40
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU.....	42
4.2	UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA – URH.....	43
4.3	APLICAÇÃO DO PREPRO-MGB-IPH.....	46
4.4	PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A CALIBRAR O MODELO HIDROLÓGICO – MGB-IPH.....	48
4.5	RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO – MGB-IPH.....	50
4.6	RESULTADOS E APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO - SAD-IPH.....	59
4.6.1	Modelagem Quantitativa.....	59
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>



## 1. Introdução

Ao longo dos últimos anos em diferentes partes do mundo, tem-se notado grandes desafios em se tratando da disponibilidade dos recursos hídricos, para os mais diversos fins, aliados à essa questão, há eventos críticos de cheias e secas cada vez mais frequentes, isto tem preocupado muitos países no tocante à segurança hídrica.

As ações antrópicas são responsáveis por modificações consideráveis nas bacias hidrográficas, haja vista que influenciam diretamente sobre os processos hidrológicos. O resultado dessas modificações é percebido apenas quando há a 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 quali-quantitativa é um fator fundamental ao desenvolvimento econômico, social e cultural de uma região (BRITES, 2010).

O Brasil, é o país com a maior reserva de água doce do mundo, apresentando disponibilidade hídrica per capita podendo chegar a 20 mil m<sup>3</sup>/hab./ano em algumas regiões (ANA, 2016). Porém por se tratar de um recurso natural relativamente abundante no Brasil, a sociedade nem sempre lhe dá o devido valor. De acordo com estudo da ONU, é estimado que a captação de água aumente em 50% em todo o mundo, até 2030, podendo chegar a 400% por parte das indústrias (Cartilha - 8º Fórum Mundial de Águas).

A cidade de Palmas – Tocantins, também vem há mais de dez anos sofrendo com a redução das vazões de seus mananciais em períodos de seca. A sub-bacia do RTG (Ribeirão Taquaruçu Grande), serve como principal fonte de captação de água para consumo habitacional, da cidade, que devido a ocupação de forma desordenada e a degradação de seus recursos, causam um cenário de declínio na quantidade e qualidade de suas águas (SILVA, 2014).

Para J.A. Valente (2005), a BH (bacia hidrográfica), no espaço geográfico delimita-se por seus divisores de água, que pode ser representado ligando-se os pontos de cotas mais altas, o que gera o encaminhamento da água da chuva para algum rio, ribeirão ou córrego, este ponto denomina-se exutório.

Dentre os motivos que tem ocasionado a degradação dos recursos hídricos tornando-os finitos, merecem destaque, a urbanização acelerada somada ao rápido crescimento populacional; a recusa em admitir a existência de interação entre a qualidade da água e a saúde humana; a ineficiência e falta de gestão; o desinteresse econômico deste recurso; os impactos ambientais oriundos de diversas fontes; e os problemas no tocante aos aspectos sociais, financeiros, políticos e ambientais que são tratados de forma isolada e de pouca eficiência. Os usos da água, muitas vezes de forma indiscriminada, associados a poluição dos corpos hídricos, tem gerado perdas significativas na quantidade e qualidade da água, Tundisi (2009).

Para Maciel (2017), setores como os de abastecimento público, agropecuário, industrial, mineração e serviços têm sofrido significativos prejuízos que comprometendo a manutenção de suas atividades. Neste contexto, justifica-se a importância de estudos que visam entender o comportamento da água no ciclo hidrológico, principalmente os estudos com foco na relação entre a precipitação e a vazão, visando à produção hídrica das bacias em regiões que apresentam uma expressiva diversidade de utilização.

Por ser a água, cada vez um bem mais escasso, o presente trabalho busca constatar o cenário de declínio à que está inserido, o corpo hídrico do RTG, diminuindo seu potencial de abastecimento, para a região de Palmas, bem como sua contribuição para BH Tocantins-Araguaia, que em algumas regiões já sofrem com a falta de água, e a diminuição da geração de energia elétrica, devido aos baixos níveis dos rios Tocantins e Araguaia.

O trabalho foi realizado de acordo com os dados obtidos junto aos órgãos competentes, como concessionária de saneamento e abastecimento, secretarias, institutos, etc. A partir dos dados coletados foi criado um modelo hidráulico-hidrológico, afim de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, bem como os processos que controlam o movimento da água, a quantidade e qualidade da água (Whitehead e Robinson, 1993).

O modelo hidrológico, permite através da equacionalização dos processos, entender, representar e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica, tornando-o uma ferramenta extremamente útil, no que tange ao estudo de bacias (Tucci, 1998).

### **1.1 Problema de Pesquisa**

Estudos realizados pela SANEATINS (2006), concessionária de saneamento e abastecimento na época, constataram que durante um período de 4 anos de observação a diminuição da vazão do RTG foi igual a 80,34%, o que pode ser explicado pelo aumento populacional às margens.

A falta de longas e consistentes séries de dados hidro meteorológicos foram fator limitante para esta pesquisa. Situação que leva ao seguinte questionamento: Quais os possíveis fatores que influenciam na vazão do RTG, e qual o comportamento do modelo hidrológico desta sub bacia?

## **1.2 Hipóteses**

- Os dados obtidos são suficientes para análise da vazão deste ribeirão;
- De acordo com a análise qual o comportamento da vazão deste ribeirão.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

- Avaliar o comportamento hídrico da Bacia RTG.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar as vazões médias;
- Elaborar modelo hidrológico;
- Analisar a contribuição deste ribeirão na capacidade de abastecimento da população de Palmas – TO.
- Aplicar o modelo matemático: MGB-IPH para a modelagem da bacia;

## **1.4 Justificativa**

Já é assunto mundial, em várias, reuniões e congressos a discussão da crise hídrica já presente em algumas regiões do globo, o Tocantins por sua vez, vem participando de encontros relacionados a água e sua importância. A relevância desta pesquisa é devido ao levantamento dos dados científicos referentes ao RTG, bem como a necessidade de monitoramento desta, devido ao seu papel de suma importância ao abastecimento de Palmas – TO, e afluência ao rio Tocantins, que devido a seu nível crítico, já deixa algumas regiões da região norte do Brasil sem água, explicitando o risco de desabastecimento, assim como num contexto mais amplo no caso de sua contribuição sendo um dos afluentes direto para a bacia Tocantins Araguaia.



## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este tópico tem como objetivo apresentar o referencial teórico e as pesquisas recentes, apresentando fatores teóricos que suportam o entendimento e embasam a abordagem metodológica proposta no presente trabalho. Os temas centrais levam em conta caracterização de BH, estudo hidrológico, análise de vazão e abastecimento de água.

### **2.1 CONCEITOS GERAIS**

#### **2.1.1 Da Legislação**

A gestão dos recursos hídricos no Brasil tem avançado nas últimas décadas, principalmente após a publicação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei Federal nº 9433/97), que apresenta como objetivo central o desenvolvimento regional sustentável, estabelecendo alguns instrumentos para gestão dos recursos hídricos e adotando a bacia hidrográfica como espaço geográfico para a sua implementação; 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 inovou ao garantir o acesso de 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).

No Estado do Tocantins, 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 este decreto, o órgão responsável pela análise e emissão das outorgas nas áreas abrangentes do Estado, é o Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS (CHIESA, 2006).

De acordo com Castro (2003), 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.

#### **2.1.2 Bacias Hidrográficas**

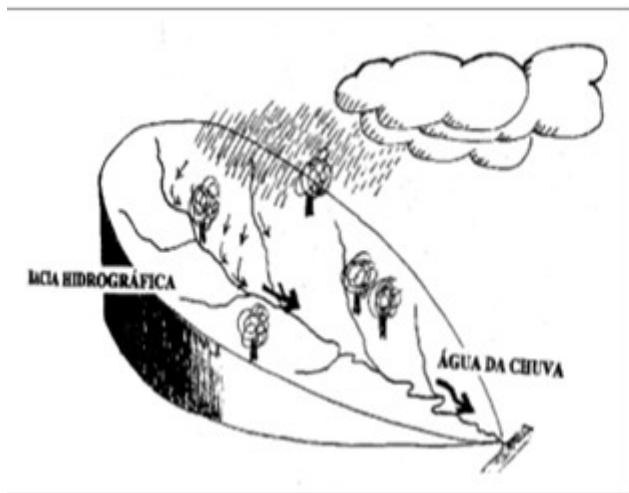
A PNRH, em Lei Federal Nº 9.433/97 considera a BH como unidade territorial de gestão dos recursos hídricos porque, enquanto espaço geográfico, integra a maior parte das relações

de causa e efeito a serem consideradas na gestão deste recurso, entre elas aquelas que dizem respeito à contaminação devido às atividades antrópicas (MMA, 2005).

A BH pode ser estudada como conduto aberto, no qual o seu funcionamento e sua estabilidade resultam em taxas de influxo, e também nos ciclos de energia da água com o passar do tempo, e ressaltam também que, as causas e as soluções da destruição referente aos recursos hídricos, não serão encontrados ao se atentar somente para dentro a água, e que geralmente o mal gerenciamento de bacias hidrográficas é o que degrada os recursos hídricos (ODUM E BARRETT, 2007).

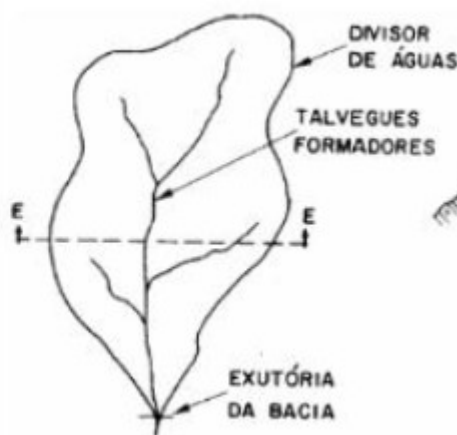
As BH's precisam ser gerenciadas como recursos naturais valiosos para atender a múltiplos usos e não apenas como insumo para atividades setoriais específicas, a partir da implementação de um política de gestão de recursos hídricos caracterizada por um conjunto de ações em face de duas atividades básicas: o diagnóstico e o monitoramento, ambos facilitarão o processo de tomada de decisão, instituindo dessa maneira um mecanismo fundamental para a escolha de alternativas e delineamento dos usos múltiplos e seus efeitos (REIS; PEREIRA, 2002).

**Figura 1** – Bacia Hidrográfica



Fonte: Pedrazzi, 2003.

**Figura 2** – Divisor de água



Fonte: VILELLA, 1975.

A classificação de bacias hidrográficas brasileiras adotada pelo IBGE em 2000, tomou como base critérios geográficos, sendo adotados dois níveis. Tendo em seu primeiro nível, a divisão do território nacional em 10 (dez) grandes bacias ou regiões hidrográficas, e, em seu segundo nível, subdivisão em 57 (cinquenta e sete) sub-bacias hidrográficas. No segundo nível de classificação para o Brasil, as áreas das sub-bacias variam entre 8.559 km<sup>2</sup> e 893.305 km<sup>2</sup>.

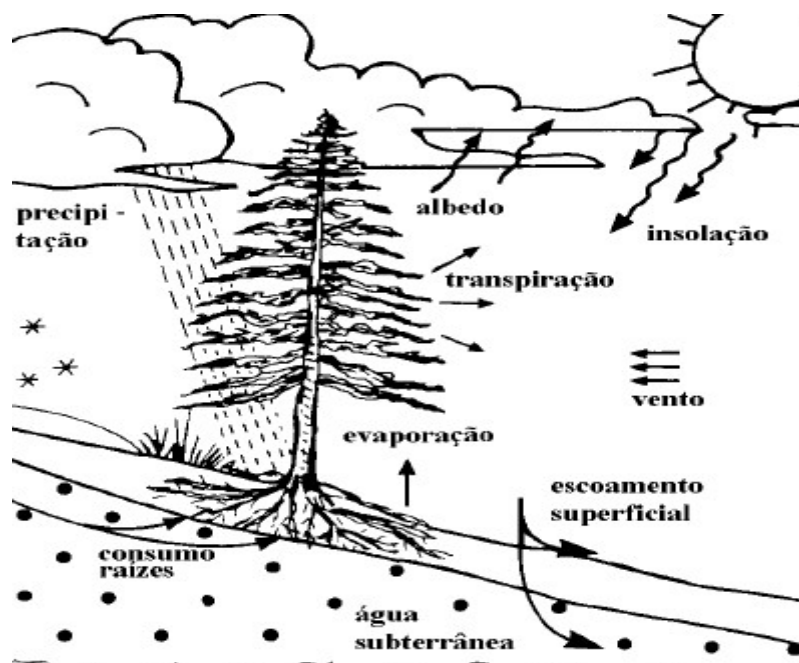
### 2.1.3 Processo hidrológicos

Os processos hidrológicos em uma bacia, tem duas direções que merecem destaque, o longitudinal, que é composto pelo escoamento sobre a superfície do solo da água para rios, bacias, lagos também chamado de escoamento superficial, e a parte que escoar próximo ao fundo do rio, conhecido como escoamento subterrâneo, e o vertical, que seriam os efeitos de precipitação, evapotranspiração (parte da água que evapora devido à incidência solar), a umidade, e fluxo no solo (infiltração), (TUCCI, 2016).

O fluxo sobre a superfície terrestre (horizontal) é positivo, ou seja, a precipitação menos a evapotranspiração, resulta nas vazões dos rios em direção aos oceanos. Já o fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação do que precipitação, (IGBP, 1993)

De acordo com Pinto (1976), o ciclo hidrológico abrange os diferentes caminhos e estados da água, em que, alterna-se de estado ou posição em relação à Terra, tendo como bases principais de desenvolvimento do ciclo as variáveis como (precipitação, escoamento superficial ou subterrâneo, evaporação, entre outros), perpetuando assim, de certa maneira, uma distribuição equilibrada ao decorrer do tempo, tendo como justificativa de exemplo a constância do nível médio do mar. Outros autores também definiram em seus estudos a dinâmica do ciclo hidrológico. Sendo este, ilustrado na figura 3, a partir dos seus principais componentes formadores.

**Figura 3:** Ciclo hidrológico global



Fonte: (GRDC, 1996)

Para melhor compreensão deste ciclo pode-se visualizá-lo como tendo início com a evaporação da água dos rios, oceanos e lagos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersada sob várias formas como, granizo, chuva, geada, orvalho. A maior parte fica retida temporariamente no solo, próximo ao local onde caiu e por fim retorna à atmosfera por meio da evaporação e transpiração das plantas. A parte restante da água escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios (escoamento superficial), já a outra parte, penetrando mais profundamente no solo até atingir o lençol d'água subterrâneo (escoamento subterrâneo). Devido a influência da força gravitacional, o escoamento superficial assim como o subterrâneo são realizados em direção a cotas mais baixas e podem eventualmente ser descarregados nos oceanos, rios e lagos. Entretanto, quantidades substanciais da água superficial e subterrânea retornam à atmosfera por evaporação e transpiração antes de atingirem o oceano. (VILLELA; MATTOS, 1975, p.1).

#### **2.1.4 Balanço Hídrico**

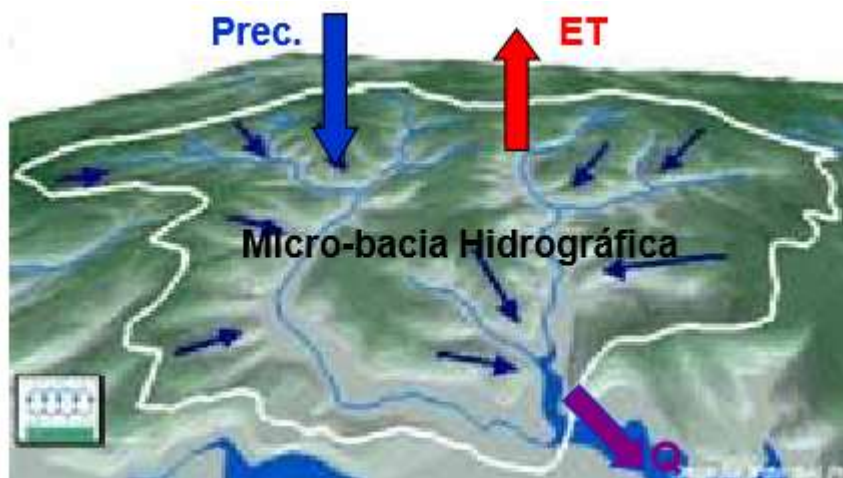
Para se quantificar a disponibilidade de água, como a vazão numa determinada área, algumas variáveis precisam ser analisadas. Uma forma para isso, seria a estimativa indireta, de modo que seja considerado, os processos de evapotranspiração real e de precipitação pluvial (TUCCI, 2016).

O balanço de volumes na bacia depende inicialmente dos processos verticais. Na figura 3, observa-se que, da radiação solar que atinge a superfície terrestre, parte é absorvida e parte refletida. A proporção entre a energia refletida e o total é o albedo, que depende do tipo de superfície. Por exemplo o albedo sobre os oceanos é da ordem de 5 a 7%, já sobre uma floresta tropical é de aproximadamente 12%, (Brujinzeel, 1990).

O balanço hídrico consiste no volume de entradas e saídas de água de um sistema. Representado, em uma escala intermediária (figura 6), o balanço hídrico de uma micro-bacia resulta nos valores de vazão de água desse sistema. Quando a precipitação (Prec.) é menor do que a evapotranspiração (ET), a vazão (Q) diminui, enquanto nos períodos em que a chuva supera a demanda, Q aumenta (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2012).

O balanço hídrico climatológico desenvolvido por THORNTHWAITE e MATHER (1955) determina o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo.

**Figura 4:** Balanço Hídrico em micro-bacia hidrográfica



**Fonte:** Sentelhas e Angelocci, 2012.

### **2.1.5 Variáveis hidrológicas**

Entende-se por variáveis hidrológicas, os valores de referência característica, como por exemplo, número anual de dias consecutivos sem chuvas, intensidade máxima anual da precipitação, vazão média anual de uma bacia, total diário de evaporação, entre outros (BARBETTA, 2002).

Segundo Tucci (2002), uma variável hidrológica pode ser entendida como uma expressão que identifica o comportamento de um processo ou fenômeno. Como exemplo, podem ser citadas as vazões médias, mínimas e máximas. Já a função hidrológica representa uma relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis explicativas ou estatística (probabilidade), como a curva de permanência e a curva de probabilidade de vazões máximas e mínimas.

Em relação às variáveis climáticas, Barbosa et al. (2005) afirmam que a precipitação média, o total anual ou o total do semestre mais chuvoso são normalmente empregadas. Baena (2002) também ressalta a importância da precipitação em estudos de regionalização em função da influência direta que tal variável exerce sobre o comportamento da vazão de um curso d'água.

**Tabela 1** – Características e variáveis hidrológicas – unidades

Fenômeno	Variável Característica	Unidade
Precipitação	Altura	mm, cm
	Intensidade	mm/h
	duração	h, min
Evaporação/Evapotranspiração	Intensidade	mm/dia, mm/mês
	Total	mm, cm
Infiltração	Intensidade	mm/h
	Altura	mm, cm
Escoamento Total	Fluxo	l/s, m <sup>3</sup> /s
	Volume	m <sup>3</sup> , (m <sup>3</sup> /s).mês
	Altura Equivalente (Deflúvio)	mm, ou cm, sobre uma área
Escoamento subterrâneo	Fluxo	l/min, l/h, m <sup>3</sup> /dia,
	Volume	m <sup>3</sup>

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA

### 2.1.6 Series hidrológicas

As series hidrológicas são todas as observações possíveis, coletadas em intervalos de tempo regulares, ao longo de anos de registros, ou apenas alguns de seus valores característicos, como exemplo podemos citar as vazões máximas anuais. Os valores que constituem as series hidrológica, precisam necessariamente representar a variabilidade do fenômeno hidrológico em questão (BARBETTA; 2002).

As variáveis hidrológicas e hidro meteorológicas têm a sua variação registrada por meio das chamadas séries temporais, as quais reúnem as observações ou medições da variável em questão, organizadas em sequência de ocorrência no tempo (ou espaço). Por questões limitantes impostas pelos processos de medição, as variáveis hidrológicas possuem seus registros separados por determinados intervalos de tempo ou distância. Em geral estes intervalos entre os registros da série são uniformes, mas também podem existir series temporais como registros em intervalos irregulares. Por exemplo, em uma bacia de milhares de quilômetros quadrados, as vazões médias diárias, são tomadas como média aritmética das leituras instantâneas das 7 e das 17 horas de cada dia, estes dados irão compor a serie temporal representativa da variável hidrológica. Em outra bacia de tamanho menor com algumas dezenas de quilômetros quadrados, e com poucas horas de tempo de concentração, as vazões médias diárias serão insuficientes para demonstrar a variabilidade ao longo do dia,

fazendo-se neste caso, necessário o uso dos registros consecutivos de vazões medias horarias. (NAGHETTINI, 2007).

As series hidrológicas podem incluir todas as observações disponíveis, coletadas regularmente ao longo de vários anos, ou apenas seus valores característicos como os máximos anuais ou medias mensais. Quando nenhum registro é desprezado trata-se da chamada serie hidrológica completa, ou quando se utiliza apenas algumas observações do registro ou são resumidas por medias, trata-se de uma serie hidrológica reduzida. (NAGHETTINI, 2007).

### **2.1.7 Precipitação**

Também conhecida popularmente como chuva, ocorre a partir da condensação de parte da água evaporada, de acordo com sua quantidade e aglutinação, fazendo com que a força gravitacional supere os movimentos ascendentes da atmosfera (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

De modo geral a precipitação pode ser caracterizada como sendo toda a água advinda da atmosfera e que atinge a superfície terrestre em forma de chuva, orvalho, neblina, granizo, geada ou neve. Sua formação está associada à ascensão da umidade presente nas massas de ar, devido aos seguintes fatores: ação frontal das massas, convecção térmica e relevo. Esta ascensão do ar gera um resfriamento que pode fazer com que alcance o seu ponto de saturação, tendo posteriormente a condensação do vapor de água na forma de gotículas que são mantidas em suspensão, sob nevoeiros e nuvens. Para que ocorra a precipitação é necessário que estas gotas atinjam o peso necessário para superarem as forças de sustentação e caírem. (HOLTZ, 1976).

De acordo com Varejão-Silva (2001) a quantidade de precipitação é comumente expressa em razão da espessura da lâmina d'água que venha a se constituir sobre uma superfície plana, horizontal e impermeável, com dimensão de 1 m<sup>2</sup> de área. A unidade adotada é o milímetro, que equivale à um litro de água por metro quadrado da projeção da superfície terrestre. Ainda segundo o autor, as chuvas podem ser caracterizadas de acordo com sua intensidade e duração, sendo a primeira definida pela quantidade de água precipitada por unidade de tempo e geralmente expressa por mm por hora (mm h<sup>-1</sup>) e a segunda como a diferença de tempo entre o instante de início e término.

Para estabelecer a precipitação média de uma determinada área, Bertoni e Tucci (2004) descrevem os métodos mais usuais, sendo eles, o método de Thiessen, o da média aritmética, e o método das isoietas. O método de Thiessen engloba a não-uniformidade da distribuição

espacial dos postos pluviométricos, já que, este não leva em consideração o relevo da bacia, consistindo sua metodologia nos seguintes passos: ligação dos postos por trechos retilíneos; tracejado de linhas perpendiculares aos trechos retilíneos passando pelo meio da linha que liga os dois postos pluviométricos; e prolongamento das linhas perpendiculares até o encontro de outra. O método da média aritmética envolve o cálculo da precipitação média como a média aritmética dos valores medidos. E o método das isoietas que representam linhas de igual precipitação que podem ser traçadas para um evento ou para uma duração específica.

### **2.1.8 Evapotranspiração**

Este termo é utilizado para representar todos os processos pelos quais a água passa até virar vapor de água, abrangendo a evaporação de água de rios, lagos e mares, bem como a transpiração das plantas, e a sublimação de superfícies com neve ou gelo (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

O conceito de evapotranspiração potencial, foi introduzido em 1944 por Thornthwaite, quando trabalhava com problemas de irrigação, no México (MATHER, 1958). A evapotranspiração potencial (ETp) passou a ser considerada como sendo a chuva necessária para atender às carências de água da vegetação sendo este o processo de perda de água para a atmosfera, através de uma superfície natural gramada, padrão, sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração.

A chuva e a ETp são elementos meteorológicos opostos, expressos em milímetros pluviométricos. Seus parâmetros, conhecido como balanço hídrico climático, fornecem dados acerca de deficiências e de excedentes hídricos, essenciais nas pesquisas e trabalhos agro meteorológicos (THORNTHWAITE, 1948).

### **2.1.9 Infiltração**

Entende-se por infiltração a parte da água que após precipitada, adentra por entre as partículas sólidas até alcançar o nível do lençol freático, tornando-se posteriormente em escoamento subterrâneo. (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002)

A capacidade de infiltração é uma propriedade característica do solo, que representa a intensidade máxima que o solo, em dada condição e tempo, pode absorver a água da chuva aplicada a uma determinada taxa, porém este processo não é constante ao longo do tempo, uma vez que, a velocidade de infiltração é máxima no início do evento e diminui rapidamente de acordo com as condições de saturação do solo (Bernardo, 1989).



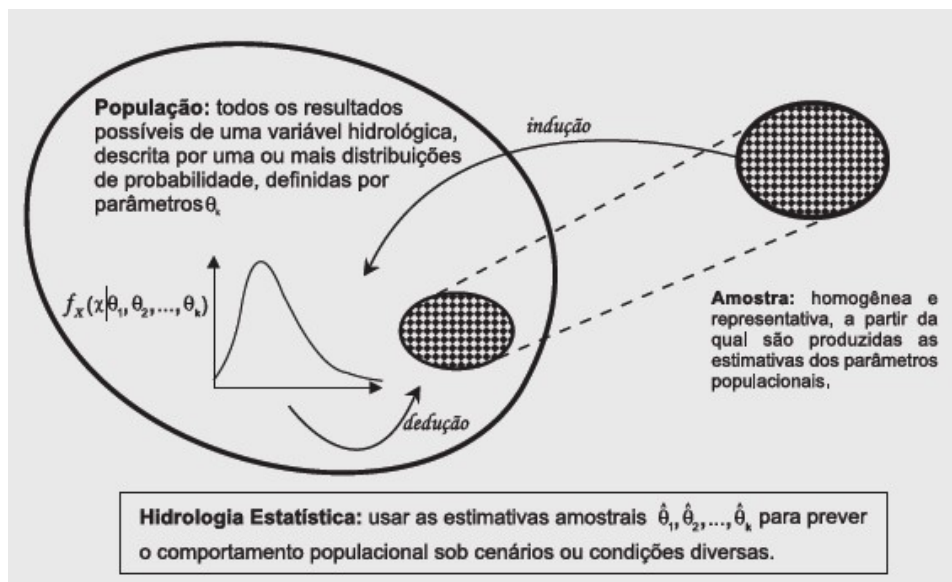
### 2.1.10 Escoamento

É o segmento do ciclo hidrológico referente a deslocamento da água, seja este de qualquer natureza, superficial, subsuperficial ou percolação profunda. (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

### 2.1.11 Amostra e população

É o conjunto de todos os possíveis resultados, as amostras constituem uma parcela representativa da população, servindo para representar o provável comportamento, em todo o conjunto de variáveis possíveis, para a influência do fenômeno em questão de acordo com o ilustrado pela figura 5.

**Figura 5:** Ilustração do Raciocínio Típico da Hidrologia Estatística



**Fonte:** Naghettini, 2007

Em que o espaço amostral, entende-se pelo conjunto de todos os possíveis resultados do experimento podendo ser discreto (quando for um valor exato) ou contínuo (intervalo de valores), (NAGHETTINI, 2007).

### 2.1.12 Forma da bacia

A forma da bacia afeta diretamente o tempo que demora para que a precipitação (chuva) se transforme em escoamento, sua participação no comportamento hidrológico da bacia, como no caso do tempo de concentração ( $T_c$ ).

A forma da bacia, está associada ao conceito de tempo de precipitação, ou seja, contribui no tempo gasto para que a água da chuva que cai no ponto mais distante da bacia chegue ao exutório. (CARVALHO; SILVA, 2006)

### **2.1.13 Modelos de Grandes Bacias Hidrográficas – MGB-IPH**

Este modelo matemático revela uma separação da BH em unidades distintas entre si, de acordo com o relevo da região obtido através de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e chamadas de microbacias, este modelo foi elaborado para utilização em grandes BH's, com área superior 10000 km<sup>2</sup>. Porém segundo algumas pesquisas bibliográficas foi notado que este modelo serve também à bacia do RTG, que possui uma área aproximada de 500 km<sup>2</sup>, tornando desta maneira possível realizar os processos necessários através da aplicação da ferramenta e obter êxito.

A estrutura deste modelo foi baseada inicialmente nos modelos hidrológicos LARSIM que foi apresentado por Bremicker em 1998, distinguindo-se nos módulos de balanço de água no solo, evapotranspiração, propagação de vazões, e percolação. Esse modelo possui informações de características físicas importantes das bacias, como o relevo e os tipos de solo, assim como a sua distribuição no espaço geográfico. Tal aspecto é importante para bacias que possuem variadas características, como em casos de regiões com ocorrência de afloramentos de rocha ou que tenham alto potencial para gerar escoamento (COLLISCHONN, 2001).

### **2.1.14 Dados fluviométricos**

Os dados fluviométricos são observações feitas ao longo da história sobre o corpo hídrico da bacia, sendo assim, estes dados possuem como característica principal, a observação do comportamento do rio, no que tange as suas características como vazão, sedimentação dentre outros.

## **HIDROLOGIA ESTATÍSTICA**

### **2.1.15 Teste tendenciosa**

Vários métodos estatísticos podem ser utilizados para identificar a estacionaridade de series temporais hidrológicas como não paramétricas, podemos citar o teste de Mann-Kendall,

Lehmann, Sneyer. (SANTOS, et al, 2016). O teste de tendência para series anuais fornece uma visão global dos diferentes comportamentos da vazão (WANG, et al, 2005).

### **2.1.16 Hidrologia estocástica**

É o estudo que tem por objetivo, apresentar a probabilidade de ocorrência, e da matemática estatística, sendo aplicado para a aleatoriedade entre os processos hidrológicos, tornando possível a formular e estimar, modelos probabilísticos, de suas respectivas variáveis (NAGHETTINI, 2007).

Modelos probabilísticos é uma regra que possibilita a obtenção da probabilidade de cada fenômeno ocorrer, ou seja, permite mensurar a chance de ocorrência de fenômenos aleatório (BARBETTA, 2002).

### 3. METODOLOGIA

Para que os objetivos abordados no presente estudo fossem alcançados, é apresentado neste capítulo o método utilizado para a conclusão da pesquisa possibilitando o alcance dos objetivos estabelecidos.

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Na metodologia utilizada nessa pesquisa, será o método de estudo de caso, com abordagem quantitativa, com objetivo metodológico exploratório e estatístico.

Esta pesquisa fez uso da estrutura metodológica proposta por Bertucci (2008), é classificada como exploratória onde se busca conhecer os métodos e processos recomendados para o tratamento dos dados coletados. Os dados serão analisados segundo as diretrizes de Yin (2010), de acordo com o protocolo de pesquisa representado no quadro 5, utilizado para condução da pesquisa e aumentar a confiabilidade do estudo.

**TABELA 2** – Protocolo de pesquisa

#### **Visão Geral do Projeto**

**Objetivo:** Analisar a capacidade hídrica da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande nos últimos

**Assuntos do estudo:** Análise de Vazão, Bacia Hidrográfica, Variáveis Hidrológicas e Abastecimento de água.

**Leituras relevantes:** Recursos Hídricos, Bacias Hidrográficas, Análise de Precipitações e Vazões, Balanço Hídrico

#### **Procedimentos de Campo**

**Apresentação das credenciais:** Apresentação como estudante do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA.

**Acesso aos Locais:** À pesquisa será na cidade de Palmas - TO.

**Fonte de Dados:** Ferramentas de Gerenciamento de Bacias hidrográficas

**Advertências de Procedimento:** Não se aplica.

#### **Questões investigadas no estudo:**

Estudar a bacia hidrográfica, considerando as características dos dados hidrológicos, geológicos, climáticos;

Encontrar a vazão causada pelo escoamento superficial obtida pela área de estudo;  
Vazão de Estiagem

#### **Esboço para o relatório final:**

Apresentar a relação entre:

Tratamento dos dados

Representação Geográfica

Estudos hidrológicos

Apontar possíveis eventos críticos

**Fonte:** Autor, adaptado de Yin (2010).

### **3.2 COLETA DE DADOS**

A etapa de coleta de dados secundários teve início a partir da revisão bibliográfica, a definição e caracterização da bacia RTG, envolvendo cobertura, uso e solos, unidades de conservação, e consulta a cartografia. A revisão bibliográfica ocorreu a partir de diversas fontes, bem como com o emprego das bases de dados já existentes em projetos desenvolvidos na referida bacia.

Os mapas de Uso e Cobertura do Solo assim como os de Unidades de Conservação foram retirados da cartografia base advindos do projeto de Atualização Cartográfica e Mapeamento do Uso do Solo do Município de Palmas - TO, que foi executado em cumprimento ao TAC 25º da Promotoria de Justiça da Capital e a empresa de saneamento da época (Saneatins). Estes foram elaborados de acordo com imagens SPOT 5, com resolução espacial de 2,5 mts, desenvolvido em meados do ano de 2011 (Junho/Julho), com a utilização do sensor HRC (Hight-Resolution Geomatic).

Os dados referentes aos solos foram coletados a partir de Santos (2000). Vale destacar que as variáveis utilizadas estão disponíveis em estudos recentes.

Serão utilizados os seguintes softwares para a execução desse trabalho:

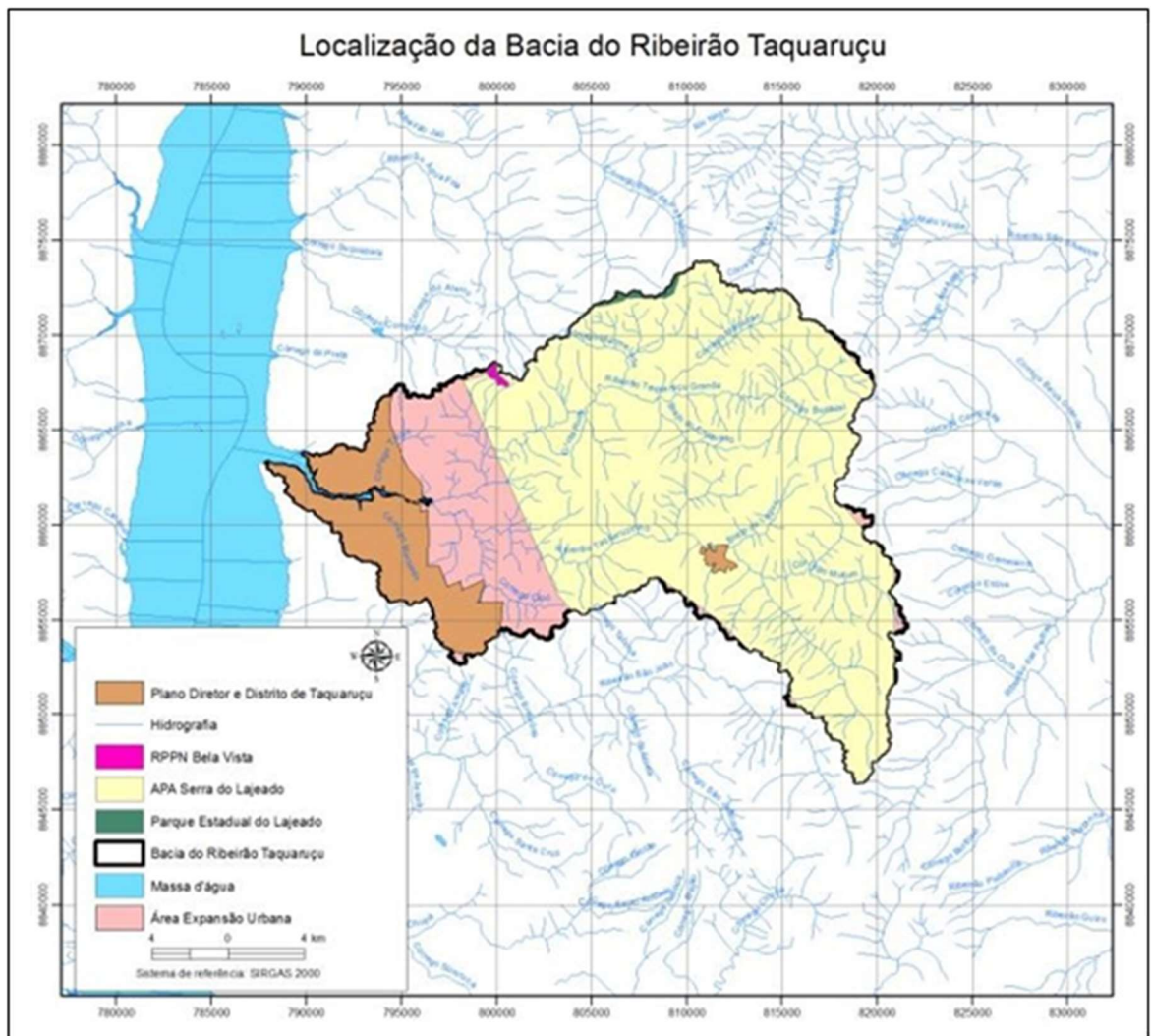
ArcGIS 10.6, Tolls, PrePro-MGB, Modelo de Grandes Bacias - MGB-IPH, MapWindows 4.8.6, ArcHydro.

### 3.3 Dados da Bacia Hidrográfica

#### 3.3.1 Area da Bacia

A bacia RTG, situa-se na parte centro-sul do município (Palmas-TO), mais precisamente entre os paralelos 10°10'41" e 10°25'05" de latitude Sul, estando entre os meridianos 48°03'46" e 48°18'34" de longitude a Oeste de Greenwich, a referida bacia apresenta área de 438,15 Km<sup>2</sup>, que se estende por aproximadamente 29,2 km, como se observa na figura 12.

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



Fonte: PMSB, 2014

### 3.3.2 Características climáticas:

**Tabela 3** – Chave inicial da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de umidade

Classificação	Tipo Climático	Índice efetivo de umidade
<b>A</b>	Superúmido	$100 \leq lu$
<b>B<sub>4</sub></b>	Úmido	$80 \leq lu < 100$
<b>B<sub>3</sub></b>	Úmido	$60 \leq lu < 80$
<b>B<sub>2</sub></b>	Úmido	$40 \leq lu < 60$
<b>B<sub>1</sub></b>	Úmido	$20 \leq lu < 40$
<b>C<sub>2</sub></b>	Úmido e subúmido	$0 \leq lu < 20$
<b>C<sub>1</sub></b>	Úmido e subúmido	$-33,33 \leq lu < 0$
<b>D</b>	Semi-Árido	$-66,7 \leq lu < -33,3$
<b>E</b>	Árido	$-100 \leq lu < -66,7$

Fonte: Ometto (1981).

**Tabela 4** – Chave secundária da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice de aridez ( $la$ ) e umidade ( $lu$ )

Climas úmidos (A, B <sub>4</sub> , B <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> )	Índice de Aridez ( $la$ )	Climas secos (C <sub>1</sub> , D e E)	Índice de umidade ( $lu$ )
<b>r - Pequena ou nenhuma</b>	$0 < la < 16,7$ , deficiência hídrica	d - pequeno ou nenhum	$0 < lu < 10$ excesso hídrico
<b>s - Moderada deficiência</b>	$16,7 < la < 33,3$ no verão	s - moderado excesso	$10 < lu < 20$ de inverno
<b>w - Moderada deficiência</b>	$16,7 < la < 33,3$ no inverno	w - moderado excesso	$10 < lu < 20$ de verão
<b>S<sub>2</sub> - Grande deficiência</b>	$la > 33,3$ no verão	S <sub>2</sub> - largo excesso	de 20 inverno
<b>W<sub>2</sub> - Grande deficiência</b>	$la > 33,3$ no inverno	W <sub>2</sub> - largo excesso	de 20 verão

Fonte: Ometto (1981).

**Tabela 5** – Determinação do terceiro item de classificação climática de Thornthwaite

Classificação	Tipo Climático	Índice térmico ( $lt$ ) (ETP anual) (C <sub>1</sub> , D e E)
<b>A'</b>	Megatérmico	$\geq 1140$
<b>B<sub>4</sub>'</b>	Mesotérmico	997 – 1140
<b>B<sub>3</sub>'</b>	Mesotérmico	855 – 997
<b>B<sub>2</sub>'</b>	Mesotérmico	712 – 855
<b>B<sub>1</sub>'</b>	Mesotérmico	570 – 712
<b>C<sub>2</sub>'</b>	Microtérmico	427 – 570
<b>C<sub>1</sub>'</b>	Microtérmico	285 – 427
<b>D'</b>	Tundra	142 – 285

**Tabela 6** - Quarta chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre a ETP de verão e anual.

Concentração da ETP no verão (%)	Subtipo climático
< 48%	a'
48 – 51,9	b' <sub>4</sub>
51,9 – 56,3	b' <sub>3</sub>
56,3 – 61,6	b' <sub>2</sub>
61,6 – 68,0	b' <sub>1</sub>
68,0 – 76,3	c' <sub>2</sub>
76,3 – 88,0	c' <sub>1</sub>
> 88,0	d'

Fonte: Ometto (1981).

### 3.3.3 Classificação do Solo

Segundo as unidades de mapeamento Figura 14, nesta região podemos observar sete ordens predominantes são elas:

Gleissolo Háptico

Plintossolo Pétrico;

Neossolo Flúvico;

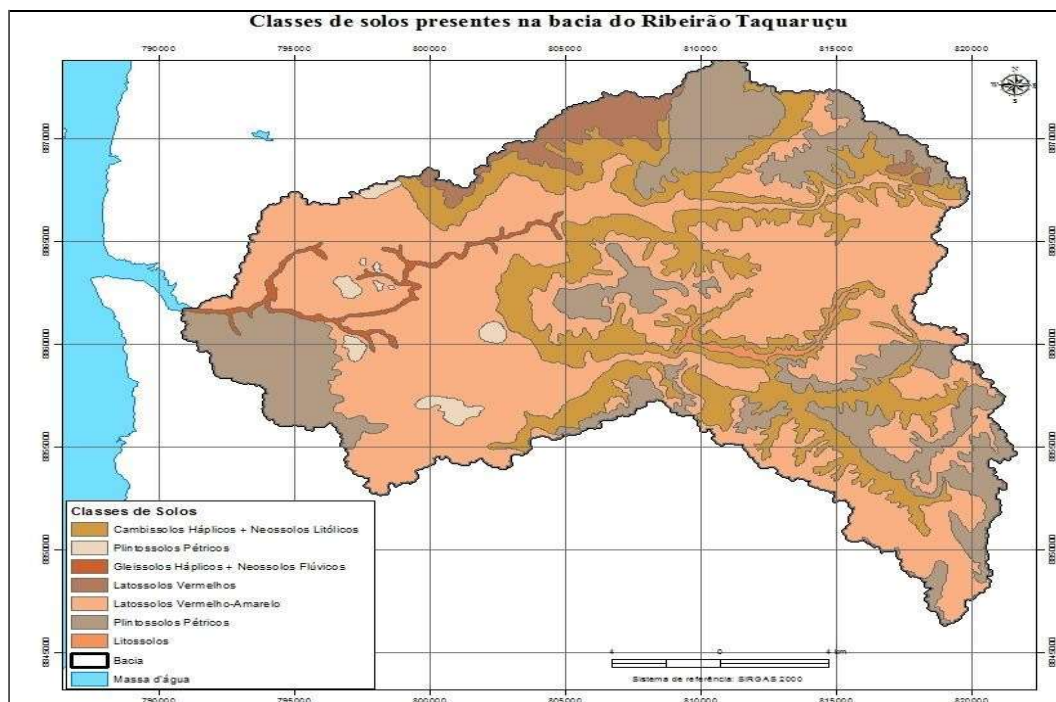
Latossolo Vermelho;

Latossolo Vermelho Amarelo,

Neossolos Litólicos, Cambissolo Háptico

Neossolo Litólico;

**Figura 7:** Classes de solos identificadas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.



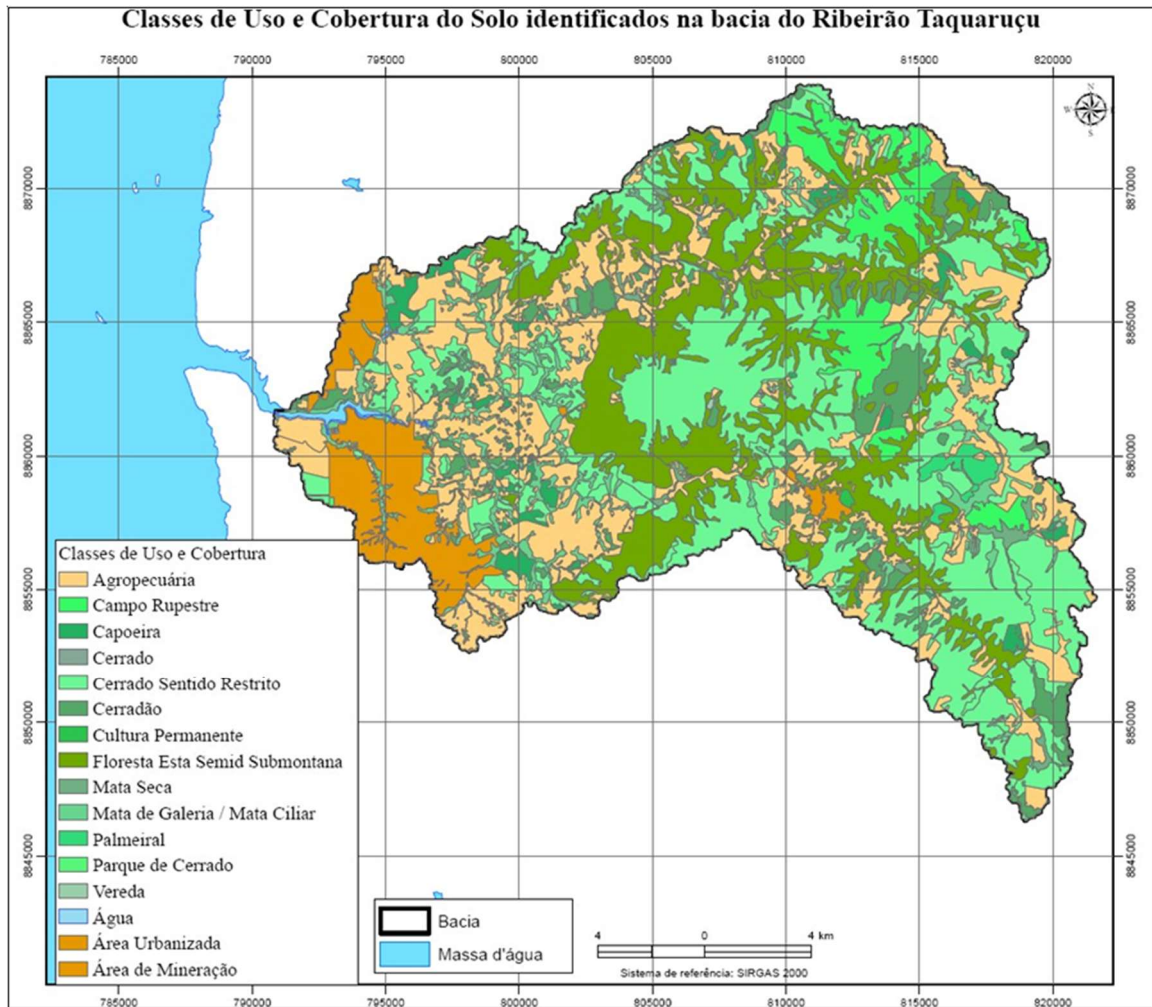
Fonte: Costa, 2016



### 3.3.4 Uso e Ocupação do Solo

Com no levantamento feito por Barros em 2007, esta bacia apresenta variadas classes de uso e ocupação do solo, conforme figura 8.

**Figura 8:** Classes de uso da terra identificados na bacia RTG.

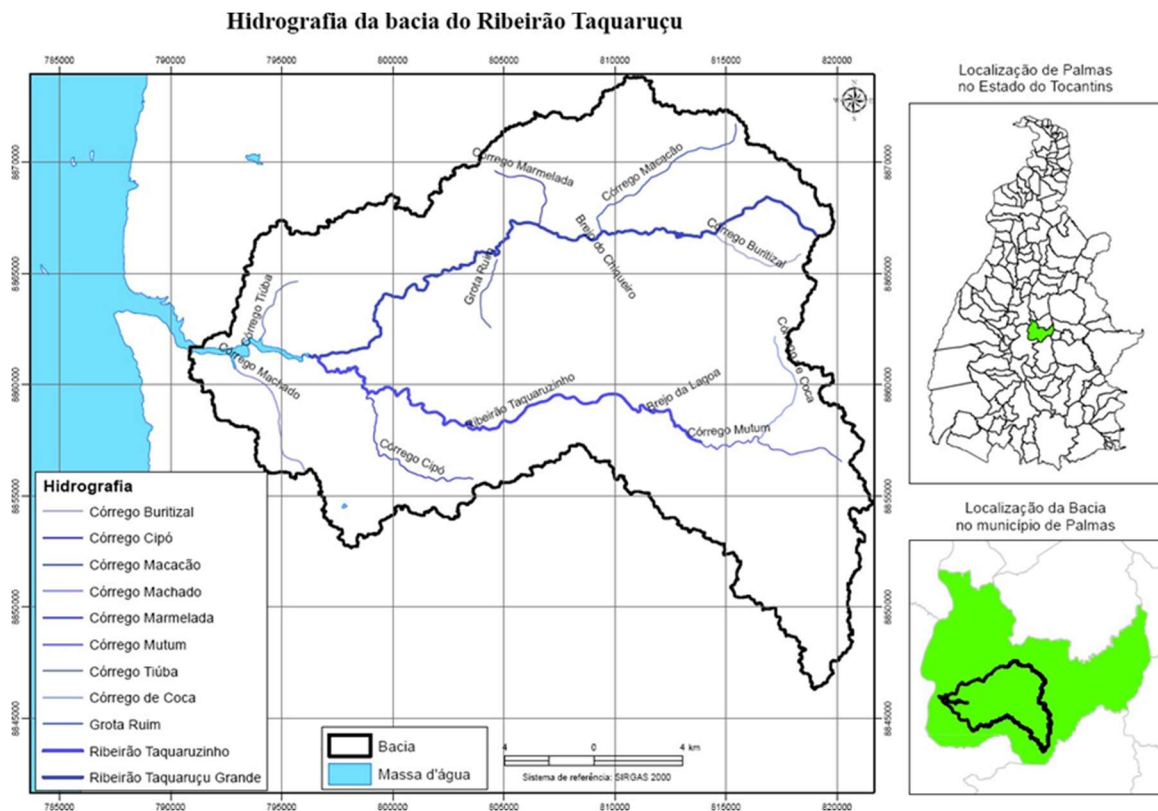


Fonte: Costa, 2016

### 3.3.5 Hidrografia

A bacia RTG é um afluente do rio Tocantins à sua margem direita. Tendo sua foz desaguando no Lago da UHE - Luís Eduardo Magalhães, desde que se criou o reservatório, em 2001. Esta bacia é considerada como sendo uma bacia de sexta ordem por possuir dois corpos hídricos principais sendo eles: Ribeirão Taquaruçu e Ribeirão Taquaruçuzinho. Sua estrutura de drenagem é composta pelo ribeirão principal, ravinas e canais. Suas nascentes estão localizadas principalmente na encosta da serra do Lajeado e outras, nos limites das chapadas o que gera pontos de cotas de altitude elevada (UNITINS, 1999), conforme figura 9.

**Figura 9:** Hidrografia bacia RTG.



Fonte: Costa, 2016

### 3.3.6 Tempo de concentração ( $T_c$ )

O tempo de concentração nada mais é do que o tempo que demora, desde o início da chuva para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, ou seja, o tempo que leva para uma gota no ponto mais distante do centro da bacia leva para chegar ao exutório.

- **Sinuosidade do curso principal**

A sinuosidade de um curso d'água, é a relação entre o seu comprimento longitudinal, em linha reta, pelo comprimento do talvegue.

### 3.3.7 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia constitui-se pelo corpo hídrico principal e seus tributários, esta classificação conforme (figura 8) permite indicar a maior ou menor velocidade com que a água escoada da bacia.

### 3.3.8 Densidade de drenagem (Dd)

É expressa através da relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia (independentemente de seu tipo), e a área total ocupada por ela.

#### Características de forma:

### 3.3.9 Coeficiente de compacidade (Kc):

Para determinação do perímetro bem como da área, foram realizadas medições e cálculos em arquivos do tipo shapefile disponível no site da Seplan-tO, com software Qgis, em que se obteve os seguintes valores.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo:

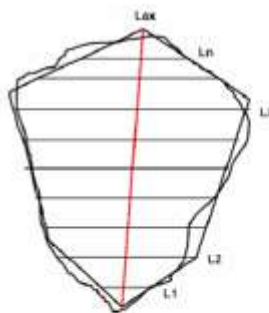
- Pbh, correspondente a área da bacia
- Pc,
- P, Perímetro do Corpo hídrico principal
- A, a área da bacia projetada de forma plana

**Tabela 7:** Características de compacidade

Kc	Característica da Bacia
1,00 – 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
1,25 – 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
>1,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

### 3.3.10 Fator de forma (Kf):

**Figura 10 – Formulas e Características de forma**



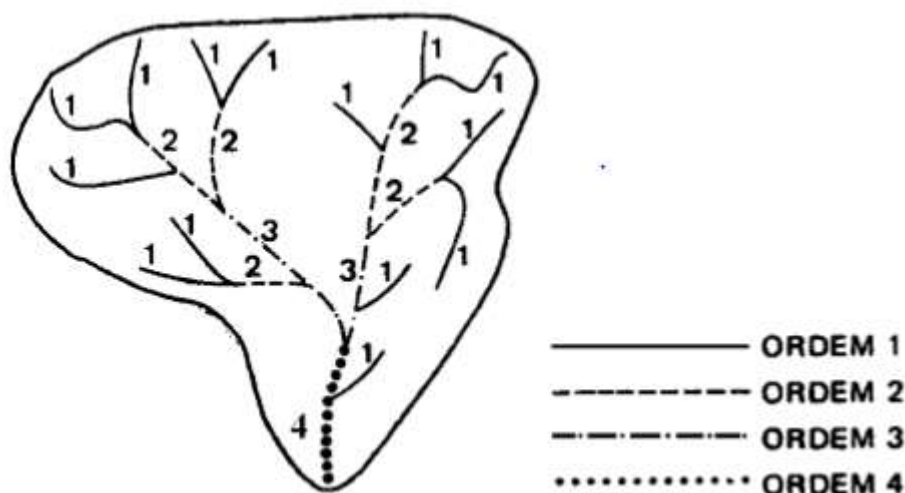
$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Kf	Característica da bacia
1,00 – 0,75	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
0,75 – 0,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
< 0,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

- **Sistema de drenagem:** O padrão de drenagem de uma bacia varia de acordo com seu tipo de solo, clima, topografia, estrutura geológica.
- **Classificação quanto a ordem:** de acordo com figura 8, adota-se o seguinte procedimento para estudo das ramificações:
  - Curso primários são de ordem 1;
  - A união de dois rios de mesma ordem, origina um curso d'água superior
  - A união de dois rios de ordens diferentes, prevalece o de maior ordem.

**Figura 11** – classificação pelo método de Horton modificado por Strahler.



Fonte: (Carvalho; Silva, 2006)

a) **Densidade de drenagem (Dd):** obtida através da formula:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

**Tabela 8** – Classificação de Densidade de Drenagem

Drenagem pobre	$Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
Drenagem regular	$0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
Drenagem boa	$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
Drenagem muito boa	$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
Excepcionalmente bem drenadas	$Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

### 3.4 VAZÃO DE REFERÊNCIA

Por meio do Decreto 2.432/05, o Estado do Tocantins estabelece como vazão de referência a vazão com permanência de 90% (Q90). Estabelece que 75% da Q90 é o valor a ser utilizado como a vazão de referência para outorgas e também que, cada usuário só pode retirar 25% de 75% da Q90, e que a vazão mínima que deve ser mantida caso haja barramento deve ser de 25%. Para efeito deste trabalho, adotou-se a vazão de referência com permanência de 90%.

### 3.5 DADOS DE ENTRADA PARA O MGB-IPH

#### 3.5.1 Dados Meteorológicos

Dentre os dados disponíveis em bancos de dados digital os que interessam para a aplicação do modelo MGB-IPH são: séries de vazão e séries de dados de variáveis climáticas (precipitação, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, pressão atmosférica) e séries de precipitação.

Estes dados estão disponíveis nos sites do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA), uma vez que estas entidades operam a rede de dados meteorológicos. No Tocantins, especificamente na bacia RTG foi utilizado dados da estação Taquaruçu do Porto (operada pela ANA entre os anos de 2002 e 2007, já desativada), sendo estes dados fornecidos pelo órgão Naturatins. Foi utilizado também dados do INMET que constam no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, disponibilizados por meio do site <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>, que possui dados meteorológicos horários, diários e mensais, em formato digital, de séries históricas das várias estações meteorológicas convencionais que vigoram desde 1961. A série de dados histórica que foi utilizada deste banco compreende os dados de clima do período de: 83033 – Palmas (1993 a 2015) e Porto Nacional (83064 – 1961 a 2015), com a utilização de todos os valores como fazendo parte do corpo amostral, buscando melhor caracterização das bacias, vale lembrar que estas são as séries que se tem disponível.

Foram utilizados dados de vazão coletados diariamente pelos moradores das chácaras que se situam nas margens dos ribeirões principais, estes foram averiguados e validados por um técnico da companhia de Saneamento da época, compreendendo os períodos de 2013 a 2015, sendo estes adotados como parâmetros para os demais anos.

Abaixo está representada a localização bem como a distribuição dos postos de monitoramento fluviométricos e pluviométricos existentes e utilizados para a aplicação do modelo MGB-IPH, conforme tabelas 9 e 10

**Tabela 9:** Localização dos Postos fluviométricos operados pela Saneatins/Odrebrecht na bacia RTG.

Postos	Longitude	Latitude
ATG	- 48.177222	-10.238889
BTG	- 48.280278	-10.284167
BTP	- 48.288056	-10.291667

MTP	- 48.155278	-10.305556
ATP	-48.2075	-10.305556
(Taquaruçu do Porto) ANA	-48.265	-10.264722

**Tabela 10:** Localização das Estacoes Pluviométricas utilizadas na bacia RTG.

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

### 3.5.1.1 Chuvas intensas

Para o caso de Palmas, o regime de chuvas é bem caracterizado com estações bem marcadas, no caso a estação chuvosa ou úmida e a estação seca ou de estiagem. No primeiro período, que vai de outubro a abril, as precipitações são intensas (com normais maiores que 80 mm/24 h) e sua recorrência quase que diária. O índice de precipitação total tem uma média de 1600 mm/ano, com a maior parte concentrada em 150 dias. Nos meses de abril a outubro, as chuvas são muito reduzidas, inclusive elas inexistem entre junho e agosto. A Figura 2.2-1 exibe as normais de precipitação para a estação de Palmas do Inemet (cód: 83033 / Latitude-10,18° / Longitude -48,3° / Altitude 280 m), que mostra a redução dos totais precipitados para os meses de verão.

As principais características das precipitações intensas são o total precipitado, sua distribuição temporal e espacial e sua frequência de ocorrência. O conhecimento dessas características é fundamental para os estudos e projetos de drenagem urbana. A equação idf obtida para Palmas nos estudos do PDDPA, com coeficiente de correlação em 99,97%, foi a seguinte:

$$i = \frac{749,97 \times Tr^{0,104}}{(t + 9)^{0,702}}$$

Onde: i = intensidade de precipitação (mm/h) Tr = Tempo de Retorno adotado td = tempo de duração da chuva de projeto

A determinação das precipitações máximas anuais dos postos levou em consideração os dados consistidos de precipitação diária, considerando uma média ponderada em função do inverso da distância do posto à sede do município e o inverso do quadrado da diferença entre as cotas dos postos e a cota de

Palmas (214 m). Assim, foi gerada uma série sintética com dados de precipitação máxima com 36 anos de informações.

**Tabela 11:** Modelo de dados de máx. de precipitação 2003

Meses 2003	Precipitação Max.
Janeiro	111,1
Fevereiro	65,5
Março	37,9
Abril	55,7
Mai	35,1
Junho	0
Julho	0
Agosto	8,4
Setembro	17,9
Outubro	31,3
Novembro	82
Dezembro	65,7
<b>Máx. do Ano</b>	<b>111,1</b>

### 3.5.2 Unidades de Resposta Hidrológicas – URHs

Para que fosse possível a criação de unidades de respostas hidrológicas (URHs) foi reestabelecido uma nova classificação, tendo como base os mapas de solos e de uso e cobertura do solo da bacia, com a finalidade de identificar as áreas com características parecidas no quesito de solo e cobertura sendo estas consideradas como áreas de comportamento hidrológico semelhante.

Para a nova classificação do mapa de solos foi utilizado os parâmetros especificados em manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos) do modelo MGB-IPH, acessado por meio do endereço: <https://drive.google.com/file/d/1u0fH4tklaxJukbHzwugo6XbMzDR-JudO/view?usp=sharing>.

É importante ressaltar as seguintes características:

- Declividade
- Textura ou percentual de areia, argila e silte
- Profundidade do lençol freático
- Profundidade da rocha matriz;

E continuando conforme o exposto no manual, o mapa de solos com vários tipos de solos, podem novamente ser classificados num número menor de classes, levando-se em conta o potencial de geração de escoamento.

### **3.5.3 Discretização da bacia**

Para a discretização da bacia foram utilizadas ferramentas computacionais do tipo: ArcHydro, Tools ou Hydro-Tools, que foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisas em Recursos Hídricos, da Universidade do Texas (Maidment, 2002). Esta torna-se uma ferramenta para análise de MDE, para a extração de informações necessárias à hidrologia de maneira complementar ao software ArcGIS 10.6.

Em seguida foi realizado a escolha do modelo digital de elevação para representar esta bacia, e o utilizado foi o ASTER GDEM – (Global Digital Elevation Model) em qualidade de 30 metros referente à área da bacia, contudo foi utilizado algumas técnicas para que fosse possível a realização da discretização da bacia como:

- Direções de escoamento
- Preenchimento de depressões
- Área acumulada
- Delimitação da bacia (vetorial)
- Extração de dados na área de interesse
- Delimitação de sub-bacias
- Rede de drenagem raster
- Rede de drenagem (vetorial)
- Trechos de drenagem raster

Estas utilizações têm a finalidade de preparar dados para o MGB-IPH, conforme descreveu Collischonn et al. (2010).

### **3.6 AS ETAPAS NECESSÁRIAS PARA APLICAÇÃO DO MODELO MGB-IPH**

Os arquivos originados da discretização da bacia foram inseridos com a mesma resolução e coordenadas que envolve o retângulo (bacia RTG) no PrePro, tornando possível a criação um arquivo de saída com as informações físicas da bacia bem como as URHs, no formato ASCII (txt);

Foi necessário a formatação de um arquivo de blocos (URHs), expondo suas informações geradas a partir do PrePro;

Foi selecionado os postos fluviométricos e pluviométricos, assim como as series de dados de todos os pontos de observação de vazão e de chuva que existem dentro da bacia, em formato ASCII, adotando este como representativo para toda a bacia, vale ressaltar que o intervalo entre as observações coincide. Como fontes utilizadas de informação: “Terceiros”, ANA e INMET;



Após, foi carregado os dados referentes aos parâmetros calibráveis (b, Wm, Kint, CAP, Kbas, Wc, CI, CB, CS e QB), e parâmetros fixos (Albedo, Índice de área Foliar, Altura média das arvores e resistência superficial).

### 3.7 PARA CALIBRAR O MODELO MGB-IPH

Esta calibração foi realizada da seguinte forma:

Foi feita a escolha dos melhores valores de parâmetros, sendo considerados para os parâmetros calibráveis: a quantidade de água que consegue escoar sob a superfície (sub-superficialmente; KINT), a taxa com que a água infiltra para o aquífero (KBAS); a propagação superficial (CI), e a propagação sub-superficial (CS); a capacidade que o solo possui de armazenar água (Wm) e a relação entre armazenamento e o ponto de saturação (b), os parâmetros fixos foram ajustados por blocos e por sub-bacias, seus valores foram obtidos da bibliografia e não foram alterados no processo de calibração.

A etapa seguinte baseou-se na calibração do modelo manualmente, isto em função do comportamento da ferramenta devido à escassez de dados. Os valores dos parâmetros calibráveis são alterados e os resultados comparados por meio de hidrogramas observados nos postos fluviométricos. Esse procedimento é aplicado recursivamente, para se obter um melhor ajuste entre os hidrogramas.

Para a terceira etapa será aplicado um algoritmo automático de otimização, o MOCOM-UA, que busca os melhores valores de três funções, que avaliam a qualidade do ajuste, chamadas funções objetivo. Para a bacia do Ribeirão Taquaruçu foram utilizadas as seguintes funções objetivo:

O coeficiente referente a eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (R2);

$$R2 = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{obs})^2}$$

(coeficiente de Nash) (1)

Mesmo coeficiente para os logaritmos das vazões (Rlog)

$$Rlog = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{cal}(t)))^2}{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{obs}(Q_{obs})))^2}$$

(coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões) (2)

A diferença entre volumes calculados e observados ( $\Delta V$ )

$$\Delta V = \frac{\sum(Q_{cai}(t)) - \sum(Q_{obs}(t))}{\sum(Q_{obs}(t))}$$

(erro dos volumes)

(3)

Onde:

- t representa o intervalo de tempo;
- $Q_{obs}(t)$  a vazão que foi observada nos postos fluviométricos;
- $Q_{cai}(t)$  a vazão calculada pelo MGB-IPH;
- $\sum$  representa o somatório para todos os intervalos de tempo (t).
- $\Delta V$  variação relativo ao erro adimensional deste volume;

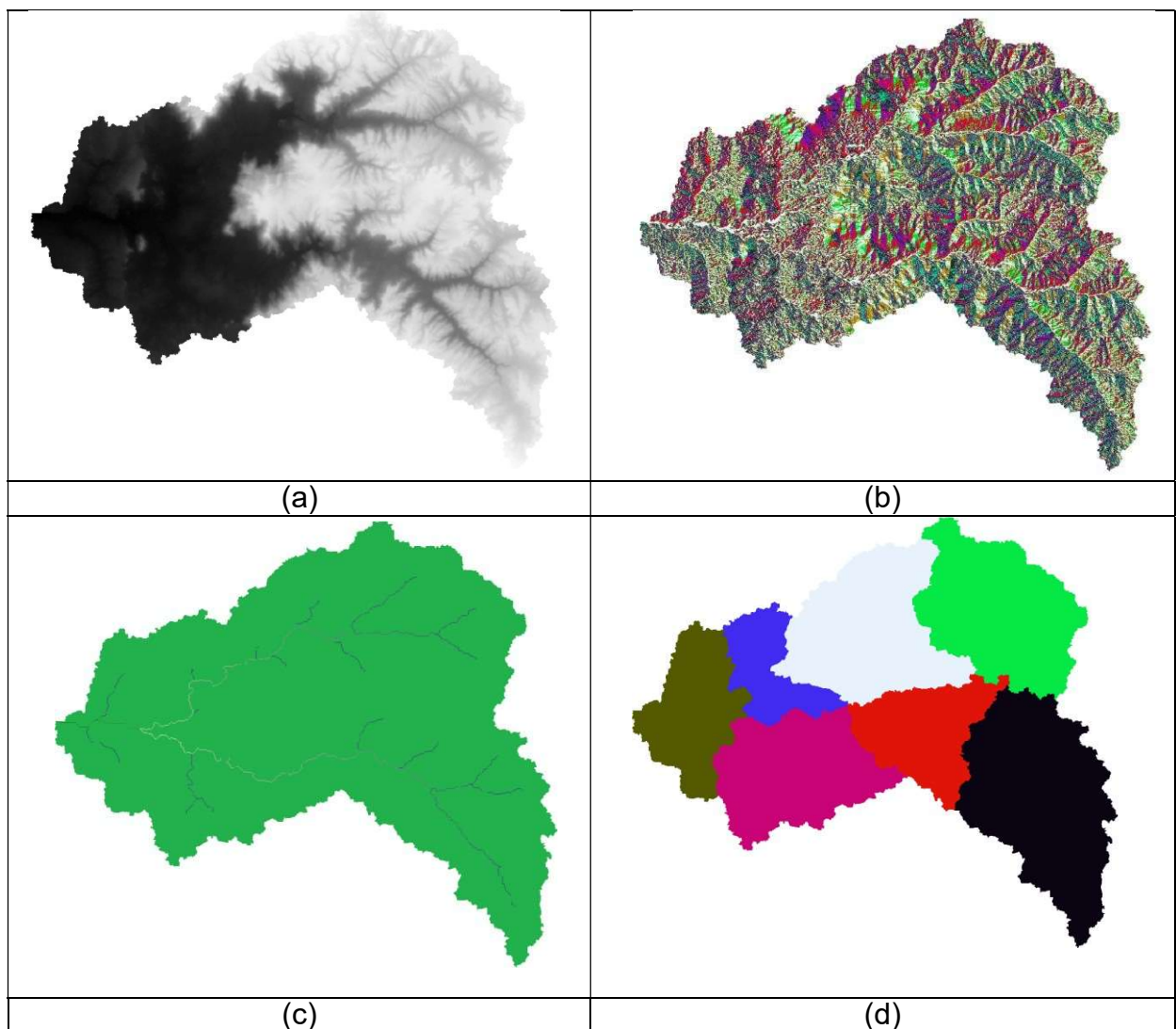
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

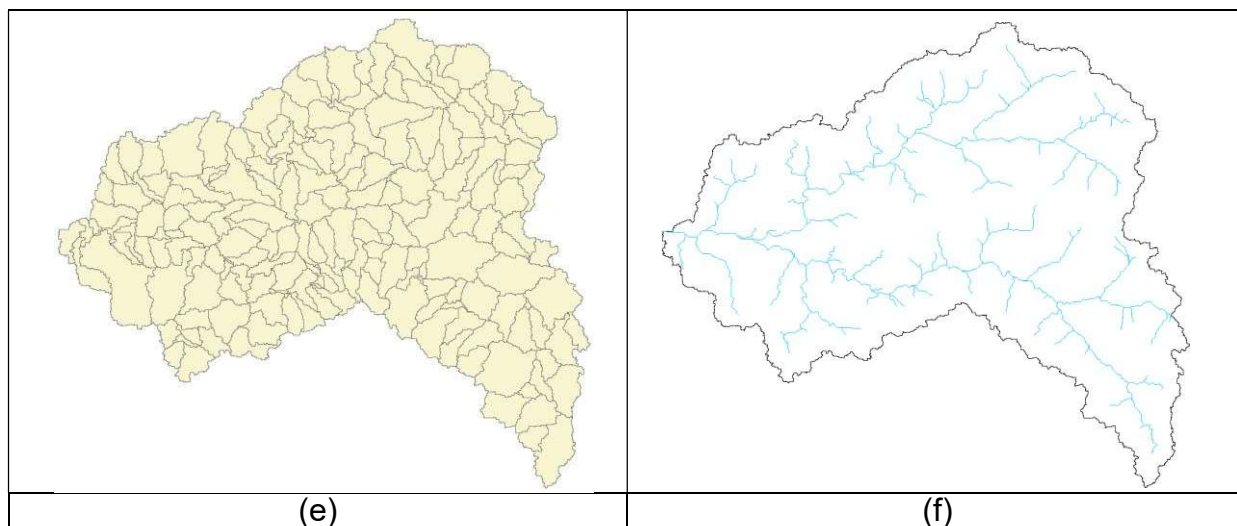
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU

A referida BH apresentou área de drenagem aproximada de 438,15 km<sup>2</sup>. Sendo esta subdividida em 205 microbacias, com suas áreas variando entre 0,0 e 12,28 km<sup>2</sup>.

Na figura abaixo (figura 12) são apresentados os resultados de cada etapa do processo de discretização, resultando em uma representação das microbacias que constituem o a bacia RTG considerados para a calibração do MGB-IPH.

**Figura 12:** Mapas Sequenciais para a geração da rede de drenagem da bacia com informações topográficas.





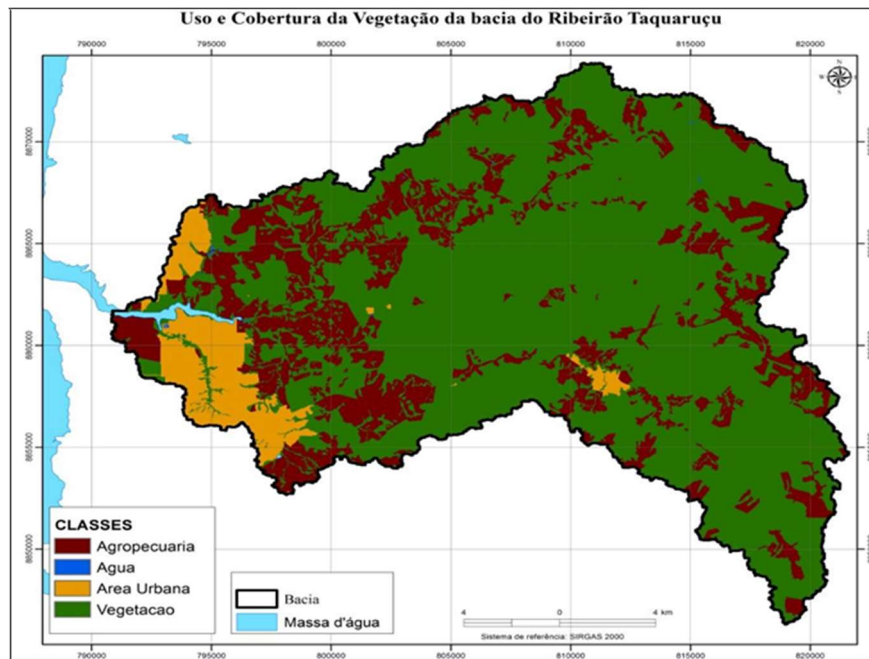
Como pode ser observado em (a) está representado pelo modelo de elevação, com remoção das depressões; em (b) apresenta as direções de escoamento; (c) retrata a área de drenagem da bacia acumulada; em (d) estão retratadas as sub-bacias que constituem a bacia RTG; no quadro (e) foi realizado a vetorização do raster (d) gerando a imagem das microbacias; em (e) está sendo apresentado a configuração final da rede de drenagem.

#### **4.2 UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA – URH**

Para a combinação dos tipos de solo, anteriormente foi necessário reclassificar os tipos de vegetação afim diminuir o número de classes uma vez que, seu mapa possui grande quantidade de classes, e assim combinar os tipos de solo para posteriormente ser obtida as unidades de resposta hidrológica.

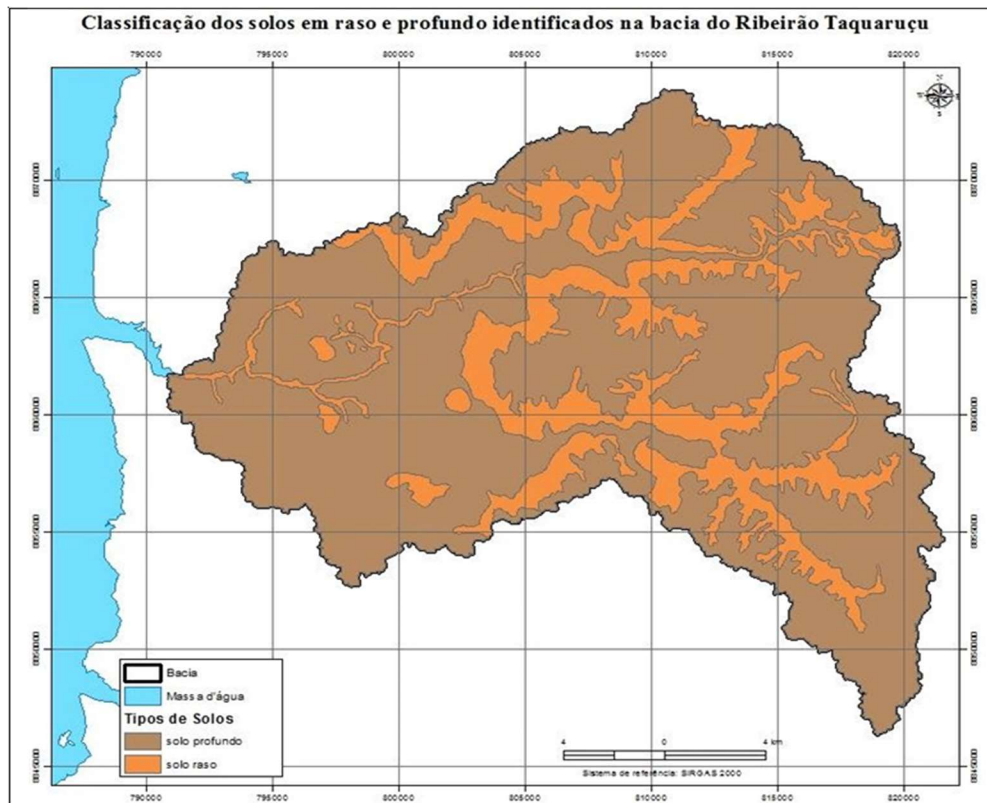
O mapa de uso e cobertura do solo foi simplificado em quatro classes, sendo elas: água, área urbana, vegetação e agropecuária. Este agrupamento foi realizado segundo as observações locais e a semelhança entre as classes resultando na figura 13 a seguir.

**Figura 13:** Mapa de classes e associações de classes de uso da terra em 4 classes na bacia RTG.



Nesta área de estudo foram identificadas, conforme figura 14, sete classes de solos rasos e profundos predominantes na região, sendo estes agrupados em duas classes conforme o comportamento hidrológico para a aplicação do modelo.

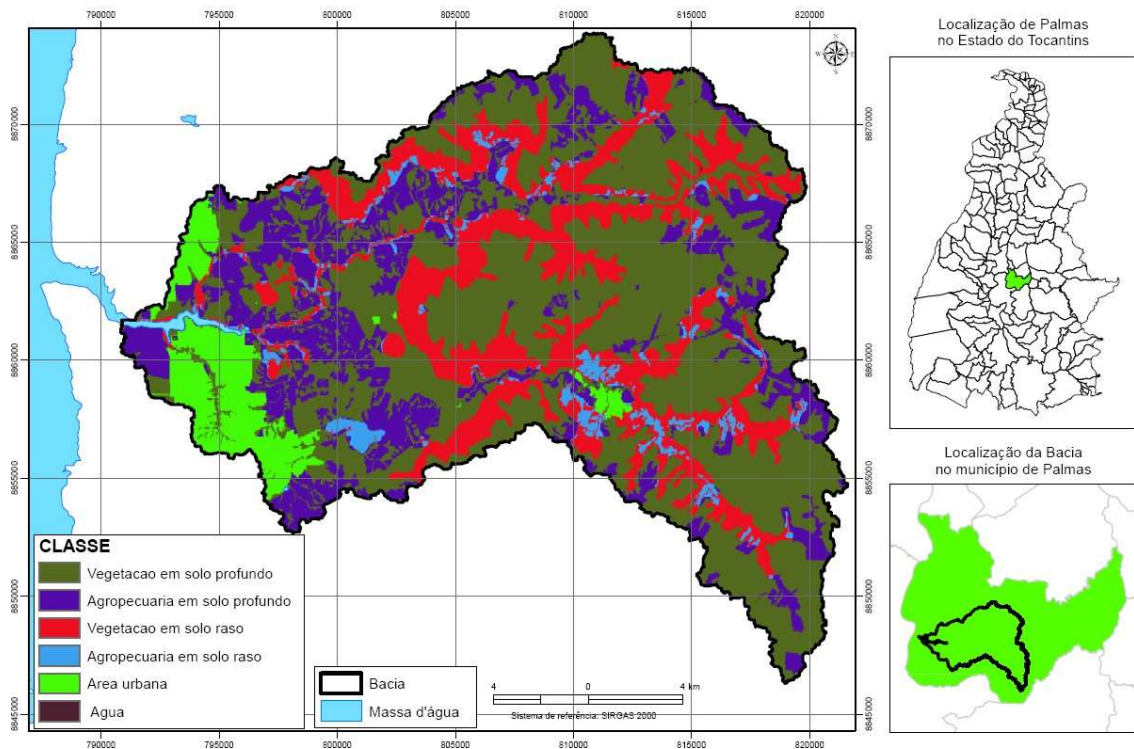
**Figura 14:** Mapa de classes de solos raso e profundo da bacia RTG.



A sobreposição dos mapas da figura 12 e figura 13, produziu seis URHs, com características relacionadas a cobertura vegetal (albedo, interceptação, profundidade das raízes, índice foliar) por serem áreas com similar comportamento hidrológico, e com características físicas de solos (profundidade, condutividade hidráulica, porosidade, capacidade de armazenamento d'água). A seguir na figura 14, é apresentado o mapa contendo as unidades de resposta hidrológicas, que foi utilizado na entrada do MGB-IPH.

**Figura 15:** Mapa de classificação de uso da terra de acordo com as classes de solos.

**Solos e Vegetação da bacia do Ribeirão Taquaruçu**



### 4.3 APLICAÇÃO DO PREPRO-MGB-IPH

De acordo com a discretização da bacia foi obtido dados como: direção do fluxo, modelo digital de elevação (MDE), representação das Microbacias, unidades de respostas hidrológicas, Rede de drenagem, e Sub-bacias, estes dados são em formato ASCII, em seguida são inseridos no PrePro, no arquivo de saída são gravadas algumas informações necessárias sob o título de MINI.txt, em seguida foi renomeado para MINI, figura 16.

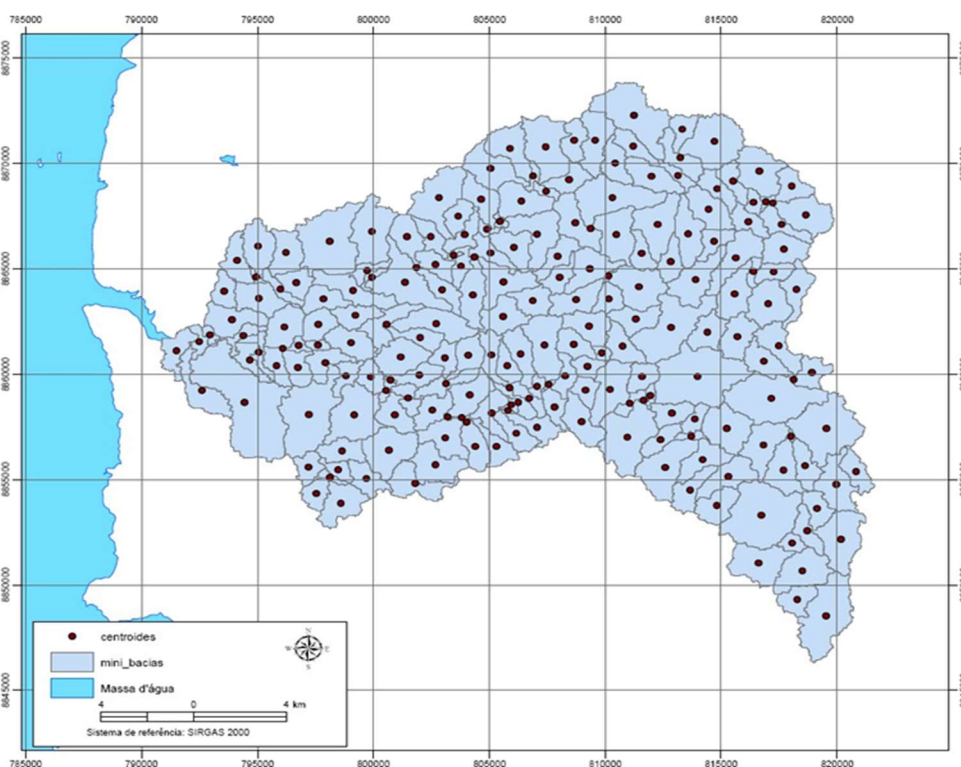
**Figura 16: Arquivo MINI**

CatID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km2)	AreaM_(km2)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	LrL_(km)	SrL_(m/km)
1	1	-48.15947	-10.18939	1	6.15054	6.15054	3.00250	34.63775	5.16963	33.07778
2	2	-48.17464	-10.20028	2	3.06155	3.06155	1.75766	43.23922	3.98584	35.62610
3	3	-48.12781	-10.20036	1	4.93221	4.93221	2.16761	17.06949	4.35126	24.36076
4	4	-48.19404	-10.20319	2	4.59493	4.59493	2.20292	122.56454	4.26140	81.42866
5	5	-48.14038	-10.19523	1	1.37711	1.37711	0.18400	38.04348	2.62116	40.82158
7	6	-48.18298	-10.20032	2	1.06339	1.06339	0.61459	66.71114	2.69250	45.68252
8	7	-48.15973	-10.20281	1	1.53462	1.53462	0.70036	102.80489	2.97249	55.84541
12	8	-48.11006	-10.21281	1	3.56553	3.56553	1.57631	32.35413	3.61897	32.32968
13	9	-48.16675	-10.20991	1	1.87499	1.87499	1.02666	80.84495	3.15406	58.97166
14	10	-48.20802	-10.20406	2	3.00707	3.00707	1.92257	100.90674	4.45829	78.95408
15	11	-48.21575	-10.21261	2	3.25903	3.25903	1.17455	15.32503	3.79486	89.06781
20	12	-48.09719	-10.21918	1	1.75726	1.75726	0.42921	46.59694	2.66889	40.84087
23	13	-48.23592	-10.22532	2	4.49801	4.49801	2.46989	13.36092	4.57974	85.15773
24	14	-48.12648	-10.22057	1	1.58776	1.58776	0.79302	39.09128	2.93948	49.66862
25	15	-48.12032	-10.21720	1	1.42356	1.42356	0.26464	11.33601	2.75686	51.50781
26	16	-48.10106	-10.23569	1	1.60701	1.60701	0.62708	36.67798	3.58325	36.55899
28	17	-48.09145	-10.23143	1	3.26763	3.26763	1.37430	14.55283	3.63712	37.94210
30	18	-48.21925	-10.22383	2	2.29467	2.29467	1.34400	20.53381	3.46333	112.67360
39	19	-48.27868	-10.24436	3	6.84321	6.84321	3.68333	7.05883	6.41842	53.28412
42	20	-48.15601	-10.24859	1	1.34878	1.34878	0.19375	0.01000	2.39943	97.52316
43	21	-48.14452	-10.25193	1	1.56653	1.56653	0.73599	100.54466	2.20223	75.17108
44	22	-48.22829	-10.23322	2	1.43490	1.43490	0.97623	10.86063	2.60435	49.53252
45	23	-48.26204	-10.24016	3	4.42580	4.42580	2.09630	10.49469	4.34906	80.45626
49	24	-48.20624	-10.24640	2	2.28223	2.28223	1.00162	13.97738	3.19387	118.35179
50	25	-48.13464	-10.25960	1	3.33495	3.33495	2.72335	36.71950	4.39230	38.93174
51	26	-48.18822	-10.25901	2	1.38474	1.38474	0.25305	209.44175	2.69598	93.10155
53	27	-48.30680	-10.24672	4	2.73972	2.73972	1.46085	21.22057	3.27537	18.31833
55	28	-48.24829	-10.24213	2	2.17512	2.17512	0.85695	9.33543	3.39221	108.77967
56	29	-48.23894	-10.24001	2	1.38920	1.38920	0.32721	3.05610	3.09237	86.66492
58	30	-48.11934	-10.26564	1	2.77907	2.77907	1.88074	34.02917	4.32322	32.38329
61	31	-48.29578	-10.24950	4	2.44729	2.44729	1.40480	17.08424	3.79829	14.21692
62	32	-48.22222	-10.26705	2	2.67633	2.67633	1.39781	39.34730	4.32224	89.53691

**Legenda:** CatID: Código;  
**Mini:** Número de identificação em ordem topográfica;  
**Xcen:** Coordenada X;  
**Ycen:** Coordenada Y;  
**Sub:** A sub-bacia a que pertence;  
**Area:** Área de drenagem;  
**AreaM:** Área total de drenagem a montante;  
**Ltr:** Comprimento do curso d'água principal;  
**Str:** Declividade do curso 'água principal;  
**LrL:** Comprimento do afluente mais longo que atravessa a microbacia;  
**SrL:** Declividade do afluente mais longo que atravessa a microbacia

Foi gerado um arquivo do tipo Shapefile que contém os centroides da bacia conforme figura 17, dentro do software Mapwindows, no modelo MGB-IPH. Em que os dados referentes a saída do modelo, pode ser visualizado de forma interativa, através do centroide da microbacia desejada.

**Figura 17: Mapa de centroides da bacia do Ribeirão Taquaruçu.**





#### 4.4 PARÂMETROS UTILIZADOS PARA A CALIBRAR O MODELO HIDROLÓGICO – MGB-IPH

Para interpretação dos dados referentes a entradas e saídas foi utilizada uma ferramenta que consiste em filtrar para a determinação do escoamento de base a partir dos dados de postos fluviométricos e os filtros de vazão que determinaram os valores utilizados para retardo do reservatório subterrâneo (Cb), que são pré-calibrados a partir dos dados de recessão, acessados via interface SIG.

Ainda para a calibração do modelo faz-se necessário um conjunto de dados de entrada referentes ao projeto da bacia do Ribeirão Taquaruçu que são blocos, precipitação, vazão, clima e os parâmetros fixos e calibráveis.

Os parâmetros fixos como os que controlam a evapotranspiração (Albedo, índice de área foliar, altura média das arvores e resistência superficial) estão apresentados, respectivamente, na figura 26 e são os valores adotados para o modelo. Esses valores são diferentes para cada bloco e se baseiam na variação dos parâmetros de acordo com a estação do ano – seca e chuvosa, uma vez que esses parâmetros estão diretamente relacionados a fatores climáticos.

**Figura 18:** Parâmetros fixos estabelecidos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

albedo												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.14	0.13
Agro_prof	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_raso	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.14	0.13
Agro_raso	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_urb	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Agua	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
IAF !índice de area foliar												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Veg_prof	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_prof	1.50	2.00	2.45	1.50	1.00	0.66	0.66	0.66	0.66	0.90	1.00	1.20
Veg_raso	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_raso	1.50	2.00	2.45	1.50	1.00	0.66	0.66	0.66	0.66	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
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z !altura das arvores												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
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
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RS !resistência superficial												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
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	50.0	40.0	50.0	60.0	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	50.0	40.0	50.0	60.0	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
Agua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### Legenda:

- Veg\_prof:** Vegetação em solo profundo;
- Agro\_prof:** Agropecuária em solo profundo;
- Veg\_raso:** Vegetação em solo profundo;
- Agro\_raso:** Agropecuária em solo raso;
- Area\_urb:** Área urbana.

Como parâmetros calibráveis para o modelo foram adotados os seguintes itens: a quantidade de água que consegue escoar sob a superfície (sub-superficialmente; KINT), a taxa com que a água infiltra para o aquífero (KBAS); a propagação superficial (CI), e a propagação sub-superficial (CS); a capacidade que o solo possui de armazenar água (Wm) e a relação entre armazenamento e o ponto de saturação (b), forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL), fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP), armazenamento residual (Wc), retardo do reservatório subterrâneo (Cb), e a vazão de base QB, valores observados em figura 19. Nota-se que os parâmetros utilizados foram de acordo com as características dos blocos hidrológicos. Entre as variáveis ajustadas estão o armazenamento (Wm), e forma (b), pois apresentaram uma maior sensibilidade na amplitude das correções quando comparado aos demais. Vale ressaltar que o índice de porosidade do solo (XL) é considerado um parâmetro fixo porque exerce pouca influência sobre os resultados.

**Tabela 13:** Valores dos dados calibráveis para as bacias do RTG

Bacia 01								Bacia 02							
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC
Veg_prof	1000	0,12	1,46	27,4	0,89	0	0,1	Veg_prof	1463	0,14	1,22	20,64	0,36	0	0,3
Agro_prof	381,4	0,12	4,49	5,89	0,43	0	0,1	Agro_prof	900,3	0,22	1,23	33,66	0,88	0	0,28
Veg_raso	506,9	0,12	4,06	28,89	0,34	0	0,2	Veg_raso	436	0,09	2,01	26,72	0,96	0	0,1
Agro_raso	202,7	0,13	2,71	33,49	0,36	0	0,1	Agro_raso	304,8	0,14	6,51	11,6	0,32	0	0,2
Area_urb	127,9	0,15	2,07	18,28	0,5	0	0,1	Area_urb	82,1	0,24	5,39	26,84	0,89	0	0,21
Agua	0	0	0	0	0	0	0	Agua	0	0	0	0	0	0	0
Cs	24,01							Cs	24						
CI	151,97							CI	142						
CB	1212							CB	1200						
QB_M3/SKM2	0,01							QB_M3/SKM2	0,01						
Bacia 03								Bacia 04							
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC
Veg_prof	1980	0,25	2,46	27,52	0,89	0	0,1	Veg_prof	2230,2	0,12	2,11	16,01	0,38	0	0,15
Agro_prof	1281,7	0,3	4,49	10,03	0,46	0	0,1	Agro_prof	936	0,15	2,34	22,34	0,88	0	0,14
Veg_raso	806,9	0,31	4,06	28,59	0,34	0	0,2	Veg_raso	462,2	0,04	2,09	18,08	0,96	0	0,05
Agro_raso	602,7	0,28	2,71	33,35	0,36	0	0,1	Agro_raso	363,9	0,06	5,07	10,53	0,28	0	0,1
Area_urb	227,9	0,33	3,07	19,41	0,5	0	0,1	Area_urb	120,3	0,13	3,38	12,01	0,51	0	0,1
Agua	0	0	0	0	0	0	0	Agua	0	0	0	0	0	0	0
Cs	24,16							Cs	24						
CI	111,69							CI	140,62						

CB	1703							CB	1211							
QB_M3/SKM2	0,01							QB_M3/SKM2	0,01							
Bacia 05								Bacia 06								
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	WC	
Veg_prof	2291,8	0,01	0,01	13,66	0,29	0	0,16	Veg_prof	663	0,19	0,01	30,14	0,36	0	0,15	
Agro_prof	999,5	0,02	0,02	16,66	0,09	0	0,03	Agro_prof	529	0,26	0,02	36,34	0,88	0	0,14	
Veg_raso	1983,7	0,03	0,02	19,27	0,25	0	0,16	Veg_raso	333,9	0,18	0,03	39,7	0,67	0	0,1	
Agro_raso	912,9	0,03	0,02	21,63	0,24	0	0,15	Agro_raso	219,2	0,27	0,04	30,7	0,67	0	0,1	
Area_urb	115,1	0,04	0,03	31,57	0,44	0	0,06	Area_urb	118,5	0,57	0,05	29,38	0,67	0	0,1	
Agua	0	0	0	0	0	0	0	Agua	0	0	0	0	0	0	0	
Cs	60,59							Cs	24,15							
CI	113,83							CI	113,2							
CB	961,94							CB	1200							
QB_M3/SKM2	0,01							QB_M3/SKM2	0,01							

Sendo:

(bacia 01) Médio Taquaruçu Pequeno – MTP;

(bacia 02) Alto Taquaruçu Grande - ATG;

(bacia 03) Alto Taquaruçu Pequeno – ATP;

(bacia 04) Taquaruçu do Porto – “ANA”;

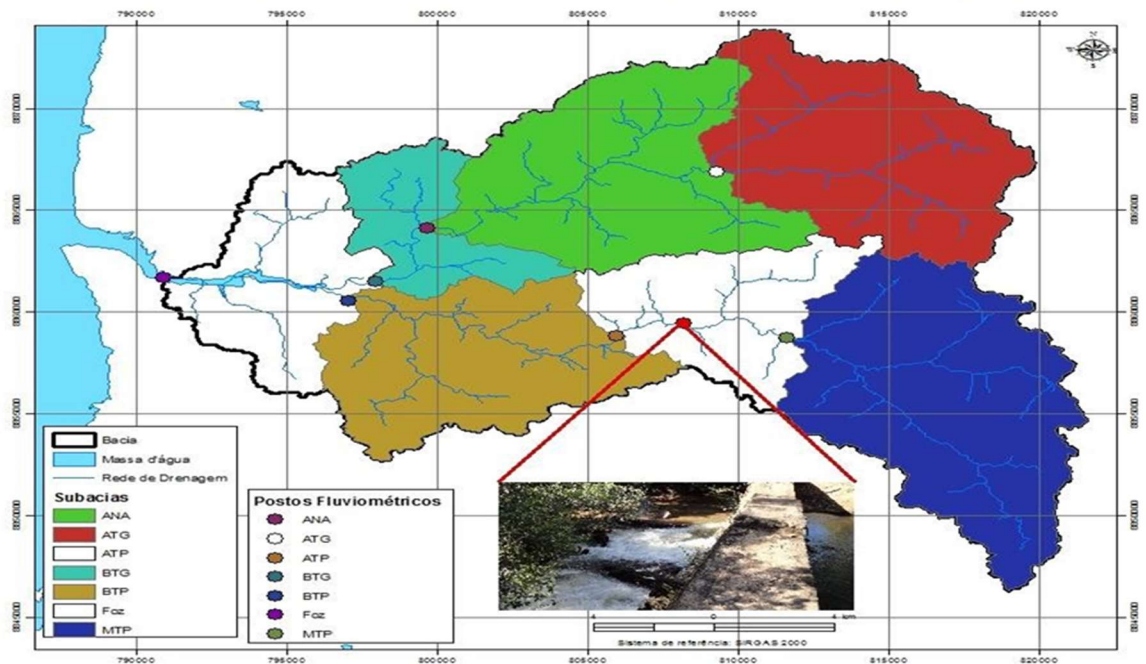
(bacia 05) Baixo Taquaruçu Grande – BTG;

(bacia 06) Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP

#### 4.5 RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO – MGB-IPH

A bacia hidrográfica foi subdividida em sete subacias (MTP, ATG, BTG, BTP, ATP e Foz), selecionadas em função da proximidade dos seus exutórios junto aos postos fluviométricos selecionados, ou em confluências de afluentes com o rio principal e apenas cinco foram calibradas pelo modelo hidrológico (MTP, ATG, ANA, BTG e BTP). A foz não foi calibrada por não dispor de dados necessários para a sua calibração e a ATP por existir em sua área uma barragem ela foi calibrada como vazão substituída o que não gera as funções objetivo, os hidrogramas e as curvas de permanência, conforme figura 20.

**Figura 19:** Sub-bacias definidas em função dos postos fluviométricos e a barragem identificada na bacia.  
**Subacias, Postos Fluviométricos, Barragem – Bacia do Ribeirão Taquaruçu**



**Fonte:** Costa, 2016

O período de dados utilizados na calibração foi de 01/01/2002 a 31/08/2015, e a calibração foi independente para cada bacia. A escolha do período se deve à disponibilidade de dados de vazão observados. A qualidade dessa calibração é avaliada comparando as vazões calculadas com as vazões observadas e é realizada de forma visual, utilizando os gráficos com os hidrogramas observados e calculados, ou usando avaliações estatísticas, que normalmente são mais objetivas. No caso específico da bacia RTG, a calibração foi avaliada utilizando métodos visuais e análises estatísticas. Já para as análises estatísticas as funções objetivo utilizadas foram os coeficientes dados pelas equações 1 a 4, muito utilizados na avaliação de modelos hidrológicos, objetivando aprimorar a representação das variáveis.

O valor de  $R^2$  é influenciado por diferenças nas vazões calculadas e observadas, principalmente as máximas, razão pelo qual, quando  $R^2$  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  $R^2$  supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de  $R^2$  ficar entre 0,36 e 0,75 (COLLISCHONN, 2001).

Conforme a tabela 11 a simulação apresentou para a bacia MTP valor superior a 0.75 considerado adequado e bom, o que quer dizer que esta bacia apresentou um bom ajuste para as cheias, na estimativa de vazões de pico, enquanto que as outras 4 bacias (ATG, ANA, BTG, BTP) apresentaram valores variando entre 0.36 e 0.75, o

que é considerado aceitável, já a bacia (ATP) apresentou R2 com valor negativo mesmo após várias tentativas de calibração. Esta bacia possui uma barragem em sua área o que contribui para uma representação ruim da vazão simulada. Segundo Collischonn (2001) sugere nesses casos, que seja utilizado a vazão substituída que é a opção de sobrescrever os arquivos existentes. Com isso as vazões lidas terão prioridade sobre as vazões previamente gravadas no arquivo de vazões observadas, e vão substituir os valores existentes. No caso das outras bacias simuladas as vazões lidas apenas complementam os dados já existentes.

**Tabela 12:** Resultados das funções objetivo para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

Posto Fluviométrico	R2	Rlog	ErroVol	Q90 observadas (m3/s)	Q90 calculada (m3/s)	Área da Bacia (Km <sup>2</sup> )
MTP	0.806	0.932	2.576	0.2950000	0.3335837	97.3787
ATG	0.652	0.696	-6.606	0.5469000	0.7037263	77.6063
ANA	0.422	0.477	- 34.569	0.3071000	0.2732191	78.1247
BTG	0.616	0.621	18.650	0.2540000	0.2583948	28.3725
BTP	0.551	0.657	- 32.972	0.7408030	0.4524091	65.8517
<b>ATP*</b>	-	-	-	-	-	45.1155
<b>FOZ**</b>	-	-	-	-	-	46.3856

\*ATP - Bacia que aplicou a vazão substituída;

\*\*FOZ - Não representa um posto fluviométrico, é apenas o exutório da bacia.

De forma a refletir adequadamente a disponibilidade de água em períodos relativamente críticos, onde o suprimento de água às demandas fica mais comprometido o modelo distribuído foi calibrado utilizando dados de vazão de postos fluviométricos dando ênfase ao ajuste nas vazões mais baixas, como a Q90.

De acordo Collischonn (2001) o valor de Rlog é mais influenciado pelas vazões mínimas, ocorrendo que os valores próximos da unidade que tem valor máximo igual 1, significam que o modelo está simulando adequadamente os períodos de recessão do hidrograma e as estiagens. Pela calibração todas as bacias apresentaram um Rlog variando entre 0.47 a 0.93.

Quanto ao erro no volume (Erro Vol) não tem valor máximo nem mínimo, quanto mais próximo de zero melhor e não é influenciado de forma diferenciada por períodos de cheias ou de estiagens. Esse valor apenas expressa a diferença relativa entre a

soma de todas as vazões, calculadas e observadas, sem considerar sua sequência temporal.

Com base nas estatísticas calculadas, como o coeficiente de Nash-Sutcliffe e os erros de volume, e com base na análise dos gráficos dos hidrogramas, a calibração pode ser considerada satisfatória. Tentar melhorar esses coeficientes significa dar muita importância aos picos de vazão e como o modelo não foi utilizado para previsão de cheias, não foi necessário um bom ajuste destes coeficientes.

Faz-se necessário observar que os valores das funções objetivo ( $R^2$  e Rlog) são bons em todos os postos fluviométricos. De acordo com os valores obtidos por Rlog em relação a  $R^2$  verificou-se que as estiagens foram melhores representadas que os períodos de cheia. Quanto aos elevados erros no volume total (ErroVol), parte dos baixos valores encontrados para  $R^2$  e Rlog nas bacias ANA e BTP se deve a esses elevados erros o que está associado aos erros nos dados de precipitação ou na estimativa da evapotranspiração.

Os hidrogramas calculados pelo modelo se ajustam relativamente bem aos hidrogramas observados, especialmente nos períodos de vazões mais baixas. As figuras 20 a 24 ilustram o desempenho do modelo em representar as vazões observadas no período de calibração.

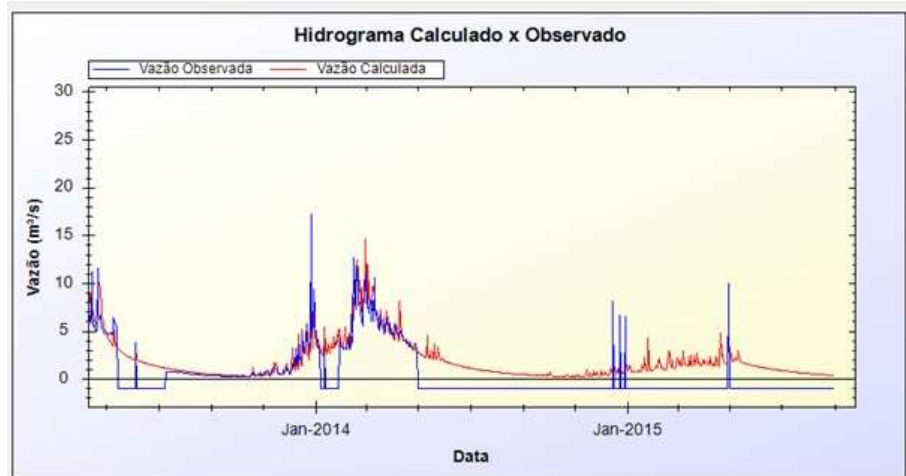
É importante ressaltar que esses resultados devem ser analisados considerando a escassez de dados existente na região e que as variações dos hidrogramas foram bem representadas e outros picos de cheia menores bem ajustados. Pelos hidrogramas é possível observar que o modelo hidrológico superestimou as vazões de pico principalmente nas bacias ANA e BTP.

É provável que um aumento no número de postos pluviométricos na bacia permita reduzir os erros de simulações. Assim, considerou-se que o modelo conseguiu representar muito bem os picos das maiores cheias, além das cheias menores que acontecem no começo e no final do período chuvoso.

**Figura 20:** Hidrograma calculado e observado para a bacia 1 – Médio Taquaruçu Pequeno – MTP.

Funções Objetivo

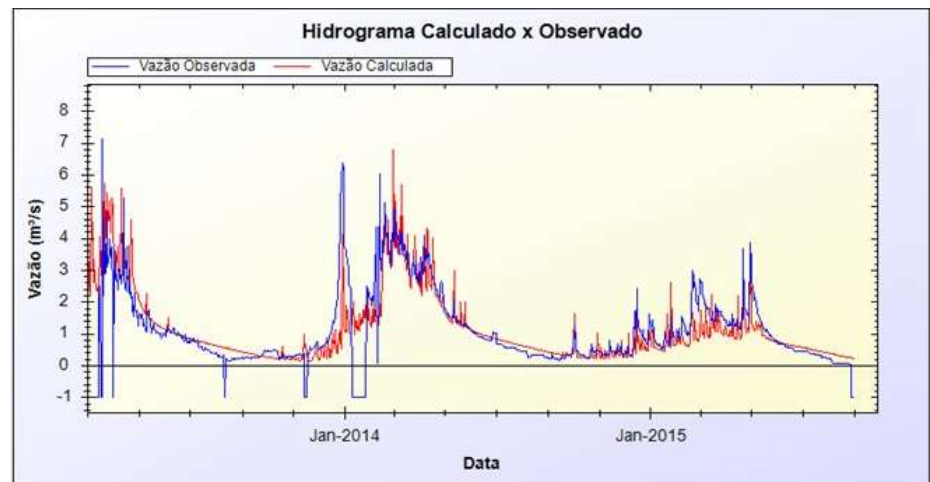
Funções Objetivo  
R2 = 0.806  
Rlog = 0.932  
ErroVol = 2.576



**Figura 21:** Hidrograma calculado e observado para a bacia 2 – Alto Taquaruçu Grande – ATG.

Funções Objetivo

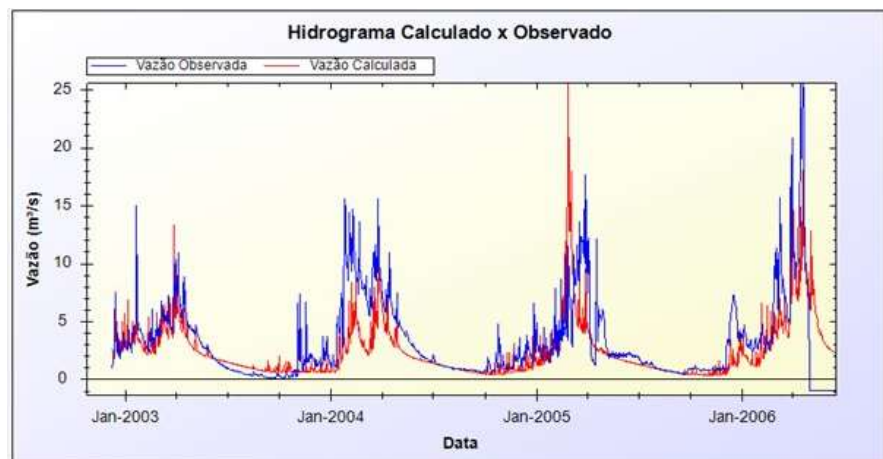
Funções Objetivo  
R2 = 0.652  
Rlog = 0.696  
ErroVol = -6.606



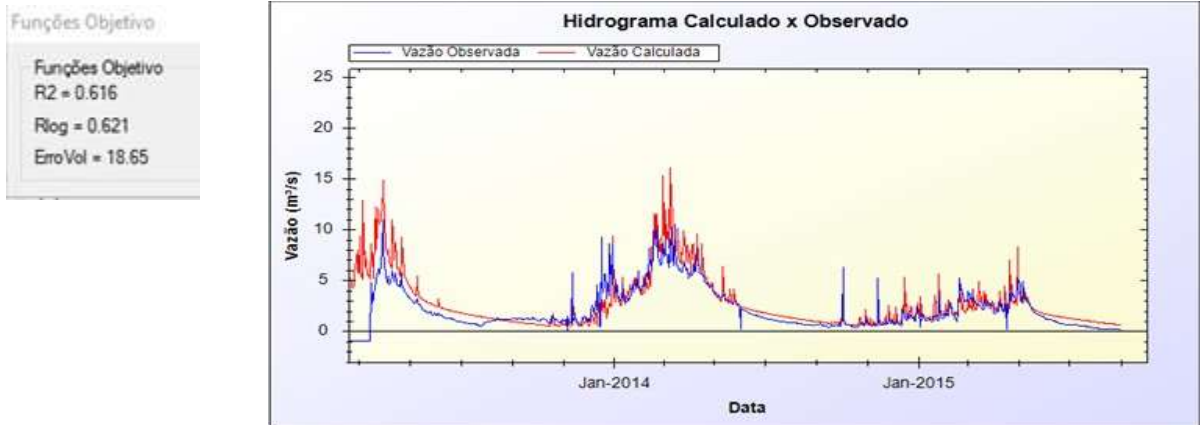
**Figura 22:** Hidrograma calculado e observado para a bacia 4 – Agência Nacional de Águas - ANA.

Funções Objetivo

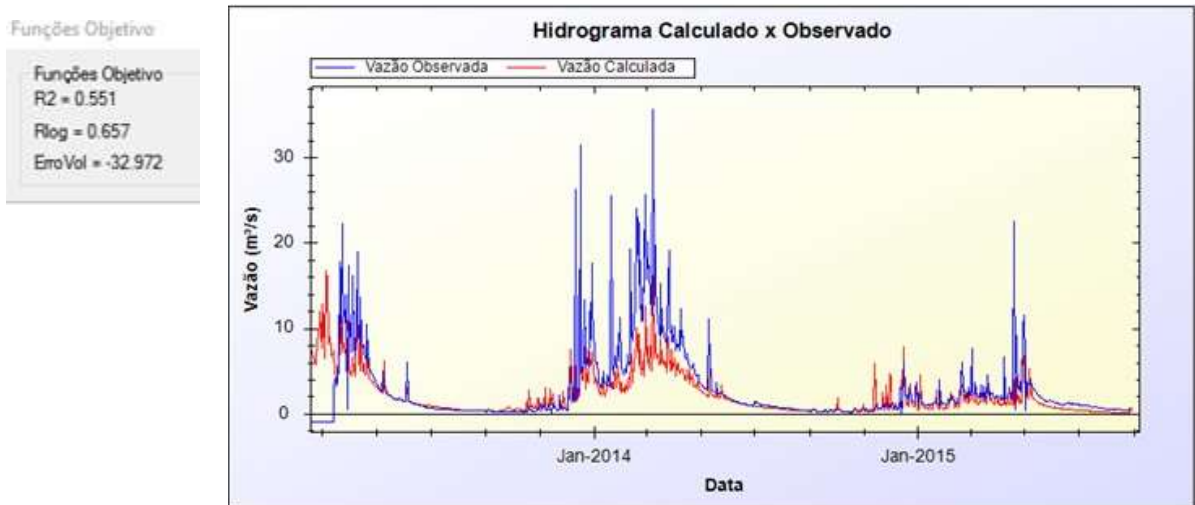
Funções Objetivo  
R2 = 0.422  
Rlog = 0.477  
ErroVol = -34.569



**Figura 23:** Hidrograma calculado e observado para a bacia 5 – Baixo Taquaruçu Grande - BTG.



**Figura 24:** Hidrograma calculado e observado para a bacia 6 – Baixo Taquaruçu Pequeno - BTP



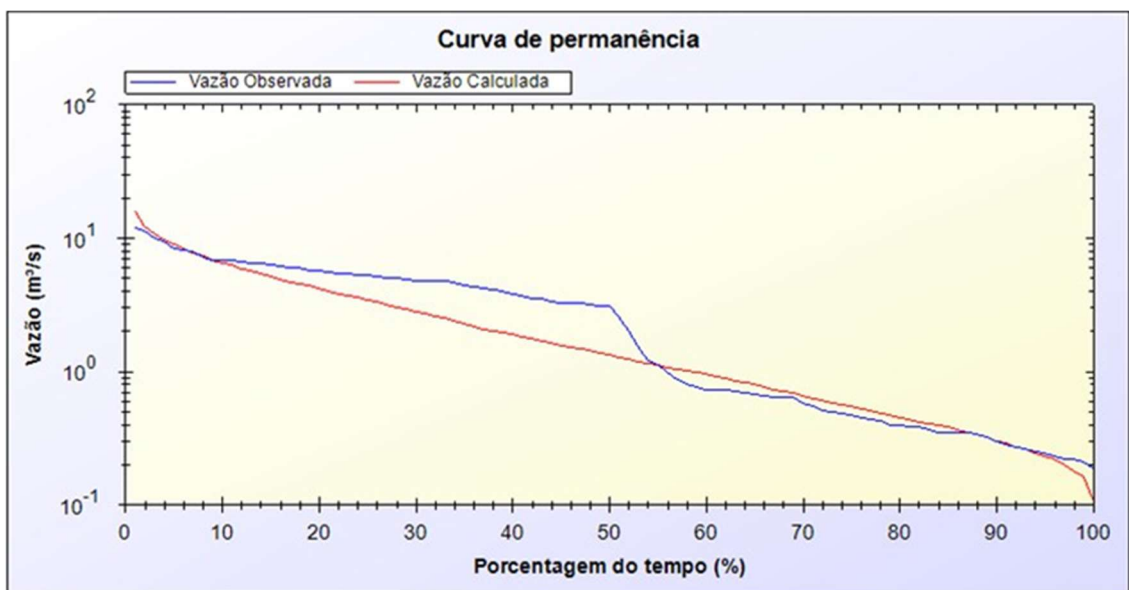


Os hidrogramas simulados representam a alternância de períodos de cheia e estiagem devido à forte sazonalidade da precipitação, comportamento característico da região. Vários postos pluviométricos possuem séries de dados curtas e com muitas falhas, nesse caso o máximo que se pode esperar é que os valores simulados e observados não sejam exatamente iguais.

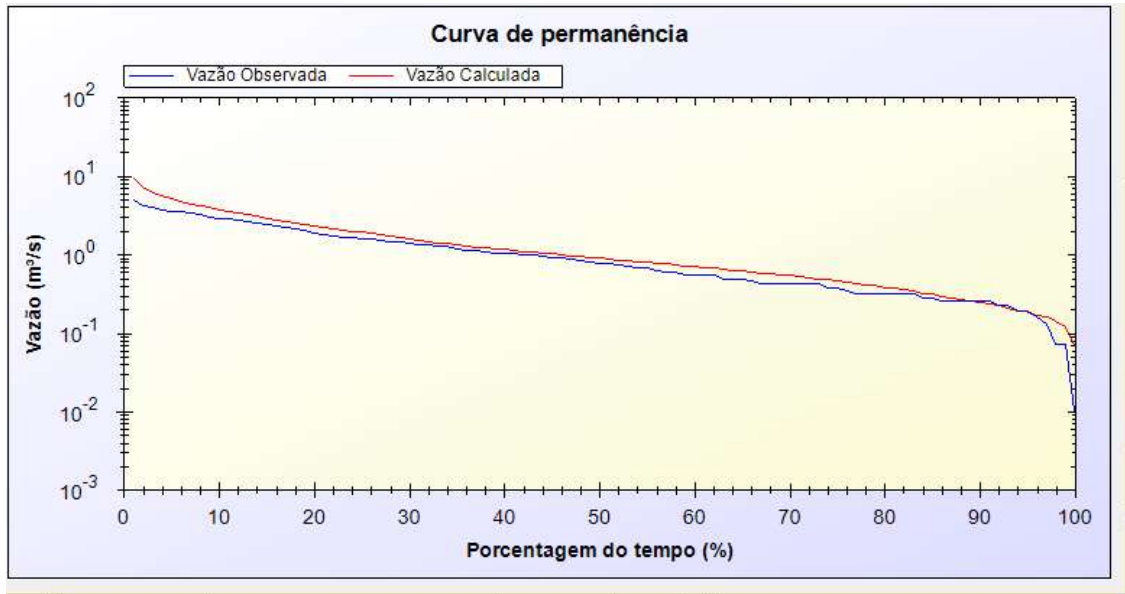
Segundo Collischonn (2001) como o uso dos resultados do modelo está associado à avaliação de disponibilidade hídrica, a solução que melhor representa são as curvas de permanência que vão relacionar o valor de vazão com a porcentagem de tempo em que é igualado ou ultrapassado, identificando a probabilidade de cheia e de estiagem e permitindo uma estimativa da disponibilidade.

As curvas de permanência das vazões calculadas e observadas pelo modelo hidrológico para as bacias, conforme figura 26 a 30 mostram um ajuste bom (ATG, ANA) razoável (MTP, BTG e BTP).

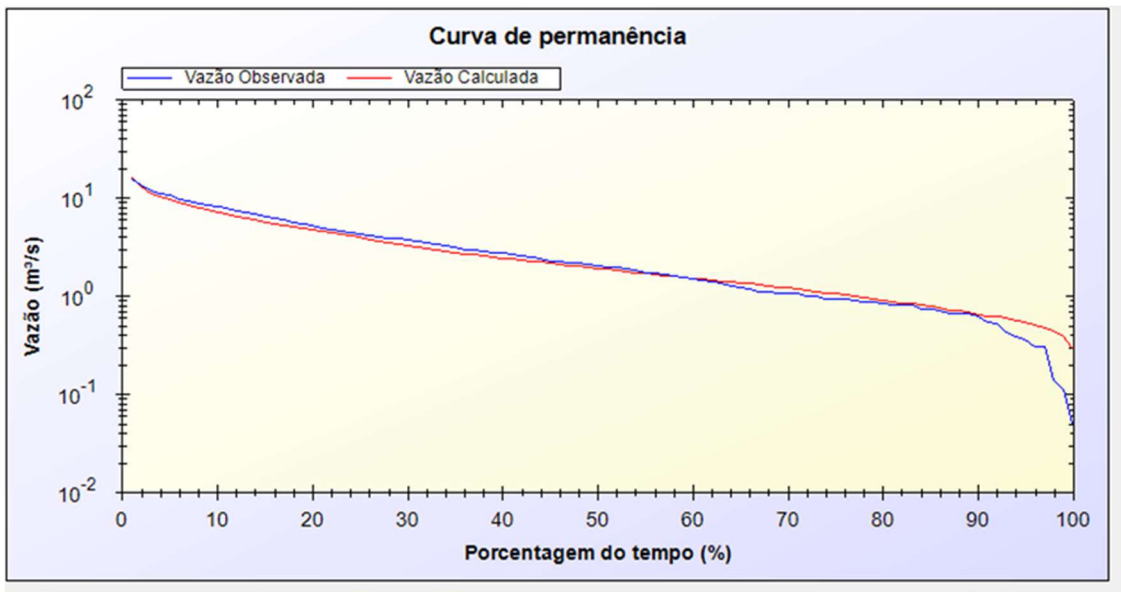
**Figura 25:** Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 1– MTP.



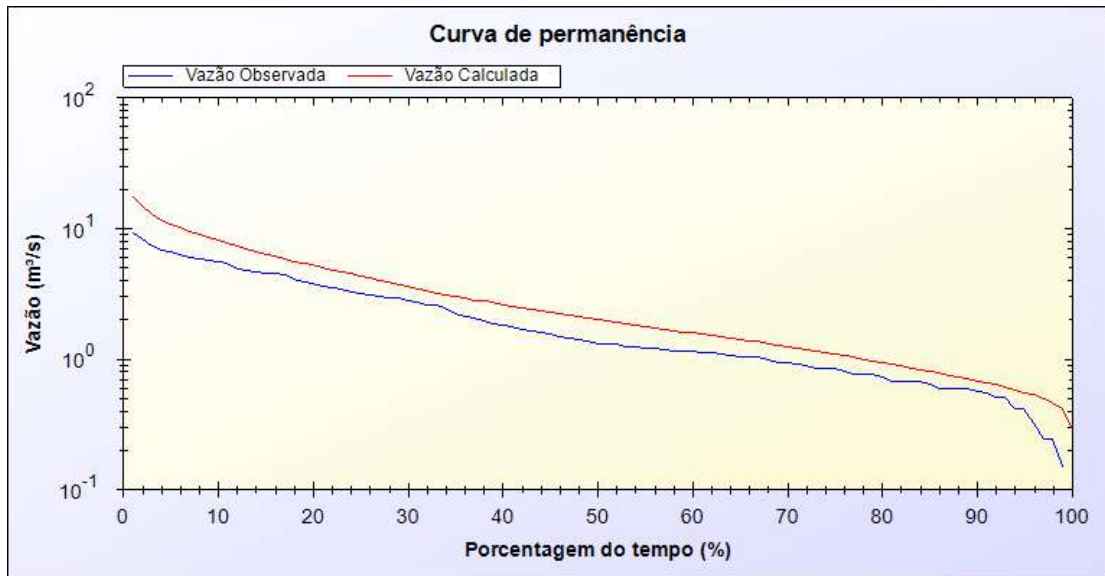
**Figura 26:** Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 2 – ATG



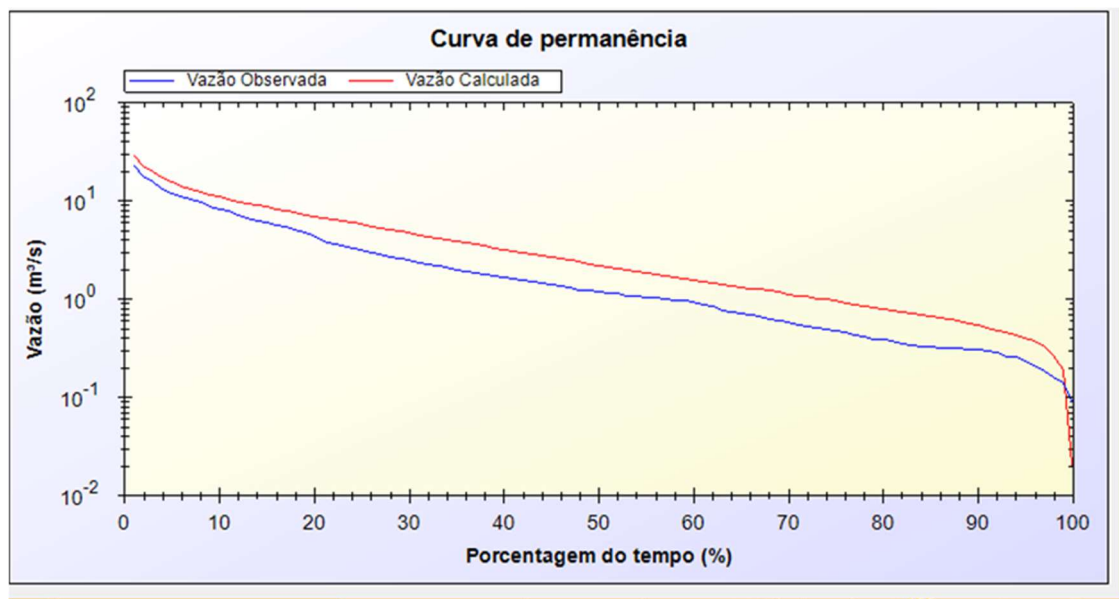
**Figura 27:** Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 4 – ANA.



**Figura 28:** Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 5 – BTG.



**Figura 29:** Curva de permanência de vazões observadas e calculadas para a bacia 6 – BTP.



Observa-se que nas curvas de permanência as vazões de cheia ficaram bem representadas, nas vazões mais frequentes e nos períodos de estiagem ocorreram variações e os erros são pequenos, o que mostra um desempenho considerado bom por meio do ajuste entre as vazões observadas e simuladas.

Ressalta-se que a dificuldade do modelo em simular as vazões não pode ser atribuída única e exclusivamente a sua concepção, pois a área da bacia é pequena levando em consideração que a ferramenta representa grandes bacias, contudo os resultados obtidos indicaram que a parametrização do modelo mostrou-se adequada para a bacia do Ribeirão Taquaruçu, onde se obteve resultados satisfatórios ao se avaliar a potencialidade do modelo na geração de informações de vazão em pontos monitorados da bacia. Esses valores corroboram com estudos anteriores em outras bacias (Collischonn, 2001; Ribeiro Neto, 2006) mostrando que os resultados obtidos nesses estudos não foram melhores que os obtidos na bacia analisada.

## **4.6 RESULTADOS E APLICAÇÃO DO SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO - SAD-IPH**

### **4.6.1 Modelagem Quantitativa**

Para essa modelagem configurou-se o ambiente no software Mapwindow inserindo a rede de drenagem com a demanda acumulada de montante para jusante em toda a bacia e os resultados da disponibilidade hídrica em cada trecho, cujos valores foram obtidos por meio do modelo MGB-IPH, e as microbacias. A identificação das demandas hídricas por usuários foi desenvolvida, explicitando as vazões/volumes captados e suas localizações, bem como os regimes de demanda. O aplicativo cria propriedades gráficas (layers) para as retiradas, onde são inseridos os valores previamente organizados em planilhas das demandas identificadas.

Os valores de demandas hídricas contemplam tanto as retiradas consideradas pontuais no modelo, como o abastecimento público urbano, piscicultura, recreação, serviços, uso industrial, como também as retiradas difusas, onde não há uma referência exata do ponto de captação, porém sabe-se da delimitação onde a mesma ocorre, como é o caso do uso de água para irrigação, pecuária e abastecimento rural.

Em uma tabela foram inseridos os valores de demandas hídricas por captação direta de água onde cada um desses usos representam um cenário totalizando 9 cenários, conforme figura 31.

**Figura 30:** Dados dos usuários de água da bacia inseridos no modelo.

Nome	long	lat	tipo	fonte	abast_rur	abast_urb	des_anl	psi	recrea	serv	indust	irrig	total
1	-48,155	-10,214,722	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-48,122,888	-10,289,277	1	1	0.000014	0	0.00002	0	0	0	0	0	0.000034
3	-48,305,555	-10,260,833	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
4	-48,238,611	-10,254,722	1	1	0.000024	0	0	0	0	0	0	0	0.000025
5	-4,816,777	-10,209,722	1	1	1	0	0	0.000005	0	0	0	0	0.000005
6	-48,116,111	-10,350,555	1	1	0.000017	0	0.000028	0	0	0	0	0	0.000045
7	-48,145,638	-10,327,194	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
8	-48,152,222	-10,235,833	1	1	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0.00001
9	-48,213,611	-10,240,555	1	1	0.00001	0	0.000001	0	0	0	0	0	0.000011
10	-48,270,972	-10,297,472	1	1	0.000035	0	0.000019	0	0	0	0	0	0.000054
11	-48,201,388	-10,220,555	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	-48,199,722	-10,225,833	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	-48,156,944	-10,215,833	1	1	0.00001	0	0	0	0	0	0	0	0.00001
14	-48,315,389	-10,280,907	1	1	1	0	0	0	0	0.000003	0	0	0.000003
15	-4,813,644	-10,303,458	1	1	1	0.014	0	0	0	0	0	0	0.014
16	-48,297,052	-10,290,678	1	1	1	0.7	0	0	0	0	0	0	0.7
17	-48,143,638	-10,326,555	1	1	0.000003	0	0	0	0	0	0	0	0.000003
18	-48,109,861	-1,032,375	1	1	0.000017	0	0.000097	0	0	0	0	0	0.000115
19	-48,205,277	-102,175	1	1	0.00001	0	0.000007	0	0	0	0	0	0.000017
20	-48,158,055	-10,216,944	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014
21	-48,228,333	-10,320,833	1	1	0.000014	0	0.000072	0	0	0	0	0	0.000086
22	-48,126,527	-10,326	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	-481,425	-10,320,388	1	1	0.000024	0	0.000001	0	0	0	0	0	0.000025
24	-48,246,666	-10,256,111	1	1	0.000017	0	0.000004	0	0	0	0	0	0.000022
25	-48,208,611	-10,216,111	1	1	0.000014	0	0	0	0	0	0	0	0.000014

**Sendo:**

abast\_rur: Abastecimento rural;

abast\_urb: Abastecimento urbano;

psi: Piscicultura;

recrea: Recreação;

Serv.: Serviço;

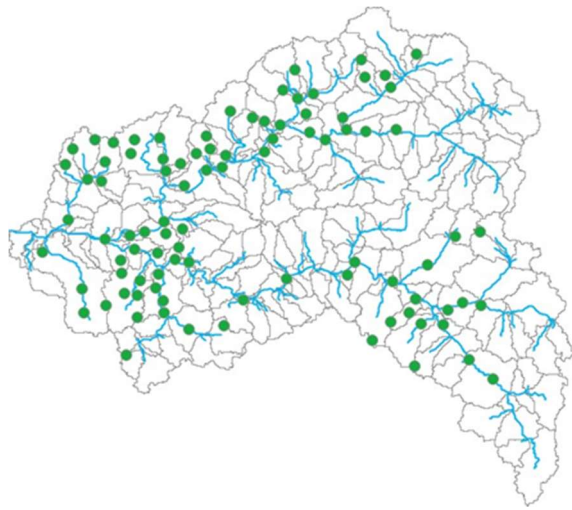
indust.: Indústria;

irrig.: Irrigação.

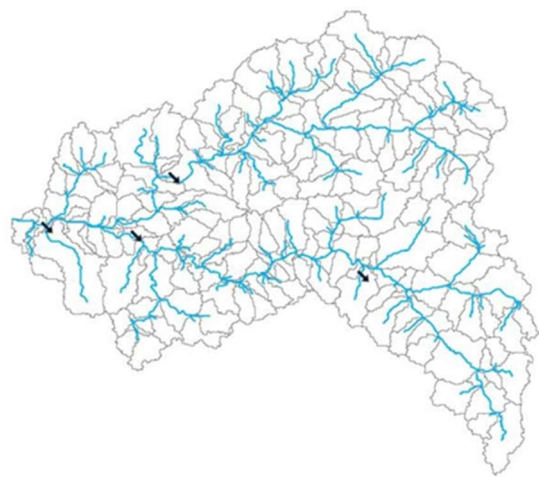
Após essa configuração, na aba simular no modelo quantitativo é visualizado os resultados por meio de mapas, onde:

- (a) Os pontos verdes são usuários que retiram água dos rios
- (b) As setas na cor preta representam os lançamentos pontuais,
- (c) Os pontos de monitoramento.
- (d) As cores representam a relação entre demanda e oferta de água, denominado comprometimento da vazão (azul: baixíssimo comprometimento; amarelo: baixo comprometimento; laranja: médio comprometimento; vermelho: alto comprometimento; preto: demanda acumulada é maior do que a oferta), conforme figura 32.

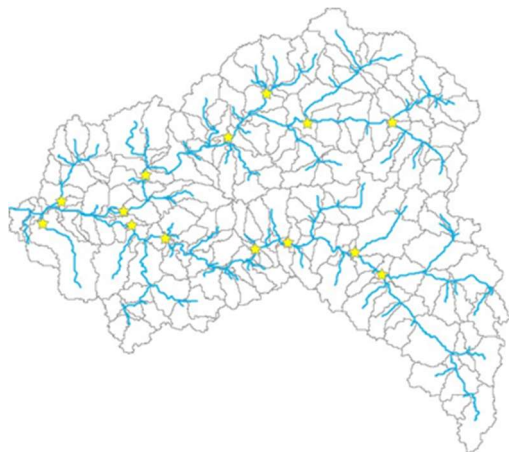
**Figura 31: Forma de representação**



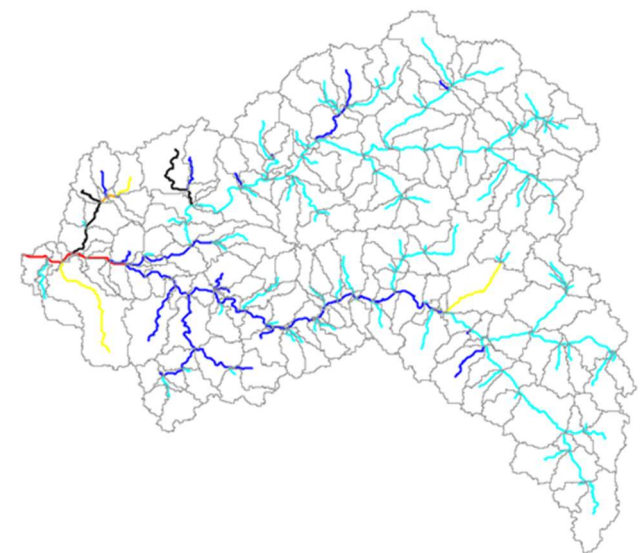
(a)



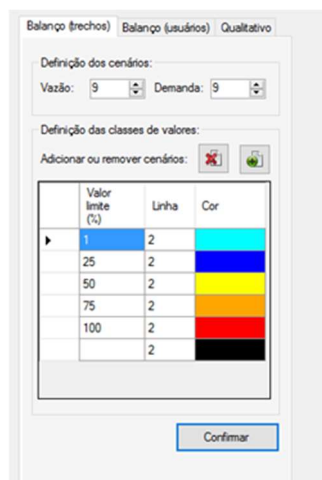
(b)



(c)



(d)

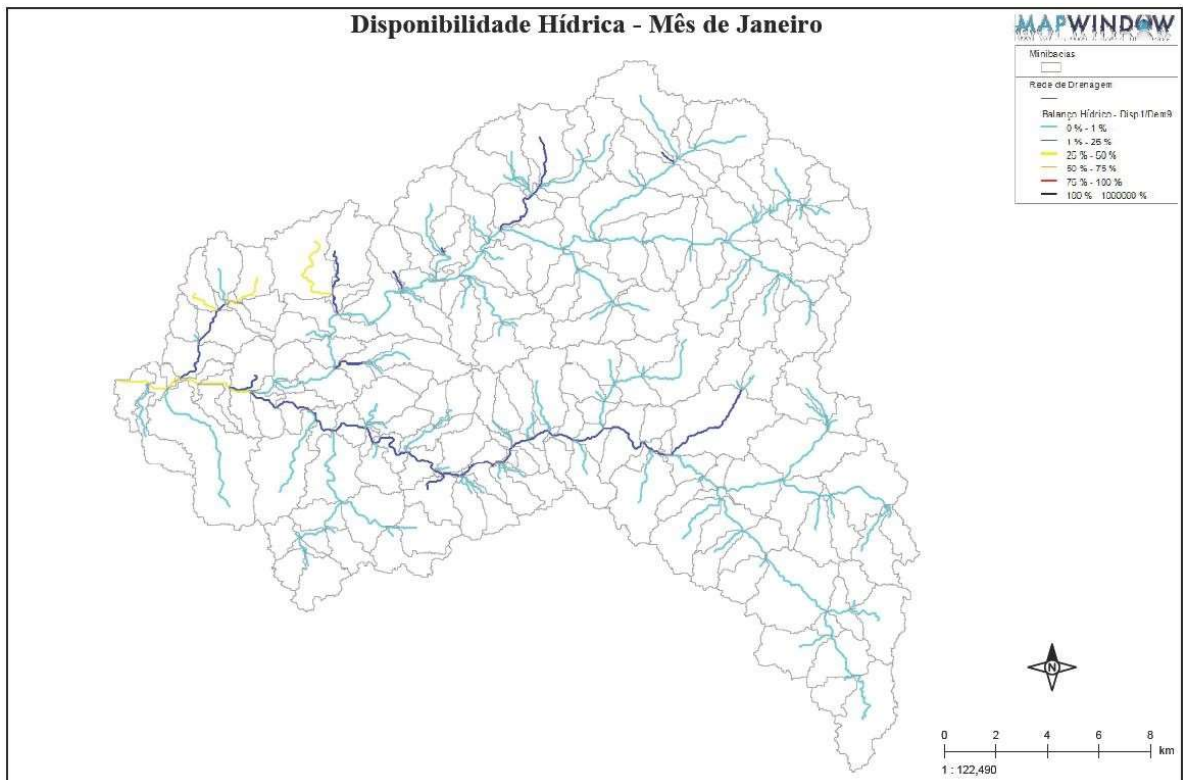


Legenda

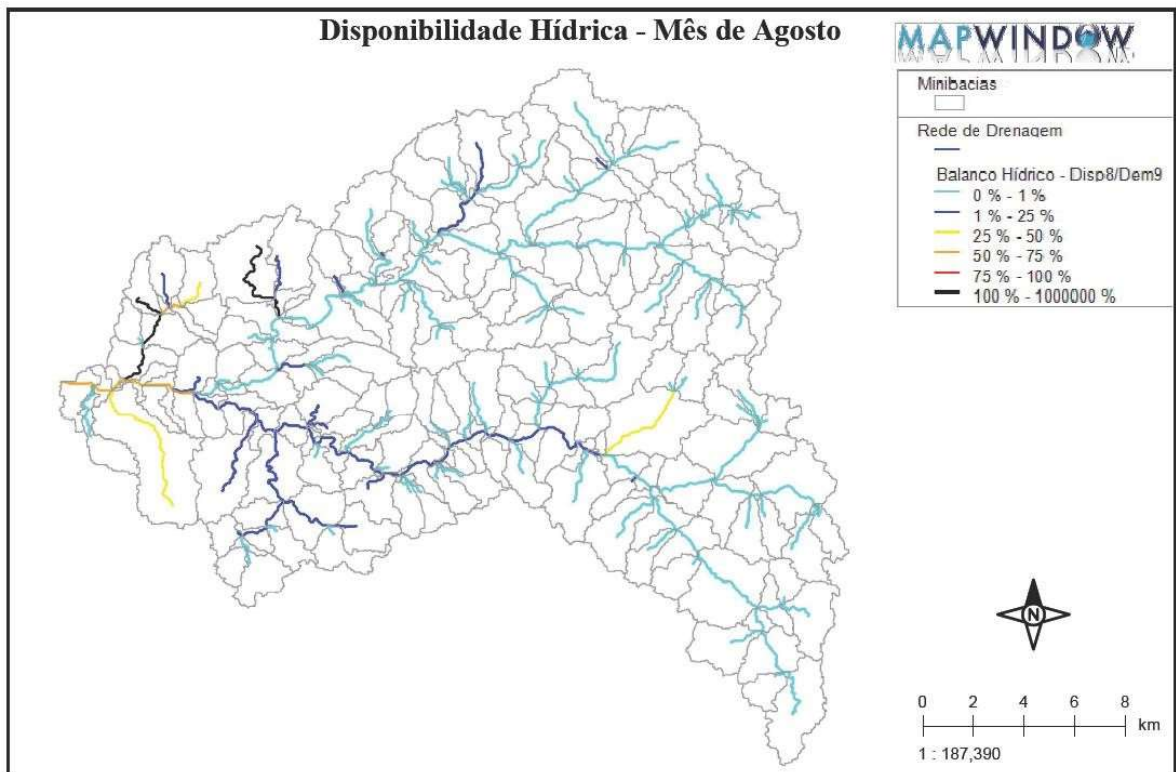
A possibilidade de gerar mapas ilustrativos do comprometimento da disponibilidade de água existente sobre a rede de drenagem é uma das principais potencialidades do SAD-IPH, onde para cada trecho de rio é realizada uma comparação entre a vazão disponível e a vazão total de demanda dos usos.

Para o estabelecimento do balanço entre disponibilidades e demandas, simulou-se os meses de janeiro, agosto e novembro, definindo como cenário de vazão a Q90 e o somatório das demandas identificadas na bacia. Nos meses de janeiro e novembro (simulação em período chuvoso) e agosto em condição de estiagem, verificou-se trechos de comprometimento de disponibilidades de hídricas, bastante significativos, principalmente nas áreas urbanas da bacia, conforme figuras 33 a 45.

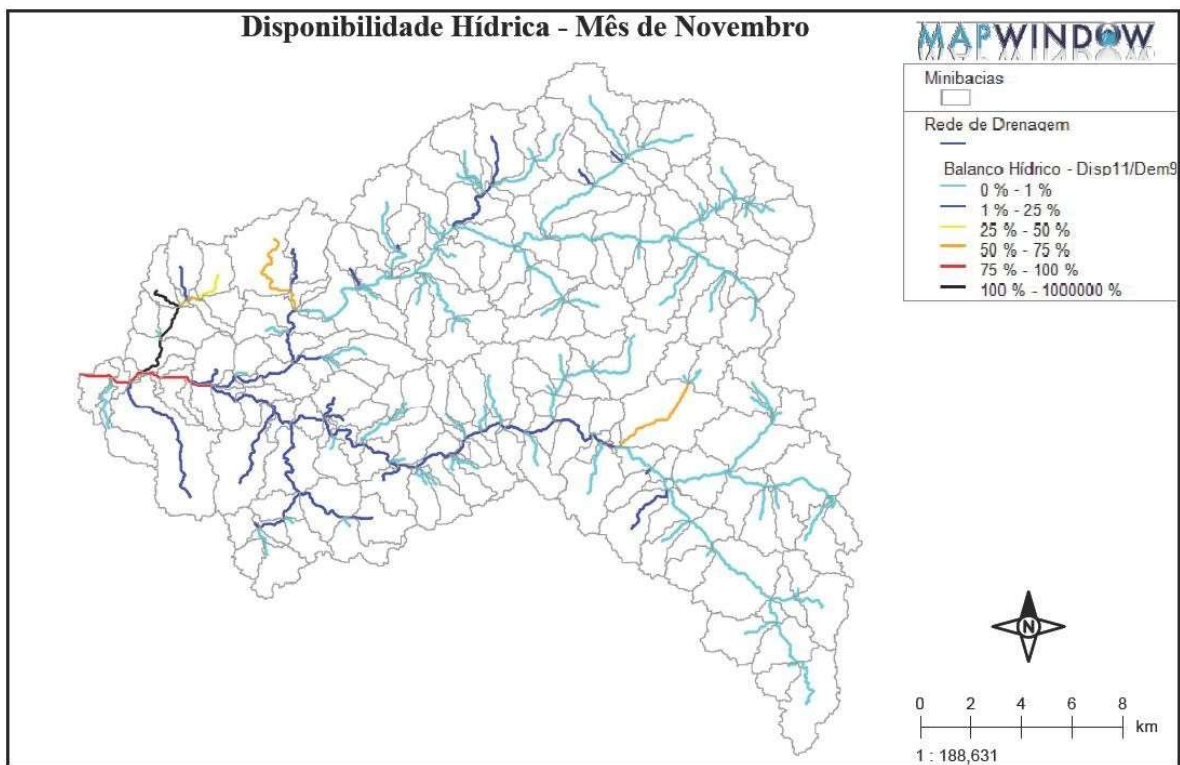
**Figura 32:** Disponibilidade hídrica do mês de janeiro com relação ao somatório das demanda (total).



**Figura 33:** Disponibilidade hídrica do mês de agosto com relação ao somatório das demandas (total).



**Figura 34:** Disponibilidade hídrica do mês de novembro com relação ao somatório das demandas (total)





As comparações entre as disponibilidades hídricas e as demandas de água, ao longo do ano (em termos mensais) permite avaliar o grau de comprometimento dos recursos hídricos em termos de atendimento às necessidades pretendidas identificando situações reais, potenciais de escassez e falha no atendimento para essas demandas.

O que se observou é que os resultados mostram certa folga de disponibilidade, embora já sejam evidenciados trechos em que a criticidade hídrica se apresenta alta, principalmente como já foi identificado na parte urbana da bacia.

As análises dos mapas apontam um aumento considerável na criticidade hídrica em certos pontos, demonstrando que o modelo pode ser uma ferramenta bastante útil para a proposição de alternativas de acréscimo da disponibilidade hídrica nesses locais. O balanço hídrico da bacia serve de subsídio para a definição de critérios de repartição das águas para a emissão das outorgas na bacia do Ribeirão Taquaruçu.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho centrou esforços em atingir o objetivo geral apresentando os procedimentos para a elaboração de um modelo hidrológico de referência afim de se avaliar o comportamento hídrico da bacia hidrográfica do Ribeirão Taquaruçu Grande, em Palmas – Tocantins, utilizando como ferramenta para a gestão desse recurso o modelo matemático MGB-IPH.

Para tal finalidade foi necessário executar cinco estratégias: levantar as informações para a elaboração do diagnóstico e prognóstico, da Bacia do Ribeirão Taquaruçu – TO; aplicar os modelos matemáticos: MGB-IPH para a modelagem da bacia e por fim apresentar a avaliação do comportamento hidrológico obtido pelo modelo. Essas estratégias foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

Nesse importante cenário de planejamento e inter-relação dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, abordando aspectos decisórios relevantes, a proposta volta-se para:

A elaboração do diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia, a identificação da atual situação do uso e ocupação do solo e uso dos recursos hídricos foi possível.

A utilização de softwares livres e bancos de dados geográficos disponíveis podem subsidiar os órgãos públicos e privados, na elaboração de mapas, que aumentem a precisão dos levantamentos de campo, na determinação de pontos de monitoramento de quantidade de água, sem demandar em custos com licenças.

A discretização de bacia hidrográfica fornecida por meio da ferramenta MGB-IPH e a modelagem com o *Mapwindows* auxiliou na elaboração da avaliação dos cursos de água da bacia em estudo.

Foi possível então ajustar e aplicar satisfatoriamente o modelo hidrológico MGB-IPH obtendo resultados bem semelhantes a outras bacias hidrográficas, embora a bacia de estudo seja de porte diferente e com características climáticas globais distintas.

Os resultados dos hidrogramas e curvas de permanência atestaram a aplicabilidade do modelo MGB-IPH como ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos para a bacia do Ribeirão Taquaruçu.

A tomada de decisão por meio de ferramentas de modelagem matemática com o objetivo de avaliação de cursos de água é possível e satisfatória.

- Os usos dos recursos hídricos da bacia estão dentro dos parâmetros usuais de utilização;
- Todos os trechos dos cursos d'água da bacia foram enquadrados;

- Esta avaliação poderá orientar os licenciamentos, as outorgas e a cobrança pelo uso d'água na bacia.

A escolha das alternativas de conformação implicou em estabelecer tipos de intervenções como, por exemplo: programas de recuperação de mata ciliar; execução de barramentos para abastecimento de água e regularização de vazões; implantação de dispositivos de coleta e armazenamento de águas pluviais na área rural, entre outros para que se possa atuar sobre o uso e ocupação do solo e o aumento da oferta de disponibilidade hídrica.

Percebeu-se que muito pode ser feito para a melhoria da qualidade dos dados utilizados nas simulações e que a boa qualidade dos dados de entrada do modelo é essencial para a obtenção de bons resultados nas simulações.

### Recomendações

A realização de campanhas de educação ambiental para as famílias que moram às margens do ribeirão Taquaruçu, a fim de minimizar os impactos provocados ao corpo d'água e o reflorestamento das margens dos córregos da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, a fim de proteger os mananciais e garantir sua preservação; Mais rigor com relação à fiscalização por parte dos órgãos de fiscalização, a fim de punir os responsáveis por possíveis danos causados aos corpos d'águas que compõem a sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. Superintendência de Recursos Hídricos. **A região hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**. Brasília, 2006. Disponível em:

<[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao02032011035943.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao02032011035943.pdf)>

Acesso em: 14 de setembro de 2017

Barros, E. K. E. **Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação do conflito de uso da terra na bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, Palmas – TO**. Monografia. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2007.

Bonatto, G. **Usos da terra e produção de sedimentos nas microbacias do Ribeirão Taquaruçu Grande, contribuinte do reservatório da UHE Lajeado, Tocantins**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. (1997). Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a política nacional de recursos hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Lex: Diário Oficial da União. Seção 1, p. 470. Brasília, 09 de janeiro 1997.

CARMO, M. C. do. **Análise Espacial e Temporal dos Usos da Água: O Caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Taquarussu Grande, Palmas - TO**. Monografia. Curso de 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 Jundiaí**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

COSTA, C. A. M. **Aplicabilidade de Modelos Matemáticos Para Elaboração de Cenários de Enquadramentos de Corpos Hídricos: O Caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas –**

TO. 150 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental-Universidade Federal do Tocantins - UFT), Palmas - To, 2016.

COSTA, T., LANÇA, R., **CONDUTOS LIVRES**. Cap. IX. Escola de Tecnologia/Universidade do Algarve. FARO, 2001

Figuera, D. R. **A efetividade do projeto de cidade ecológica de Palmas –TO pelos seus espaços verdes**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2005.

GERENCIA DE INFORMAÇÕES URBANÍSTICAS E GEORREFERENCIAMENTO – **SIG. MAPA DO USO DO SOLO E DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO**. Prefeitura Municipal de Palmas, 2003.

Guarda, S. D. M. **Expansão urbana do entorno do Lago do município de Palmas – TO (1990, 1993, 1999, 2002, 2005): monitoramento por dados de Sensoriamento Remoto**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Brasil - Bacias Hidrográficas - 2000. Departamento de Cartografia (DECAR)**. Documento publicado em CD-ROM, 2000.

NAGHETTINI, MAURO. **Hidrologia estatística**. / Mauro Naghettini; Éber José de Andrade Pinto. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 5

NETO, A. R. S. (2011). **Cenário de abastecimento Futuro de Palmas – To com Base na Simulação da Disponibilidade hídrica do Ribeirão Taquaruçu Grande**. Dissertação (Mestrado em recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

PALMAS (TO). 2014. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas. Volume III: Drenagem Urbana.**

SANEATINS - Companhia de Saneamento do estado do Tocantins. **Diagnóstico socioeconômico e ambiental da Sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande.** Perspectivas para a tomada de decisões. Palmas, 2007.

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.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balances hídricos climatológicos do Brasil: 500 balances hídricos de localidades brasileiras.** Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações / Editores Alexandre Schiavetti, Antônio F. M. Camargo. - Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 293p.: il.

SEPLAN (2012). **Atlas do Tocantins: subsídio ao planejamento da gestão territorial.** Palmas – TO: SEPLAN.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

TUCCI C. & MENDES, A.C. 2006. **Avaliação ambiental integrada de bacia.**

TUCCI, Carlos E. M. 2005. **Modelos Hidrológicos.**

VILLELA, S.M. e MATTOS, A., **Hidrologia Aplicada,** McGraw-Hill, São Paulo - SP, 1975.