



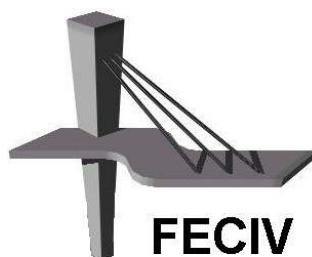
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DO
APROVEITAMENTO HÍDRICO SUPERFICIAL NO
ALTO CURSO DO RIO UBERABA, UPGRH-GD8**

EMILIANO SILVA COSTA

UBERLÂNDIA, 02 DE JUNHO DE 2015



**FACULDADE DE
ENGENHARIA CIVIL**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Emiliano Silva Costa

**ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO
HÍDRICO SUPERFICIAL NO ALTO CURSO DO RIO
UBERABA, UPGRH-GD8**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla

Uberlândia, 02 de junho de 2015

Dados Internacional da Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Edson Nunes Cardoso – FUCAMP, MG, Brasil.

C837e
2015

Costa, Emiliano Silva, 1989-
Estudo de otimização do aproveitamento hídrico superficial no
alto curso do rio Uberaba UPGRH – GD8 / Emiliano Silva Costa. - 2015.
169 f.: il.

Orientador: Marcio Ricardo Salla.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Recursos hídricos - Teses. 2. Bacia hidrográfica - Rio Uberaba -
Teses. 3. Aproveitamento hídrico - Teses. I. Salla, Marcio Ricardo.
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 911.2



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 142/2015

CANDIDATO: Emiliano Silva Costa

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla

TÍTULO: "Otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, UGRH-GD8"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Recursos Hídricos e Saneamento

DATA DA DEFESA: 02 de junho de 2015

LOCAL: Sala de Projeções da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 14:15h / 16:50h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis – Centro Tecnológico/UFES**

Membro interno: **Prof. Dr. André Luiz de Oliveira – FECIV/UFU**

Uberlândia, 02 de junho de 2015.

À Deus, por ter me dado força, sabedoria e inteligência.
Aos meus pais, pelo amor, carinho e compreensão. Sem
você não seria possível chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir que meus sonhos se realizem, por tudo que coloca em meu caminho e contribui para meu crescimento e por me dar forças para superar os momentos de dificuldade.

Aos meus pais Neimar e Joaquim, por ser a base de tudo em minha vida. Por todo amor, carinho, atenção e compreensão. Pelo incentivo em buscar meus sonhos, sei que com vocês posso contar sempre. Sem vocês não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Marcio Ricardo Salla pela proposta de realização deste trabalho, pela atenção, dedicação e paciência. Agradeço pelos conselhos e por me incentivar a sempre querer ir mais longe.

Ao Prof. José Eduardo Alamy Filho, pelas inúmeras dicas durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Marcio Schmidt, Prof^a. Nágela Aparecida e Prof. Carlos Eugênio, pelos conselhos e pela prestatividade durante o mestrado.

Às minhas eternas amigas Patrícia, Jaciane e Larisse por tudo que passamos juntos, pelas inúmeras ajudas em algumas etapas deste trabalho, pelas palavras amigas nas horas de aflição e por dividir comigo os momentos bons, momentos estes que ficarão guardados para sempre. Com vocês tudo valeu a pena.

À Aline pela companhia, pelos momentos de descontração e pela amizade. E a todos os amigos de mestrado.

Ao pessoal do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU) pelas informações fornecidas.

À Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro pelas informações fornecidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, por fornecer o apoio necessário para realização deste trabalho.

À todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho.

*“O impossível existe até
que alguém duvide dele e prove o contrário.”*

Albert Einstein

COSTA, E. S. *Estudo de otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, UPGRH-GD8*. 2015. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RESUMO

Os recursos hídricos sempre foram de fundamental importância para a sobrevivência das espécies. No decorrer do tempo, esses recursos passaram a ter maior importância devido ao desenvolvimento econômico do Brasil e do mundo, com a multiplicidade em seus usos, como por exemplo, o abastecimento público, irrigação de culturas, geração de energia, dessedentação de animais, entre outros. A fim de minimizar a pressão sobre os recursos hídricos, instrumentos de gestão vêm sendo desenvolvidos para apoiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos a nível de bacia hidrográfica. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar alternativas de otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, pertencente a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Baixo Rio Grande - UPGRH GD8. No estudo da disponibilidade hídrica verificou-se que a substituição da base de cálculo da vazão $Q_{7,10}$ anual para mensal apresentou aumento da vazão disponível para a maior parte do ano, sendo o mais significativo no mês de fevereiro, com 2.488% de aumento na disponibilidade hídrica, enquanto o mês de outubro apresentou 47,22% a menos na disponibilidade hídrica quando comparado com a $Q_{7,10}$ anual. Dentre os critérios para concessão de outorga estudados, o critério de 50% da $Q_{7,10}$ mensal apresentou maior aumento na disponibilidade hídrica. Quanto ao balanço hídrico realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) por meio da ferramenta AQUATOOL, no período de 2004 a 2014, os resultados confirmaram a necessidade de implantação de um reservatório de acumulação para suprir o déficit no abastecimento público da cidade de Uberaba - MG. Visto isso, para dar início às simulações, o reservatório foi instalado a montante do atual sistema de captação a fio de água existente, visando reduzir os efeitos das atividades antrópicas, de modo que seu dimensionamento resultou em um volume de 2,146 hm³ para atender uma vazão de abastecimento de 1,334 m³/s estimada para o horizonte de crescimento populacional de 30 anos. Após a locação e dimensionamento do reservatório de acumulação, para o mesmo

período de 2004 a 2014, foram simulados dois cenários para verificação da variação do volume reservado, do déficit de abastecimento público e da vazão residual a jusante do reservatório. No Cenário 1 foi considerado apenas a outorga atualmente cadastrada junto ao IGAM e o cancelamento da transposição de água do rio Claro, enquanto que no Cenário 2 foi considerado, como vazão outorgada, a máxima disponibilidade em cada sub-bacia hidrográfica pertencente à APA. Ambos os cenários apresentaram variação em seu volume no decorrer do período simulado, porém mostraram-se favoráveis ao suprimento do déficit no abastecimento público, permitindo o descarte do atual sistema de transposição de água do rio Claro para o rio Uberaba. Quanto ao residual a jusante do reservatório, os dois cenários não atenderam a legislação nos anos de 2013 e 2014, sendo que os mesmos não garantiram um residual de 50% da $Q_{7,10}$. De uma forma geral, a ferramenta AQUATOOL apresentou resultados satisfatórios nos estudos realizados na APA e que poderão auxiliar os órgãos gestores desta área na tomada de decisões.

Palavras-chave: Otimização do aproveitamento hídrico. Modelagem hidrológica. Sistema para Suporte à Decisão. Ferramenta AQUATOOL. Vazão de referência. Rio Uberaba.

COSTA, E. S. *Optimization study of surface water use in the upper course of the Uberaba river, UPGRH-GD8*. 2015. 169pp. MSc Dissertation, Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2015.

ABSTRACT

The water resources have always been of fundamental importance for the survival of the species. Over time, these resources have gained greater importance due to the economic development of Brazil and the world, with the multiplicity of its uses, for example public supply, crop irrigation, power generation, watering livestock, among others. In order to minimize the pressure on water resources, management tools have been developed to support the planning and management of water resources within the watershed. Therefore, this study aimed to explore alternatives optimization of surface water use in the upper reaches of the Uberaba river, belonging to Unit Planning and Management of Water Resources in the Baixo Rio Grande - UPGRH GD8. In the study of the availability of water it was found that the replacement of the annual flow $Q_{7,10}$ monthly basis for calculation showed increased flow available for most of the year, the most significant being in the month of February, 2488% increase in water availability, while the month of October showed 47.22% less water availability compared with the annual $Q_{7,10}$. Within the criteria for granting study grants, the criterion of 50% of the monthly $Q_{7,10}$ showed the highest increase in water availability. The water balance held in the Environmental Protection Area (APA) through AQUATOOL tool, from 2004 to 2014, the results confirmed the need to implement an accumulation reservoir to meet the deficit in the public water supply of the city of Uberaba - MG. Seen it, to start the simulation, the reservoir was installed upstream of the current collection system existing trickle, to reduce the effects of human activities, so that their design resulted in a volume of 2.146 hm³ to answer a flow supply of 1.334 m³ / s estimated for the horizon of population growth 30 years. After the location and sizing of the accumulation reservoir, for the same period 2004 to 2014 were simulated two scenarios to verify the variation of the reserved volume, the public supply deficit and residual flow downstream of the reservoir. In Scenario 1 it was considered only the currently registered with the grant IGAM and cancellation of water transposition of the river course, while in Scenario 2 was considered as granted flow,

maximum availability in each sub-basin belonging to APA. Both scenarios presented variation in volume during the simulated period, but were favorable to the supply deficit in the public supply, allowing the disposal of current river water transposition system Claro river to Uberaba river. As for the residual downstream of the reservoir, the two scenarios did not meet the legislation in the years 2013 and 2014, and they did not guarantee a residual 50% of $Q_{7,10}$. In general, the AQUATOOL tool achieved satisfactory results in studies conducted in the APA and that can assist management bodies in this area in decision-making.

Keywords: Optimization of water use. Hydrologic modeling. System for decision support. AQUATOOL tool. Reference flow. Uberaba river.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

ΔZ	- Diferença de cota (m)
A	- Área da bacia hidrográfica (L^2), no modelo HBV
A_a	- Contribuições difusas no perímetro do reservatório ($hm^3/mês$)
$A_{afluente\ i}$	- Área de contribuição do afluente i (km^2)
A_e	- Contribuições pontuais ($hm^3/mês$)
A_i	- Área de contribuição da sub-bacia i (km^2)
$A_{inundada}$	- Área a ser inundada (ha)
A_{sub}	- Área interfacial entre a região não saturada e a saturada (L^2), no modelo Témez
A_{total}	- Área total de contribuição da estação fluviométrica (km^2)
C	- Fator adimensional que permite obter um valor limite de precipitação inicial P_0 a partir do déficit de umidade do solo, no modelo Témez
$^{\circ}C$	- Graus Celsius
DR	- Diferença relativa (%)
E	- Perdas por evaporação (L^3/T)
ET_{real}	- Evapotranspiração real (L^3/T)
ETP	- Evapotranspiração (L^3/T)
F_1	- Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS)
F_2	- Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe da transformação logarítmica da vazão ($\ln NS$)
F_3	- Coeficiente de correlação de Pearson
F_4	- Medida simétrica do ajuste entre a simulação média e a observada média
FC	- Máxima capacidade de armazenamento do solo (L), no modelo HBV
f_{ij}	- Fator de ponderação, no qual toma um valor igual a $1/d_{ij}^2$, nomeado como inverso do quadrado da distância
H	- Armazenamento do solo (L^3), no modelo Témez
H_0	- Armazenamento do solo (L^3), no modelo Témez

$H_{m\acute{a}x}$	- Capacidade máxima de armazenamento do solo (L), no modelo Tmez
I	- Infiltração (L), no modelo Tmez
$I_{m\acute{a}x}$	- Infiltração máxima (L), no modelo Tmez
K	- Fator de frequência
k_0	- Coeficiente de escoamento superficial (1/T), no modelo HBV
k_1	- Coeficiente de escoamento subsuperficial (1/T), no modelo HBV
$k_{1consumo}$	- Coeficiente do dia de maior consumo
k_2	- Coeficiente de escoamento de base (1/T), no modelo HBV
k_{perc}	- Coeficiente de percolação (1/T), no modelo HBV
$L_{m\acute{a}x}$	- Limite máximo de fluxo subsuperficial (L), no modelo HBV
M	- Magnitude do evento para o período de retorno estabelecido
n	- Número de meses da calibração
P	- Precipitação (L)
P_f	- Perdas por infiltração (L ³ /T)
P_i	- Valor de precipitação no centroide da APA
P_j	- Precipitação na estação vizinha j
Pop	- População estimada para o final do projeto (hab)
Pop_1	- População inicial do período estudado (hab)
Pop_2	- População final do período estudado (hab)
P_0	- Precipitação inicial (L), no modelo Tmez
P_{ef}	- Precipitação efetiva (L), no modelo HBV
PWP	- Parâmetro de saturação do solo, no modelo HBV
q	- Consumo médio <i>per capita</i> (l/hab.dia)
Q	- Vazão de escoamento (m ³ /s)
Q_0	- Escoamento superficial (L ³ /T), no modelo HBV
Q_1	- Escoamento subsuperficial (L ³ /T), no modelo HBV
Q_2	- Escoamento de base (L ³ /T), no modelo HBV
$Q_{7,10}$	- Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de recorrência de 10 anos
$Q_{7,10 \text{ \textit{alto curso do rio Uberaba}}}$	- Vazão $Q_{7,10}$ obtida no alto curso do rio Uberaba (m ³ /s)
$Q_{7,10 i}$	- Vazão estimada na sub-bacia i (m ³ /s)
Q_{90}	- Vazão associada  permanência de 90% no tempo

Q_{95}	- Vazão associada à permanência de 95% no tempo
Q_{abast}	- Vazão de abastecimento no final do período do projeto (m^3/s)
$Q_{afluente}$ <i>ajustada i</i>	- Vazão ajustada para o afluente i ($hm^3/mês$)
Q_{anual}	- Vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual (m^3/s)
Q_{dispi}	- Vazão disponível para outorga no segmento i (m^3/s)
Q_{mensal}	- Vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal (m^3/s)
Q_{mti}	- Vazões outorgadas a montante do segmento i, inclusive as vazões outorgadas do próprio segmento (m^3/s)
Q_{mlp}	- Vazão média de longo prazo
Q_{obs}	- Vazão observada (m^3/s)
$Q_{outorgada\ i}$	- Percentual utilizado da parcela da $Q_{7,10}$ permissível para outorga no segmento i (m^3/s)
Q_r	- Vazão regularizada (m^3/s)
Q_{sim}	- Vazão simulada (m^3/s)
Q_{total}	- Escoamento total (L^3/T), no modelo HBV e Témez
R	- Recarga do aquífero (L), no modelo Témez
S_1	- Nível líquido do reservatório superficial (L), no modelo HBV
S_2	- Nível líquido do reservatório inferior (L), no modelo HBV
S_c	- Saídas controladas (demandas) (L^3/T)
SM	- Umidade do solo (L), no modelo HBV
S_{sub}	- Saída superficial (L/T), no modelo Témez
S_{sup}	- Saída subterrânea (L/T), no modelo Témez
S_v	- Saídas por exceder a capacidade máxima de armazenamento (L^3/T)
t	- Tempo (T)
T	- Precipitação excedente (L), no modelo Témez
t_1	- Tempo inicial do período estudado (ano)
t_2	- Tempo final do período estudado (ano)
V	- Volume armazenado no aquífero (L^3), no modelo Témez
V_f	- Volume final do reservatório (L^3)
V_i	- Volume do reservatório no início do mês (L^3)
Vol_{ac}	- Volume acumulado (hm^3)
Vol_i	- Volume de água na determinada área (hm^3)

X	- Porcentagem da vazão $Q_{7,10}$ permissível para outorga, previamente estabelecidas (%)
α	- Constante que relaciona o volume armazenado no aquífero com a vazão fornecida ao escoamento superficial (1/T), no modelo Témez
β	- Parâmetro de ajuste do modelo HBV
μ	- Média dos eventos
σ	- Desvio padrão dos eventos

ABREVIATURAS

<i>ha</i>	- Hectare
<i>hab</i>	- Habitantes
<i>hm³</i>	- Hectômetro cúbico
<i>km</i>	- Quilômetro
<i>km²</i>	- Quilômetro quadrado
<i>L</i>	- Litro
<i>m²</i>	- Metro quadrado
<i>m³</i>	- Metro cúbico
<i>mm</i>	- Milímetro

SIGLAS

AAGISA-PB	- Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba
ANA	- Agência Nacional de Águas
APA	- Área de Proteção Ambiental
APP	- Área de Preservação Permanente
AQUATOOL	- Ferramenta de Gestão de Água
AQUATOOLDMA	- Versão atual da ferramenta de Gestão de água
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CFLCL	- Companhia de Força e Luz de Cataguazes Leopoldina
CODAU	- Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba

CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE-SP	- Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo
DR	- Diferença Relativa
EVALHID	- Evaluación de los Recursos Hídricos - Ferramenta Computacional para Avaliação de Recursos Hídricos
GD-8	- Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande – Oitava divisão
HBV	- Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning - Modelo Hidrológico Chuva-vazão
HIDROWEB	- Sistema de Informações Hidrológicas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	- Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IIAMA	- Instituto de Ingenieria del Agua y Medio Ambiente
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
MAXVER	- Máxima Verossimilhança
MG	- Minas Gerais
OLI	- Operacional Land Imager
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
PB	- Paraíba
PE	- Pernambuco
PNRH	- Política Nacional de Recursos Hídricos
RMSP	- Região Metropolitana de São Paulo
SAAE	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SCE-UA	- Shuffled Complex Evolution method, University of Arizona - Algoritmo Evolutivo de Calibração
SEMAD	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMARH-GO	- Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás
SERHID-RN	- Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte
SEMAR-PI	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí

SIG	- Sistemas de Informação Geográfica
SIMGES	- Simulação de Gestão de Recursos Hídricos
SINGREH	- Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISCAH	- Sistema Computacional para Análises Hidrológicas
SMHI	- Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRH-BA	-Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia
SRH-CE	- Superintendência de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
SSD	- Sistema para Suporte à Decisão
SUDERHSA-PR	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná
SUPRAM APTM	- Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro
UNESCO	- Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UPGRH	- Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UPV	- Universidade Politécnica de Valencia
USGS	- United States Geological Survey

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de transposição de água do Rio São Francisco	30
Figura 2 - Localização dos grandes sistemas de produtores de água para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo	31
Figura 3 - Localização da bacia hidrográfica do rio São Marcos	32
Figura 4 - Localização da sub-bacia do Rio Piranga	33
Figura 5 - Localização da bacia do ribeirão Entre Ribeiros	35
Figura 6 - Áreas de escassez física e econômica da água.....	37
Figura 7 - Localização da área de estudo	49
Figura 8 - Divisão das sub-bacias do alto curso do rio Uberaba	51
Figura 9 - Transposição de água do rio Claro	53
Figura 10 - Metodologia para classificação da imagem e identificação do uso e ocupação do solo	55
Figura 11 - Localização das estações fluviométrica, pluviométricas e climatológica.....	57
Figura 12 - Série histórica de vazões da estação fluviométrica 61794000.....	58
Figura 13 - Séries históricas de precipitação	59
Figura 14 - Regressão linear obtida para preenchimento dos períodos falhos de precipitação	60
Figura 15 - Regressão não linear de função potencial obtida para preenchimento dos períodos falhos de evapotranspiração.....	60
Figura 16 - Localização do alto curso do rio Uberaba (APA) juntamente com a localização da estação fluviométrica	64
Figura 17 - Esquema dos tanques na estimativa do escoamento total - modelo de Témez.	66
Figura 18 - Esquema dos tanques para estimava do escoamento total - modelo HBV	69
Figura 19 - Topologia da APA criada na ferramenta AQUATOOL	74
Figura 20 - Fluxograma da sequência metodológica para estimativa da série sintética de vazões nos afluentes e para o balanço hídrico na APA	79
Figura 21 - Vazões simuladas e observadas na estação fluviométrica 61794000.....	82

Figura 22 - Proximidade do atual sistema de captação de água para o abastecimento público com a área urbana de Uberaba - MG	84
Figura 23 - Local escolhido para implantação do reservatório de acumulação.....	85
Figura 24 - Fluxograma da sequência metodológica do dimensionamento do reservatório de acumulação	86
Figura 25 - Exemplo da planilha eletrônica utilizada no cálculo do volume do reservatório	89
Figura 26 - Fluxograma da metodologia aplicada para a análise dos cenários	91
Figura 27 - Topologia criada na ferramenta AQUATOOL para análise dos prognósticos dos cenários	92
Figura 28 - Descrição da aba "Datos físicos" do elemento reservatório	94
Figura 29 - Descrição da aba "Volúmenes" do elemento reservatório.....	95
Figura 30 - Descrição da aba "Cotas" do elemento reservatório	95
Figura 31 - Descrição da aba "Tasa evaporación" do elemento reservatório	96
Figura 32 - Uso e ocupação do solo na APA	98
Figura 33 - Pontos outorgados na APA	100
Figura 34 - Hidrograma da série histórica de vazões	101
Figura 35 - Diferença relativa (DR%) entre as vazões $Q_{7,10}$ anual e mensal.....	105
Figura 36 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 30% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual	106
Figura 37 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual	107
Figura 38 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) janeiro e (b) fevereiro	108
Figura 39 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) março e (b) abril.....	109
Figura 40 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) maio e (b) junho.....	110
Figura 41 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) julho e (b) agosto	111
Figura 42 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) setembro e (b) outubro.....	112

Figura 43 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) novembro e (b) dezembro	113
Figura 44 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 70% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual	115
Figura 45 - Comparação entre os dados observados e a série sintética após a calibração dos parâmetros do modelo Témez.....	117
Figura 46 - Comparação entre os dados observados e a série sintética após a calibração dos parâmetros do modelo HBV	118
Figura 47 - Registro fotográfico da captação superficial a fio de água no rio Uberaba, considerando em (a) o período chuvoso e em (b) o período de estiagem	120
Figura 48 - Série sintética de vazão na barragem com captação a fio de água, considerando e não considerando a transposição de água do rio Claro.....	121
Figura 49 - Série sintética da vazão afluente ao reservatório juntamente com a vazão fixa de regularização.....	124
Figura 50 - Volume de reservação obtido a partir do método Máximo Déficit Acumulado	124
Figura 51 - Curvas Cota (m) x Área inundada (ha) e Cota (m) x Volume acumulado (hm ³)	125
Figura 52 - Variação do volume do reservatório e dados de precipitação para o Cenário 1	126
Figura 53 - Vazões a jusante do reservatório para o Cenário 1	127
Figura 54 - Variação do volume do reservatório e dados de precipitação para o Cenário 2	128
Figura 55 - Vazões a jusante do reservatório para o Cenário 2.....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais categorias dos usos da água.....	38
Quadro 2 - Critérios para outorga de captação de águas superficiais em alguns estados brasileiros	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas e percentuais das áreas para cada sub-bacia no alto curso do rio Uberaba	51
Tabela 2 - Estações fluviométrica, pluviométricas e climatológica utilizadas no estudo ...	58
Tabela 3 - Dados censitários da cidade de Uberaba	87
Tabela 4 - Classes de uso do solo, com as respectivas áreas, porcentagem de ocupação e índice Kappa	98
Tabela 5 - Descrição das outorgas identificadas na APA.....	101
Tabela 6 - Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada sub-bacia do alto curso do rio Uberaba	102
Tabela 7 - Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada trecho do alto curso do rio Uberaba	103
Tabela 8 - Parâmetros calibrados e valores da $F_{média}$ obtidos pelo algoritmo evolutivo de calibração SCE-UA	116
Tabela 9 - Dados obtidos para traçar as curvas Cota x Área e Cota x Volume.....	125

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	27
2.2 ABORDAGEM DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA INTERNACIONAL.....	35
2.3 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA	38
2.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	39
2.5 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 ÁREA DE ESTUDO	48
3.1.1 Uso e ocupação do solo na APA	53
3.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS, PLUVIOMÉTRICOS E CLIMATOLÓGICOS.....	57
3.2.1 Compilação dos dados	59
3.3 METODOLOGIA HIDROLÓGICA.....	61
3.3.1 Determinação da vazão $Q_{7,10}$	61
3.3.2 Regionalização da vazão $Q_{7,10}$	62
3.4 MODELOS HIDROLÓGICOS CHUVA-VAZÃO UTILIZADOS	65
3.5 FERRAMENTA COMPUTACIONAL AQUATOOL	70
3.5.1 Criação da topologia na APA	71
3.6 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA APA.....	75
3.6.1. Substituição das vazões de referência mínimas anuais pelas mínimas mensais.....	75
3.6.2 Mudanças no critério de outorga	75
3.7 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO.....	77
3.7.1 Vazão de transposição	78
3.7.2 Demandas consuntivas	78
3.7.3 Série sintética de vazão em todos os afluentes da APA e balanço hídrico.....	78
3.8 LOCAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO.....	84
3.9 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO	85
3.9.1 Estimativa da população de projeto.....	87
3.9.2 Vazão de abastecimento	88
3.9.3 Vazão de Regularização	88

3.9.4 Cálculo do volume do reservatório.....	88
3.9.5 Obtenção das curvas Cota x Área e Cota x Volume	90
3.10 CENÁRIOS APÓS IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	90
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA APA.....	97
4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS OUTORGADOS NA APA	100
4.3 ESTIMATIVA DA $Q_{7,10}$ EM BASE ANUAL E MENSAL	101
4.4 IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DA $Q_{7,10}$ ANUAL PELAS $Q_{7,10}$ MENSAIS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO ALTO CURSO DO RIO UBERABA	104
4.5 IMPACTO NA MUDANÇA NO CRITÉRIO DE OUTORGA.....	105
4.5.1 Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual	105
4.5.2 Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal	107
4.5.3 Critério baseado no uso de 70% da $Q_{7,10}$ anual	115
4.6 SIMULAÇÃO DA SÉRIE SINTÉTICA DE VAZÕES NA APA ATRAVÉS DOS MODELOS TÉMEZ E HBV E CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS	116
4.7 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO	119
4.8 DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO	123
4.8.1 Estimativa da população de projeto.....	123
4.8.2 Vazão de abastecimento	123
4.8.3 Cálculo do volume do reservatório.....	123
4.8.4 Obtenção das curvas Cota x Área e Cota x Volume	125
4.9 CENÁRIOS APÓS IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	126
4.9.1 Cenário 1	126
4.9.2 Cenário 2	128
4.9.3 Análise dos cenários	130
5 CONCLUSÕES.....	131
REFERÊNCIAS	133
ANEXO A.....	142
APÊNDICE A	148
APÊNDICE B.....	154
APÊNDICE C	159

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história da humanidade, o desenvolvimento econômico e a diversificação da sociedade resultaram em usos múltiplos e variados dos recursos hídricos. Não só o aumento populacional e a aceleração da economia ampliaram os usos múltiplos, o desenvolvimento cultural também fez com que outras necessidades fossem incorporadas, resultando em impactos diversificados e de maior amplitude sobre o meio ambiente.

Os conflitos pelo uso da água são consequências de ações humanas para a expansão do desenvolvimento econômico, onde as demandas industriais e agrícolas, o crescimento da população e a expansão das áreas urbanas foram se tornando cada vez maiores.

Ressalta-se que o Brasil é um país que possui grande disponibilidade hídrica; porém, é importante destacar a significativa variabilidade temporal e espacial das águas em suas diversas regiões, estreitamente associada à variação das precipitações e à sua sazonalidade, entre outras características naturais. Contudo, as regiões que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade e grande utilização dos recursos hídricos passam por situações de escassez e estresse hídrico.

Nessas regiões que combinam baixa disponibilidade hídrica e grande demanda pelos recursos hídricos são observados os conflitos pelo uso da água, podendo citar a bacia hidrográfica do rio Uberaba, localizada na região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais. Nesta bacia hidrográfica, destaca-se um conflito de grande magnitude observado no período de estiagem, relacionado ao abastecimento público de água da cidade de Uberaba. O abastecimento é realizado quase que em sua totalidade com captação superficial no rio Uberaba, sendo complementado com captação de água subterrânea por

três poços tubulares (UBERABA, 2008). Porém, no período seco, o rio não apresenta vazão suficiente para abastecimento público. Diante dessa problemática, desde o ano de 2002, uma das saídas emergenciais para minimizar o problema de abastecimento foi a transposição de parte da água do rio Claro, pertencente à bacia do rio Araguari, direto para um dos afluentes do alto curso do rio Uberaba por meio de um sistema de adução (UBERABA, 2004).

Em virtude dos conflitos pelo uso da água observados em diversas regiões do país, surgiu a necessidade de criação de instrumentos que colaborassem no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Nesse sentido, o Brasil teve um grande avanço com a promulgação da Lei nº 9.433/97, que criou a Política Nacional de Recursos Hídricos, que dentre seus instrumentos de gestão está a outorga de direito do uso da água.

A outorga de direito do uso da água tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, superficiais ou subterrâneas, e o efetivo exercício dos direitos de acesso a este recurso natural. É o ato administrativo pelo qual o poder outorgante concede ao outorgado o direito de uso desse recurso por prazo determinado e conforme os termos e condições expressas no ato da sua concessão (BRASIL, 2006).

Para concessão de outorgas no Estado de Minas Gerais, segundo a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548/12, adota-se como vazão de referência para outorgas a fio de água, a vazão mínima com 7 dias de duração e 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$), aplicando-se o percentual de 50% dessa vazão para a maior parte do estado, e nas áreas declaradas de conflito pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), aplica-se o percentual de 30% da mesma vazão de referência. Segundo Castro et al. (2004), citado por Oliveira et al. (2013), o critério adotado por Minas Gerais é o mais restritivo entre aqueles utilizados nos diversos Estado brasileiros, podendo dificultar, em alguns momentos, o deferimento de processos em situações que ainda há grande disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica. Oliveira et al. (2013) complementam ainda que, principalmente em regiões com grande variabilidade sazonal de vazões, o uso das vazões de referência em escala anual restringe o uso da água a um valor não evidenciado na maior parte do ano.

No intuito de minimizar a pressão sobre os recursos hídricos e os conflitos entre seus usuários, diversos estudos são realizados por órgãos gestores e instituições de ensino para otimizar o aproveitamento desses recursos (ANA, 2009 e 2014; BOF, 2010; PAREDES-ARQUIOLA et al. 2010a, 2010b; SILVA, 2012; MAS, 2013; OLIVEIRA et al. 2013; AMORIM JÚNIOR, 2014; FERREIRA, 2014; MOREIRA et al. 2014; SALLA et al. 2014a, 2014b). Tais estudos são comumente realizados por meio de ferramentas computacionais, que auxiliam como um sistema de suporte à decisão e fazem a gestão dos recursos em escala de bacia hidrográfica, avaliando-os de forma quali-quantitativa.

Diante do exposto, o presente trabalho fundamenta-se na hipótese de que a variabilidade temporal e espacial da disponibilidade hídrica e o uso de critérios menos restritivos apresentem alternativas que minimizem o conflito pelo uso da água observado na bacia hidrográfica do rio Uberaba. Sendo assim, o objetivo geral do trabalho foi estudar alternativas para otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, região esta formada por uma Área de Proteção Ambiental (APA), por meio de diversas ações, tais como:

- Avaliação da disponibilidade hídrica atual na APA, considerando os atuais critérios de outorga vigentes em Minas Gerais e novos critérios (valores maiores e menores que 50% da vazão $Q_{7,10}$ em bases anual e mensal);
- Verificação da necessidade de implantação de reservatório de acumulação a partir do conhecimento da variação temporal da vazão superficial no alto curso do rio Uberaba;
- Locação do reservatório de acumulação levando-se em consideração o uso e ocupação do solo na APA;
- Dimensionamento do reservatório de acumulação para suprir o déficit de água no abastecimento público na cidade de Uberaba;

➤ Avaliação da variação do volume reservado, do déficit de abastecimento público e da vazão a jusante do reservatório após a implantação do mesmo considerando dois cenários.

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, como segue:

Capítulo 1: Introdução, que engloba a problemática hídrica na área de estudo e os objetivos do presente trabalho;

Capítulo 2: Revisão bibliográfica sobre a disponibilidade hídrica no Brasil, abordando alguns casos de problemáticas quanto a essa disponibilidade em algumas regiões do país, abordagem da disponibilidade hídrica mundial, os usos múltiplos da água, o planejamento e gestão de recursos hídricos no Brasil e as ferramentas computacionais que atuam como Sistema para Suporte à Decisão no planejamento e gestão de recursos hídricos;

Capítulo 3: Materiais e métodos, que incluem: descrição da área de estudo; dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos utilizados no estudo bem como a compilação dos mesmos; obtenção da vazão de referência $Q_{7,10}$ em base de cálculo anual e mensal; descrição do modelo hidrológico chuva-vazão; avaliação da disponibilidade hídrica na APA; ferramenta computacional AQUATOOL e criação das topologias do modelo; verificação da necessidade de implantação de reservatório de acumulação; locação e dimensionamento do reservatório de acumulação e avaliação dos cenários após implantação do mesmo;

Capítulo 4: Resultados e discussão, que incluem: uso e ocupação do solo na APA; levantamento das vazões outorgadas na APA junto ao IGAM; vazões $Q_{7,10}$ obtidas para cada trecho do alto curso do rio Uberaba e seus afluentes, calculadas em base anual e mensal, bem como a diferença relativa entre essas vazões de acordo com as bases de cálculo; avaliação do percentual hídrico outorgado nos afluentes e nos trechos do alto curso do rio Uberaba, a partir dos critérios de outorga propostos; obtenção da série sintética de vazões por meio do modelo hidrológico chuva-vazão; resultados obtidos através da ferramenta AQUATOOL na verificação da necessidade de implantação de reservatório de acumulação realizado a partir do balanço hídrico; obtenção dos dados para

dimensionamento do reservatório; resultados da simulação da implantação do reservatório analisado a partir de dois cenários;

Capítulo 5: Conclusões;

Referências;

Anexo A - Reportagens divulgadas sobre captações irregulares na APA;

Apêndice A - Série sintética de vazões para cada sub-bacia do alto curso do rio Uberaba;

Apêndice B - Série sintética de vazões ao longo dos trechos do alto curso do rio Uberaba;

Apêndice C - Planilha elaborada em Excel para estimar o volume do reservatório através do Método do Máximo Déficit Acumulado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica aborda a disponibilidade hídrica no Brasil, bem como alguns casos de problemáticas quanto à disponibilidade em algumas regiões do país, uma breve abordagem da disponibilidade hídrica mundial, os usos múltiplos da água, o planejamento e gestão de recursos hídricos no Brasil, e finaliza o capítulo com as ferramentas computacionais que atuam como Sistema para Suporte à Decisão no planejamento e gestão de recursos hídricos.

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A água é um recurso limitado e fundamental para a garantia da vida, e tem um papel importante para o desenvolvimento econômico e social de uma região. No relatório elaborado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência, e a Cultura (UNESCO, 2012), é apresentada uma ampla análise da disponibilidade atual dos recursos hídricos, sendo mencionado que um bilhão de pessoas não tem água em quantidade suficiente nem mesmo para garantir as suas necessidades básicas. Essa situação é ainda mais crítica na Ásia, onde vive 60% da população mundial com 36% do volume da água disponível, e na África, com 13% da população mundial e 11% do volume de água disponível. Já a América do Sul apresenta uma situação privilegiada em relação ao restante do mundo, já que possui 6% da população mundial e dispõe de 26% da água disponível no mundo.

A classificação dos países quanto à riqueza ou pobreza de água não depende apenas das disponibilidades efetivas dos seus recursos hídricos renováveis, mas principalmente da disponibilidade desses recursos para o consumo da população. Sendo assim, um país não

pode ser considerado mais rico em água que outro por apresentar um potencial hídrico maior. A sua riqueza em água será determinada pela disponibilidade hídrica anual *per capita*. O Brasil destaca-se por apresentar a maior disponibilidade de recursos hídricos renováveis do planeta (8.233 km³/ano), porém aparece em 25º lugar com relação à disponibilidade hídrica social (43.487 m³/hab.ano), decorrente da grande desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no país, com 57% dos recursos concentrados na região Norte e parte das regiões Nordeste e Centro-Oeste, onde a densidade populacional é muito baixa (BORGHETTI et al. 2011).

Na classificação dos países quanto à disponibilidade anual de recursos hídricos por pessoa, Falkenmark et al. (1989) propuseram uma classificação fundamentada na comparação dos dados de disponibilidade de recursos nacionais de países que estavam passando por problemas relacionados à água. De acordo com a classificação proposta, a disponibilidade hídrica maior que 1.700 m³/hab.ano significa ausência de escassez, para disponibilidades da ordem de 1.000 a 1.700 m³/hab.ano a escassez é moderada, de 500 a 1.000 m³/hab.ano é alta e menor que 500 m³/hab.ano significa situação de escassez extrema.

De acordo com esses índices de referência, o Brasil encontra-se em uma situação muito confortável, com base em sua disponibilidade hídrica social. Uma análise regional mostra que apenas a região do Nordeste encontra-se em situação desfavorável de estresse hídrico, com 1.145 m³/hab.ano. Dentro desta região, é evidente escassez extrema nas sub-regiões do Litoral de Alagoas, Pernambuco e Paraíba (menor que 500 m³/hab.ano) e de escassez moderada nas sub-regiões do Litoral do Ceará e Piauí (1.000 a 1.700 m³/hab.ano), (BRASIL, 2006).

Nas regiões mais desenvolvidas economicamente (sudeste do país), a baixa disponibilidade hídrica por habitante deve-se à elevada concentração populacional. Como exemplo, as sub-regiões do Tietê, na região hidrográfica do Paraná, e a sub-região do Litoral do Rio de Janeiro, na região hidrográfica Atlântico Sudeste, apresentam situações de escassez hídrica (1.000 a 1.700 m³/hab.ano) (BRASIL, 2006).

Os recursos hídricos superficiais disponíveis no Brasil representam 50% dos recursos da América do Sul e 11% dos recursos mundiais; entretanto, em virtude da grande dimensão

do país e da grande variabilidade climática existente, a distribuição dos recursos hídricos é bastante desigual, sendo 71% da disponibilidade hídrica encontrada na Amazônia, que é habitada por menos de 5% da população brasileira. Consequentemente, apenas 29% dos recursos hídricos estão disponíveis em uma região habitada por 95% da população brasileira (TUCCI et al., 2001).

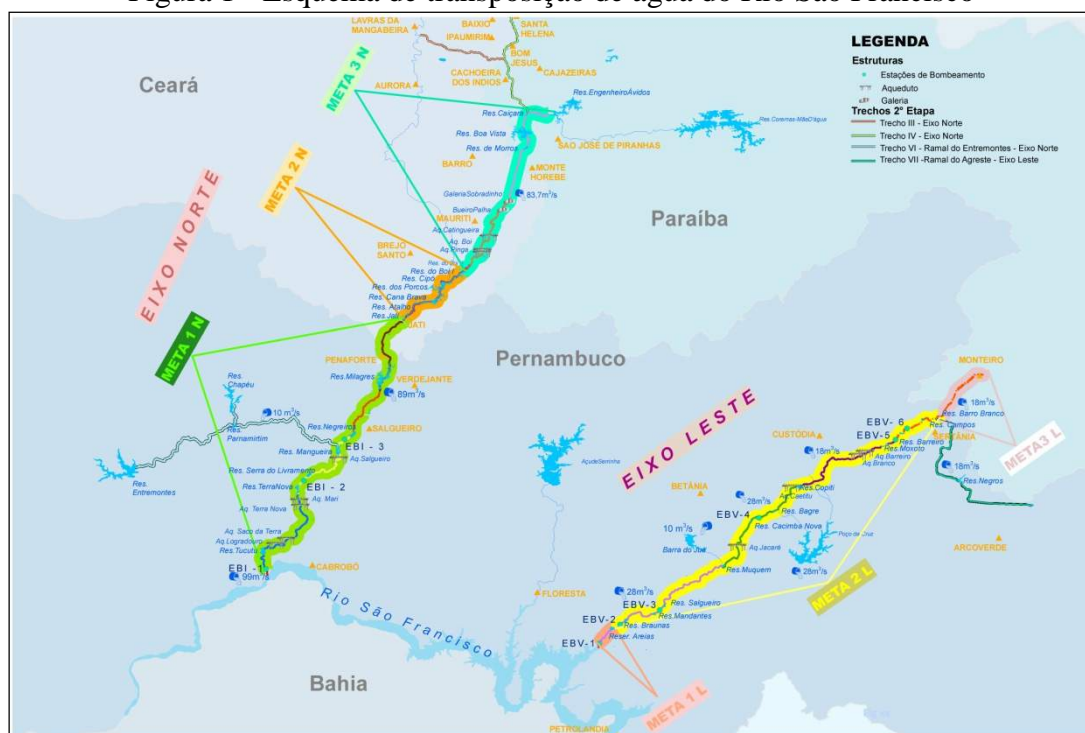
Nesse contexto, em que observa-se a distribuição desigual dos recursos hídricos, e regiões onde há combinação de alta densidade demográfica e baixa disponibilidade de água, são apresentados a seguir alguns casos desta problemática no país.

Região nordeste

O nordeste brasileiro apresenta condições hídricas desfavoráveis que combinam a evapotranspiração elevada durante todo o ano, baixa precipitação, subsolo desfavorável em muitas regiões (água salobra ou formação cristalino) e baixo desenvolvimento econômico e social. A falta de água em grande parte do ano compromete seriamente as condições de vida da população em extensas áreas do semiárido (TUCCI et al., 2000).

As soluções para suprimento de água são caras e complexas, exigindo uma participação ativa do Estado em busca de fontes de água que garantam o suprimento contínuo, principalmente nos períodos mais críticos de seca. Para minimizar os efeitos da escassez de água, estão sendo construídos canais, aquedutos e barragens para transposição de água do Rio São Francisco até as regiões semiáridas. O projeto contempla 477 quilômetros de canais, formando os eixos Norte (de Cabrobó/PE até Cajazeiras/PB) e Leste (de Floresta/PE até Monteiro/PB), e visa garantir água para 12 milhões de pessoas em 390 municípios de Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (BRASIL, 2014). O esquema de transposição de água do Rio São Francisco está ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de transposição de água do Rio São Francisco



Fonte: Brasil (2014).

Segundo o relatório “Declaração do Estado do Clima”, divulgado pela World Meteorological Organization (WMO), o nordeste brasileiro viveu em 2013 a pior seca dos últimos 50 anos (WMO, 2014).

Região Metropolitana de São Paulo – RMSP

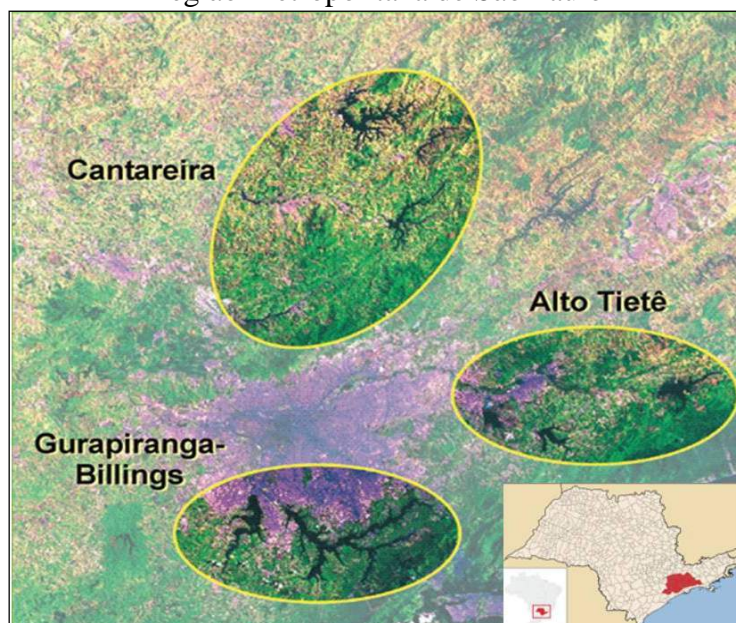
Outro problema quantitativo dos recursos hídricos acontece na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que é o maior e mais populoso aglomerado urbano do País e um dos cinco maiores do Mundo. A RMSP abrange 39 municípios, concentrando quase 20 milhões de habitantes. Dos 39 municípios, 31 pertencem ao Sistema Integrado de Abastecimento de Água, operado pela Campanha de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP).

A RMSP localiza-se nas cabeceiras da bacia do rio Tietê, uma região de baixa disponibilidade hídrica, que exige transpor 32,3 m³/s de bacias hidrográficas adjacentes. A maioria da demanda atual de abastecimento de água é atendida pelo Sistema Integrado da SABESP, que possui capacidade nominal de 68,2 m³/s (ANA, 2014). O Sistema Integrado da SABESP é composto por oito sistemas produtores de água, sendo: Alto Cotia, Baixo

Cotia, Alto Tietê, Cantareira, Guarapiranga, Ribeirão da Estiva, Rio Claro e Rio Grande, com destaque ao Sistema Cantareira por ser o maior da Região Metropolitana de São Paulo (SABESP, 2014).

A problemática em torno da escassez hídrica no Sistema Cantareira é bastante grave desde o início de 2014, onde medidas tiveram que ser tomadas no decorrer do ano. Com o intuito de minimizar essa crise hídrica, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) tomaram medidas para minimizar esta problemática, de forma que a vazão máxima de captação de água do sistema foi reduzida, de 31 para 27,9 m³/s. Para isso, a SABESP utilizou água dos sistemas Guarapiranga e Alto Tietê para abastecer a população antes atendida pelo Sistema Cantareira (Figura 2). Também realizou obras nas represas de Nazaré Paulista e Joanópolis para captação do chamado "volume morto", uma reserva de 300 bilhões de litros de água que fica abaixo do nível das atuais comportas e que é capaz de abastecer a região metropolitana de São Paulo por quatro meses.

Figura 2 - Localização dos grandes sistemas de produtores de água para abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo



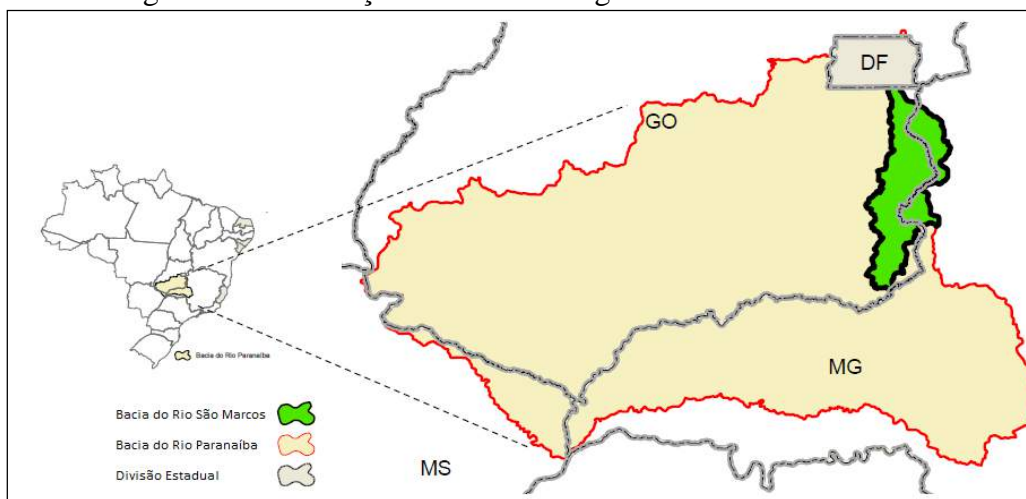
Fonte: Silva, Porto (2003).

Devido ao prolongado período de secas na região que abastece o Sistema Cantareira, seus reservatórios atingiram em média 3,3% de sua capacidade utilizável no ano de 2014, o pior nível desde 1974, ano em que foi criado.

Bacias hidrográficas mineiras

As bacias hidrográficas localizadas integral ou parcialmente no Estado de Minas apresentam diversos conflitos pelo uso da água. Nesse sentido, para exemplificar alguns desses conflitos, cita-se a bacia do rio São Marcos, que se localiza entre os estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal (Figura 3), na qual a ocupação desordenada e desregrada da agricultura, especialmente a irrigada, se contrapõe ao histórico de planejamento e hegemonia adquirida pelo setor elétrico que, desde meados da década de 60, vem estudando e reestudando a bacia do São Marcos com objetivo de aproveitá-la hidrelétrica.

Figura 3 - Localização da bacia hidrográfica do rio São Marcos



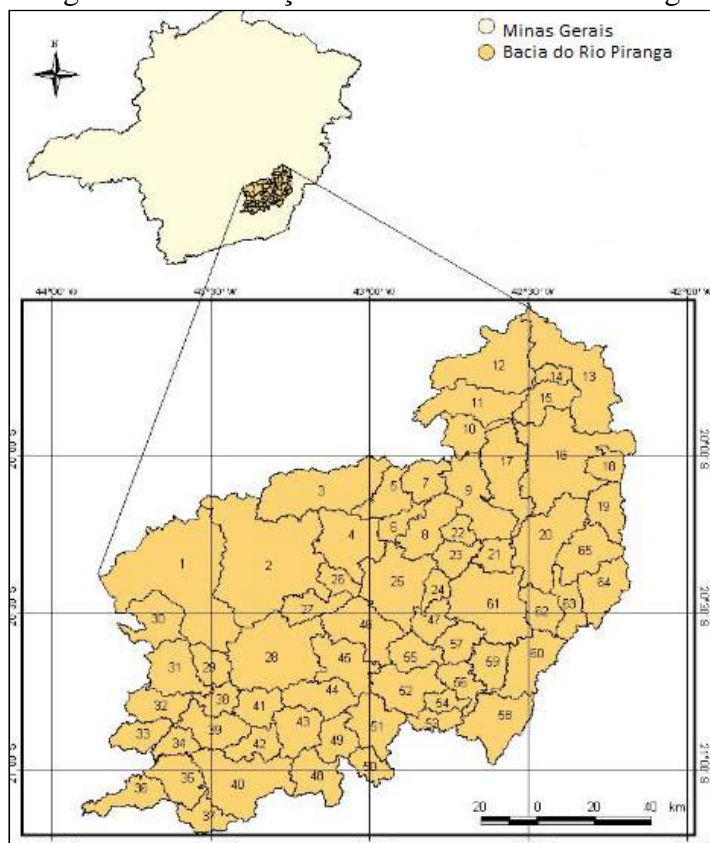
Fonte: ANA (2014).

A referida bacia hidrográfica apresenta relevo heterogêneo, com chapadões e vales abertos em suas porções mais altas, ideais para a agricultura, montanhas e vales encaixados com acentuada declividade em suas porções mais baixas, propícios para a geração de energia hidrelétrica. Sendo assim, a bacia transformou-se em palco de uma significativa disputa pelos recursos hídricos, envolvendo a geração de energia hidrelétrica, materializada pela construção da Usina Hidrelétrica Batalha no rio São Marcos (com direito de uso da água outorgado a Furnas Centrais Elétricas por meio da Resolução ANA nº 489/08), dotada de reservatório de regulação. Seu efeito de acumulação de água para geração hidrelétrica se propaga para cascata de hidrelétricas à jusante de seu eixo, aumentando a garantia física de maior produção de energia; e de outro lado, a expectativa de agricultores irrigantes,

instalados e que pretendem instalar-se, em expandir as áreas irrigadas nesta região que é considerada ímpar para a produção de sementes, grãos e hortícolas de alto valor agregado devido às excepcionais características de clima, relevo e solos (ANA, 2014).

Outro conflito observado está presente na bacia do Rio Doce, especificamente na sub-bacia do Rio Piranga (Figura 4). A bacia do Rio Doce localiza-se nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e apresenta grande importância econômica. Ressalta-se que a bacia abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina e possui empreendimentos de grande porte como a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, a ACESITA e a USIMINAS. Além disso, nesta bacia, encontra-se a maior mineradora a céu aberto do mundo, a Companhia Vale do Rio Doce.

Figura 4 - Localização da sub-bacia do Rio Piranga



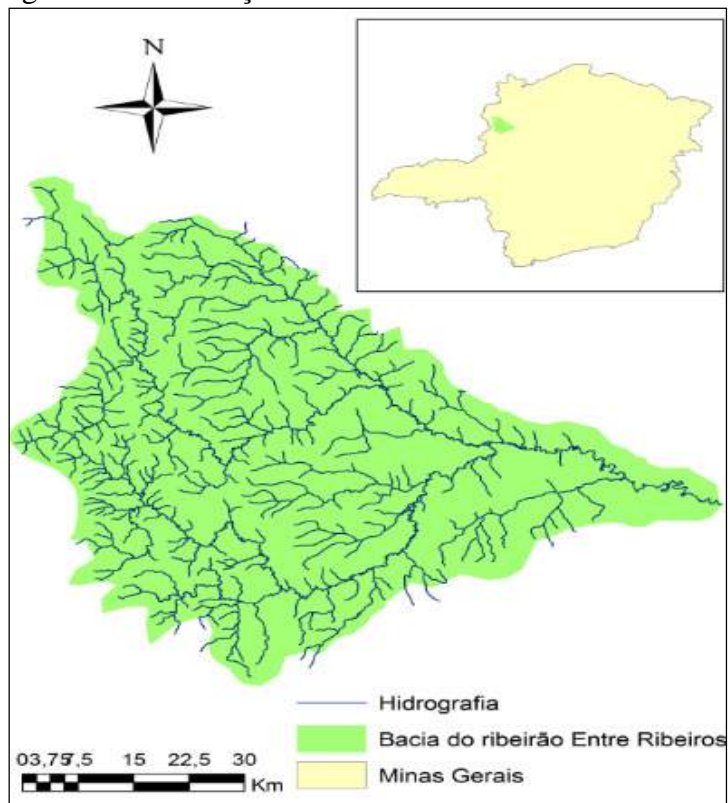
Fonte: Tostes (2007).

Na bacia do Rio Piranga o conflito envolve a Usina Hidrelétrica Cachoeira do Emboque construída no rio Matipó, no município de Raul Soares, que pertence à Companhia Força e Luz Cataguazes Leopoldina (CFLCL) e tem um potencial instalado de 18 Megawatts. A energia gerada nesta usina é vendida para algumas indústrias e para o poder público. Em

função disso, a CFLCL necessita que o volume de água no reservatório atinja um padrão mínimo para poder fornecer essa energia. No entanto, em determinadas épocas do ano, a apropriação da água pela CFLCL para geração de energia tem prejudicado outro usuário de água do município, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) Raul Soares. A estação de captação de água do SAAE localiza-se à jusante da Usina Hidrelétrica Cachoeira do Emboque e qualquer erro de operação no sistema de comportas pode prejudicar o abastecimento de água da população do município. No período do inverno, quando a quantidade de chuvas na região é bastante reduzida, os “erros de operação” se tornam “mais constantes”, prejudicando o abastecimento de água para a população. O conflito ambiental envolvendo a CFLCL e o SAAE Raul Soares também constitui-se num conflito de ordem quantitativa, pois a grande utilização do recurso hídrico por parte de um usuário prejudica ou inviabiliza a utilização de outro (TOSTES, 2007).

Segundo Oliveira et al. (2013), a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, que se localiza no estado de Minas Gerais entre os municípios de Paracatu e Unaí (Figura 5), também evidencia situações de escassez hídrica. O ribeirão Entre Ribeiros é afluente do rio Paracatu, que teve expressivo aumento da demanda pelo uso da água, principalmente devido à expansão das áreas irrigadas. Na referida bacia, a irrigação é responsável por mais de 92% do total consumido dos recursos hídricos, apresentando diversos conflitos entre seus usuários.

Figura 5 - Localização da bacia do ribeirão Entre Ribeiros



Fonte: Oliveira et al. (2013).

2.2 ABORDAGEM DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA INTERNACIONAL

Da mesma forma que o Brasil sofre com a distribuição desigual dos recursos hídricos em seu território, diversos outros países passam por problemas semelhantes. Baseado em Borghetti et al. (2011), na sequência é apresentada uma breve abordagem da situação hídrica, em escala global.

A América do Sul é conhecida em todo o mundo pelos seus abundantes recursos naturais de água doce superficial, que incluem as bacias hidrográficas de rios de grande magnitude, como o Amazonas (6.112.000 km²), o Prata (3.140.000 km²) e o Orinoco (906.500 km²). Os países do norte da América do Sul - Guiana Francesa, Guiana e Suriname - apresentaram, em 2006, os maiores valores de disponibilidade hídrica social, com 680.203, 316.116 e 268.132 m³/hab.ano, respectivamente, mesmo tendo os menores potenciais hídricos do continente.

A Ásia é o segundo continente com maiores volumes em recursos hídricos, mas também é onde estão localizados os países mais pobres em água do planeta, mais especificadamente os países do Oriente Médio. Os países asiáticos mais ricos em recursos hídricos são a China (2.896,6 km³/ano), Indonésia (2.838,0 km³/ano), Índia (1.896,7 km³/ano), Bangladesh (1.210,6 km³/ano) e Mianmá (1.045,6 km³/ano) e também se encontram entre os países mais populosos do continente. Um dos países que se destaca nessa problemática de disponibilidade hídrica é a China, que em 2006, tinha 1,3 bilhão de habitantes (20% da população mundial), mas apenas 7% de água doce do planeta – sendo a maior parte concentrada na região sul do país e uma disponibilidade hídrica social de 2.180 m³/hab.ano; porém, a Planície Norte da China, que inclui o rio Amarelo, é uma das regiões mais populosas do mundo com escassez hídrica, abrigando cerca de 450 milhões de pessoas, com suprimento menor que 500 m³/hab.ano.

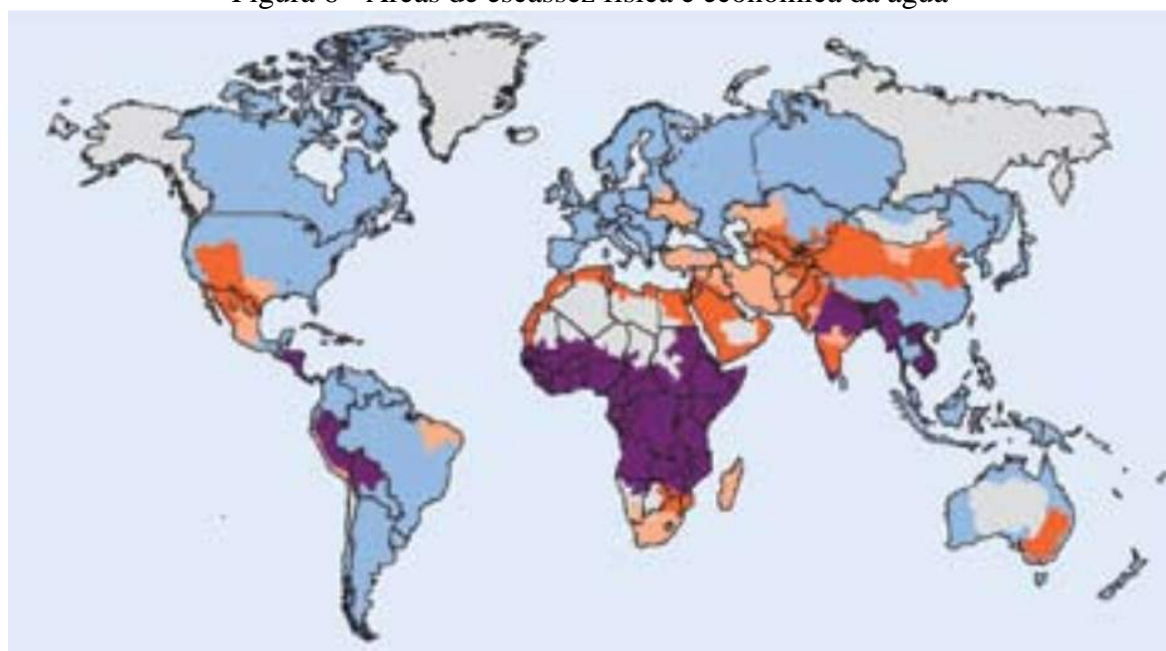
Na América do Norte, os maiores volumes de recursos hídricos encontram-se no Canadá (2.902,0 km³/ano) e Estados Unidos (2.071,0 km³/ano), enquanto que no México o potencial hídrico é de apenas 457,2 km³/ano. A Groelândia e o Alasca apresentam os maiores valores de disponibilidade hídrica social do mundo (10.432.526 e 1.427.962 m³/hab.ano, respectivamente), valores elevadíssimos em comparação com os demais países. O Canadá apresenta uma disponibilidade hídrica social consideravelmente maior que a dos Estados Unidos, devido à sua baixa densidade populacional.

A Europa caracteriza-se por ser um continente pobre em recursos hídricos. Com exceção da Rússia, que possui um potencial de recursos hídricos de 4.507,2 km³/ano, os demais países apresentam potenciais que variam de 0,051 km³/ano (Malta) até 382 km³/ano (Noruega), sendo que Malta é, também, o país europeu mais pobre em disponibilidade hídrica social e está entre os dez mais pobres em água do mundo. A Islândia é o país com maior disponibilidade hídrica social da Europa, com 570.470 m³/hab.ano e potenciais hídricos de 170 km³/ano. Metade dos países europeus enquadra-se no grau “médio/alto” de disponibilidade hídrica social (5.100 a 20.000 m³/hab.ano). Os países em pior situação hídrica são a Dinamarca, República Checa, Polônia, Bélgica e Alemanha (1.105 a 1.863 m³/hab.ano) e Malta, com grau de disponibilidade social catastróficamente baixo, igual a 125 m³/hab.ano.

Na África, apenas a República Democrática do Congo (Zaire) e a República do Congo apresentam valores altos em recursos hídricos (1.283 e 832 km³/ano, respectivamente). Os demais países apresentam volumes que variam de 0,30 a 337 km³/ano, conferindo ao continente a característica de pobreza em recursos hídricos. A República do Congo possui a maior disponibilidade hídrica social da África e uma das maiores do planeta (225.535 m³/hab.ano). Um caso interessante é o da Guiné Equatorial, que possui um potencial hídrico de apenas 26 km³/ano, que está entre os menores do continente, porém a sua disponibilidade per capita está entre as maiores da África e do mundo.

Ainda no contexto da disponibilidade hídrica a nível mundial, o International Water Management Institute (IWMI), apresentou um estudo em que avalia a disponibilidade hídrica nos aspectos físico e econômico, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Áreas de escassez física e econômica da água



- Pouca ou nenhuma escassez – demandas inferiores a 25% da disponibilidade
- Tendência de escassez física da água – demandas inferiores a 60% da disponibilidade
- Escassez física de água – demandas inferiores a 75% da disponibilidade
- Escassez econômica – recursos financeiros, humanos ou institucionais limitados comprometem o acesso à água. Nesse caso, pouca ou nenhuma escassez existe, porém a região usualmente convive com a subnutrição humana
- Não estimado

Fonte: Adaptado de IWMI (2007).

2.3 USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA

Os usos dos recursos hídricos têm se intensificado com o desenvolvimento econômico, tanto no que se refere ao aumento da quantidade demandada para determinada utilização, quanto no que se refere às variedades dos usos. Originalmente, a água era usada principalmente para dessedentação, usos domésticos e irrigação em escala local. O avanço da civilização impulsionou outros tipos de usos, aumentando a disputa pelos recursos hídricos muitas vezes escassos e estabelecendo conflitos entre os usuários (LANNA, 2013).

No Quadro 1, as categorias apresentam os seguintes significados:

- Infraestrutura social: refere-se aos usos gerais disponíveis para a sociedade nos quais a água entra como bem de consumo final;
- Agricultura, florestamento e aquicultura: refere-se aos usos da água como bem de consumo intermediário, visando a criação de condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de espécies animais ou vegetais de interesse para a sociedade. Este interesse pode ser de ordem econômica, ambiental, etc;
- Indústria: usos em atividades de processamento industrial e energético nos quais a água entra como bem de consumo intermediário.

Quadro 1 - Principais categorias dos usos da água

Infraestrutura social	Agricultura, florestamento e aquicultura	Indústria
Dessedentação (C)	Agricultura (C)	Arrefecimento (C)
Navegação (NC)	Piscicultura (NC)	Mineração (NC)
Usos domésticos (C)	Pecuária (C)	Hidreletricidade (NC)
Recreação (NC)	Uso de estuários (NC,L)	Processamento industrial (C)
Usos públicos (C)	Irrigação (C)	Termoeletricidade (C)
	Preservação de banhados (L)	
- Consuntivo (C): refere-se aos usos que retiram água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades, espacial e temporalmente;		
- Não-consuntivo(NC): refere-se aos usos que retornam à fonte de suprimento, praticamente a totalidade da água utilizada, podendo haver alguma modificação no seu padrão temporal de disponibilidade;		
- Local (L): refere-se aos usos que aproveitam a disponibilidade de água em sua fonte sem qualquer modificação relevante, temporal ou espacial, de sua disponibilidade.		

Fonte: Adaptado de Lanna (2013).

A utilização dos recursos hídricos no Brasil segue a tendência mundial de utilizar o maior percentual de água na agricultura, correspondendo à quase metade das demandas, porém com utilização maior no abastecimento doméstico do que no abastecimento industrial. A distribuição relativa do uso da água por setor no país corresponde a 62% na agricultura, 18% na indústria e 20% no abastecimento doméstico (BORGHETTI et al., 2011).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Brasil apresentou um consumo médio de água de 162,6 L/hab.dia no ano de 2011, cujas principais variações regionais foram de 120,6 L/hab.dia na região Nordeste e de 189,7 L/hab.dia na região Sudeste. O estado de Minas Gerais apresentou consumo de 155,5 L/hab.dia (BRASIL, 2013).

2.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Durante muito tempo o planejamento e a gestão de recursos hídricos não tinham importância relevante, dada a ideia de abundância da água (OLIVEIRA, 2011). No Brasil, até os anos 70, as questões relacionadas à administração dos problemas de recursos hídricos eram consideradas segundo políticas específicas de combate aos efeitos das secas e das inundações. Ainda não haviam preocupações relacionadas às necessidades de conservação e preservação, principalmente em razão da abundância relativa de água no país e da percepção de que se tratava de um recurso renovável e, portanto, infinito (BRASIL, 2006).

Os problemas que envolviam os recursos hídricos a partir da década de 70 foram evidenciados por Tucci et al. (2001), os quais descrevem que as ocorrências de conflitos de uso da água geraram as primeiras discussões nos meios acadêmico e técnico-profissional sobre o tema. Os conflitos envolviam não só setores usuários distintos, como também os interesses de unidades político-administrativas distintas (Estados e Municípios).

Segundo Lanna (2013), os conflitos de uso da água podem ser classificados como:

- Conflito de destinação de uso: ocorre quando a água é utilizada para destinações outras que não aquelas estabelecidas por decisões técnicas, fundamentadas ou não em anseios

sociais, que as reservariam para o atendimento de demandas sociais, ambientais e econômicas;

- Conflito de disponibilidade qualitativa: uso da água em rios poluídos, em que nesse tipo de conflito existe um aspecto vicioso, pois o consumo excessivo reduz a vazão de estiagem deteriorando a qualidade das águas já comprometidas *a priori* pelo lançamento de poluentes;

- Conflito de disponibilidade quantitativa: esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo e/ou a ausência prolongada de chuva.

Nota-se que, com o crescimento da demanda por água, aumenta cada vez mais a necessidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, no intuito de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais, para permitir a convivência dos usos atuais e futuros da água sem conflitos (SILVA, 2004).

Freitas (2000) cita que o gerenciamento ou gestão de um recurso ambiental consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais e econômicos iterativos, objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso ambiental, disciplinando as respectivas ações antrópicas, de acordo com a política estabelecida para o mesmo, de modo a atingir o desenvolvimento sustentável.

Em prol da gestão dos recursos hídricos, foi promulgada, em 08 de janeiro de 1997, a Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), tendo como principal objetivo assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em quantidade e qualidade adequadas aos respectivos usos. Tal lei baseia-se nos seguintes fundamentos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

Um dos instrumentos adotados pela PNRH para dar suporte à gestão dos recursos hídricos é a outorga de direito de uso da água. Condicionado à disponibilidade hídrica, o direito de uso dos recursos hídricos é conferido aos usuários por meio da outorga, sendo o elemento central do controle para o uso racional dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Segundo a referida Lei, os usos de recursos hídricos que estão sujeitos a outorga são:

- I - as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III - o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV - o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V - outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Na União e em alguns estados brasileiros, a legislação referente à outorga, para a utilização dos recursos hídricos superficiais, estabelece critérios diferenciados das vazões de referência para a concessão de outorga, como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios para outorga de captação de águas superficiais em alguns estados brasileiros

Órgão Gestor	Vazão de Referência	Legislação Referente à Vazão Máxima Outorgável
ANA	70% da Q_{95} , podendo variar em função das peculiaridades de cada região e 20% da Q_{95} para cada usuário individual.	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério.
SRH-BA	80% da Q_{90} e 20% da Q_{90} para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/1997
SRH-CE	90% da Q_{90} regularizada	Decreto Estadual 23.067/1994
SEMARH-GO	70% da Q_{95}	Não possui legislação específica
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ - para captações a fio de água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo. Usuários individuais podem requerer 100% da vazão máxima outorgável, dependendo da avaliação do órgão. 50% da $Q_{7,10}$ - limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados, garantindo a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% da $Q_{7,10}$, com exceção para as bacias hidrográficas dos Rios Jequitaiá, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba, e Velhas, a vazão de referência permanece em 30% da $Q_{7,10}$.	Portarias IGAM 10/1998, 7/1999, 49/2010. Resolução Conjunta SEMAD-IGAM 1548/2012
AAGISA-PB	90% da Q_{90} regularizada. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3 do percentual.	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da Q_{95}	Decreto Estadual 4646/2001
SEMAR-PI	80% da Q_{95} (rios) e 80% da Q_{90} regularizada (açudes)	Não possui legislação específica
SERHID-RN	90% da Q_{90} regularizada	Decreto Estadual 13.283/1997
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$	Não possui legislação específica

Fonte: Adaptado de ANA (2007).

A concessão de outorga é emitida de acordo com a dominialidade dos cursos de água, sendo que, nos rios do domínio da União, a ANA detém a competência legal para conceder a outorga de direito de uso aos usuários. Nos rios do domínio dos Estados, os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais são responsáveis por conceder as outorgas.

No Estado de Minas Gerais, o IGAM é responsável pelo planejamento e administração de todas as ações direcionadas à preservação da quantidade e da qualidade das águas, sendo também responsável pela gestão dos recursos hídricos do Estado (EUCLYDES et al., 2006). Dessa forma, o IGAM tem concedido outorgas de direito de uso dos recursos hídricos baseado na Portaria nº 010/98, que estabelece critérios baseados em “vazões de referência” a serem utilizadas para cálculo das disponibilidades hídricas em cada seção de interesse.

A vazão de referência estabelecida pelo IGAM é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência). Segundo Von Sperling (2007), esta vazão tem sido utilizada em diversas legislações ambientais de proteção da qualidade dos corpos de água, bem como em estudos de abastecimento de água e outorga pelo seu uso.

De acordo com o Quadro 2, por muitos anos o IGAM utilizou 30% da $Q_{7,10}$ como a vazão máxima outorgável em condições ditas a fio de água, com garantia a jusante de cada derivação fluxos residuais mínimos de 70% dessa vazão de referência (MINAS GERAIS, 1998). Porém, no ano de 2012, houve alteração na vazão máxima outorgável, que foi promulgada pela Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548/12, que em seu Artigo 2º diz:

Art.2 – O limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado, por cada seção considerada em condições naturais, será de 50% da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% da $Q_{7,10}$.

A referida resolução foi implantada com o intuito de minimizar a restrição pelo uso da água, e conseqüentemente, minimizar os conflitos existentes nas bacias do estado, porém o estado de Minas Gerais ainda possui uma das legislações mais restritivas referente aos critérios para concessão de outorgas, se comparado com os outros estados brasileiros.

Ribeiro e Lanna (2003) afirmam que, apesar dos inúmeros estudos realizados em torno da outorga de direito de uso da água, ainda existem vários desafios a serem vencidos, sejam nos aspectos teóricos e de concepção ou nos aspectos práticos de operacionalização dos sistemas de outorgas. Dentre os desafios, os autores citam a definição do valor adequado para a vazão máxima outorgada, a inexistência de dados fluviométricos nas bacias hidrográficas, o desconhecimento sobre usuários e respectivas demandas, as dificuldades na definição dos sistemas de outorgas dos recursos subterrâneos, o desenvolvimento de metodologias específicas para o estabelecimento dos valores adequados a serem outorgados como vazão ecológica, assim como de metodologias que integrem os aspectos quantitativos e qualitativos da outorga.

2.5 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos vêm sofrendo uma grande pressão nos últimos tempos devido a sua utilização de forma irregular, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo. Nesse contexto, ferramentas vem sendo desenvolvidas no intuito de apoiar os comitês de bacias hidrográficas e órgãos gestores no sentido de gerenciar tais recursos e orientar na tomada de decisão. As ferramentas de auxílio ao planejamento e gestão de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica são citadas por Salla e Chuerubim (2014), e ressaltam que tais ferramentas sofreram significativos avanços na capacidade de tomada de decisão nos últimos tempos.

A preocupação com os recursos hídricos já é observada no mundo todo, de forma que o planejamento e gestão destes recursos estão sendo cada vez mais aprimorados, podendo observar estes avanços nas ferramentas computacionais cada vez mais complexas, que buscam analisar os recursos hídricos com maior integração dos aspectos qualitativos.

Salla e Chuerubim (2014) também mencionam que existem muitas ferramentas computacionais com complexidades matemáticas distintas e úteis à gestão de múltiplos usos da água. Nesse sentido, podem ser citadas Wargi-Sim (SECHI & SULIS, 2009), HecRas (FAN et al., 2009), AQUATOOL (PAREDES-ARQUIOLA et al., 2010a, 2010b), Modflow (XU et al., 2012), Topmodel (CHEN & WU, 2012), entre outros.

A seguir é apresentada uma abordagem de estudos realizados com a ferramenta AQUATOOL, a qual foi utilizada neste trabalho.

AQUATOOL

A ferramenta AQUATOOL, que foi utilizada neste trabalho na avaliação de alternativas de gestão de recursos hídricos e que atua como um Sistema para Suporte à Decisão (SSD) possui grande aceitação em diversos países da Europa e América Latina (SALLA et al., 2014a e 2014b).

Dessa forma, toma-se como exemplo trabalhos realizados por Paredes-Arquiola et al. (2010b), que utilizaram a ferramenta na bacia hidrográfica do rio Júcar, na Espanha. Esta bacia apresenta um elevada demanda de água e sérios problemas relacionados a poluição pontual e difusa. As simulações foram realizadas utilizando os módulos SIMGES (simulações quantitativas) e GESCAL (simulações qualitativas). Os autores relatam sobre a facilidade em utilizar a ferramenta, bem como a apresentação e análise dos resultados.

Sulis e Sechi (2013) realizaram um estudo no sul da Itália, onde as secas tornaram-se frequentes ao longo das últimas décadas, e aplicaram algumas ferramentas de simulação hídrica em um sistema com vários reservatórios e usos múltiplos da água. Entre as ferramentas avaliadas, a ferramenta AQUATOOL permitiu trabalhar de forma mais ampla as questões relacionadas aos reservatórios.

Salla et al. (2014) utilizaram esta ferramenta na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, localizada no município de Uberlândia-MG, incluindo os modelos de quantidade e qualidade da água. As simulações foram bastante satisfatórias, possibilitando indicar possíveis mudanças no planejamento e gestão da referida bacia, no intuito de atender as demandas para abastecimento público e também para manter os padrões de qualidade da água impostos pela legislação ambiental.

Ferreira (2014) utilizou a ferramenta para avaliar a capacidade de autodepuração do médio e baixo cursos do rio Uberaba, localizado na bacia hidrográfica do rio Uberaba em Minas Gerais. Para isso, realizou simulações de dados quantitativos e qualitativos nos referidos

trechos. Com os resultados obtidos, a autora considerou a ferramenta favorável para a gestão de recursos hídricos, ressaltando que a topologia do modelo possibilitará a equipe da autarquia municipal de água e esgoto da cidade de Uberaba analisar os diferentes aspectos de gestão e planejamento nesta bacia hidrográfica.

Geotecnologias

Juntamente com as ferramentas que trabalham no aspecto quali-quantitativo dos recursos hídricos e que auxiliam no planejamento e gestão dos mesmos, observa-se a utilização conjunta das geotecnologias, entre as quais pode citar o sensoriamento remoto e as ferramentas de geoprocessamento.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre, sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética (MORAES, 2002).

A quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resulta das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (MORAES, 2002).

O geoprocessamento, segundo Câmara et al. (2001), é uma tecnologia interdisciplinar, que utiliza técnicas matemáticas e computacionais e permite a convergência de diferentes

disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos, auxiliando o processo de tomada de decisões.

O sensoriamento remoto juntamente com as ferramentas computacionais para geoprocessamento são partes integrantes do Sistema de Informação Geográfica - SIG, que permite realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

Para a análise de fenômenos como o comportamento do relevo e do uso e ocupação do solo, as ferramentas de geoprocessamento associam dados espaciais, atributos e algoritmos de análise espacial, de forma a permitir uma análise ampla e complexa da região de estudo, evidenciando padrões dos dados espaciais coletados na bacia hidrográfica, como fatores de qualidade da água, vazão, entre outros, de maneira sintética e integrada (SCHMIDT et al., 2014).

Essas análises espaciais se desenvolvem a partir da modelagem dos dados e simulação de cenários que servem como subsídio à elaboração de alternativas para a análise de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, gestão de recursos hídricos entre diversas aplicações complexas, envolvendo diferentes componentes dinâmicos (MOTA, 1999).

Schmidt et al. (2014) citam que, ao permitir a integração de dados espaciais e não espaciais e pela sua capacidade de realizar análises topológicas e lógicas baseadas nesses dados geométricos e de atributos, respectivamente, o SIG integra informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, entre outras, em um banco de dados unificado, refletindo na multiplicidade de usos.

Nesse contexto, neste trabalho foram utilizadas geotecnologias para identificar o uso e ocupação do solo na área de estudo (APA), bem como para representar a disponibilidade hídrica na área. Dentre as geotecnologias utilizadas, destaca-se o sensoriamento remoto, compreendido em imagem de satélite da série Landsat; ferramentas de geoprocessamento, entre as quais citam o QuantumGis e MultSpec; base cartográfica digitalizada, que possibilitou extrair a hidrografia da área de estudo, bem como a delimitação da referida área e suas subáreas.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

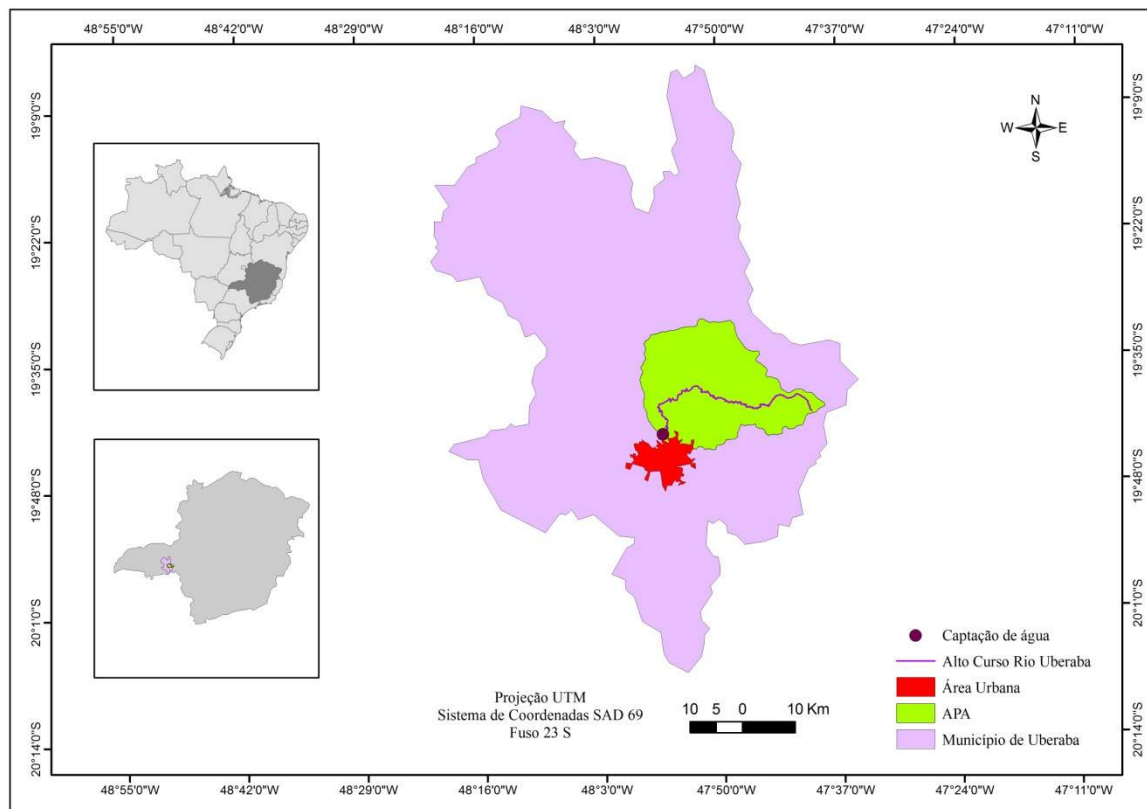
Para o estudo de otimização do aproveitamento hídrico superficial a nível de bacia hidrográfica é necessário ter conhecimento das diversas características da área de estudo, ter conhecimento dos dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos disponíveis, ter conhecimento das metodologias hidrológicas necessárias, escolher o modelo chuva-vazão que melhor se ajusta à região estudada e escolher a ferramenta computacional adequada para as simulações de balanço hídrico, organizados pelos itens 3.1 a 3.5. A partir daí, nos itens 3.6 a 3.10, são apresentadas as sequências metodológicas utilizadas no estudo da otimização do aproveitamento hídrico superficial no alto curso do rio Uberaba, especificamente na avaliação da disponibilidade hídrica na APA (item 3.6), na verificação da necessidade de implantação de reservatório de acumulação (item 3.7), locação do reservatório de acumulação (item 3.8), dimensionamento do reservatório de acumulação (item 3.9) e, para finalizar, a avaliação dos cenários após implantação do reservatório (item 3.10).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo objeto deste trabalho localiza-se no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, compreendida pela Área de Proteção Ambiental, instituída pela Lei 13.183 de 20/01/1999, com o objetivo de conciliar as atividades humanas com a preservação da vida silvestre, a proteção dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida da população humana, da fauna e da flora. A APA inicia-se no ponto de captação de água para a cidade de Uberaba atualmente existente, nas coordenadas 19°42'52.55" de latitude Sul e 47°56'13.64" de longitude Oeste, ocupando a área total de 528,1 km², correspondendo a

22% da bacia hidrográfica do rio Uberaba e 12% da área do município de Uberaba (Figura 7).

Figura 7 - Localização da área de estudo



Fonte: O autor (2014).

O alto curso do rio Uberaba, ilustrado na Figura 7, nasce na porção leste do município de Uberaba, numa altitude de 1.012 m, escoando pelos municípios de Uberaba, Veríssimo, Conceição das Alagoas e Planura e desaguando no Rio Grande, percorrendo desde a sua vertente mais extrema até a foz um total aproximado de 181,5 km (CRUZ, 2003; UBERABA, 2004).

A bacia hidrográfica do rio Uberaba está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão em Recursos Hídricos do Baixo Rio Grande (denominada UPGRH-GD8). Esta bacia hidrográfica possui área aproximada de 2.374,5 km², região de grande significado econômico para o Estado de Minas Gerais. Está situada entre os paralelos 19° 30' e 19° 45' de latitude sul e os meridianos de 47° 38' e 48° 00' a oeste de Greenwich.

Com relação aos usos múltiplos da água, essa bacia destaca-se por sua importância em termos de recursos hídricos e aspectos econômicos ligados às atividades agrícolas e abastecimento da cidade de Uberaba, cuja população é de 295.988 habitantes (IBGE, 2010), sendo atualmente a principal fonte de água para abastecimento da área urbana, com retirada outorgada de uma vazão de 0,9 m³/s. Esta vazão é captada com base na outorga emitida pelo IGAM, de acordo com a Portaria nº 01656/2010 de 19/06/2010. A referida outorga teve validade até 19/06/2013, e passa por processo de renovação de acordo com o Processo nº 5499/2013. O processo de renovação encontra-se em análise até os dias atuais.

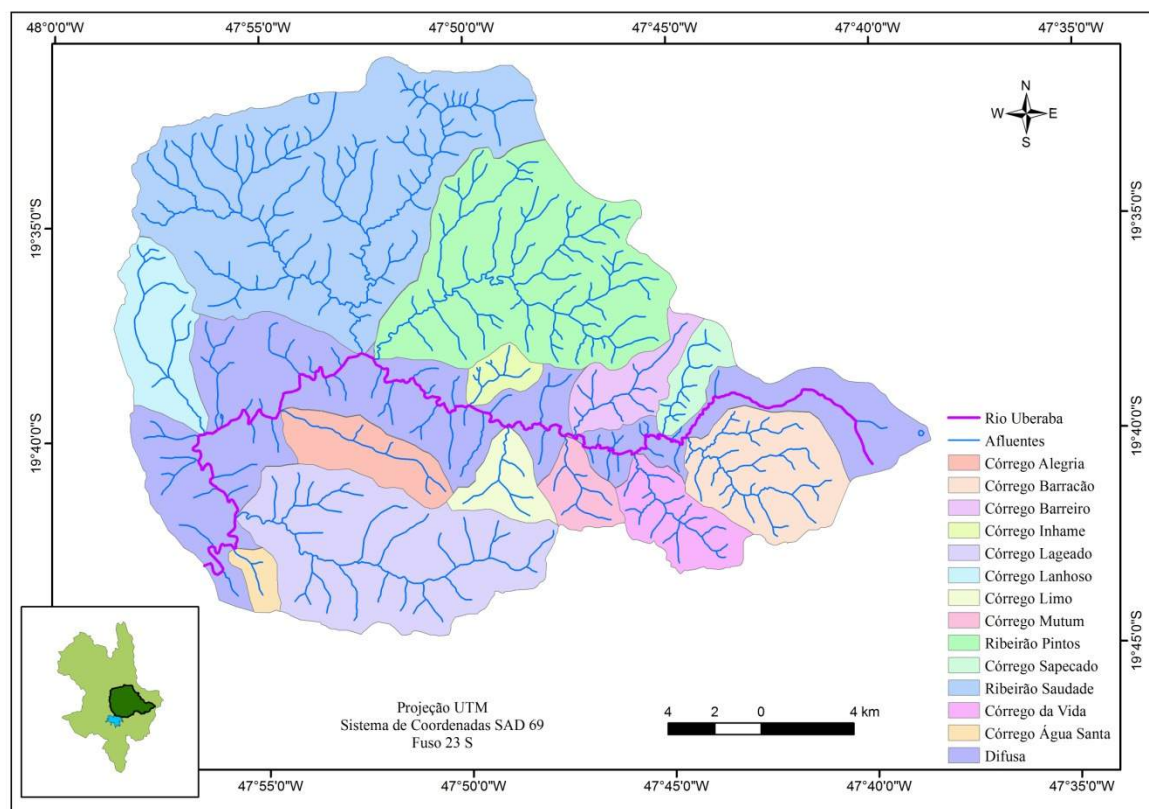
Segundo a classificação climática de Köppen, o município de Uberaba está inserido nos regimes térmicos e pluviométricos como Aw, ou seja, tropical quente úmido, com chuvas no verão (outubro-março) e seca no inverno (maio-setembro) (UBERABA, 2004). De acordo com Fernandes et al. (2011), a média anual de precipitação na bacia hidrográfica do rio Uberaba é de 1.474 mm.

O regime térmico é caracterizado por uma temperatura média anual entre 20 e 24 °C, crescendo de leste para oeste. Outubro e fevereiro são os meses mais quentes do ano, com temperaturas variando entre 21 e 25 °C e julho o mês mais frio, com temperaturas variando de 16°C a 22°C. A temperatura média anual das máximas varia entre 27 e 30 °C e as mínimas entre 15 e 18°C (CRUZ, 2003).

Em relação à topografia, a bacia hidrográfica do rio Uberaba é constituída por superfícies planas ou ligeiramente onduladas, geologicamente formada por rochas sedimentares em grande parte arenito, do período cretáceo da formação Bauru. Em relação à pedologia, o solo é predominantemente latossolo de diferentes graus de fertilidade e apresentam, em sua grande maioria, textura média variando de arenoso a argiloso (CRUZ, 2003).

Para este estudo, o alto curso do rio Uberaba foi dividido em 13 sub-bacias hidrográficas (com áreas maiores que 4 km²). A sub-bacia identificada na Figura 8 como "Difusa" engloba as sub-bacias com áreas percentuais inferiores a 1% (que são afluentes do rio Uberaba) e as áreas difusas ao longo do curso de água (UBERABA, 2004).

Figura 8 - Divisão das sub-bacias do alto curso do rio Uberaba



Fonte: O autor (2014).

As áreas e percentuais das áreas para as sub-bacias no alto curso do rio Uberaba estão ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Áreas e percentuais das áreas para cada sub-bacia no alto curso do rio Uberaba

Nº	Sub-bacia	Área (km ²)	Percentual
1	Ribeirão Saudade	129,01	24,44
2	Ribeirão dos Pintos	85,2	16,13
3	Córrego Lageado	66,4	12,58
4	Córrego Buracão	29,5	5,57
5	Córrego Lanhoso	21,7	4,13
6	Córrego Alegria	15,4	2,92
7	Córrego da Vida	15,0	2,83
8	Córrego Barreiro	13,5	2,55
9	Córrego do Limo	9,3	1,76
10	Córrego Mutum	8,6	1,63
11	Córrego Sapecado	7,6	1,43
12	Córrego do Inhame	5,2	0,98
13	Córrego Água Santa	4,0	0,75
14	Difusa	117,8	22,30
Total		528,1	100

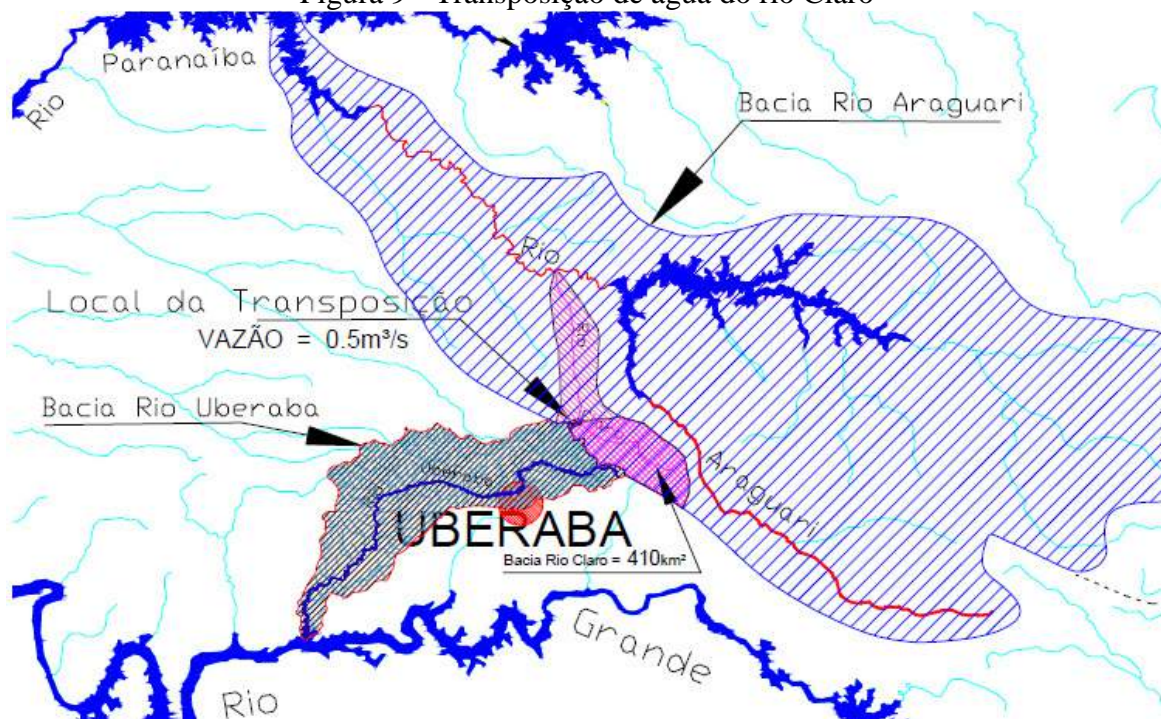
Fonte: Uberaba (2004).

De acordo com a divisão das sub-bacias descritas na Tabela 1, destaca-se que a sub-bacia nomeada como “Difusa”, com área de 117,8 km², para este estudo foi dividida em duas outras sub-bacias. A primeira foi nomeada como “Difusa 1” com área de 18,91 km², que inicia-se na nascente do rio Uberaba e vai até a confluência do córrego Buracão, que é o primeiro afluente do rio, e a outra sub-bacia foi nomeada como “Difusa restante”, com área de 98,89 km².

O abastecimento de água na cidade de Uberaba é da responsabilidade do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU), autarquia municipal de direito público, que possui outorga junto ao IGAM para captação superficial a fio de água de uma vazão de 0,9 m³/s no alto curso do rio Uberaba para atender uma população aproximada de 296 mil habitantes.

Em uma época crítica de estiagem no rio Uberaba, especificamente no ano de 2002, a vazão no curso de água foi bastante reduzida, variando de 0,38 a 0,65 m³/s, valores abaixo da vazão de captação outorgada de 0,90 m³/s. Para suprir a falta de água no abastecimento público, levando-se em consideração os fatores técnicos, econômicos e ambientais, optou-se pela transposição hídrica das águas do rio Claro, pertencente à bacia do rio Araguari. A transposição é feita do rio Claro para o Ribeirão da Saudade (Figura 9), que é o principal afluente da bacia do rio Uberaba, inclusive com as melhores condições de preservação da bacia, e o volume outorgado para essa transposição corresponde a 0,56 m³/s. Tal outorga foi publicada no Diário Oficial de Minas Gerais, em 08 de agosto de 2003, através da Portaria nº 861/2003. Este dispositivo foi aprovado pelos órgãos ambientais do Estado e pelos comitês de microbacia do Baixo Rio Grande e rio Araguari. O sistema entra em funcionamento sempre que há falta de água no período de estiagem, entre os meses de agosto a outubro.

Figura 9 - Transposição de água do rio Claro



Fonte: Uberaba (2004).

3.1.1 Uso e ocupação do solo na APA

O levantamento do uso e ocupação do solo em uma determinada região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso e ocupação do solo, para que suas tendências possam ser analisadas. Nesse sentido, o sensoriamento remoto constitui-se numa técnica de grande utilidade, pois permite em curto espaço de tempo a obtenção de informações a respeito de registros de tais usos (ROSA, 2009).

Sendo assim, segundo Rosa (2009), o levantamento do uso e ocupação do solo consiste em buscar o conhecimento de toda utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. Em outras palavras, o uso e ocupação do solo pode ser entendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O autor ressalta ainda que a utilização de dados atualizados sobre o uso e ocupação do solo é muito ampla, podendo citar como exemplo: inventário de recursos hídricos, controle de

inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, ou simplesmente para identificar os usos em determinada região. No entanto, não existe classificação de revestimento e uso do solo que seja única e ideal, sendo que cada classificação é feita de forma a atender as necessidades do usuário e adaptadas à região.

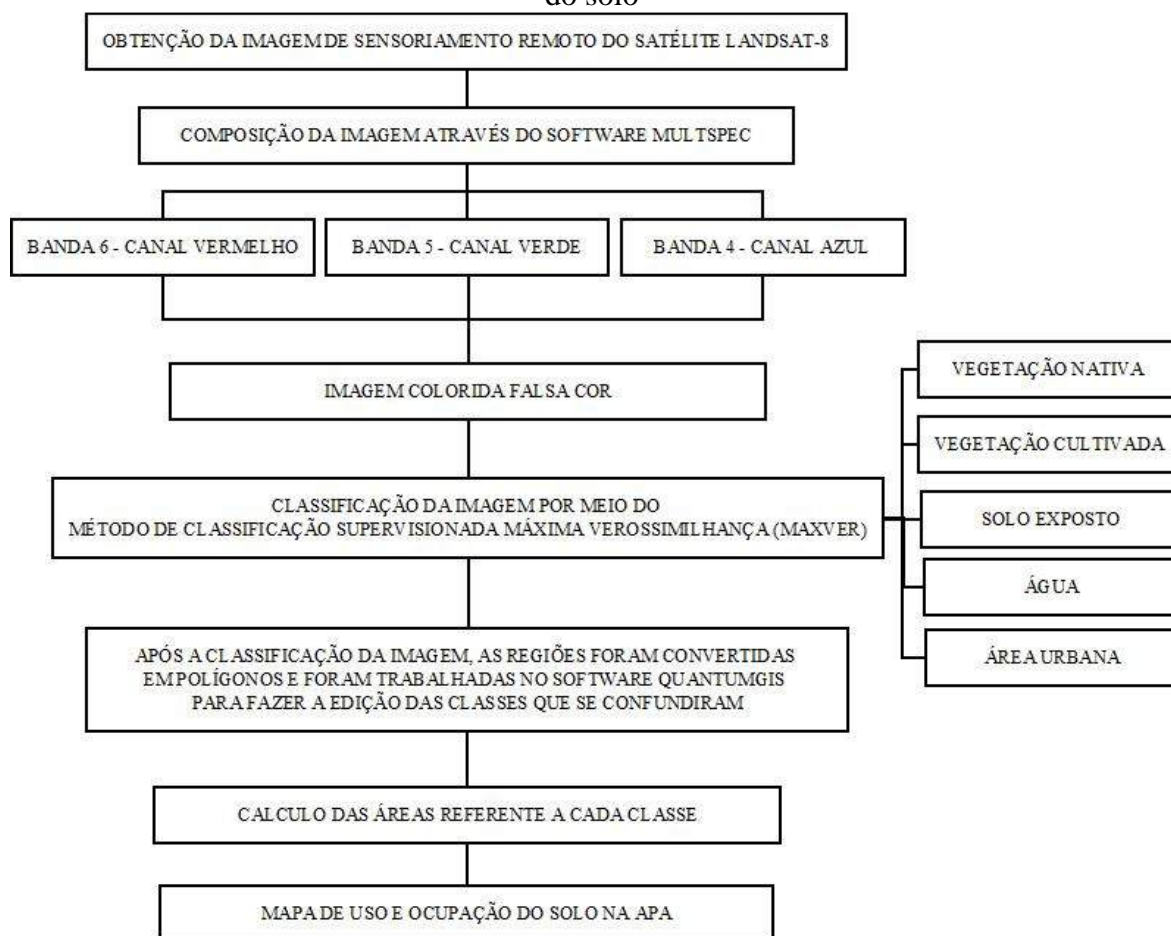
Nesse sentido, Rosa (2009) ressalta que os sistemas de sensoriamento remoto permitem a aquisição de dados de forma global, confiável e rápida, sendo estes dados de grande importância para o levantamento, mapeamento e utilização das informações de uso e ocupação do solo de uma determinada região.

Entre as técnicas de processamento digital das imagens obtidas por meio de sensoriamento remoto por meio de satélites, está a classificação de imagens, técnica utilizada para extração de informações e muito utilizada para identificar o uso e ocupação do solo. A classificação, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo, ou ainda o processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns (ROSA, 2009). A classificação de imagens deve, portanto, ser vista como um processo estatístico e probabilístico que tenta ao máximo aproximar o mapa digital à realidade (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Sendo assim, para identificar o uso e ocupação do solo na APA, recorreu-se ao geoprocessamento por meio de imagem de sensoriamento remoto e técnica de classificação supervisionada de imagem. Para isso, inicialmente foi obtida uma imagem do sensor OLI Operacional Land Imager (OLI) do satélite Landsat-8, com resolução de 30 metros, referente ao ano de 2014, disponibilizada gratuitamente pela instituição United States Geological Survey (USGS), através do site www.glovis.usgs.gov.

Para melhor entendimento da metodologia de classificação da imagem, segue o fluxograma na Figura 10.

Figura 10 - Metodologia para classificação da imagem e identificação do uso e ocupação do solo



Fonte: O autor (2015).

Para a escolha da melhor imagem, o processo de seleção limitou-se a períodos não chuvosos e com baixa cobertura de nuvens (imagens com cobertura de nuvens inferior a 10%). Esses fatores permitiram uma classificação satisfatória da imagem utilizada nesta etapa do trabalho. A imagem foi composta através do software MultSpec W32, em composição colorida falsa cor, associando-se a banda 6 no canal vermelho, banda 5 no canal verde e banda 4 no canal azul. Essa associação de bandas para a composição colorida falsa cor a partir de imagem do satélite Landsat-8 é definida por USGS (2015), visto que a banda espectral 4 permite a diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos da clorofila e também permite discriminar solo exposto e vegetação. A banda 5 permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos de água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa

faixa pelas superfícies líquidas. E a banda 6 permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível à presença de água no tecido foliar.

Após a composição da imagem, a mesma foi classificada, cujo método adotado foi o Método de Classificação Supervisionado Máxima Verossimilhança (MaxVer), que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos, onde todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (INPE, 2008 apud MENESES e ALMEIDA, 2012). Segundo Moreira (2009), o método MaxVer é mais comumente utilizado para a obtenção de classes informacionais a partir de imagens de sensores remotos.

Para que o resultado da classificação seja satisfatório, é necessária a escolha de um número razoavelmente elevado de pixels para cada amostra de treinamento da classe, e que estes tenham uma distribuição estatística próxima da distribuição normal (CRÓSTA, 1993 apud MOREIRA, 2009).

Nesta etapa de classificação, a identificação do uso e ocupação do solo foi realizada de acordo com as classes definidas, as quais foram nomeadas como vegetação nativa, vegetação cultivada, solo exposto, água e área urbana. Essas classes foram definidas por constituírem os itens que basicamente compõe as imagens de satélite.

Após a classificação, a partir da matriz de erro, utilizou-se a estatística Kappa para avaliar a concordância entre a verdade terrestre obtida através da imagem com os dados resultantes da classificação. Segundo Landis e Koch (1977 apud RODRIGUES et al., 2007), o valor do índice Kappa é associado a qualidade da classificação, cujo valor máximo do índice é 1.

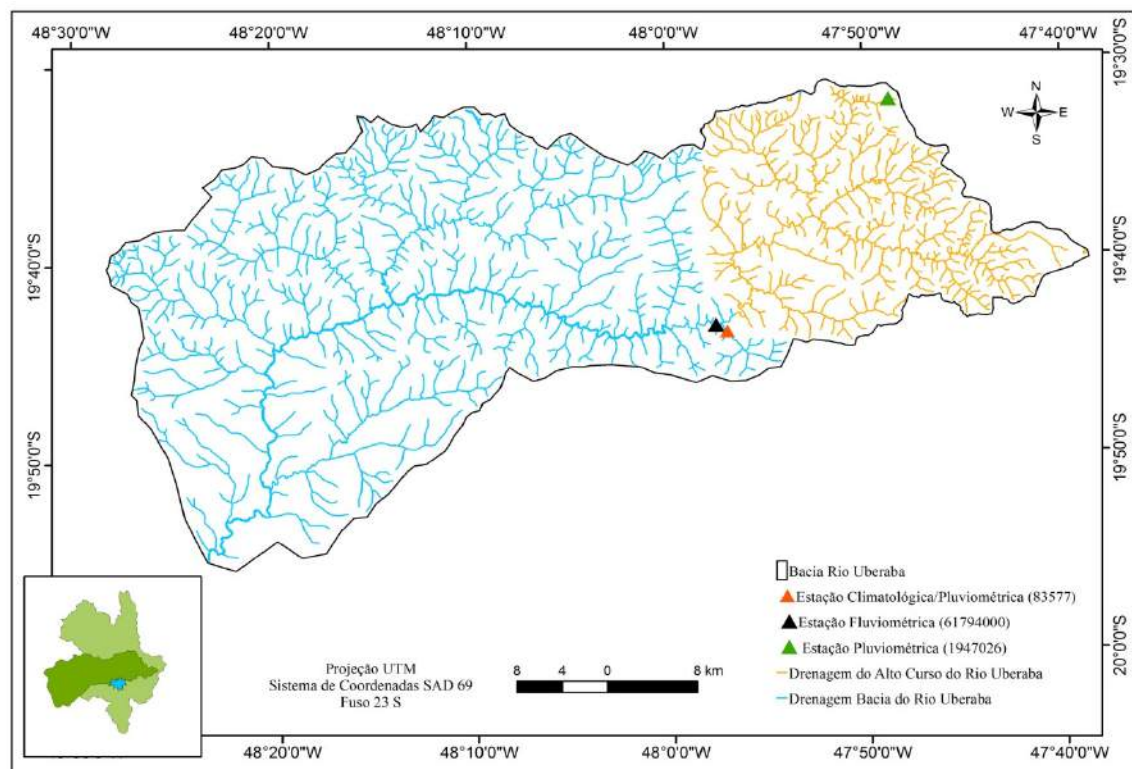
Finalizando a etapa de classificação, a imagem resultante do processo foi trabalhada no software Quantum GIS versão 2.0.1, para fazer a edição manual dos polígonos a fim de definir de forma clara as classes, e permitir a identificação do uso e ocupação do solo com maior precisão. Calculou-se a área correspondente a cada classe, para posterior análise do percentual de ocupação de cada classe de uso do solo na APA.

3.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS, PLUVIOMÉTRICOS E CLIMATOLÓGICOS

Os estudos hidrológicos dependem da qualidade e representatividade dos registros fluviométricos, pluviométricos e climatológicos, para bem caracterizar a variabilidade das vazões de um curso de água. Quanto mais consistentes e extensas forem as séries históricas monitoradas, mais confiáveis serão as simulações das vazões características a serem empregadas no estudo. Atualmente, no Brasil, as entidades que operam as redes fluviométricas e hidrometeorológicas são a ANA e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Outras redes de monitoramento, de menor extensão, são mantidas por companhias estaduais de saneamento e energéticas, podendo citar FURNAS Hidrelétrica SA, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), entre outras.

A Tabela 2 apresenta as estações fluviométrica, pluviométricas e climatológica utilizadas neste estudo de mestrado. A Figura 11 apresenta a localização das estações presentes na bacia do rio Uberaba.

Figura 11 - Localização das estações fluviométrica, pluviométricas e climatológica



Fonte: O autor (2014).

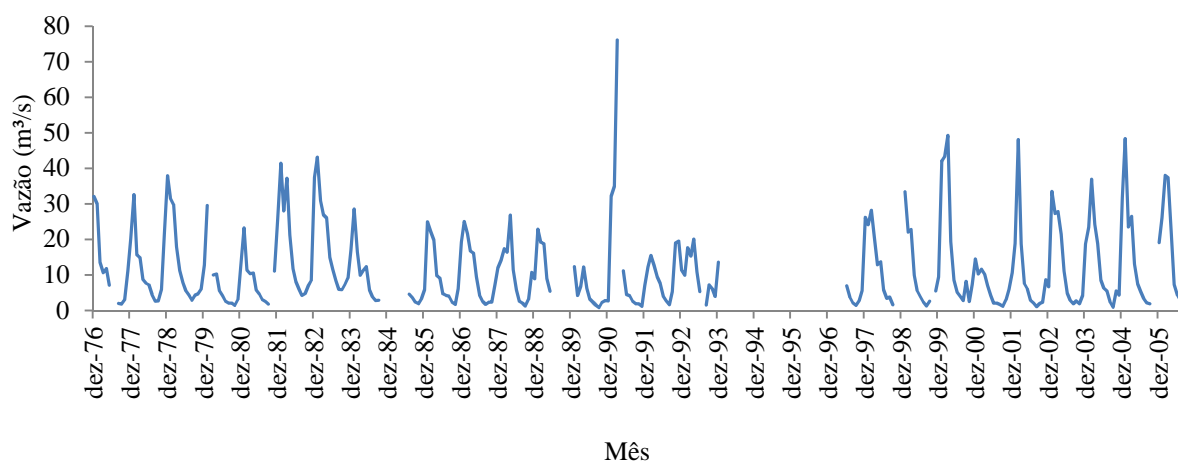
Tabela 2 - Estações fluviométrica, pluviométricas e climatológica utilizadas no estudo

Estação fluviométrica				
Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Operadora
61794000	Uberaba	47°58'44"	19°43'38"	CPRM
Estações pluviométricas				
Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Operadora
83577	Uberaba	47°57'00"	19°43'48"	INMET
1947026	Itiguapira	47°48'40"	19°32'9"	CPRM
Estação climatológica				
Código	Estação	Longitude (Oeste)	Latitude (Sul)	Operadora
83577	Uberaba	47°57'00"	19°43'48"	INMET

Fonte: O autor (2014).

A estação fluviométrica 61794000 dispõe de uma série histórica de vazão de janeiro de 1977 até setembro de 2006 e foi operada pela CPRM, cujos valores da série estão ilustrados na Figura 12. Nesta figura, observa-se que existem períodos com ausência de dados monitorados, o que demandou o preenchimento destes períodos falhos a partir do emprego da metodologia descrita no item 3.2.1.

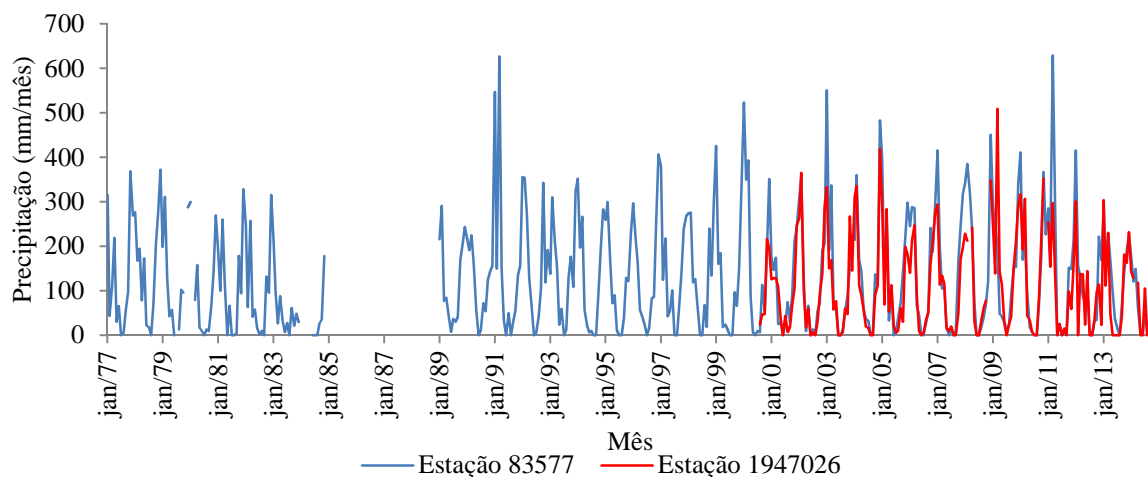
Figura 12 - Série histórica de vazões da estação fluviométrica 61794000



Fonte: O autor (2014).

As estações pluviométricas dispõem de dados históricos de precipitação de 37 anos (janeiro de 1977 até novembro de 2014) para a estação 83577 e de 14 anos (agosto de 2000 até outubro de 2014) para a estação 1947026, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Séries históricas de precipitação



Fonte: O autor (2014).

As estações utilizadas neste estudo pertencem à rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) operado pela ANA, a qual disponibiliza as séries históricas em página eletrônica através do endereço www.hidroweb.ana.gov.br. Exceto a estação 83577, cujos dados foram obtidos diretamente do INMET através do endereço www.inmet.gov.br.

3.2.1 Compilação dos dados

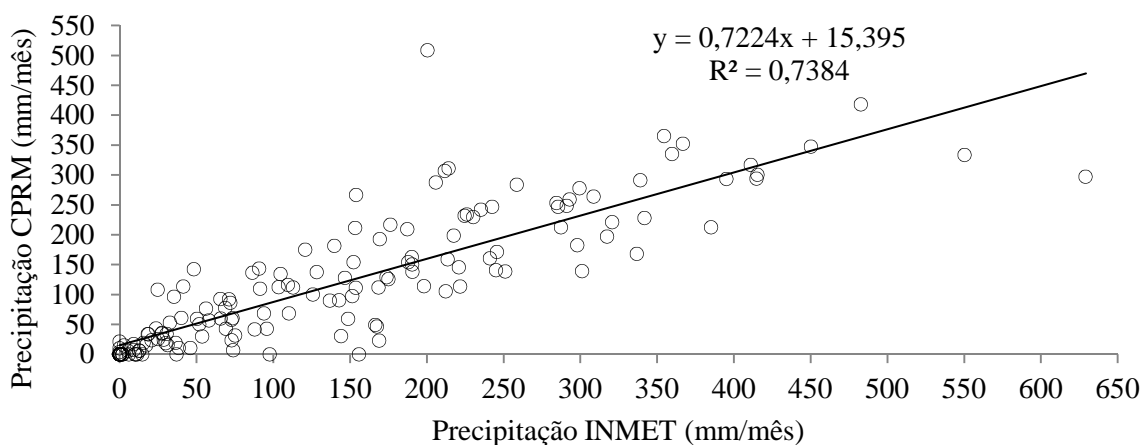
Segundo Bertoni e Tucci (2013), um posto pluviométrico tem como objetivo obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos; porém, nas séries históricas podem ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com aparelhos de registro e/ou com o operador do posto. Sendo assim, a ausência ou falha de registro em períodos variados pode ser preenchida utilizando-se vários métodos estatísticos, tais como método de ponderação regional, método de regressão linear e método de ponderação regional com base em regressões lineares.

Sendo assim, a compilação dos dados de precipitação, vazão, evapotranspiração e temperatura consistiu primeiramente em organizá-los em planilha Excel, para análise dos mesmos e identificação dos períodos com falha.

Os dados de precipitação com falhas em alguns períodos, foram preenchidos utilizando o método de regressão linear. Em função da facilidade no manuseio e devido aos resultados

satisfatórios, este método tem grande aceitação, o qual correlaciona os dados falhos de precipitação de uma estação pluviométrica com os dados existentes de uma estação vizinha por meio de equação linear. A regressão linear foi obtida a partir dos dados de precipitação do INMET no eixo das abscissas e os dados de precipitação da CPRM no eixo das ordenadas, cuja equação resultante está apresentada na Figura 14.

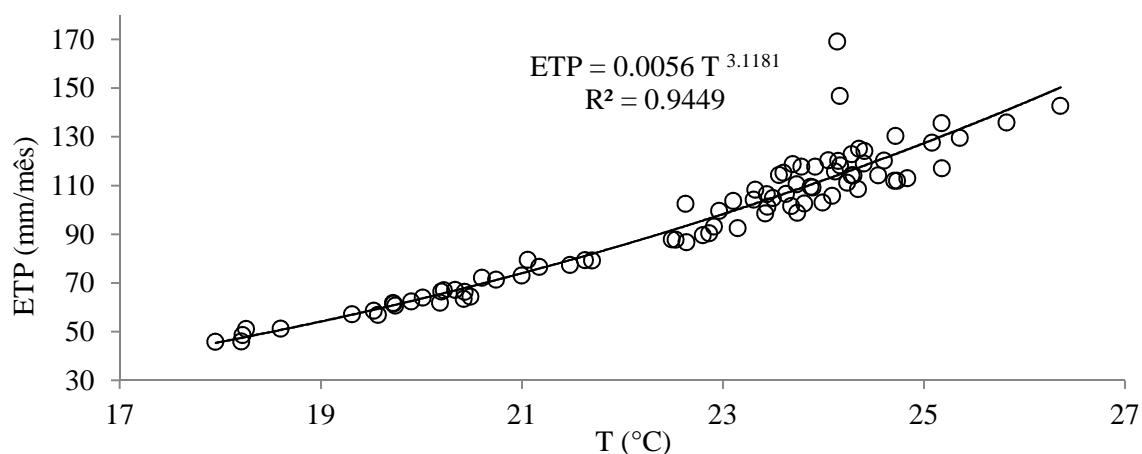
Figura 14 - Regressão linear obtida para preenchimento dos períodos falhos de precipitação



Fonte: O autor (2014).

Para o preenchimento das falhas dos dados de evapotranspiração foi utilizado regressão não linear de função potencial, que consistiu em correlacionar os dados de temperatura ambiente com os dados de evapotranspiração existentes, cuja regressão não-linear obtida está apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Regressão não linear de função potencial obtida para preenchimento dos períodos falhos de evapotranspiração



Fonte: O autor (2014).

Quanto aos dados de vazão, os períodos falhos não foram preenchidos, visto que estes dados foram utilizados a princípio para a calibração dos parâmetros dos modelos hidrológicos chuva-vazão. Posterior à calibração dos parâmetros, ao utilizar a série histórica de vazões em outras etapas deste trabalho, os períodos falhos foram preenchidos com as vazões simuladas pelo modelo hidrológico chuva-vazão.

3.3 METODOLOGIA HIDROLÓGICA

Neste item é feita uma descrição da metodologia utilizada para a quantificação e regionalização da vazão $Q_{7,10}$.

3.3.1 Determinação da vazão $Q_{7,10}$

Como já foi apresentado neste trabalho, o Estado de Minas Gerais utiliza a $Q_{7,10}$ como vazão de referência para emissão de outorga. Esta vazão pode ser entendida como o valor anual da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que pode ser repetido, em média, uma vez a cada dez anos (período de retorno de 10 anos). Assim, em cada ano da série histórica, procede-se à análise das 365 médias diárias de vazão. Seleciona-se, em cada ano, o período de 7 dias consecutivos que resulta na menor média de 7 valores. Esta é uma média móvel para 7 termos (dias 1 a 7, dias 2 a 8, dias 3 a 9, etc.) (VON SPERLING, 2007).

Sendo assim, a estimativa da $Q_{7,10}$ foi realizada através do programa computacional SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA, 2009), e utilizou-se os dados da estação fluviométrica 61794000, com base na série histórica de 29 anos (compreendida entre 1977 a 2006), considerando-se para o cálculo o início do ano hidrológico em janeiro e descartando-se os anos com 5% ou mais de falhas na série histórica. Utilizou-se apenas esta estação, pois a mesma localiza-se nas proximidades da foz da APA.

Segundo Sousa (2009), para obtenção das vazões mínimas, o programa computacional SisCAH utiliza as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3,

Normal, Lognormal 2 e Weibull, sendo que, para estas distribuições, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno é dada pela Equação (1).

$$M = \mu + k \sigma \quad (1)$$

Na qual: M é a magnitude do evento para o período de retorno estabelecido; μ é a média dos eventos; k é o fator de frequência e σ é o desvio padrão dos eventos.

Para a estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ mensais, seguiu-se os mesmos procedimentos da estimativa da $Q_{7,10}$ anual, porém desta vez foram obtidos os valores de Q_7 para cada mês, de cada ano do período base, e o conjunto de todos os valores de Q_7 em cada mês constituiu-se uma nova série de eventos. Para as séries de eventos de Q_7 , tanto anual quanto mensal, aplicou-se a análise das distribuições de probabilidade.

A melhor estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ corresponde a distribuição de densidade de probabilidade que apresenta menor amplitude do intervalo de confiança dentre as estimativas obtidas por cada distribuição. A melhor estimativa é indicada automaticamente pelo programa computacional SisCAH 1.0.

3.3.2 Regionalização da vazão $Q_{7,10}$

De acordo com Tucci (2013), a regionalização de vazão é um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando a estimativa das variáveis hidrológicas (como por exemplo as vazões mínimas) em locais sem dados ou com dados insuficientes.

A vazão $Q_{7,10}$ neste estudo foi determinada apenas na estação fluviométrica existente nas proximidades de jusante da foz da APA, porém foi necessário estimar essa vazão nas diversas sub-bacias de interesse por meio da regionalização.

Dentre as metodologias utilizadas para regionalização da vazão mínima, merece destaque as equações de regressões regionais, as quais utilizam dados climáticos e fisiográficos de bacias hidrograficamente homogêneas (TUCCI, 2013; EUCLYDES et al., 2001). A

utilização de regressão regional para regionalização de vazão mínima leva a erros que, de acordo com Stedinger et al. (1992 apud Chaves et al., 2002), são justificados pela incapacidade dessas equações de coletar informações ou características superficiais e sub-superficiais das bacias hidrográficas.

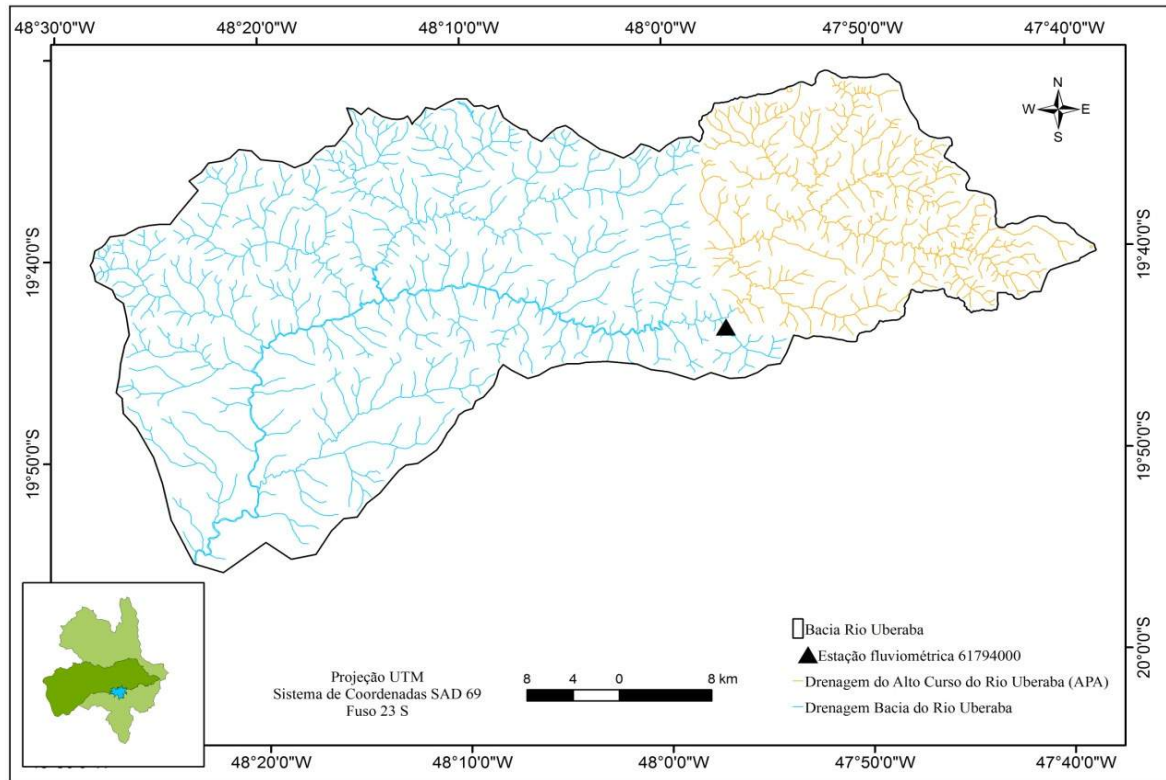
Sabendo que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) auxiliam satisfatoriamente na caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas, Chaves et al. (2002) propuseram métodos para regionalização de vazão mínima, em regiões com limitação de dados históricos de vazão, nos quais são utilizadas técnicas de interpolação e extrapolação em ambiente SIG. Nesta metodologia a vazão mínima é interpolada e extrapolada com base na razão da área de drenagem, no inverso das distâncias entre o ponto de monitoramento da vazão e o ponto onde se quer estimar a vazão e, para finalizar, a combinação da razão de área de drenagem e o inverso das distâncias.

Na metodologia proposta por Chaves et al. (2002), para uma situação onde existe apenas um posto de monitoramento a jusante da região de interesse, mas ainda dentro da mesma bacia hidrográfica com pequenas dimensões, aplica-se o método de razão de área de drenagem, originalmente proposto por Stedinger et al. (1992).

Este método da razão de área de drenagem também pode ser chamado de método da vazão específica. De acordo com Silva (2009), este método é uma alternativa em que se utiliza o cálculo das vazões tendo como base as áreas de drenagem de postos fluviométricos localizados a montante e/ou a jusante do local onde se deseja estimar a vazão, sendo mais apropriado para a estimativa da vazão média de longo prazo Q_{mlp} . Esta metodologia viabiliza a sua aplicação em pequenas bacias hidrográficas com número reduzido de postos hidrométricos. Também, de acordo com Silva et al. (2009), esta metodologia não fornece resultados satisfatórios nos casos em que a diferença entre a área total de contribuição ao posto fluviométrico monitorado e a área de drenagem do local onde se pretende estimar a vazão mínima for grande.

A configuração no alto curso do rio Uberaba, conforme ilustra a Figura 16, apresenta a mesma configuração descrita por Chaves et al. (2002), uma vez que a APA possui apenas uma estação fluviométrica monitorada.

Figura 16 - Localização do alto curso do rio Uberaba (APA) juntamente com a localização da estação fluviométrica



Fonte: O autor (2014).

Nesse sentido, as vazões mínimas nas diversas sub-bacias hidrográficas existentes na APA foram estimadas através de regionalização via vazão específica, de acordo com a Equação (2), de modo que considerou-se alguns aspectos favoráveis a utilização desta metodologia, como área de estudo ser considerada pequena e homogênea do ponto de vista de uso e ocupação do solo. A homogeneidade de uso e ocupação do solo na APA é observada e discutida no item 3.1.1.

$$Q_{7,10\ i} = (A_i / A_{total}) \cdot Q_{7,10\ \text{alto curso do rio Uberaba}} \quad (2)$$

Na qual: $Q_{7,10\ i}$ é a vazão estimada na sub-bacia i (m^3/s); $Q_{7,10\ \text{alto curso do rio Uberaba}}$ é a vazão $Q_{7,10}$ obtida no alto curso do rio Uberaba (m^3/s); A_{total} é a área total da bacia de contribuição da estação fluviométrica (km^2); A_i é a área de contribuição da sub-bacia i (km^2).

3.4 MODELOS HIDROLÓGICOS CHUVA-VAZÃO UTILIZADOS

De acordo com Salla et al. (2015), a ferramenta computacional EVALuación de los recursos HIDricos (EVALHID) possibilita, através de uma interface amigável e por meio de diversos modelos chuva-vazão, a avaliação dos recursos hídricos em uma ou várias bacias hidrográficas simultaneamente e com modelos variados. A ferramenta EVALHID foi desenvolvida por Paredes-Arquiola et al. (2011) e integra os modelos chuva-vazão Témez, HBV, Sacramento, GR2M, GR4J e AWBM, todos do tipo agregado com aplicação semidistribuída, o que significa que a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias. Em cada sub-bacia, pode-se escolher um modelo disponibilizado pelo programa (PAREDES-ARQUIOLA et al., 2011).

Ainda de acordo com Salla et al. (2015), os modelos hidrológicos chuva-vazão de Témez e HBV, ambos integrantes da ferramenta EVALHID, forneceram um bom ajuste entre as vazões simuladas e as observadas em quatro sub-bacias hidrográficas na cabeceira do rio Araguari, no Triângulo Mineiro. Em função dos dados hidrológicos disponíveis na área de estudo e dos bons resultados obtidos por Salla et al. (2015), neste trabalho foram utilizados os modelos Témez e HBV, descritos a seguir.

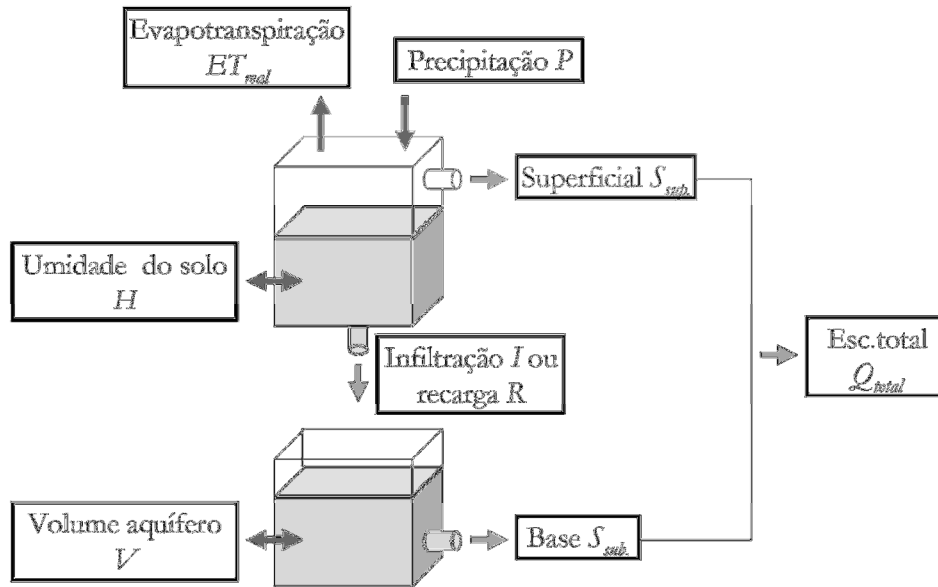
- Modelo Témez

O modelo Témez (Témez, 1977 apud Paredes-Arquiola et al., 2011) considera apenas quatro parâmetros, com uma larga trajetória de aplicação na Europa e América Latina na avaliação de recursos hídricos (Pizarro et al., 2005; Murillo & Navarro, 2011; Baeza, 2011; Giménez, 2012; García et al., 2012; Maidment & Tarboton, 2013). Todo o processo é governado pelo princípio da continuidade e pelo balanço de massa em escala mensal, com aplicação limitada às bacias hidrográficas que possuem certa homogeneidade climática e geológica. Para sua aplicação em bacias hidrográficas maiores é necessário realizar a subdivisão em sub-bacias, onde o modelo pode funcionar como semi-agregado.

O modelo considera o terreno dividido em zona superior (não saturada) e zona inferior (saturada), que deságua na rede de drenagem superficial. No balanço de massa são considerados o fluxo de entrada (precipitação - P), fluxos de saída (evapotranspiração real

- ET_{real} , saída superficial - $S_{sup.}$ e saída subterrânea - $S_{sub.}$), fluxo intermediário (infiltração - I , identificada pela recarga - R_t de aquífero durante um tempo - t menor que o período mensal de simulação) e armazenamentos intermediários (umidade do solo - H_t e volume armazenado no aquífero - V_t), conforme esquema ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Esquema dos tanques na estimativa do escoamento total - modelo de Témez



Fonte: Adaptado de Paredes-Arquiola et al. (2011).

Na sequência, são apresentadas as equações de estado que regulam o ciclo hidrológico.

- da precipitação total P_t , a porção não armazenada no solo é considerada como excedente (T_t), representada pela Equação (3) a (5).

$$T_t = 0; \text{ se } P_t \leq P_o$$

$$T_t = (P_t - P_o)^2 / (P_t - \delta_t - 2P_o); \text{ se } P_t > P_o \quad (3)$$

$$\delta_t = H_{m\acute{a}x} - H_{t-1} + ETP_t \quad (4)$$

$$P_o = C.(H_{m\acute{a}x} - H_{t-1}) \quad (5)$$

Na qual: $H_{máx}$ é a capacidade máxima de armazenamento do solo, que depende da textura, declividade do terreno e espessura do solo onde ocorre a evapotranspiração (L); H_{t-1} é o armazenamento do solo no tempo t-1 (L); ETP_t é a evapotranspiração potencial no tempo t (L); C é um fator adimensional que permite obter um valor limite de precipitação inicial P_o a partir do déficit de umidade do solo ($H_{máx} - H_{t-1}$);

- a porção armazenada na parte superior do solo H_t , que depende das condições de armazenamento no tempo t-1 (H_{t-1}), é representada pela Equação (6).

$$H_t = \max\{0; H_{t-1} + P_t - T_t - ETP_t\} \quad (6)$$

- a evapotranspiração real ET_{real} é representada pela Equação (7). Sempre que existe umidade na parte superior do solo, ocorrerá a ET_{real} até alcançar o limite da ETP .

$$ET_{real} = \min\{H_{t-1} + P_t - T_t; ETP_t\} \quad (7)$$

- a infiltração I_t corresponde à fração que recarrega o aquífero e, portanto, é o excedente que não esco superficialmente. Depende do excedente T_t e de um parâmetro denominado infiltração máxima ($I_{máx}$), conforme equação (8).

$$I_t = I_{máx} \cdot T_t / (T_t + I_{máx}) \quad (8)$$

- A saída superficial $S_{sup.}$ (L/T) é expressa pela Equação (9). A vazão cedida ao escoamento superficial Q_t é diretamente proporcional ao volume armazenado V_t , conforme Equação (10).

$$S_{sup.} = T_t - I_t \quad (9)$$

$$Q_t = S_{sub} \cdot A_{sub} = \alpha \cdot V_t \quad (10)$$

Na qual: A_{sub} é a área interfacial entre a região não saturada e a saturada (L²); α é uma constante que relaciona o volume armazenado no aquífero com a vazão fornecida ao escoamento superficial (1/T);

- Na obtenção da equação final de V_t aplica-se o balanço de massa no aquífero, resultando na Equação (11).

$$I_t - Q_t = dV_t/dt; I_t = R_t$$

$$R_t - \alpha \cdot V_t = dV_t/dt; \text{ (para } t = 0, V_t = V_0 \text{ e } R_t \text{ constante)}$$

$$V_t = V_0 \cdot \exp^{-\alpha \cdot t} + (R_t/\alpha) \cdot (1 - \exp^{-\alpha \cdot t}); \quad R_t = A_{sub} \cdot I_t$$

$$V_t = V_{t-1} \cdot \exp^{-\alpha \cdot \Delta t} + (S \cdot I_t/\alpha) \cdot (1 - \exp^{-\alpha \cdot \Delta t}) \quad (11)$$

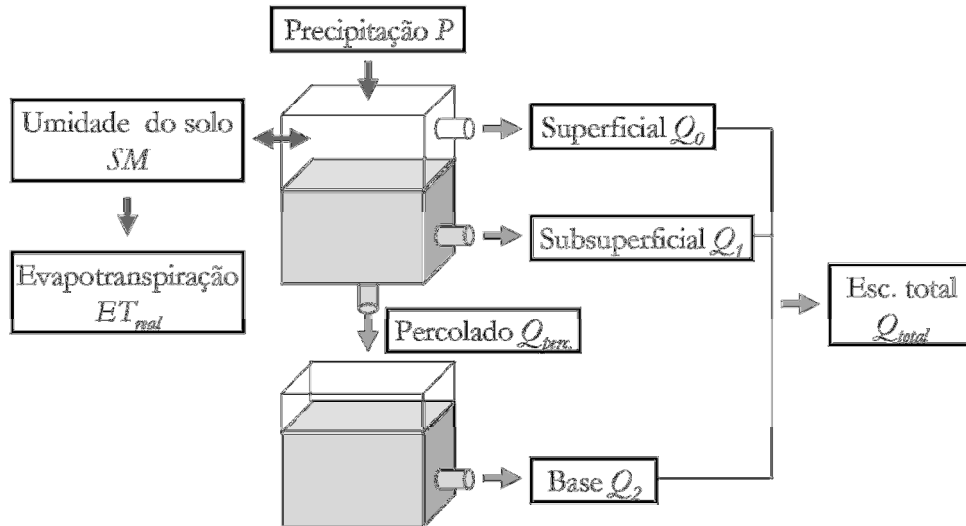
Com isso, no modelo Témez, é preciso ajustar os parâmetros $H_{máx}$, C , $I_{máx}$ e α . Os parâmetros $H_{máx}$ e C regulam o armazenamento de água no solo, $I_{máx}$ reparte o escoamento superficial do subterrâneo e o parâmetro α controla a drenagem subterrânea. Como condições iniciais de simulação, a umidade inicial do solo H_0 e do armazenamento do aquífero V_0 são adotados, cujos efeitos são rapidamente abatidos no decorrer dos primeiros meses de simulação.

- Modelo HBV

O modelo HBV – Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning model (Bergström, 1995 apud Arquiola et al. 2011) pertence a uma gama de modelos que utilizam os processos mais importantes integrantes ao escoamento superficial, por meio de uma estrutura simples e com oito parâmetros, que trabalha com escala temporal diária ou mensal e que utilizam, como dados de entrada, as séries de precipitação, temperatura atmosférica e evapotranspiração média mensal. Este modelo foi originalmente desenvolvido pelo Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco – SMHI para prever o escoamento afluente às centrais hidrelétricas (BERGSTRÖM, 1995). Ainda que a estrutura principal do modelo tenha sido mantida, existem algumas versões adaptadas que evidenciam a elevada aceitação em diversos países, de acordo com Hundecha & Bárdosy (2004), Seibert (2005), Abebe et al. (2010), Dakhlaoui et al. (2012) e Jia et al. (2012).

Adequando-se à realidade brasileira, o modelo engloba três módulos principais, sendo: um de precipitação efetiva e umidade do solo, um de evapotranspiração e outro de estimativa de escoamento (soma dos escoamentos superficial, sub-superficial e de base), conforme esquema ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Esquema dos tanques para estimativa do escoamento total - modelo HBV



Fonte: Adaptado de Paredes-Arquiola et al. (2011).

Na sequência, enfatizam-se as equações de estado para os módulos.

- A precipitação efetiva P_{ef} ou escoamento superficial depende da umidade do solo no momento da precipitação e é obtida por meio da Equação (12).

$$P_{ef} = (SM / FC)^\beta \cdot P \quad (12)$$

Na qual: SM é a umidade do solo (L); FC é a máxima capacidade de armazenamento do solo (L); P é a precipitação mensal (L); e β é um parâmetro de ajuste do modelo (-);

- No módulo de evapotranspiração relaciona-se a umidade do solo SM e a evapotranspiração real ET_{real} , por meio de um parâmetro de saturação do solo PWP , conforme Equação (13).

$$ET_{real} = ETP, \text{ se } SM \geq PWP$$

$$ET_{real} = ETP.(SM / PWP), \text{ se } SM < PWP \quad (13)$$

- De acordo com a Figura 18, a vazão total Q_{total} é obtida pela soma do escoamento superficial (Q_0), sub- superficial (Q_1) e de base (Q_2), representadas pelas Equações (14) a (17).

$$Q_0 = 0, \text{ se } S_1 \leq L$$

$$Q_0 = k_0.(S_1 - L_{m\acute{a}x}).A, \text{ se } S_1 > L_{m\acute{a}x} \quad (14)$$

$$Q_1 = k_1.S_1.A \quad (15)$$

$$Q_{perc.} = k_{perc.}.S_1.A \quad (16)$$

$$Q_2 = k_2.S_2.A \quad (17)$$

Na qual: k_0 é o coeficiente do escoamento superficial (1/T); k_1 é o coeficiente do escoamento subsuperficial (1/T); k_2 é o coeficiente do escoamento base (1/T); $k_{perc.}$ é o coeficiente de percolação (1/T); S_1 é o nível líquido no reservatório superior (L); S_2 é o nível líquido no reservatório inferior (L); $L_{m\acute{a}x}$ é o limite máximo de fluxo subsuperficial (L); e A é a área da bacia hidrográfica (L²).

O modelo HBV solicita o ajuste de oito parâmetros: k_0 , k_1 , k_2 , $k_{perc.}$, $L_{m\acute{a}x}$, PWP , FC e β . Como condições iniciais de simulação, a umidade inicial do solo H_0 , S_1 e S_2 , no tempo inicial são fatores que devem ser adotados.

3.5 FERRAMENTA COMPUTACIONAL AQUATOOL

A ferramenta computacional AQUATOOL atua como um sistema de suporte à decisão na área de recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica. Desenvolvida pelo Instituto de Ingenieria del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politecnica de Valencia (IIAMA/UPV), esta ferramenta é muito utilizada na Europa na modelagem da quantidade e qualidade da água em córregos, rios e reservatórios de acumulação, com crescente

aceitação na Ásia, América Latina e África (PAREDES-ARQUIOLA et al. 2010a, 2010b; SULIS & SECHI, 2013; SALLA et al., 2014a, 2014b; FERREIRA, 2014).

De acordo com Andreu et al. (1992), dentro do AQUATOOL, o módulo de gerenciamento do quantitativo de água SIMGES é utilizado na simulação da vazão em rios, córregos e reservatórios em escala da bacia hidrográfica, a partir da definição espacial e quantitativa das descargas (retiradas pontuais para irrigações, indústrias, mineradoras, consumo humano, entre outros), das recargas (afluentes pontuais e difusos, superficiais e subterrâneos) e dos requisitos ambientais definidos por legislações ambientais. De uma forma geral, o módulo SIMGES pode ser utilizado para: simular quantitativamente qualquer bacia hidrográfica para infraestruturas hipotéticas, demandas solicitadas e regras de gestão definidas por Comitê de Bacia Hidrográfica local; definir as regras de gestão de bacia mais adequadas para garantir a vazão ecológica mínima, a qualidade de água mínima em respeito à classificação do curso de água; definir as vantagens e desvantagens das variações da vazão frente a um ou mais usos prioritários; simular a capacidade de bombeamento para dada demanda frente aos requisitos mínimos de reservação.

Neste estudo foi utilizada a ferramenta AQUATOOL, vinculada ao módulo SIMGES, para simular o balanço hídrico superficial na sub-bacia hidrográfica do alto curso do rio Uberaba para a topologia atual e, após a implantação do reservatório de acumulação, por meio de dois cenários, avaliar o comportamento hídrico do reservatório, o déficit no abastecimento de água na área urbana de Uberaba e a disponibilidade hídrica a jusante deste reservatório.

3.5.1 Criação da topologia na APA

A topologia do modelo de quantidade da água trata-se, basicamente, de um esquema situacional da bacia hidrográfica em estudo, elaborada diretamente na ferramenta AQUATOOL, onde todos os elementos do modelo são organizados a critério do usuário e sem a necessidade de manutenção de uma escala. A única premissa que existe na elaboração da topologia é que os elementos inicial e final devem ser previamente introduzidos no esquema antes da introdução dos elementos de conexão. Como exemplo, para a inclusão de uma retirada pontual é necessário previamente indicar o nó de saída e a

demanda de chegada desta retirada pontual. Um outro exemplo, para a inclusão de um trecho de curso de água é necessário previamente indicar o nó de saída e o nó de chegada deste trecho.

A referida topologia foi construída de acordo com os elementos integrantes ao estudo hídrico superficial na APA. Sendo assim, foram considerados os seguintes elementos:

- Aquífero: utilizou-se o elemento aquífero para introduzir no balanço hídrico a vazão proveniente da área difusa. A utilização do elemento aquífero foi apenas uma estratégia para direcionar toda a vazão difusa mensal para um único reservatório e, a partir deste, redistribuir as parcelas distintas de vazão aos diversos trechos ao longo do alto curso do rio Uberaba. Estas vazões foram estimadas a partir do coeficiente de distribuição, obtido pela relação entre o comprimento do trecho e o comprimento total do rio Uberaba na APA. Na topologia, este elemento foi chamado de aquífero “fictício”. Ressalta-se que não foram consideradas as interações entre as águas superficiais e subterrâneas;
- Conduções do tipo 2: conceitualmente refere-se ao trecho de curso de água onde a água é infiltrada no subsolo. Neste estudo não foi considerado o balanço hídrico subterrâneo, onde a condução tipo 2, juntamente com o aquífero fictício, foram introduzidos na topologia apenas para representar a vazão difusa no trecho de rio estudado;
- Conduções do tipo 3: conceitualmente refere-se ao trecho de curso de água em que existe conexão entre o rio e o aquífero. Neste estudo, a condução do tipo 3 foi introduzida para permitir a entrada da vazão difusa advinda do aquífero fictício;
- Nós: utilizados para as junções de dois ou mais elementos na topologia e também no início e final de um trecho;
- Entradas intermediárias: referem-se às vazões afluentes no alto curso do rio Uberaba advindas das diversas sub-bacias e da transposição do rio Claro;

- Demandas: representam as retiradas de água para irrigação e abastecimento público da área urbana de Uberaba. Não foi considerado o retorno da água irrigada ao curso de água natural;

A topologia de uma bacia hidrográfica é fácil de ser construída, desde que se tenha conhecimento prévio das características físicas da área de estudo, como por exemplo o comprimento dos diversos trechos do rio, quantidade e localização dos afluentes. Segundo Solera et al. (2007), o manual do usuário da ferramenta AQUATOOL possui um texto completo e de fácil compreensão sobre as finalidades de cada elemento do modelo.

Em resumo, a construção da topologia se deu da seguinte forma: de acordo com os elementos alternativos disponíveis na ferramenta, foi introduzido inicialmente um aquífero “fictício” unicelular, cujo coeficiente de deságue alfa é 1 (mês^{-1}) e o volume inicial (hm^3) é 0. Posteriormente adicionou-se um único trecho representado pela condução do Tipo 2, que foi utilizado para a infiltração fictícia da vazão incremental difusa total de todos os trechos do rio, de forma que, na descrição desta condução, foi informado o aquífero unicelular vinculado e definiu-se os coeficientes A, B e C da equação $I = A + B \cdot Q^C$ como 0, 1 e 1 respectivamente (I é a vazão total infiltrada e Q é a vazão superficial). Na sequência, após a inclusão dos nós de início e final de cada sub-trecho, foram introduzidas conduções do Tipo 3 para representar cada sub-trecho do rio. Em cada condução foi informado o aquífero “fictício” unicelular que está conectado e o coeficiente de distribuição da conexão. Este coeficiente de conexão é a relação entre o comprimento do sub-trecho e o comprimento total do trecho do rio. Para finalizar, adicionou-se o elemento que representa as entradas intermediárias e as demandas.

A Figura 19 apresenta a topologia que foi utilizada neste trabalho, considerando as vazões afluentes estimadas pelo modelo hidrológico chuva-vazão, as demandas e a transposição de água do rio Claro.

3.6 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA APA

Este item traz as metodologias utilizadas para avaliar a otimização da disponibilidade hídrica na APA a partir da substituição das vazões de referência mínimas anuais pelas mínimas mensais e a partir das mudanças no critério de outorga pelo direito de uso da água.

Esta avaliação foi realizada por meio de comparação da disponibilidade hídrica atual (considerando os critérios atuais para outorga) com a disponibilidade hídrica para situações distintas (seja pelo período mensal ou anual e/ou pela mudança de critério de outorga). Os locais onde foram feitas estas comparações foram: a foz de cada sub-bacia e o nó de jusante de cada trecho no alto curso do rio Uberaba. De acordo com a Figura 19, cada trecho do rio Uberaba possui um nó de montante e outro de jusante, totalizando 14 trechos e nomeados de T1 a T14, além de um trecho a montante do trecho T1, identificado como "bacia difusa 1", que corresponde ao trecho entre a nascente do rio Uberaba e a confluência deste com o primeiro afluente (córrego Buracão).

3.6.1. Substituição das vazões de referência mínimas anuais pelas mínimas mensais

A análise comparativa entre a situação atual e a otimizada de disponibilidade hídrica foi realizada através da Equação (18). Nesta equação, a situação atual é representada pela vazão Q_{anual} e a situação otimizada é representada pela vazão Q_{mensal} .

$$DR\% = \{(Q_{mensal} - Q_{anual})/Q_{anual}\}.100 \quad (18)$$

Na qual: $DR\%$ é a diferença relativa entre a situação otimizada mensal e a anual (%); Q_{mensal} é a $Q_{7,10}$ obtida em base mensal (m^3/s); Q_{anual} é a $Q_{7,10}$ obtida em base anual (m^3/s). Para a análise da diferença relativa $DR\%$, utilizou-se os valores de $Q_{7,10}$ determinados conforme metodologia apresentada no item 3.3.

3.6.2 Mudanças no critério de outorga

As análises das mudanças no critério de outorga foram realizadas para as vazões mínimas de referência anual e mensal, como seguem:

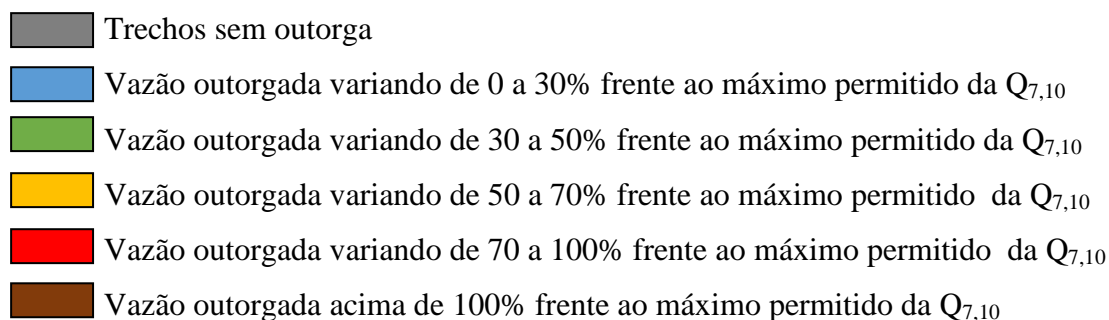
- Uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual: analisou-se este critério devido ao percentual de 30% ainda ser utilizado para concessão de outorga em algumas bacias hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Isso implica que deverá ser mantida uma vazão mínima de 70% da $Q_{7,10}$;
- Uso de 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal: atual critério utilizado no estado de Minas Gerais, de acordo com a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM 1.548/12. Isso implica que deverá ser mantida uma vazão mínima ecológica de 50% da $Q_{7,10}$;
- Uso de 70% da $Q_{7,10}$ anual: esse critério foi avaliado a fim de superestimar a vazão outorgável, e avaliar a disponibilidade hídrica com um critério menos restritivo. Isso implica que deverá ser mantida uma vazão mínima ecológica de 30% da $Q_{7,10}$.

Para identificar, em cada trecho do rio, o percentual utilizado de outorgas a partir dos critérios listados anteriormente, considerou-se a vazão mínima de referência e as outorgas já emitidas a montante do trecho estudado e no próprio trecho. Nesse sentido, o percentual já outorgado em cada trecho é expresso pela Equação (19).

$$Q_{outorgada\ i\ (\%)} = (\sum Q_{mt\ i} \cdot 100) / \{(x/100) \cdot Q_{7,10}\} \quad (19)$$

Na qual: $Q_{outorgada\ i\ (\%)}$ é o percentual utilizado da parcela da $Q_{7,10}$ permissível para outorga no segmento i (m^3/s); x é a porcentagem da $Q_{7,10}$ permissível para outorga (%) - é um dos critérios definidos anteriormente; $\sum Q_{mt\ i}$ é o somatório das vazões já outorgadas a montante do segmento i , inclusive as vazões outorgadas no próprio segmento i (m^3/s).

Os resultados foram avaliados nas sub-bacias e nos trechos (“Bacia difusa 1” e T1 a T14) no alto curso do rio Uberaba, onde foram elaborados mapas em que os trechos foram coloridos de acordo com a proporção de utilização da parcela permissível para outorga (de acordo com cada critério estabelecido) da vazão $Q_{7,10}$. Para fins de caracterização dos segmentos da hidrografia, utilizou-se a escala de cores a seguir:



As metodologias apresentadas nos itens 3.6.1 e 3.6.2 foi utilizada por Bof (2010) para avaliar o impacto da substituição das vazões mínimas anuais pelas mínimas mensais, na disponibilidade hídrica para concessão de outorga na bacia hidrográfica do rio Paracatu, e utilizada por Oliveira et al. (2013) na avaliação da disponibilidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Ribeirão Entre Ribeiros, que localiza-se no estado de Minas Gerais entre os municípios de Paracatu e Unaí. Ambos os autores alcançaram resultados satisfatórios nos estudos de disponibilidade hídrica.

3.7 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

Em cursos de água naturais que não têm a capacidade hídrica para suprir uma determinada demanda fixa a partir de uma captação a fio de água, principalmente nos meses críticos de estiagem, a solução mais viável é a implantação de reservatório de acumulação. Através do reservatório é possível acumular água nos meses mais chuvosos e fornecer este volume acumulado nos meses de estiagem.

Esta situação de escassez hídrica é típica na bacia hidrográfica do rio Uberaba, onde a vazão escoada no curso de água em período de estiagem é inferior à vazão outorgada para abastecimento público da área urbana desta cidade. Como consequência disso, atualmente existe a transposição das águas da sub-bacia do rio Claro (pertencente à bacia do rio Araguari) para suprir os déficits nos meses de estiagem. Uma outra solução, para este problema de baixas vazões no rio Uberaba, seria a implantação de reservatório de acumulação nas proximidades do local onde atualmente existe a retirada de água em barragem a fio de água. A implantação do reservatório permitiria cancelar a transposição das águas da sub-bacia do rio Claro existente desde o ano de 2002.

A fim de confirmar a escassez hídrica no rio Uberaba para os meses de estiagem e, consequentemente, confirmar a necessidade de implantação do reservatório de acumulação, foi estimada uma série sintética de vazão no ponto de captação superficial para o abastecimento público atualmente existente. Para a estimativa dessa série sintética foi necessário conhecer a série de vazão em todos os afluentes, o valor da vazão de transposição e o local da transposição e as demandas consuntivas cadastradas junto ao IGAM (para irrigação e abastecimento público). A partir daí, alimentando esses dados de entrada na topologia da APA criada pela ferramenta AQUATOOL (conforme esquema da Figura 19), foi possível estimar a série sintética de vazão no ponto de captação superficial para o abastecimento público para o período de 1977 a 2014.

3.7.1 Vazão de transposição

Para minimizar a escassez no abastecimento público na cidade de Uberaba no período de estiagem, atualmente existe a transposição de $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ de água do rio Claro (pertencente à bacia do rio Araguari) para o Ribeirão da Saudade (na cabeceira do rio Uberaba). A referida transposição é realizada de acordo com a outorga de direito de uso da água concedida pelo IGAM, através da portaria nº 01253/2013 de 04/06/2013, cuja validade desta outorga é até 04/06/2018.

3.7.2 Demandas consuntivas

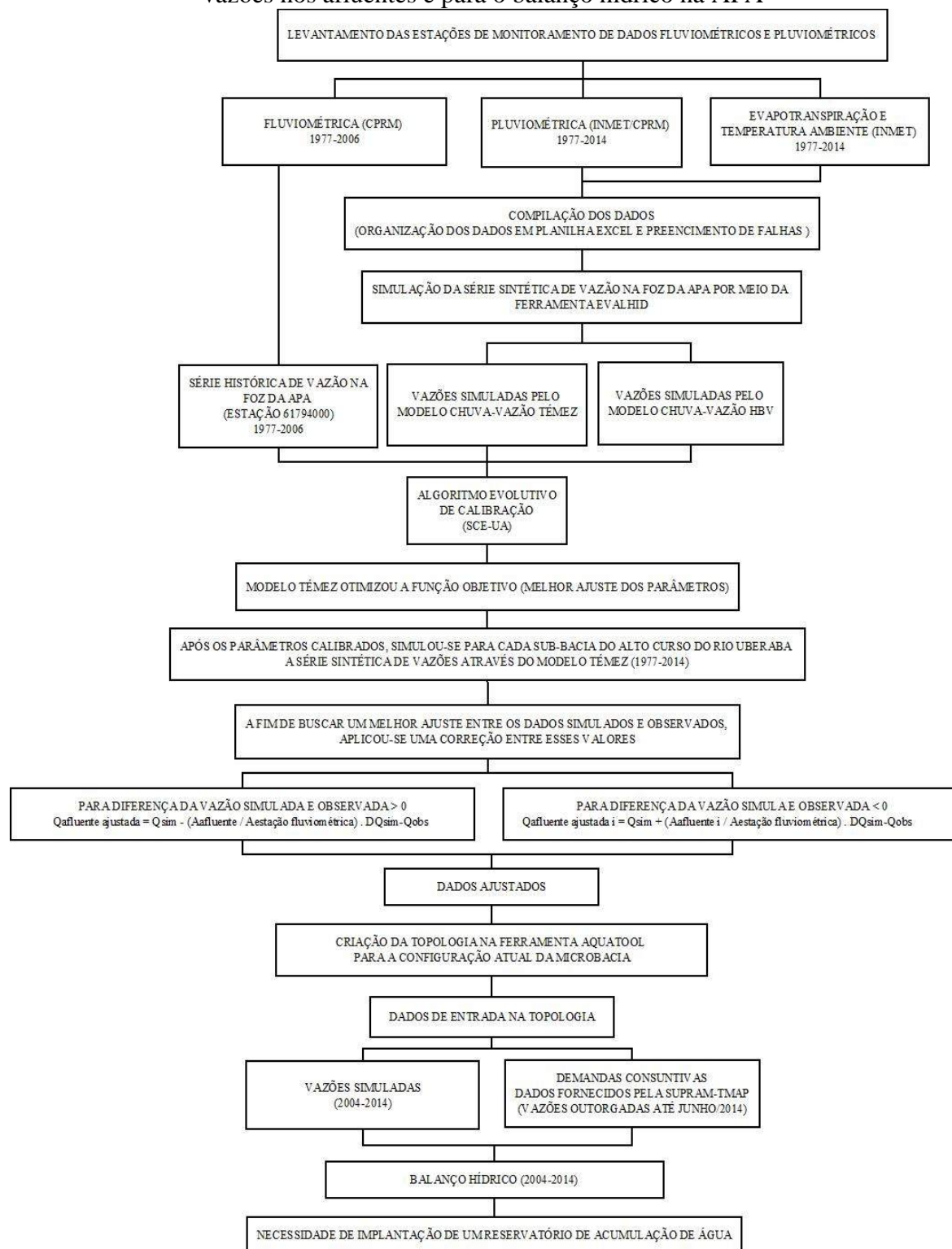
Foram consideradas as outorgas superficiais de irrigação e abastecimento público concedidas pelo órgão responsável pela concessão de outorgas no Estado de Minas Gerais, o IGAM. Os dados de outorgas foram fornecidos pela Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro (SUPRAM/APTM), e compreendem as outorgas válidas e concedidas até o mês junho de 2014.

3.7.3 Série sintética de vazão em todos os afluentes da APA e balanço hídrico

O fluxograma apresentado na Figura 20 traz a sequência metodológica utilizada na obtenção da série sintética de vazão em todos os afluentes da APA para o período de 1977

e 2014 e, na sequência, a realização do balanço hídrico para o período de 10 anos, compreendido entre 2004 a 2014.

Figura 20 - Fluxograma da sequência metodológica para estimativa da série sintética de vazões nos afluentes e para o balanço hídrico na APA



Fonte: O autor (2014).

A fim de possuir uma série sintética de vazões que representasse satisfatoriamente a vazão escoada na APA, inicialmente foram realizadas simulações para transformar chuva em vazão superficial considerando a APA como uma bacia hidrográfica integrada, ou seja, considerando que todas as sub-bacias pertencentes à APA formassem uma única área integrada. Através dos modelos Témez e HBV, vinculados à ferramenta EVALHID, utilizando dados de precipitação e evapotranspiração da estação pluviométrica 83577 (cuja localização é apresentada na Figura 11) e adotando os valores padrões dos parâmetros pertencentes aos modelos, foram geradas séries sintéticas de vazões na foz da APA. Nestas simulações iniciais, os dados históricos de precipitação e evapotranspiração da estação pluviométrica 83577 foram transferidos para o centroide da APA por meio do método de interpolação de dados vizinhos, utilizando a função do inverso do quadrado da distância. Esta metodologia correlacionou o centroide da APA à estação pluviométrica 83577, de acordo com a Equação (20).

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot P_j}{\sum_{j=1}^n f_{ij}} \quad (20)$$

Na qual: P_i é o valor de precipitação no centróide da APA; P_j é a precipitação na estação vizinha j (neste caso é a estação pluviométrica 83577); e f_{ij} é um fator de ponderação. Neste caso, o fator de ponderação f_{ij} toma um valor igual a $1/d_{ij}^2$, nomeado como inverso do quadrado da distância.

Como era esperado, utilizando os parâmetros padrões dos modelos, as séries sintéticas de vazão não se ajustaram bem com as séries históricas de vazão existentes na estação pluviométrica 61794000. Para melhorar o ajuste das vazões, os parâmetros pertencentes aos modelos Témez (quatro parâmetros) e HBV (oito parâmetros) foram calibrados. O período utilizado na calibração foi de 29 anos, compreendido entre janeiro de 1977 a dezembro de 2005, utilizando-se o algoritmo evolutivo de calibração *Shuffled Complex Evolution method*, University of Arizona - SCE-UA.

O modelo Témez forneceu os melhores ajustes entre as séries históricas e sintéticas de vazão, fruto da otimização da média aritmética das funções objetivo utilizadas pelo

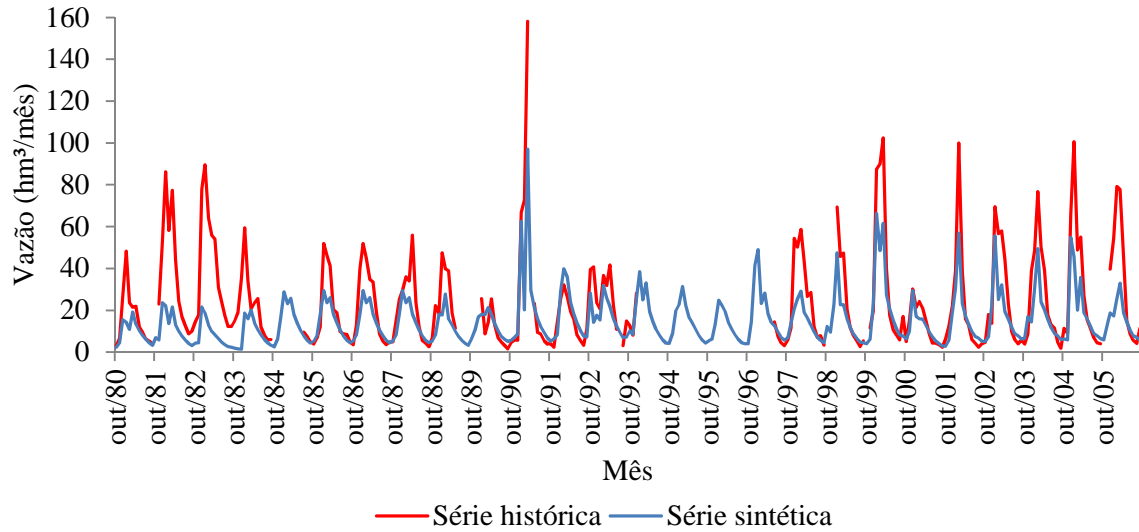
algoritmo evolutivo de calibração SCE-UA (a descrição do algoritmo é feita ainda neste item).

Na sequência, os parâmetros do modelo de Témez calibrados para toda a APA foram utilizados como dados de entrada fixos para as simulações de séries sintéticas de vazão nas diversas sub-bacias que integram a APA. Dentro da ferramenta EVALHID, após escolhido o modelo Témez, as séries sintéticas de vazão nas diversas sub-bacias foram obtidas simplesmente com a introdução dos seguintes dados de entrada: parâmetros inicialmente calibrados, área de cada sub-bacia e os dados pluviométricos e de evapotranspiração estimados para cada sub-bacia, por meio do método de interpolação de dados vizinhos (das estações pluviométricas demonstradas na Figura 11).

As áreas das sub-bacias existentes na APA e a área de contribuição da estação fluviométrica foram obtidas através da delimitação perimetral da base digitalizada topográfica SE-23-Y-C-IV, disponibilizada pelo IBGE, utilizando o programa computacional de geoprocessamento QuantumGis - versão 2.0.1. Este mesmo programa foi utilizado para calcular o centróide de cada sub-bacia, bem como para calcular a distância entre cada centróide e as estações pluviométricas, para posterior interpolação dos dados de precipitação.

A partir daí, alimentando os dados de entrada (vazões sintéticas dos afluentes, demandas outorgadas e transposição outorgada) na topologia da APA criada pela ferramenta AQUATOOL (conforme esquema da Figura 19), foi possível estimar a série sintética de vazão da APA. De acordo com a Figura 21 observa-se que, no período de 1977 a 2006, o ajuste entre as vazões simuladas e observadas na estação fluviométrica 61794000 foi satisfatório nos períodos de estiagem, porém nos períodos chuvosos as vazões foram subestimadas.

Figura 21 - Vazões simuladas e observadas na estação fluviométrica 61794000



Fonte: O autor (2014).

Objetivando melhorar este ajuste, calculou-se a diferença entre as vazões simuladas e observadas de forma que, quando a diferença entre elas resultasse em um valor negativo, este valor em módulo foi somado a vazão simulada, e quando a diferença resultasse em um valor positivo, esse valor foi subtraído da vazão simulada. Foi utilizada a Equação (21) para a diferença entre vazão simulada e observada maior que zero e, para a diferença entre vazão simulada e observada menor que zero, utilizou a Equação (22).

$$Q_{\text{afluente ajustada } i} = Q_{\text{sim}} - (A_{\text{afluente } i} / A_{\text{total}}) \cdot D_{Q_{\text{sim}}-Q_{\text{obs}}} \quad (21)$$

$$Q_{\text{afluente ajustada } i} = Q_{\text{sim}} + (A_{\text{afluente } i} / A_{\text{total}}) \cdot D_{Q_{\text{sim}}-Q_{\text{obs}}} \quad (22)$$

Na qual: $Q_{\text{afluente ajustada } i}$ é a vazão ajustada para o afluente i ($\text{hm}^3/\text{mês}$); Q_{sim} é a vazão simulada pelo modelo hidrológico ($\text{hm}^3/\text{mês}$); $A_{\text{afluente } i}$ é a área de contribuição do afluente i (km^2); A_{total} é a área de contribuição da estação fluviométrica (km^2); $D_{Q_{\text{sim}}-Q_{\text{obs}}}$ é a diferença entre a vazão simulada e observada.

Após alimentar esses dados de entrada na topologia da APA criada pela ferramenta AQUATOOL (conforme esquema da Figura 19), foi possível estimar a série sintética de vazão no ponto de captação superficial para o abastecimento público.

Finalizando, a análise da necessidade de implantação de reservatório de acumulação foi realizada em período mais recente, entre os anos de 2004 a 2014, período este posterior ao início da transposição de água do rio Claro. Para isso, o procedimento de ajuste das vazões definidos pelas Equações (21) e (22) foi estendido até setembro de 2014.

Algoritmo Evolutivo de calibração SCE-UA

Este algoritmo foi desenvolvido por Duan et al. (1992) apud Paredes-Arquiola et al. (2011) e foi utilizado com êxito na resolução de problemas não lineares em diversas aplicações de modelos hidrológicos em escala de bacia hidrográfica. O mesmo avalia grande quantidade de combinações de valores de parâmetros para encontrar o melhor ajuste entre os dados observados e simulados. Este ajuste se avalia maximizando o valor médio encontrado nas funções objetivo descritas nas Equações (23), (24), (25) e (26).

$$F_1 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{sim}(t) - Q_{obs}(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}]^2} \quad (23)$$

$$F_2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [\ln(Q_{sim}(t)) - \ln(Q_{obs}(t))]^2}{\sum_{t=1}^n [\ln(Q_{obs}(t)) - \overline{\ln(Q_{obs}(t))}]^2} \quad (24)$$

$$F_3 = \frac{\sum_{t=1}^n [(Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim})(Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})]}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim})^2 \cdot \sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2}} \quad (25)$$

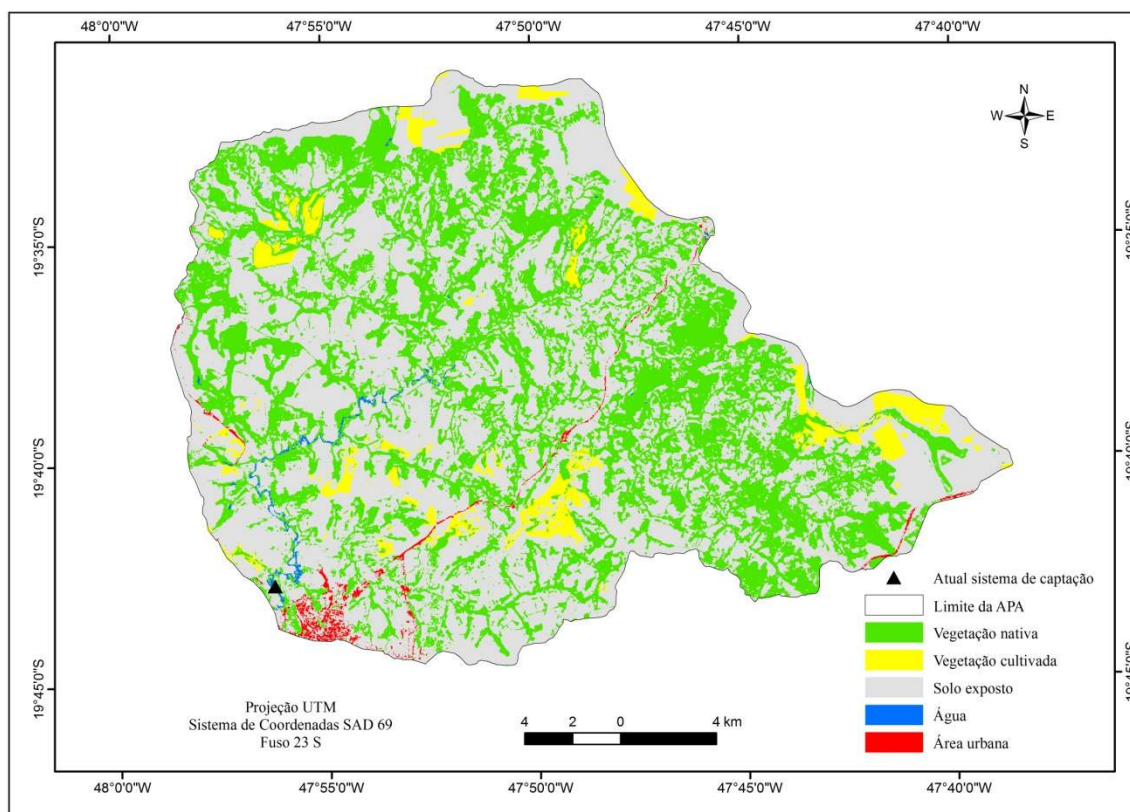
$$F_4 = 1 - \left[\max \left(\frac{\bar{Q}_{sim}}{\bar{Q}_{obs}}; \frac{\bar{Q}_{obs}}{\bar{Q}_{sim}} \right) - 1 \right]^2 \quad (26)$$

Na qual: $Q_{sim}(t)$ e $Q_{obs}(t)$ são as vazões simulada e observada, respectivamente, no intervalo de tempo t ; n é o número de meses da calibração; a barra alta indica o valor médio; F_1 é o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS); F_2 é o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe da transformação logarítmica da vazão (ln NS); F_3 é o coeficiente de correlação de Pearson; F_4 é uma medida da simetria do ajuste entre a simulação média e a observação média.

3.8 LOCAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

Frente à necessidade de implantação de reservatório de acumulação para suprir as demandas de abastecimento público para a área urbana de Uberaba, foi necessário definir o melhor local para o reservatório de acumulação. Visando reduzir os efeitos das atividades antrópicas que já são observadas no atual sistema de captação de água devido o crescimento da área urbana no córrego do Lageado, optou-se em posicionar o reservatório em uma região mais distante do atual sistema de captação a fio de água. A proximidade do sistema atual de captação para o abastecimento público com a área urbana pode ser observada na Figura 22.

Figura 22 - Proximidade do atual sistema de captação de água para o abastecimento público com a área urbana de Uberaba - MG

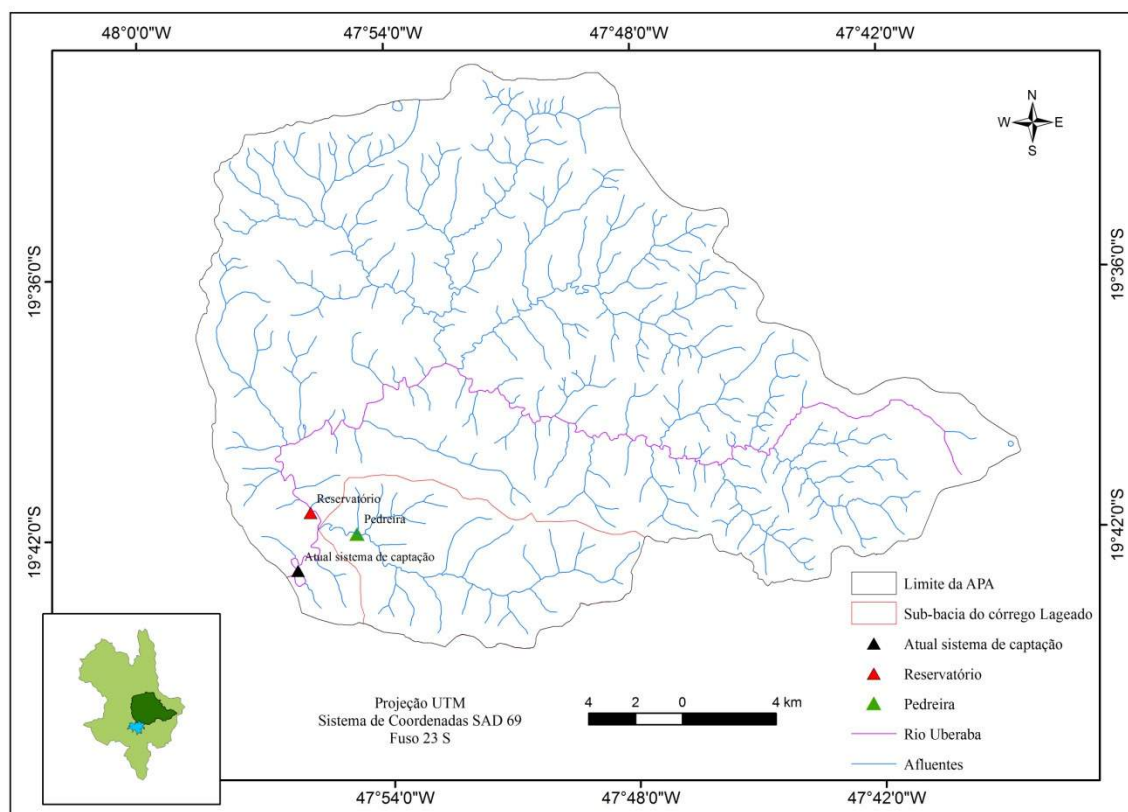


Fonte: O autor (2015).

Nesse sentido, o reservatório foi posicionado a montante da confluência do córrego Lageado com o rio Uberaba (Figura 23), nas coordenadas 19°41'29.7" latitude sul e 47°55'57.9" longitude oeste.

Existe uma pedreira localizada na sub-bacia do córrego Lageado, já nas proximidades de sua foz, que não impacta sobre a qualidade da água no reservatório pois a confluência do córrego do Lageado com o rio Uberaba ocorre a jusante do reservatório projetado, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 - Local escolhido para implantação do reservatório de acumulação



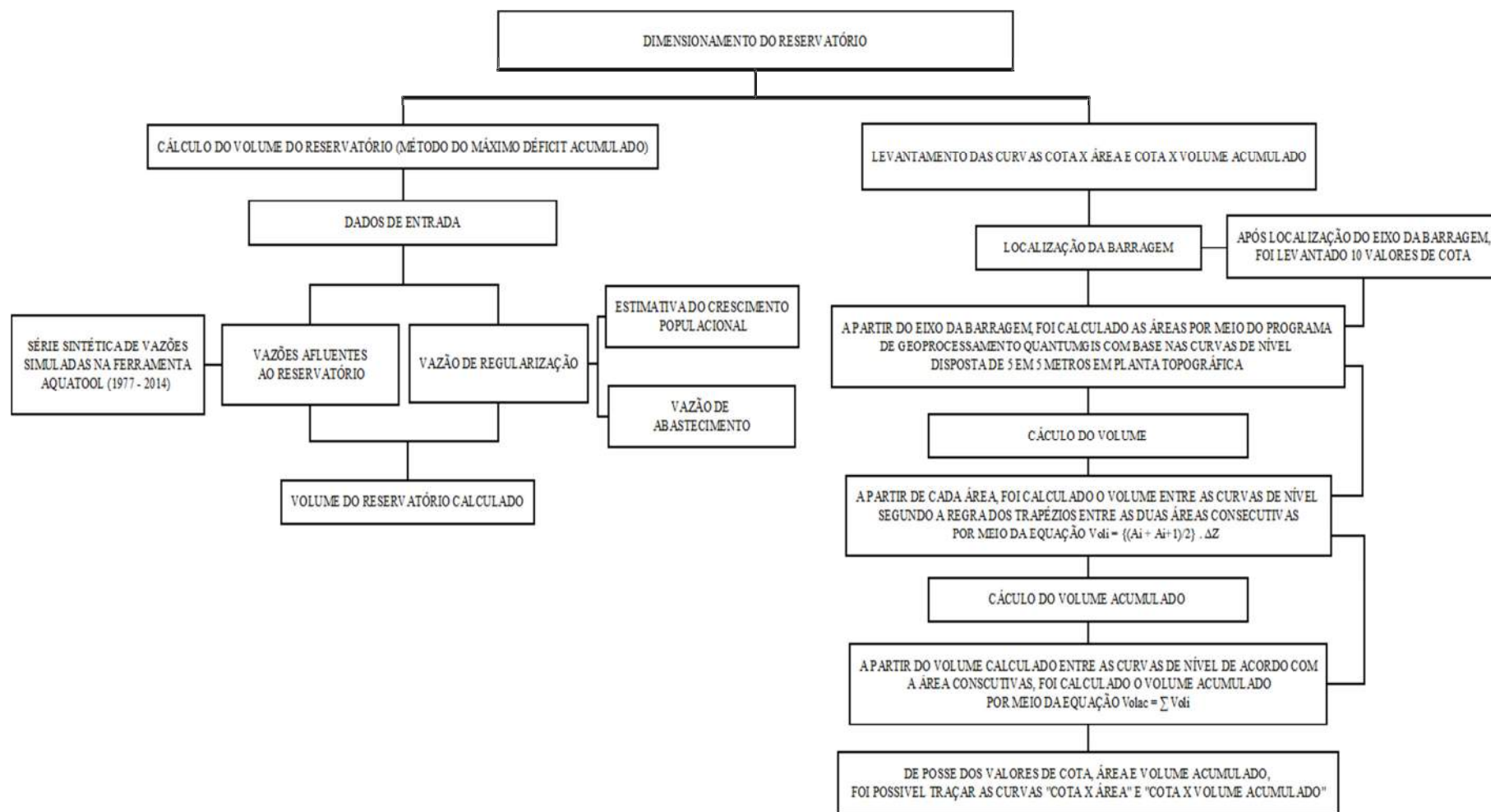
Fonte: O autor (2014).

3.9 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

Este item descreve como foi realizado o dimensionamento do reservatório de acumulação, que inclui a determinação do volume de armazenamento para um horizonte de crescimento populacional de 30 anos e a obtenção das relações batimétricas. Para melhor entendimento da sequência metodologia, segue o fluxograma ilustrado pela Figura 24.

Neste contexto, foi necessário estimar o horizonte de projeto, a vazão de abastecimento para este horizonte de projeto e a vazão de regularização, conforme descrito nos itens 3.9.1, 3.9.2 e 3.9.3.

Figura 24 - Fluxograma da sequência metodológica do dimensionamento do reservatório de acumulação



Fonte: O autor (2014).

3.9.1 Estimativa da população de projeto

Segundo Tsutiya (2006), as obras de abastecimento de água das cidades devem ser projetadas para atender a uma determinada população, em geral maior que a atual, correspondente ao crescimento demográfico em um certo número de anos. Esse período de tempo pode ser chamado de período do projeto, plano do projeto ou horizonte do projeto. Esse período tem variado entre 20 e 30 anos, de acordo com a literatura da área. Nesse sentido, estabeleceu-se um horizonte de projeto de 30 anos. De acordo com os dados censitários da Tabela 3, estimou-se a projeção do crescimento populacional.

Tabela 3 - Dados censitários da cidade de Uberaba

Ano	População urbana
1970	108.259
1980	182.519
1991	200.705
2000	244.238
2010	289.376

Fonte: IBGE.

A previsão da população futura foi realizada através de método matemático, utilizando o Método Geométrico. Este método considera, para iguais períodos de tempo, a mesma porcentagem de aumento da população, através das Equações (27) e (28).

$$K_g = (\ln Pop_2 - \ln Pop_1) / (t_2 - t_1) \quad (27)$$

$$Pop = Pop_2 e^{K_g (t - t_2)} \quad (28)$$

Na qual: Pop é a população estimada para o final do projeto; t_1 e t_2 são os anos inicial e final do período estudado; Pop_1 e Pop_2 é a população inicial e final do período estudado.

Para o cálculo, considerou-se os seguintes parâmetros:

- $Pop_1 = 244.238$ habitantes (população no ano 2000);
- $t_1 =$ ano 2000;

- $Pop_2 = 289.376$ habitantes (população no ano 2010);
- $t_2 =$ ano 2010.

3.9.2 Vazão de abastecimento

A vazão de abastecimento foi obtida através da Equação (29).

$$Q_{abast} = [(K_{Iconsumo} \cdot q \cdot Pop)/86400] \cdot 10^{-3} \quad (29)$$

Na qual: Q_{abast} é a vazão de abastecimento no final do período do projeto (m^3/s); $K_{Iconsumo}$ é o coeficiente do dia de maior consumo, igual a 1,2; q é o consumo médio *per capita* (L/hab.dia); Pop é a população de final de projeto, obtida no item 3.9.1.

De acordo com Brasil (2013), os dados divulgados pelo SNIS sobre o relatório “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto” com base no ano 2011, a região Sudeste do país apresentou consumo médio *per capita* de 189,7 L/hab.dia, sendo o maior consumo médio *per capita* do país. De acordo com Tsutiya (2006), considera-se o consumo médio *per capita* de 200 L/hab.dia para apartamento e 150 L/hab.dia para residência. Com base nessas informações, adotou-se o consumo médio *per capita* de 200 L/hab.dia.

3.9.3 Vazão de Regularização

Para a vazão de regularização considerou-se apenas a vazão de abastecimento para a população ao final de projeto, pois o reservatório simulado é destinado para reservar água apenas para o abastecimento público. Sendo assim, considerou-se o valor encontrado no item 3.9.2.

3.9.4 Cálculo do volume do reservatório

O reservatório de acumulação deve ter capacidade de armazenamento de água que atenda a demanda de abastecimento público para a população estimada no projeto. Para o cálculo do volume do reservatório utilizou-se o Método do Máximo Déficit Acumulado, em função da

facilidade de aplicação em planilha Excel (conforme exemplo da Figura 25), de acordo com os procedimentos a seguir.

Figura 25 - Exemplo da planilha eletrônica utilizada no cálculo do volume do reservatório

Colunas								
Advindos da série de vazões					Valores calculados			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice	Ano	Mês	Q (m³/s)	Qr (m³/s)	Vi (m³/s x mês)	Vr (m³/s x mês)	(Vi - Vr)	$\Sigma(Vi-Vr)$
1	1977	Out	1,363	1,334	3532896,0	3457728,0	75168,0	0
2	1977	Nov	10,469	1,334	27135648,0	3457728,0	23677920,0	0
3	1977	Dez	9,457	1,334	24512544,0	3457728,0	21054816,0	0
4	1978	Jan	11,391	1,334	29525472,0	3457728,0	26067744,0	0
5	1978	Fev	8,321	1,334	21568032,0	3457728,0	18110304,0	0
6	1978	Mar	8,663	1,334	22454496,0	3457728,0	18996768,0	0
7	1978	Abr	6,341	1,334	16435872,0	3457728,0	12978144,0	0
8	1978	Mai	7,036	1,334	18237830,4	3457728,0	14780102,4	0
9	1978	Jun	4,999	1,334	12957408,0	3457728,0	9499680,0	0
10	1978	Jul	3,729	1,334	9665568,0	3457728,0	6207840,0	0

Fonte: O autor (2014).

Procedimentos para o cálculo do déficit acumulado (Figura 25):

- ✓ Colunas de 1 a 4: corresponde aos dados da série de vazões afluentes;
- ✓ Coluna 5: equivale à vazão regularizada (Qr);
- ✓ Coluna 6: volumes médios mensais, obtidos pela multiplicação da Q (m³/s) (coluna 4) pelo número de segundos em um mês;
- ✓ Coluna 7: volumes regularizados médios, obtidos pela multiplicação da Qr (m³/s) (coluna 5) pelo número de segundos em um mês;
- ✓ Coluna 8: déficit mensal de volume (Vi-Vr);
- ✓ Coluna 9: déficits acumulados.

Os valores obtidos na Coluna 9 correspondem aos déficits acumulados, sendo que para os valores positivos impõe-se este valor como zero e os valores negativos são mantidos. Por fim, o maior valor em módulo obtido na Coluna 9 equivale ao volume do reservatório. Para o cálculo utilizou-se a série sintética de vazões obtida por meio da ferramenta AQUATOOL no período compreendido entre outubro de 1977 a setembro de 2014.

3.9.5 Obtenção das curvas Cota x Área e Cota x Volume

O levantamento das curvas Cota x Área e Cota x Volume é fundamental para o dimensionamento do reservatório, e as curvas são traçadas após a locação do eixo da barragem. A curva Cota x Área relaciona a cota com a área de inundação obtida, enquanto que a curva Cota x Volume relaciona a cota com o volume de água acumulado no reservatório. O cálculo da segunda depende do levantamento da primeira.

O levantamento das referidas curvas foi realizado através de dados de curvas de nível disposta em planta topográfica de 5 em 5 metros. Após o levantamento do ponto de locação do eixo da barragem, foi possível levantar as áreas a serem inundadas relacionadas às cotas das curvas de nível.

O cálculo das áreas a ser inundadas foram obtidas através da ferramenta de geoprocessamento QuantumGis - versão 2.0.1, e o volume entre as curvas de nível foi calculado segundo a regra dos trapézios entre as duas áreas consecutivas, utilizando a Equação (30).

$$Vol_i = \{(A_{inundada} + A_{i+1})/2\} \cdot \Delta Z \quad (30)$$

E o volume acumulado foi calculado utilizando a Equação (31).

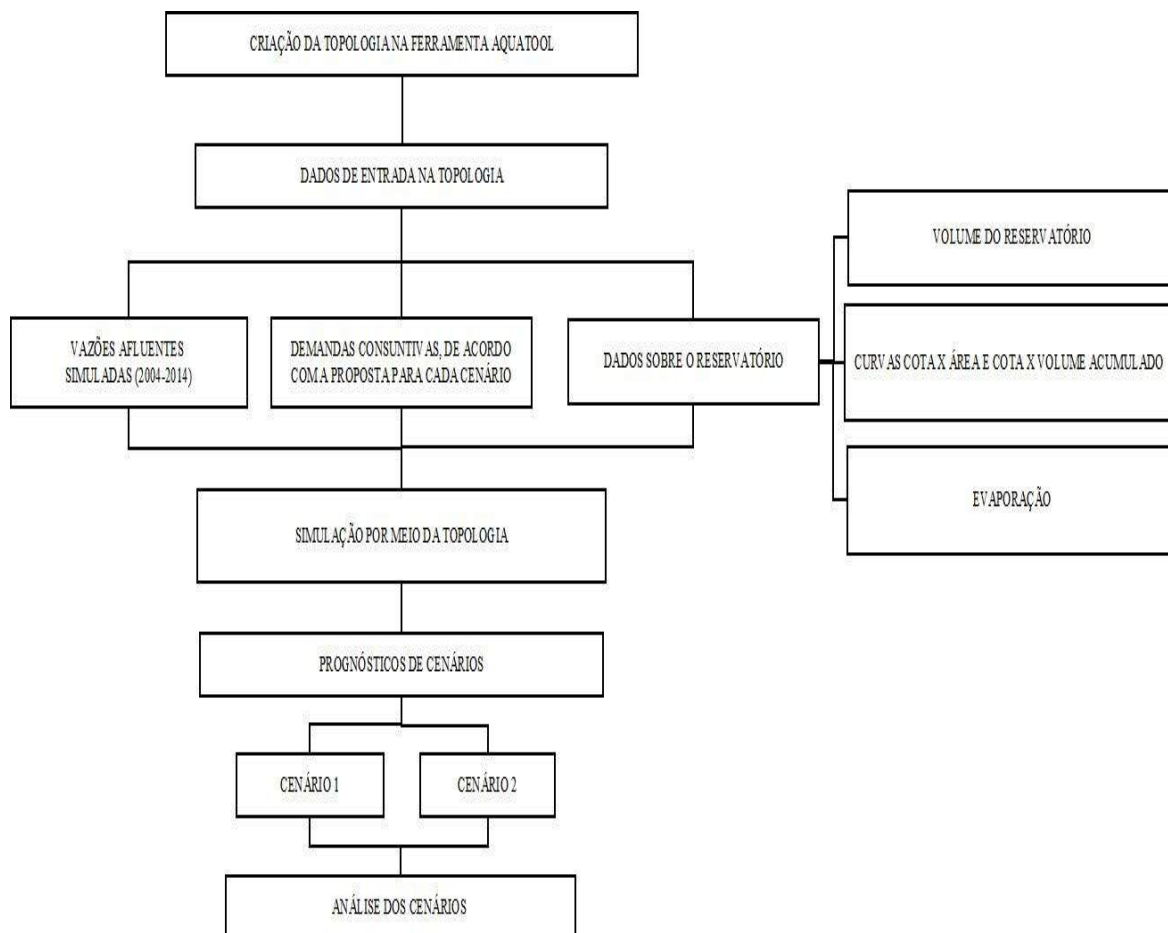
$$Vol_{ac} = \sum Vol_i \quad (31)$$

Na qual: $A_{inundada}$ é a área a ser inundada (ha); Vol_i é o volume de água na determinada área (hm^3); ΔZ é a diferença de cota (m); Vol_{ac} é o volume acumulado (hm^3).

3.10 CENÁRIOS APÓS IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Foi elaborado um fluxograma para melhor entendimento da metodologia aplicada para a análise dos prognósticos dos cenários após implantação do reservatório, conforme ilustra a Figura 26.

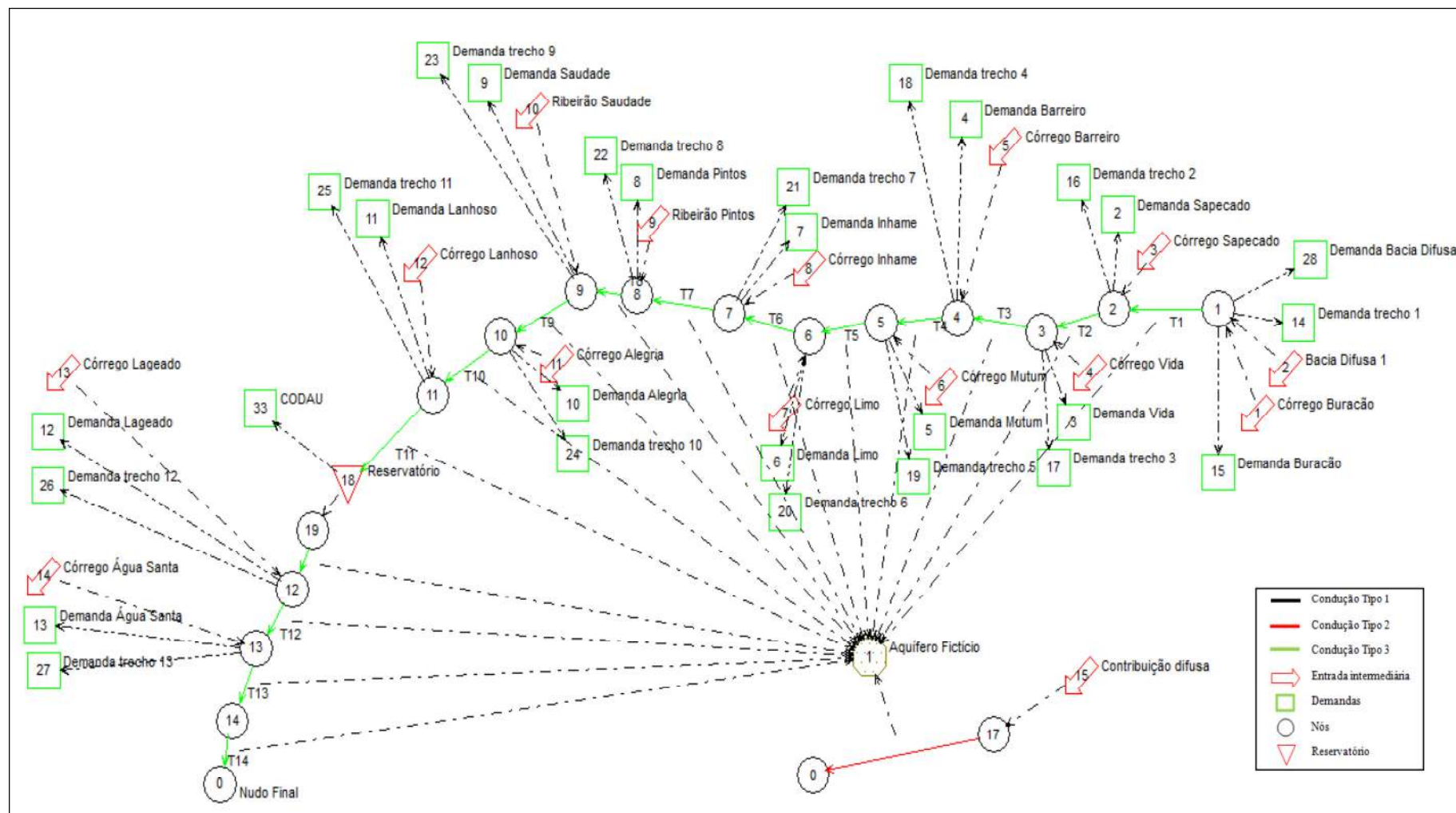
Figura 26 - Fluxograma da metodologia aplicada para a análise dos cenários



Fonte: O autor (2014).

A topologia da bacia hidrográfica segue o mesmo traçado da topologia inicialmente criada no item 3.5.1, com a exclusão da demanda pontual de abastecimento público atual e da transposição de água do rio Claro e a inclusão do reservatório de acumulação e da demanda pontual de abastecimento público para 30 anos, conforme esquema ilustrado na Figura 27.

Figura 27 - Topologia criada na ferramenta AQUATOOL para análise dos prognósticos dos cenários



Fonte: O autor (2014).

A topologia criada na ferramenta AQUATOOL considerou os seguintes elementos:

- Aquífero: utilizado para introduzir no balanço hídrico a vazão proveniente da área difusa. Na topologia foi chamado de aquífero “fictício”;
- Condução do tipo 1: condução sem ligação com o aquífero, utilizada para representar o deságue do reservatório;
- Conduções do tipo 2: conceitualmente refere-se ao trecho de curso de água onde a água é infiltrada no subsolo. Neste estudo não foi considerado o balanço hídrico subterrâneo, onde a condução tipo 2, juntamente com o aquífero fictício, foram introduzidos na topologia apenas para representar a vazão difusa no trecho de rio estudado;
- Conduções do tipo 3: conceitualmente refere-se ao trecho de curso de água em que existe conexão entre o rio e o aquífero. Neste estudo, a condução do tipo 3 foi introduzida para permitir a entrada da vazão difusa advinda do aquífero fictício;
- Nós: representam as junções dos diversos elementos da topologia;
- Entradas intermediárias: neste estudo refere-se aos afluentes (sub-bacias) no alto curso do rio Uberaba;
- Demandas: neste estudo representam as retiradas de água para irrigação e abastecimento público. Não foi considerado o retorno dessa água irrigada ao curso de água natural;
- Reservatório: elemento para simulação de reservação de água.

A ferramenta AQUATOOL faz a simulação do reservatório simplesmente pelo balanço de massas, sendo que o volume final V_f para um mês qualquer é dado pela Equação (32).

$$V_f = V_i + A_e + A_a - P_f - E - S_c - S_v \quad (32)$$

Na qual: V_i é o volume do reservatório no início do mês (hm^3); A_e são as contribuições pontuais ($\text{hm}^3/\text{mês}$); A_a são as contribuições difusas no perímetro do reservatório ($\text{hm}^3/\text{mês}$); P_f são as perdas por infiltração ($\text{hm}^3/\text{mês}$) (processo não considerado); E são as perdas por evaporação ($\text{hm}^3/\text{mês}$); S_c são as saídas controladas (demandas) ($\text{hm}^3/\text{mês}$) e S_v são as saídas por exceder a capacidade máxima de armazenamento ($\text{hm}^3/\text{mês}$).

A construção desta topologia se deu basicamente igual à criação da topologia do Item 3.5.1, porém nesse caso, além dos elementos contidos na outra topologia, adicionou-se o elemento condução do Tipo 1, para representar o deságue do reservatório para o trecho a jusante. Adicionou-se o elemento reservatório, de forma que na descrição foi informado na aba “Datos físicos” que o mesmo não tem ligação com o aquífero, foi informado também o volume inicial, vazão máxima de saída (demandas), que representa a vazão de captação para abastecimento público calculada para o alcance de 30 anos. Na aba “Volumenes” foi informado o volume máximo, objetivo e volume mínimo do reservatório. Na aba “Cotas” foi informado os dez valores de cotas (m), juntamente com os valores de área (ha) e volume acumulado (hm^3). E por fim, na aba “Tasa evaporación” foi informado os valores de evaporação. Esta descrição do elemento “reservatório” está apresentada na sequência das Figuras 28 a 31.

Figura 28 - Descrição da aba "Datos físicos" do elemento reservatório

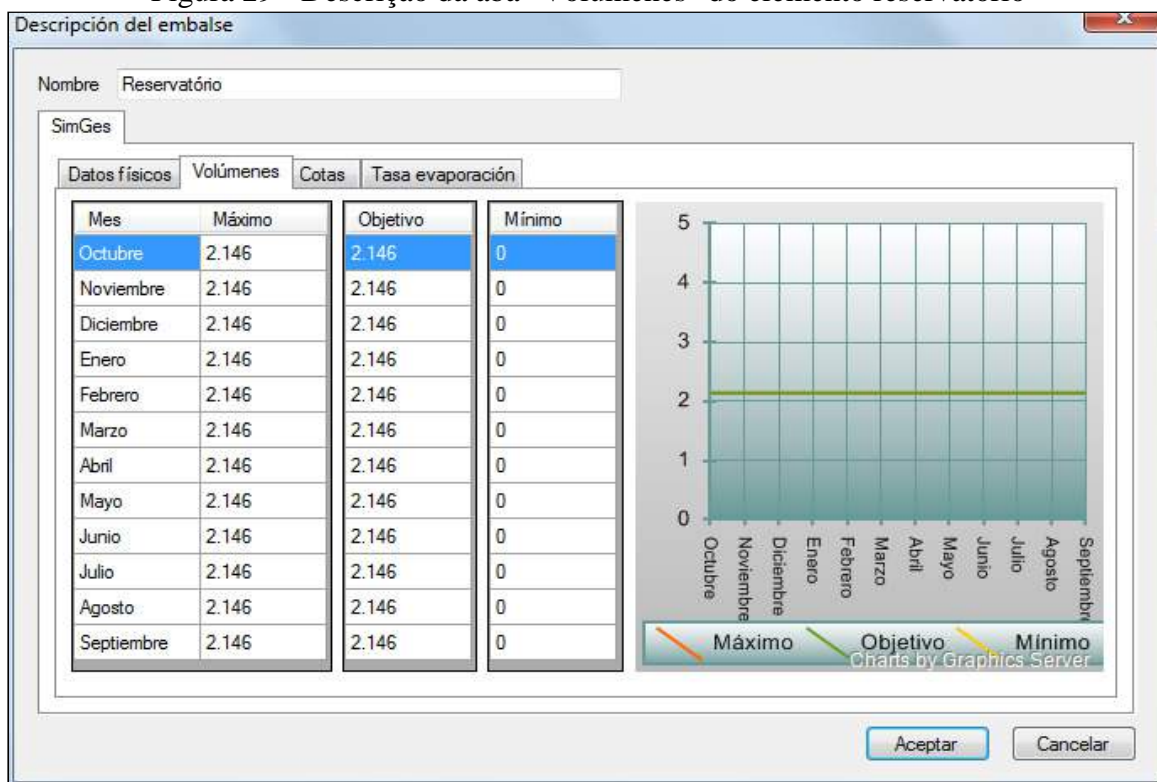
A imagem mostra a interface de usuário do software SimGes, especificamente a janela 'Descripción del embalse'. A janela possui uma barra de título com o nome 'Reservatório' e um botão de fechar. Abaixo da barra, há uma aba 'SimGes' e uma sub-aba 'Datos físicos'. A sub-aba 'Datos físicos' contém os seguintes campos e controles:

- Infiltraciones:** Um menu suspenso com a opção '(Ninguno)' selecionada.
- Acción elemental:** Um menu suspenso com a opção '(Ninguno)' selecionada.
- Coeficiente A:** Um campo de texto com o valor '0'.
- Coeficiente B:** Um campo de texto com o valor '0'.
- Coeficiente C:** Um campo de texto com o valor '1'.
- Nº de prioridad:** Um campo de texto com o valor '1'.
- Volumen inicial (Hm^3):** Um campo de texto com o valor '0'.
- Caudal máx. sueltas (Hm^3/mes):** Um campo de texto com o valor '3.457'.
- Columna aportación:** Um menu suspenso com a opção '(Ninguna)' selecionada.
- Nudo vertidos:** Um menu suspenso com a opção 'Nudo nº 12' selecionada.

Na parte inferior da janela, há dois botões: 'Aceptar' e 'Cancelar'.

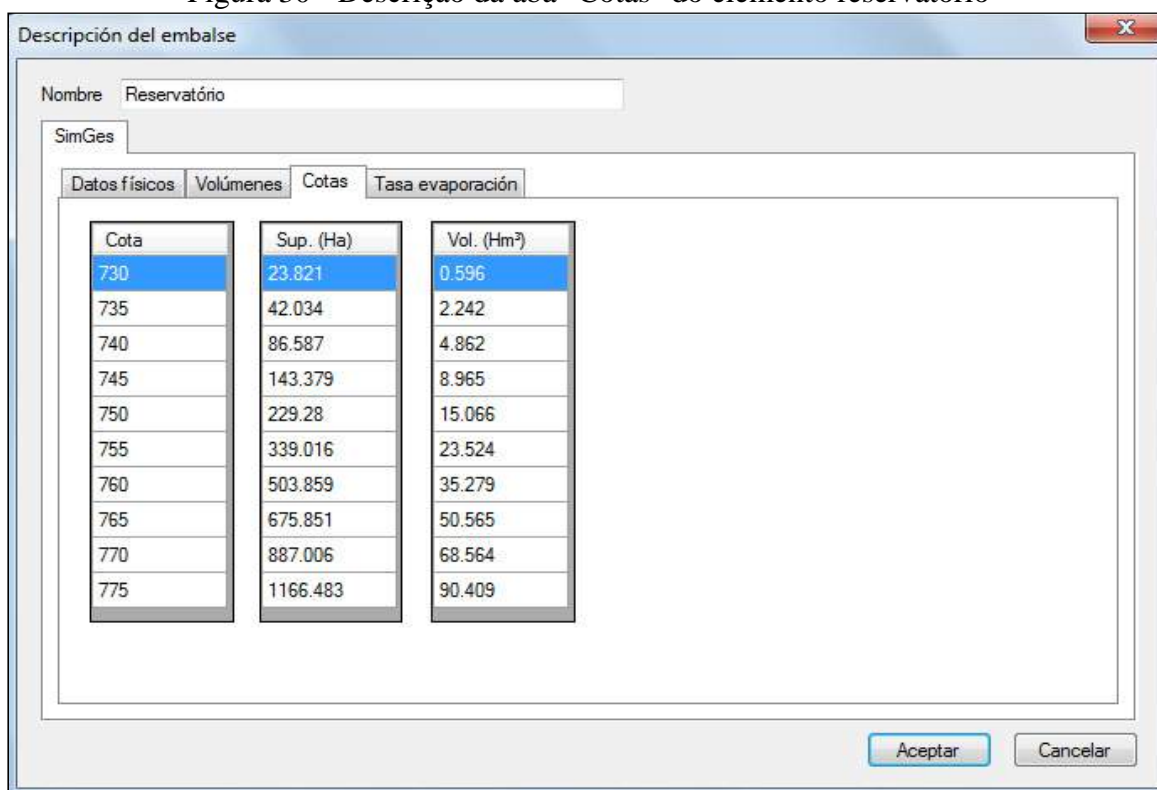
Fonte: AQUATOOL (2014).

Figura 29 - Descrição da aba "Volúmenes" do elemento reservatório



Fonte: AQUATOOL (2014).

Figura 30 - Descrição da aba "Cotas" do elemento reservatório



Fonte: AQUATOOL (2014).

Figura 31 - Descrição da aba "Tasa evaporación" do elemento reservatório

Nombre: Reservatório

SimGes

Datos físicos | Volúmenes | Cotas | Tasa evaporación

Mes	mm/mes
Octubre	112.67
Noviembre	109.52
Diciembre	110.42
Enero	109.71
Febrero	107.47
Marzo	104.88
Abril	90.3
Mayo	62.08
Junio	53.34
Julio	54.74
Agosto	74.71
Septiembre	99.34

Columna evaporación
(Ver tasa evaporación)

Aceptar Cancelar

Fonte: AQUATOOL (2014).

Neste trabalho, a partir de dois cenários distintos, foi avaliado o comportamento hídrico no reservatório (variação de volume reservado), o déficit no abastecimento público e a conformidade ou não das vazões de jusante ao reservatório com as legislações ambientais vigentes no Estado de Minas Gerais.

No Cenário 1 foram consideradas as outorgas concedidas pelo IGAM até junho de 2014, enquanto que, no Cenário 2, foram adotados os valores máximos permitidos para outorga em cada afluente e em cada trecho do alto curso do rio Uberaba, mantendo-se o máximo outorgável de 50% da vazão $Q_{7,10}$.

CAPÍTULO 4

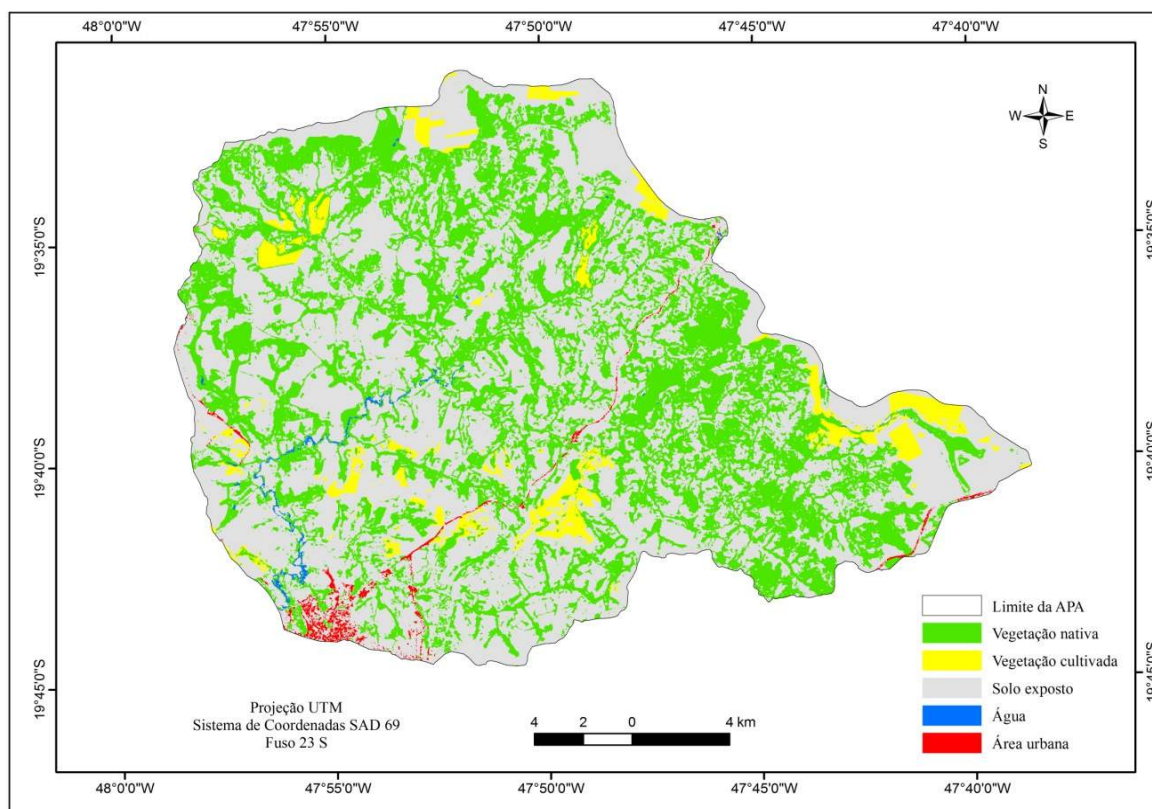
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados de uso e ocupação do solo na APA, da disponibilidade hídrica na APA, por meio das informações sobre as vazões outorgadas pelo IGAM e as vazão $Q_{7,10}$ calculadas em base anual e mensal, para os afluentes e os trechos do alto curso do rio Uberaba, com base na série histórica de vazões da estação fluviométrica 61794000 (itens 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5). São apresentados também as modelagens quantitativas, que consistiram nas simulações das séries sintéticas de vazões por meio dos modelos hidrológicos chuva-vazão Témez e HBV, bem como a calibração dos seus parâmetros, a qual indicou o modelo a ser utilizado no estudo (item 4.6); apresenta também o balanço hídrico realizado por meio da ferramenta AQUATOOL (item 4.7); os dados obtidos para o dimensionamento do reservatório (item 4.8), e para finalizar, foram analisados dois cenários após a implantação do reservatório (item 4.9).

4.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA APA

A imagem resultante do processo de classificação está apresentada na Figura 32, e os resultados da ocupação de cada classe bem como da estatística Kappa estão na Tabela 4.

Figura 32 - Uso e ocupação do solo na APA



Fonte: O autor (2014).

Tabela 4 - Classes de uso do solo, com as respectivas áreas, porcentagem de ocupação e índice Kappa

Classe de uso	Área (km ²)	Área (%)	Kappa (K)
Vegetação nativa	192,77	36,50	0,994
Vegetação cultivada	26,25	4,97	
Solo exposto	303,48	57,47	
Água	1,81	0,34	
Área urbana	3,78	0,72	

Fonte: O autor (2014).

As classes de uso e ocupação do solo nesse estudo foram definidas de forma geral, de maneira que as mesmas representassem vários segmentos com as mesmas características em uma única classe. Nesse sentido, a classe nomeada como vegetação nativa representou a vegetação destinada às APP, que encontram-se às margens dos afluentes e do próprio rio Uberaba. As áreas de APP que sofreram modificações e encontram-se em estado de regeneração também pertencem a essa mesma classe, e de acordo com a Tabela 4 ocupa 36,50% da área total da APA.

A classe nomeada como vegetação cultivada representa as áreas destinadas ao plantio de culturas e/ou pastos. Na classificação, foi reconhecido como vegetação cultivada as áreas em que o processo de plantio encontrava-se mais avançado, de modo que a vegetação já encontra-se formada ou bem aparente. Esta classe ocupa 4,97% da área total da APA.

O solo exposto compreende o solo sem cobertura de vegetação, que na maior parte da área encontra-se em processo de preparação para o plantio de culturas e/ou pastos. Considerou-se nesta classe também as áreas com rochas expostas, visto que na área há uma pedreira em atividade. Esta é a classe com maior percentual de ocupação, correspondente a 57,47% da área total da APA.

A água é representada pelo principal curso de água, o rio Uberaba. Visto que na classificação apenas parte dele está aparente, e o restante encontra-se coberto pela APP. A água também foi representada pelos lagos ou represas, provindas de barramento ou não. Esta classe representa apenas 0,34% da área total da APA.

A área urbana representa a região em que há ocupação antrópica, de modo que resultou na construção de benfeitorias e consequente impermeabilização do solo. Esta área localiza-se na foz da APA, nas proximidades da captação de água para abastecimento público. Considerou-se também nesta classe as rodovias e ferrovias. O percentual de ocupação desta classe corresponde a 0,72% da área total da APA.

De acordo com os resultados obtidos, fez-se então, a avaliação da qualidade das informações geradas, por meio do índice Kappa, cujo valor obtido foi de 0,994 como apresentado na Tabela 4. Este índice encontra-se no intervalo de qualidade excelente, segundo Landis e Koch (1977 apud RODRIGUES et al., 2007).

Diante dos resultados do percentual de ocupação de cada classe, considera-se a APA uma área homogênea do ponto de vista do uso e ocupação do solo, visto que as classes com maior percentual de ocupação são as classes correspondentes à vegetação nativa e solo exposto. Observa-se que uma área inferior a 1% encontra-se impermeabilizada, consequência da expansão urbana nos decorrer dos anos na sub-bacia do córrego do Lageado. De acordo com estudo realizado por Uberaba (2004), as áreas ocupadas pela

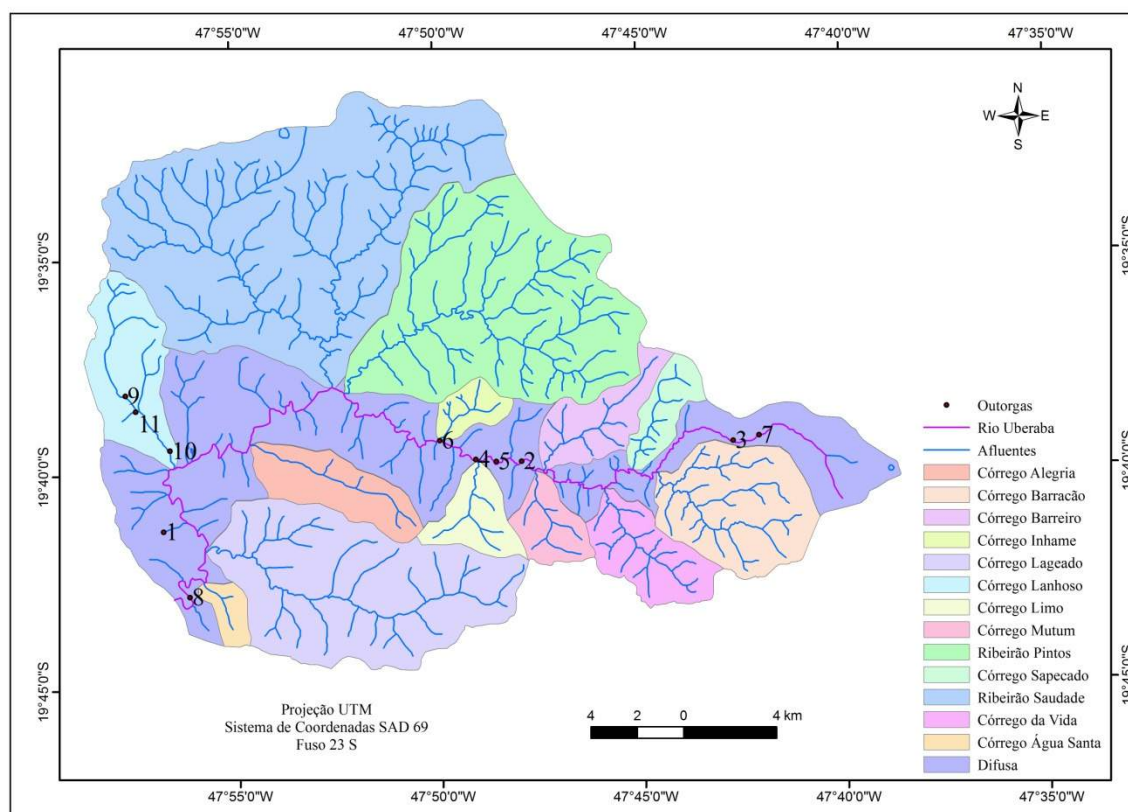
vegetação nativa, vegetação cultivada e solo exposto, compreendem fazendas, cujas atividades são de culturas e/ou pastos.

4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS OUTORGADOS NA APA

De acordo com as informações fornecidas pela SUPRAM, as outorgas superficiais concedidas na APA são destinadas ao abastecimento público, irrigação, dessedentação de animais e barramento com consumo. A maior demanda consuntiva outorgada refere-se ao abastecimento público da cidade de Uberaba, cujo valor fixo mensal é de 2,333 hm³/mês. As outras demandas atuais variam de 0,0052 a 0,0700 hm³/mês.

Na Figura 33 é apresentada a espacialização dos pontos de outorga concedidas pelo IGAM no alto curso do rio Uberaba até maio de 2014, e as mesmas estão descritas na Tabela 5.

Figura 33 - Pontos outorgados na APA



Fonte: O autor (2014).

Tabela 5 - Descrição das outorgas identificadas na APA

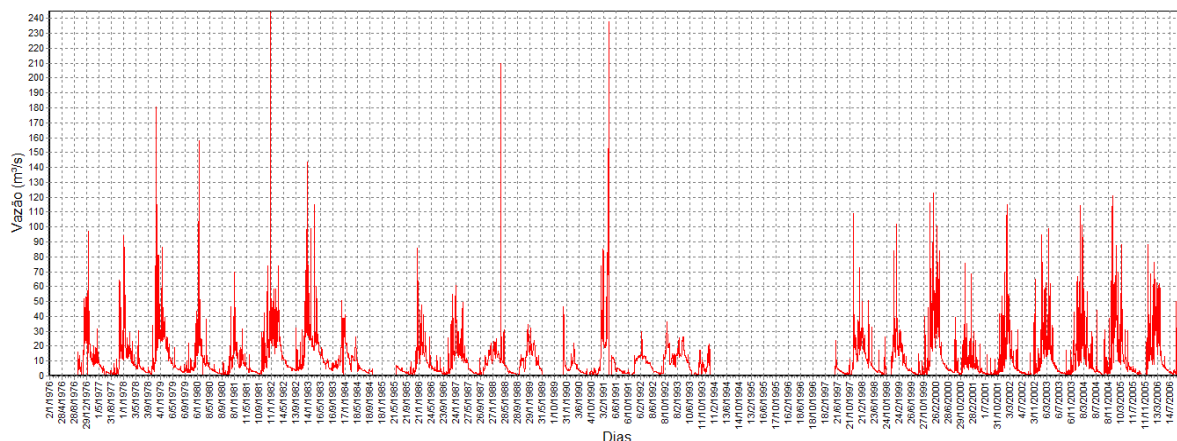
Ponto	Coordenadas geográficas		Corpo de água	Finalidade	Vazão outorgada (m³/s)
	Latitude	Longitude			
1	19°41'19"	47°57'46"	Córrego em área difusa	Const. de barramento	0,027
2	19°39'51"	47°48'08"	Rio Uberaba	Irrigação	0,0033
3	19°39'23"	47°42'42"	Rio Uberaba	Irrigação	0,0040
4	19°39'44"	47°49'04"	Córrego Limo	Irrigação	0,0020
5	19°39'44"	47°48'46"	Rio Uberaba	Irrigação	0,0020
6	19°39'18"	47°49'56"	Rio Uberaba	Irrigação	0,0033
7	19°39'25"	47°42'22"	Rio Uberaba	Irrigação	0,0040
8	19°42'52"	47°56'11"	Rio Uberaba	Captação CODAU	0,9000
9	19°38'20"	47°57'28"	Córrego Lanhoso	Dessedentação	0,0051
10	19°38'58"	47°56'58"	Córrego Lanhoso	Irrigação	0,0167
11	19°38'48"	47°57'08"	Córrego Lanhoso	Irrigação	0,0167

Fonte: O autor (2014).

4.3 ESTIMATIVA DA $Q_{7,10}$ EM BASE ANUAL E MENSAL

A Figura 34 apresenta o hidrograma das vazões da estação fluviométrica 61794000 para todo período da série histórica utilizada na estimativa da $Q_{7,10}$ (anual e mensal).

Figura 34 - Hidrograma da série histórica de vazões



Fonte: SisCAH 1.0 (2014).

Utilizando o programa SisCAH 1.0 e a série histórica da referida estação fluviométrica, foi determinada a vazão $Q_{7,10}$ em base anual e mensal na foz da área de estudo. Após a obtenção dos valores de $Q_{7,10}$, as vazões nos afluentes intermediários e dos diversos trechos foram estimadas utilizando-se vazão específica (Equação 2), cujos resultados estão apresentados na Tabelas 6 para os afluentes e na Tabela 7 para os trechos.

Tabela 6 - Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada sub-bacia do alto curso do rio Uberaba

Sub-bacias	Área (km ²)	$Q_{7,10}$ anual (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ mensal (m ³ /s)											
			jan	Fev	mar	Abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Foz da APA	528,10	0,360	6,640	8,960	6,370	5,910	3,520	2,590	1,630	0,950	0,610	0,170	0,650	2,420
Ribeirão da Saudade	129,01	0,088	1,622	2,189	1,556	1,444	0,860	0,633	0,398	0,232	0,149	0,042	0,159	0,591
Ribeirão dos Pintos	85,20	0,058	1,071	1,446	1,028	0,953	0,568	0,418	0,263	0,153	0,098	0,027	0,105	0,390
Córrego Lageado	66,40	0,045	0,835	1,127	0,801	0,743	0,443	0,326	0,205	0,119	0,077	0,021	0,082	0,304
Córrego Buracão	29,50	0,020	0,371	0,501	0,356	0,330	0,197	0,145	0,091	0,053	0,034	0,009	0,036	0,135
Córrego Lanhoso	21,70	0,015	0,273	0,368	0,262	0,243	0,145	0,106	0,067	0,039	0,025	0,007	0,027	0,099
Córrego Alegria	15,40	0,010	0,194	0,261	0,186	0,172	0,103	0,076	0,048	0,028	0,018	0,005	0,019	0,071
Córrego da Vida	15,00	0,010	0,189	0,254	0,181	0,168	0,100	0,074	0,046	0,027	0,017	0,005	0,018	0,069
Córrego Barreiro	13,50	0,009	0,170	0,229	0,163	0,151	0,090	0,066	0,042	0,024	0,016	0,004	0,017	0,062
Córrego do Limo	9,30	0,006	0,117	0,158	0,112	0,104	0,062	0,046	0,029	0,017	0,011	0,003	0,011	0,043
Córrego Mutum	8,60	0,006	0,108	0,146	0,104	0,096	0,057	0,042	0,027	0,015	0,010	0,003	0,011	0,039
Córrego Sapecado	7,60	0,005	0,096	0,129	0,092	0,085	0,051	0,037	0,023	0,014	0,009	0,002	0,009	0,035
Córrego do Inhame	5,20	0,004	0,065	0,088	0,063	0,058	0,035	0,026	0,016	0,009	0,006	0,002	0,006	0,024
Córrego Água Santa	4,00	0,003	0,050	0,068	0,048	0,045	0,027	0,020	0,012	0,007	0,005	0,001	0,005	0,018
Bacia Difusa 1	18,91	0,013	0,238	0,321	0,228	0,212	0,126	0,093	0,058	0,034	0,022	0,006	0,023	0,087

Fonte: O autor (2014).

Tabela 7 - Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada trecho do alto curso do rio Uberaba

Trecho	$Q_{7,10}$ anual em cada trecho (m^3/s)	$Q_{7,10}$ mensal em cada trecho (m^3/s)											
		Jan	fev	mar	Abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T1 _{total}	0,036	0,657	0,887	0,630	0,585	0,348	0,256	0,161	0,094	0,060	0,017	0,064	0,240
T2 _{total}	0,045	0,822	1,109	0,789	0,732	0,436	0,321	0,202	0,118	0,076	0,021	0,080	0,300
T3 _{total}	0,061	1,125	1,518	1,079	1,001	0,596	0,439	0,276	0,161	0,103	0,029	0,110	0,410
T4 _{total}	0,071	1,307	1,764	1,254	1,163	0,693	0,510	0,321	0,187	0,120	0,033	0,128	0,476
T5 _{total}	0,083	1,527	2,061	1,465	1,359	0,810	0,596	0,375	0,218	0,140	0,039	0,149	0,557
T6 _{total}	0,093	1,708	2,305	1,639	1,520	0,905	0,666	0,419	0,244	0,157	0,044	0,167	0,623
T7 _{total}	0,107	1,969	2,656	1,889	1,752	1,044	0,768	0,483	0,282	0,181	0,050	0,193	0,717
T8 _{total}	0,166	3,057	4,125	2,933	2,721	1,621	1,192	0,750	0,437	0,281	0,078	0,299	1,114
T9 _{total}	0,263	4,853	6,548	4,655	4,319	2,573	1,893	1,191	0,694	0,446	0,124	0,475	1,769
T10 _{total}	0,281	5,188	7,001	4,977	4,618	2,750	2,024	1,274	0,742	0,477	0,133	0,508	1,891
T11 _{total}	0,305	5,627	7,593	5,398	5,008	2,983	2,195	1,381	0,805	0,517	0,144	0,551	2,051
T12 _{total}	0,353	6,516	8,792	6,251	5,799	3,454	2,541	1,599	0,932	0,599	0,167	0,638	2,375
T13 _{total}	0,360	6,641	8,962	6,371	5,911	3,521	2,591	1,630	0,950	0,610	0,170	0,650	2,421

Fonte: O autor (2014).

Na Tabela 7, o trecho T14 assume os mesmos valores de vazão $Q_{7,10}$ que o trecho T13, visto que o trecho T14 foi adicionado à topologia do modelo apenas para analisar a vazão após o ponto de captação do CODAU. Portanto, não foi considerada contribuição difusa ao longo do trecho T14.

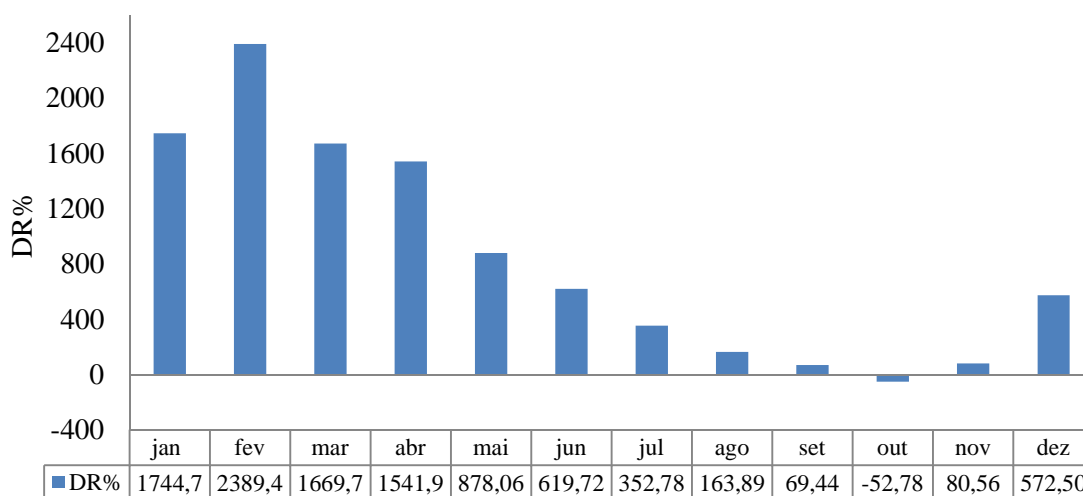
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, a vazão $Q_{7,10}$ obtida na foz da APA corresponde a 0,36 m³/s, calculada em base anual. A vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal (ver Tabelas 6 e 7) teve maior representatividade no mês de fevereiro, com acréscimo de 2.488% na vazão calculada em base anual. Porém, no mês de outubro a vazão calculada em base mensal apresentou valor inferior ao calculado em base anual, cujo valor apresentou redução de 47,22%.

De posse das vazões calculadas em base mensal, comparando-as com a vazão da base anual, observa-se que, nos meses que compreendem o período chuvoso (dezembro a junho), há um aumento significativo no valor da vazão $Q_{7,10}$. Nesses meses em que há aumento na disponibilidade hídrica em função do período chuvoso, tem-se como alternativa a instalação de reservatório de sobras, cujo objetivo é reservar a parcela de água outorgada, retirada do curso de água, que não utilizada nos meses chuvosos.

4.4 IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DA $Q_{7,10}$ ANUAL PELAS $Q_{7,10}$ MENSAIS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO ALTO CURSO DO RIO UBERABA

Na Figura 35 são apresentados os valores de diferença relativa entre as vazões $Q_{7,10}$ calculadas em base anual e mensal obtidos com base nos dados da estação fluviométrica localizada nas proximidades da foz da APA.

De acordo com a Figura 35, observa-se que os valores de DR% apresentam variações acentuadas ao longo do ano, com diferença relativa positiva em quase todo o ano. Entre os meses de dezembro a agosto, a diferença relativa atingiu valores maiores que 100%; sendo assim, observa-se que nessas situações é expressivo o potencial de substituição da base de cálculo da $Q_{7,10}$ em base anual para a base mensal. A substituição da base cálculo entre os meses de dezembro a agosto permite aos usuários uma maior utilização ou capacidade de reserva dos recursos hídricos superficiais.

Figura 35 - Diferença relativa (DR%) entre as vazões $Q_{7,10}$ anual e mensal

Fonte: O autor (2014).

Em contrapartida, nota-se que nos meses de setembro, outubro e novembro, que são os meses mais secos do ano, a diferença relativa obteve valores menores que 100%, indicando que o cálculo da vazão de referência em base mensal não causa impactos significativos no aproveitamento hídrico.

Destaca-se que o mês de outubro, que é considerado o mês mais crítico do ano, obteve valor de diferença relativa negativo. Isto indica que nesse referido mês é mais recomendado a utilização da $Q_{7,10}$ calculada em base anual.

4.5 IMPACTO NA MUDANÇA NO CRITÉRIO DE OUTORGA

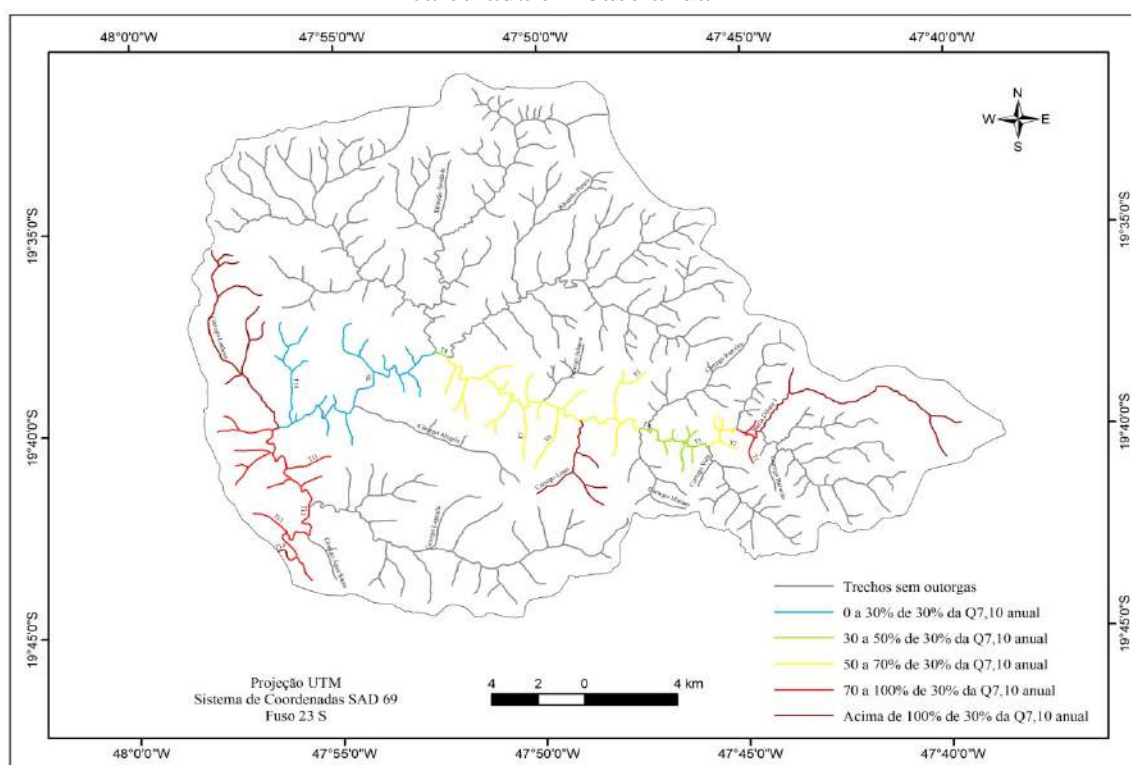
Este item apresenta os resultados da disponibilidade hídrica distribuída na hidrografia do alto curso do rio Uberaba, baseada na mudança nos critérios de outorga.

4.5.1 Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual

A concessão de outorga baseada no critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual foi utilizada em todo estado de Minas Gerais até a promulgação da Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548/12, que estabeleceu o critério de 50% da mesma vazão de referência; porém como já foi dito neste trabalho, em algumas bacias hidrográficas estaduais ainda é aplicado o antigo percentual.

Na bacia hidrográfica onde está localizada a área de estudo, utiliza-se o percentual de 50% da $Q_{7,10}$ anual, porém avaliou-se a disponibilidade hídrica nesta área utilizando 30%, cujo resultado está na Figura 36.

Figura 36 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 30% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual



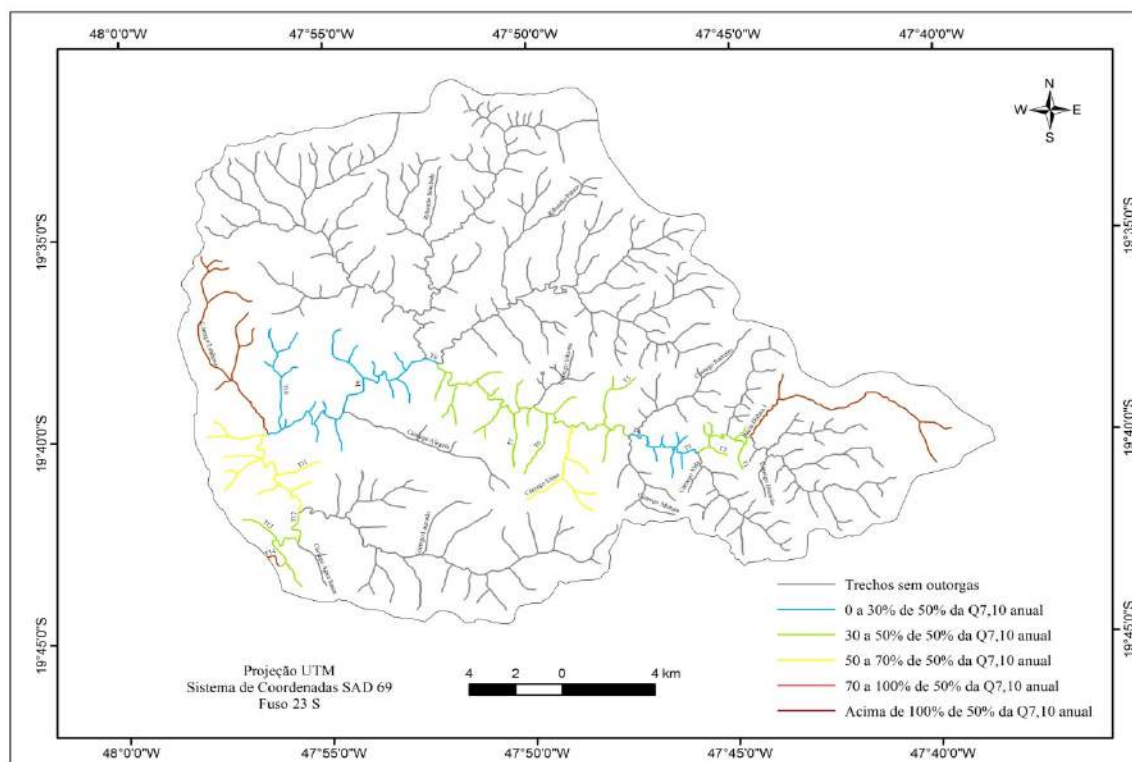
Fonte: O autor (2014).

Observa-se que ao aplicar o critério baseado em 30% da $Q_{7,10}$ anual, os afluentes com outorgas apresentam vazão outorgada acima de 100% da vazão permitida. Quanto aos trechos do rio Uberaba, o primeiro trecho nomeado como “Bacia difusa 1” e T14 apresentam valor outorgado acima de 100% da vazão permitida. Os trechos T1, T11, T12 e T13 apresentam vazões outorgadas utilizando de 70 a 100% do valor permitido. Os trechos T2, T5, T6 e T7 apresentam vazões outorgadas utilizando de 50 a 70% do valor permitido, e os trechos restantes apresentam boa disponibilidade hídrica, indicando que os valores outorgados alcançaram 50% ou menos. Os resultados da análise deste critério indicam que grande parte da hidrografia do alto curso do rio Uberaba apresenta conflito pelo uso da água. Dessa forma, confirma-se a necessidade de adotar critérios menos restritivos, como foi o caso do percentual estabelecido pela nova resolução.

4.5.2 Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal

Esta análise representa a situação real do critério de concessão de outorgas no estado de Minas Gerais, que é baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual.

Figura 37 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual

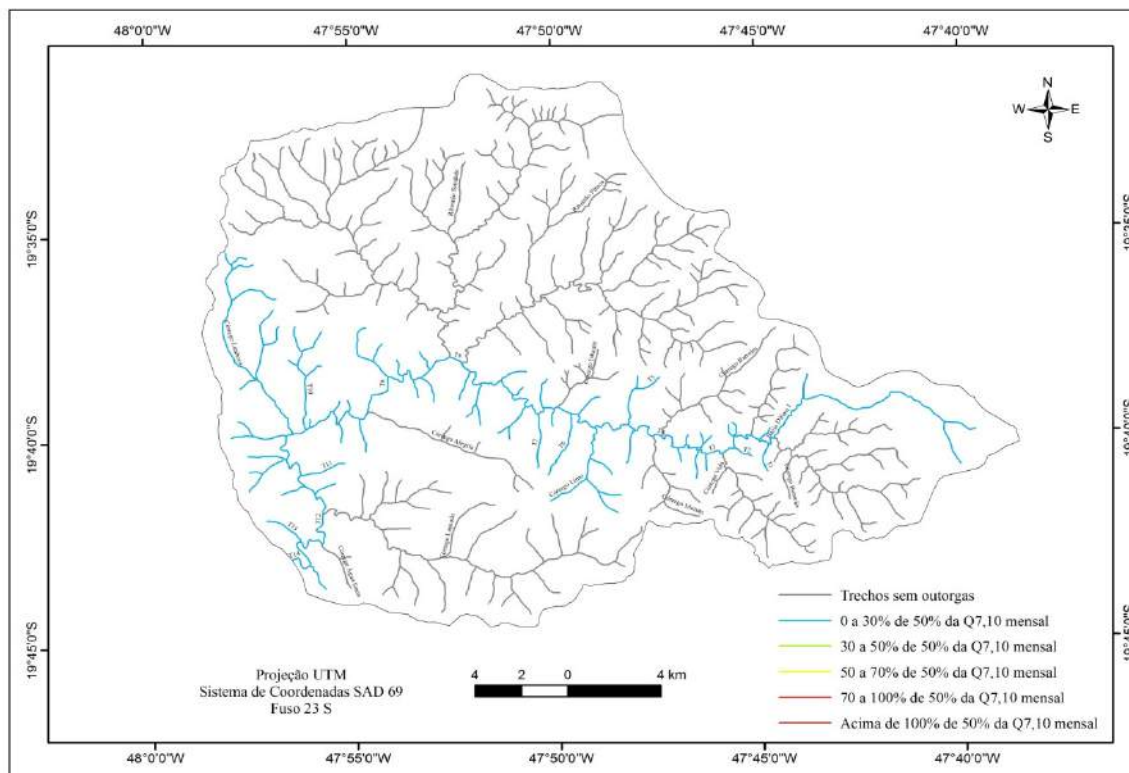


Fonte: O autor (2014).

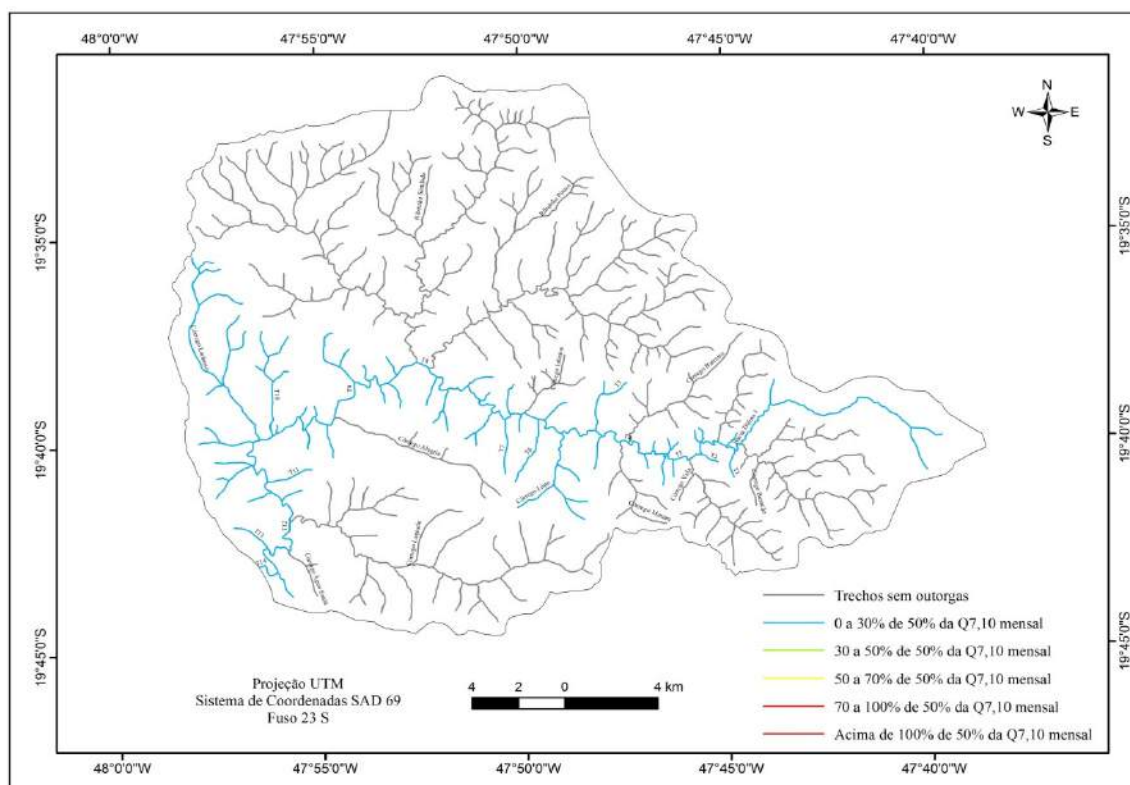
De acordo com a Figura 37, observa-se que alguns trechos da hidrografia apresenta situação crítica na disponibilidade hídrica, visto que o trecho inicial do rio “Bacia difusa 1”, a sub-bacia do córrego Lanhoso e o trecho após a captação de água do CODAU (T14) apresentam vazão outorgada maior que 100% do valor permitido, comprometendo a disponibilidade hídrica nos trechos a jusante.

A sequência de Figuras de 38 a 43 apresenta a análise da disponibilidade hídrica baseada em uma situação otimizada, considerando o critério de 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal.

Figura 38 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) janeiro e (b) fevereiro



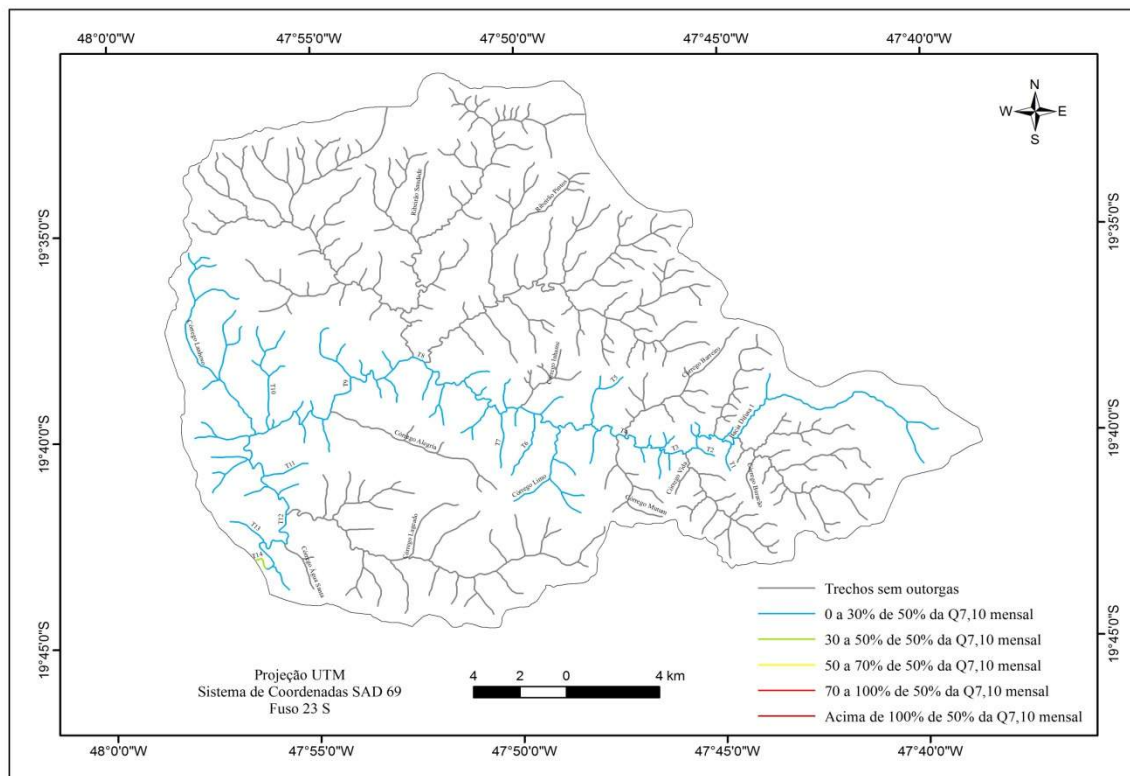
(a)



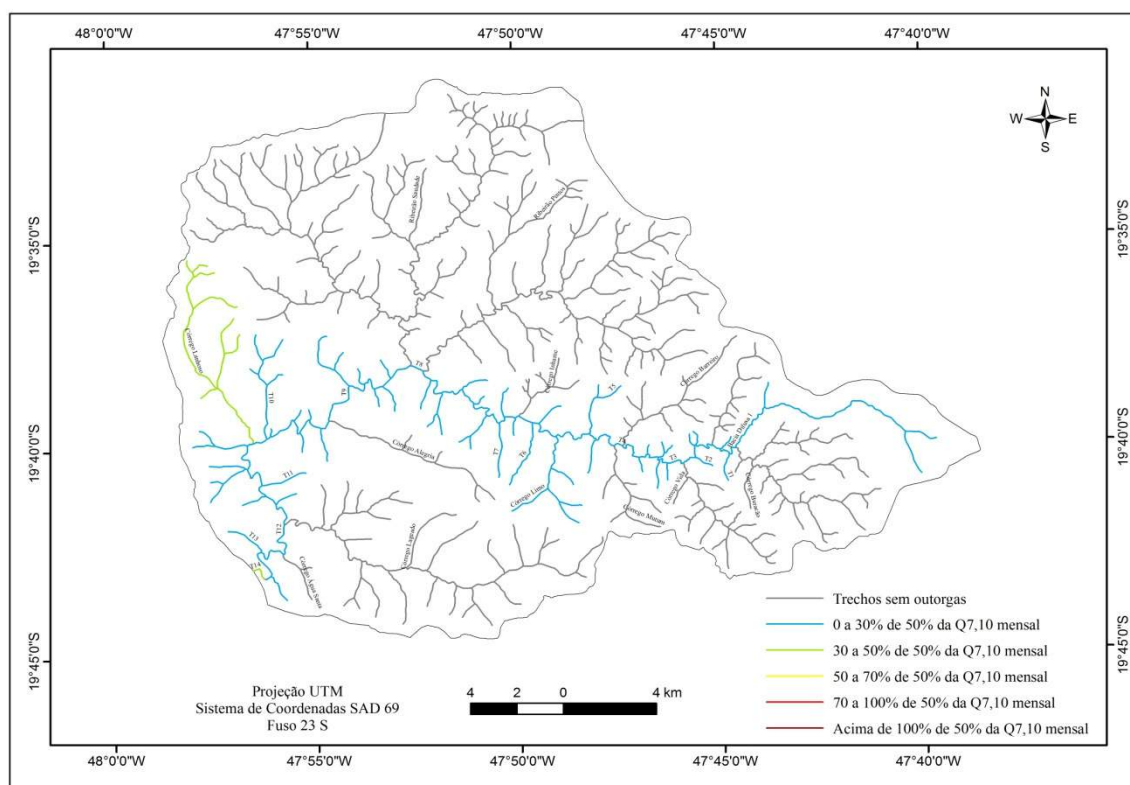
(b)

Fonte: O autor (2014).

Figura 39 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) março e (b) abril



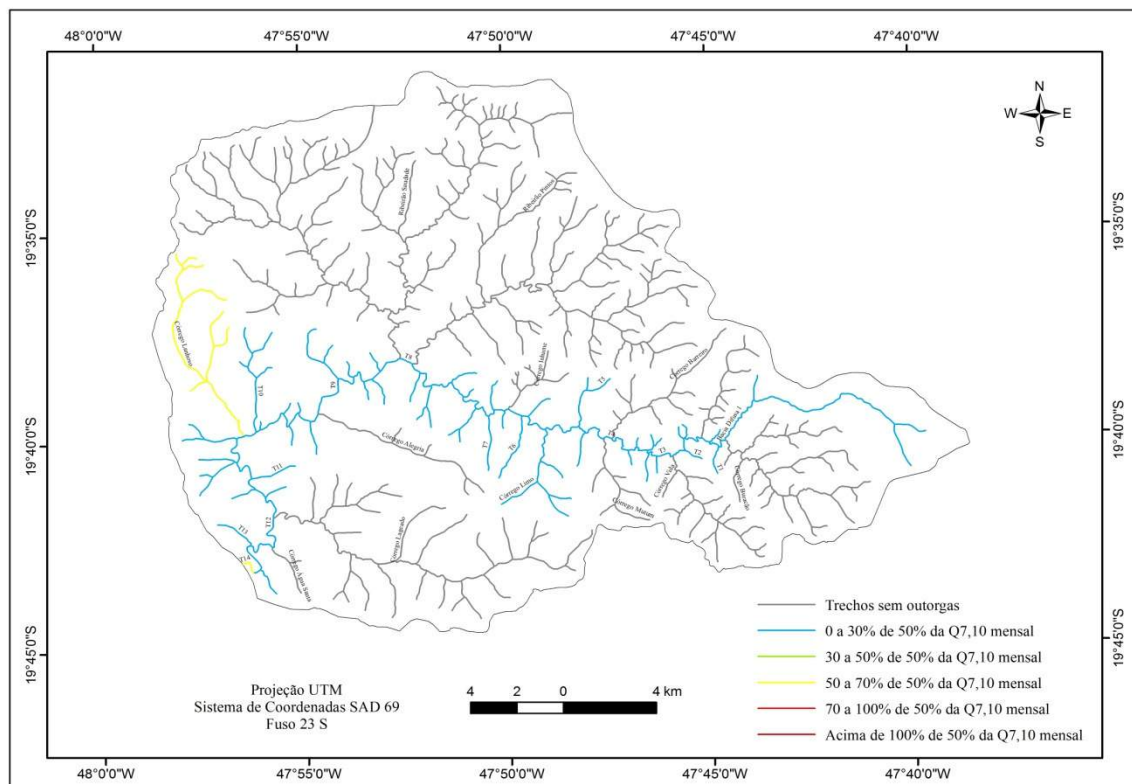
(a)



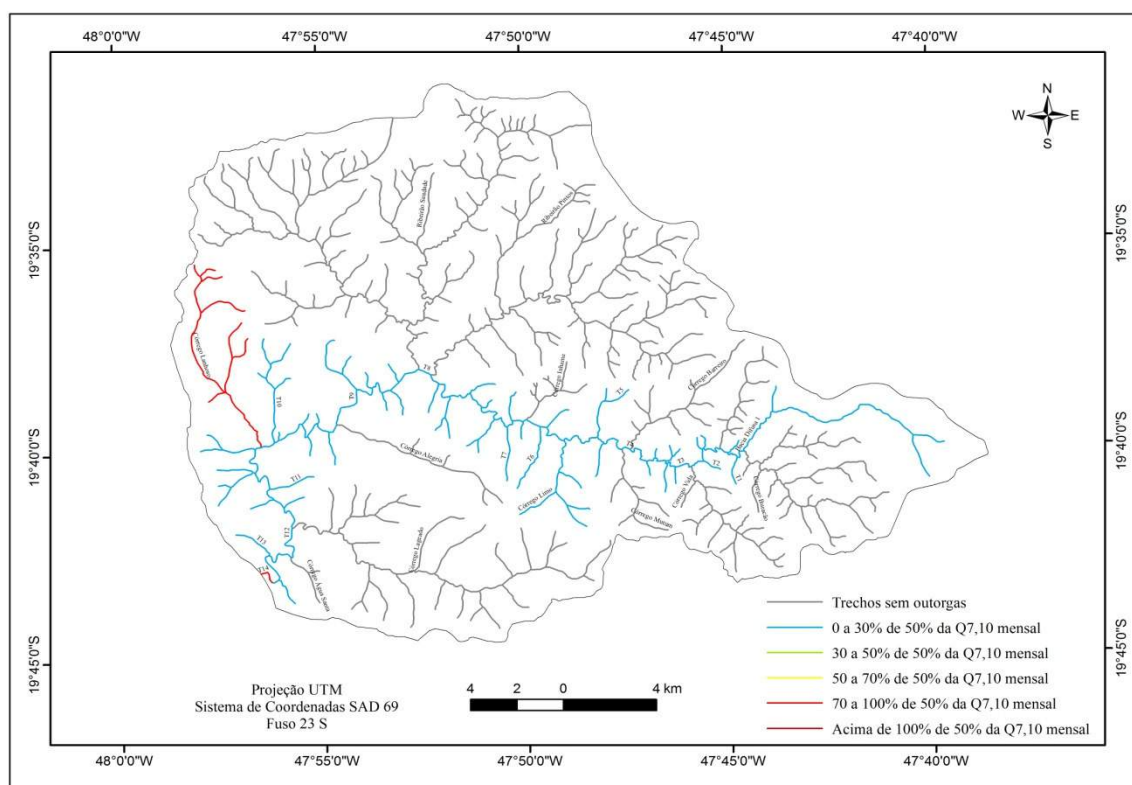
(b)

Fonte: O autor (2014).

Figura 40 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) maio e (b) junho



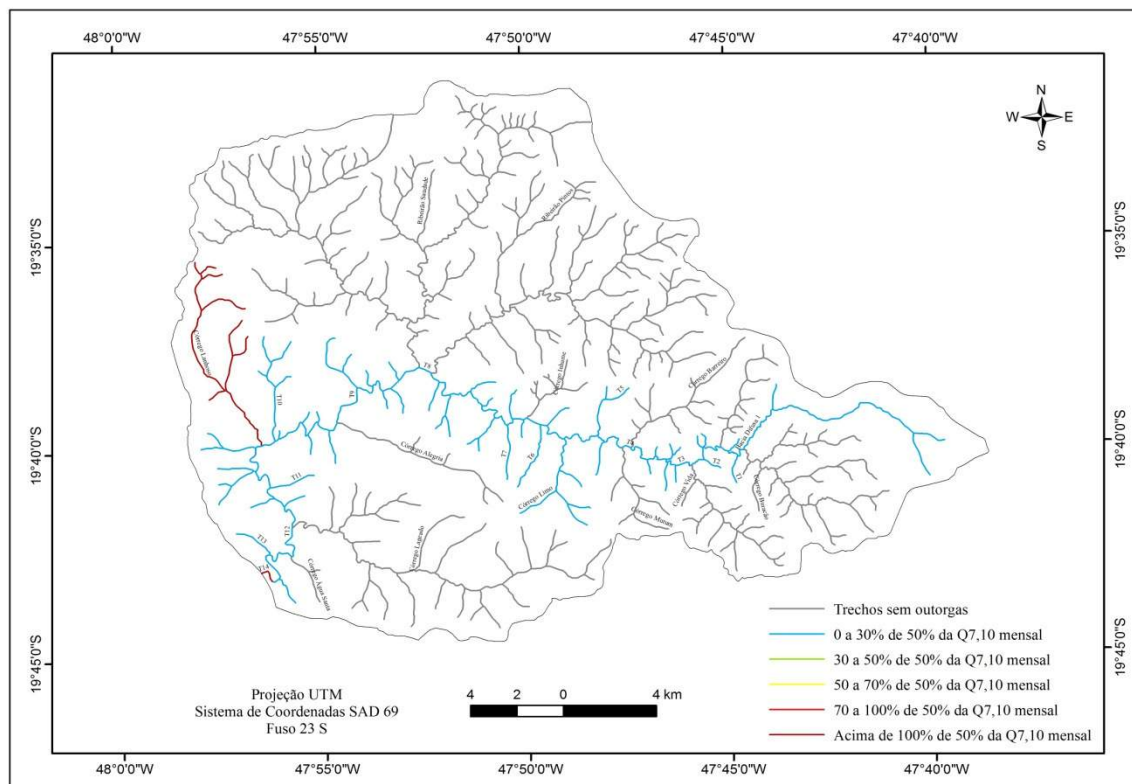
(a)



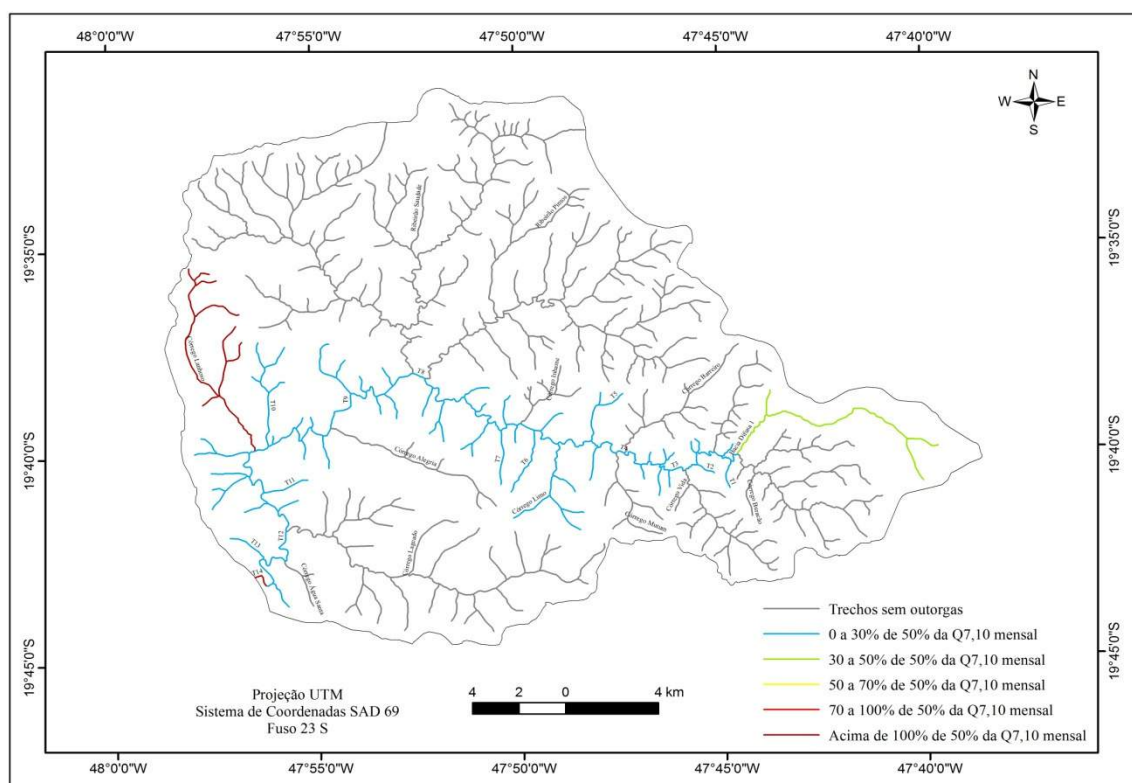
(b)

Fonte: O autor (2014).

Figura 41 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) julho e (b) agosto



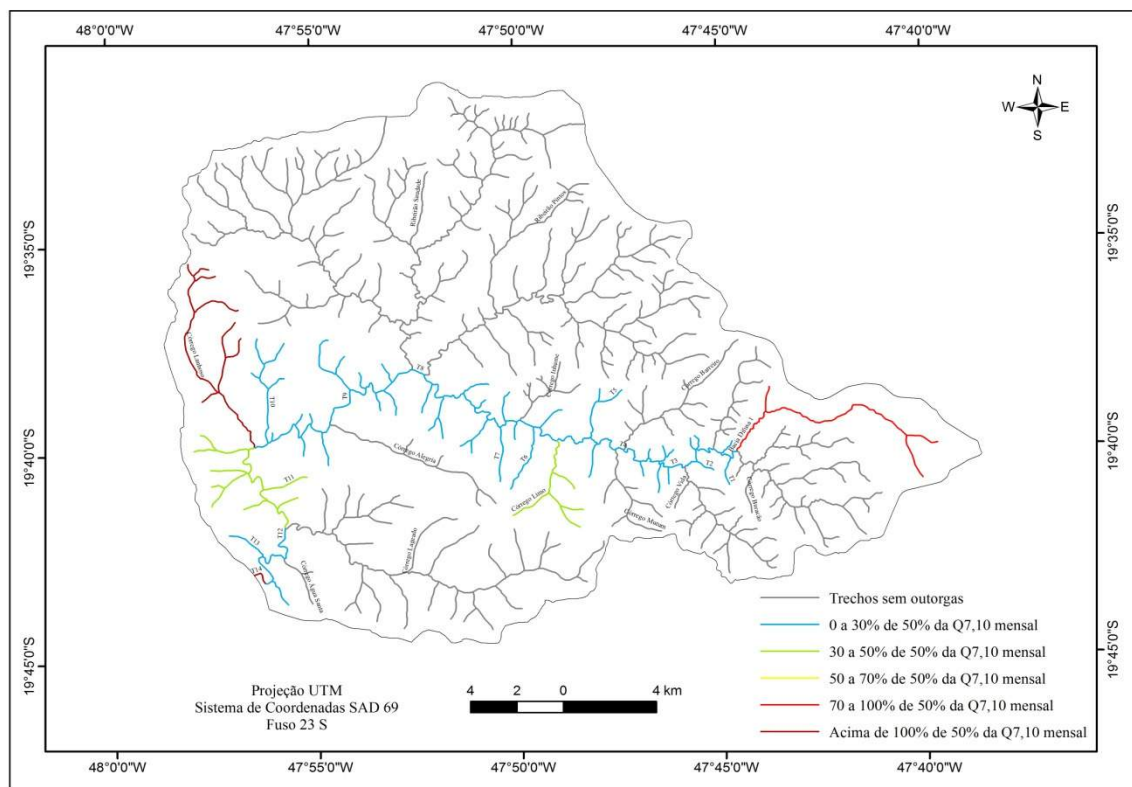
(a)



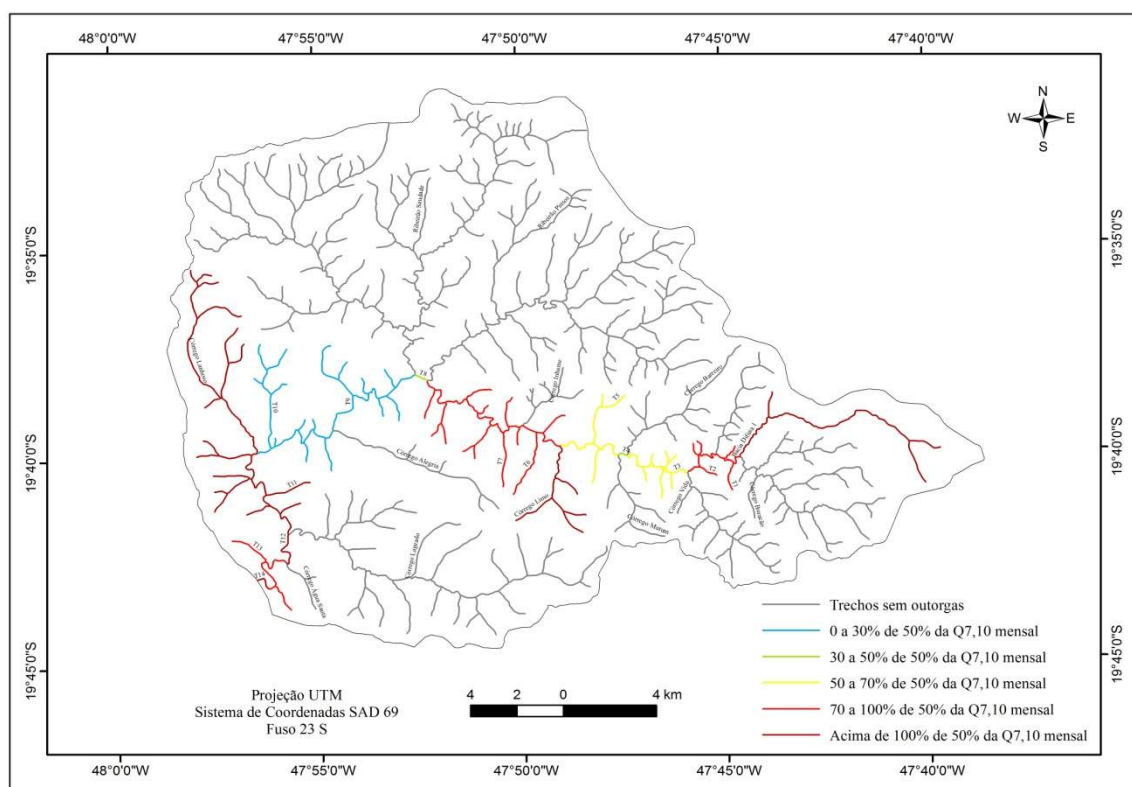
(b)

Fonte: O autor (2014).

Figura 42 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) setembro e (b) outubro



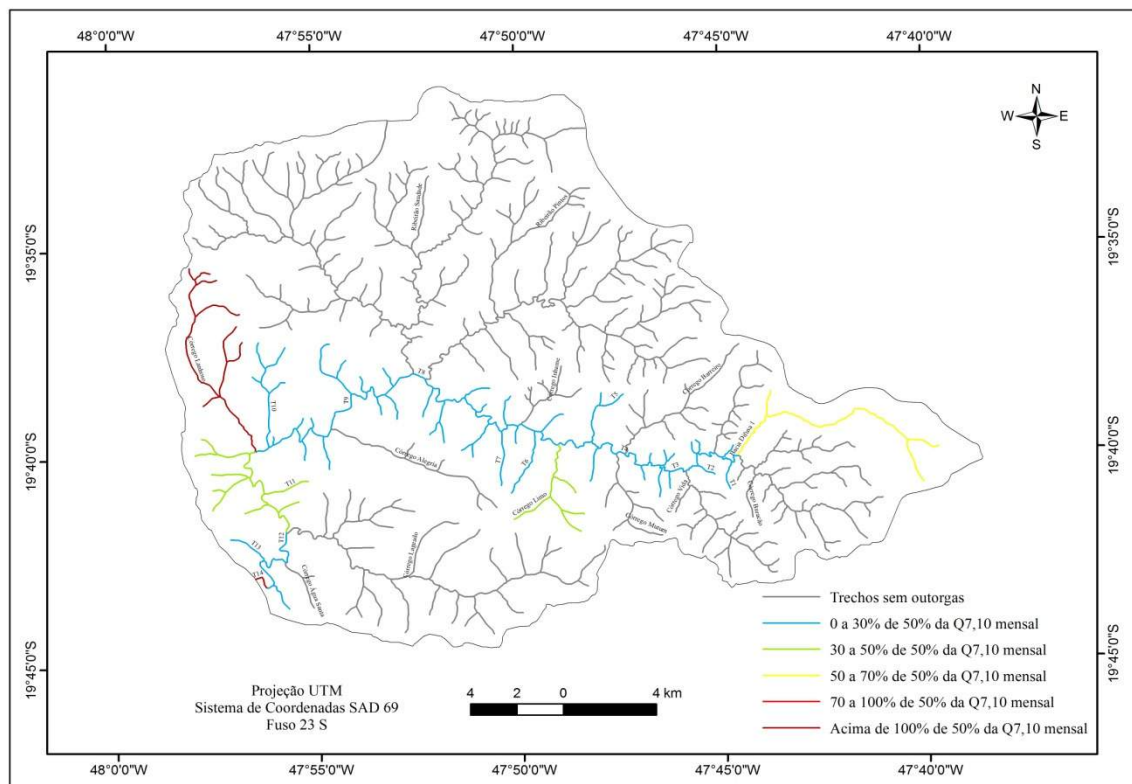
(a)



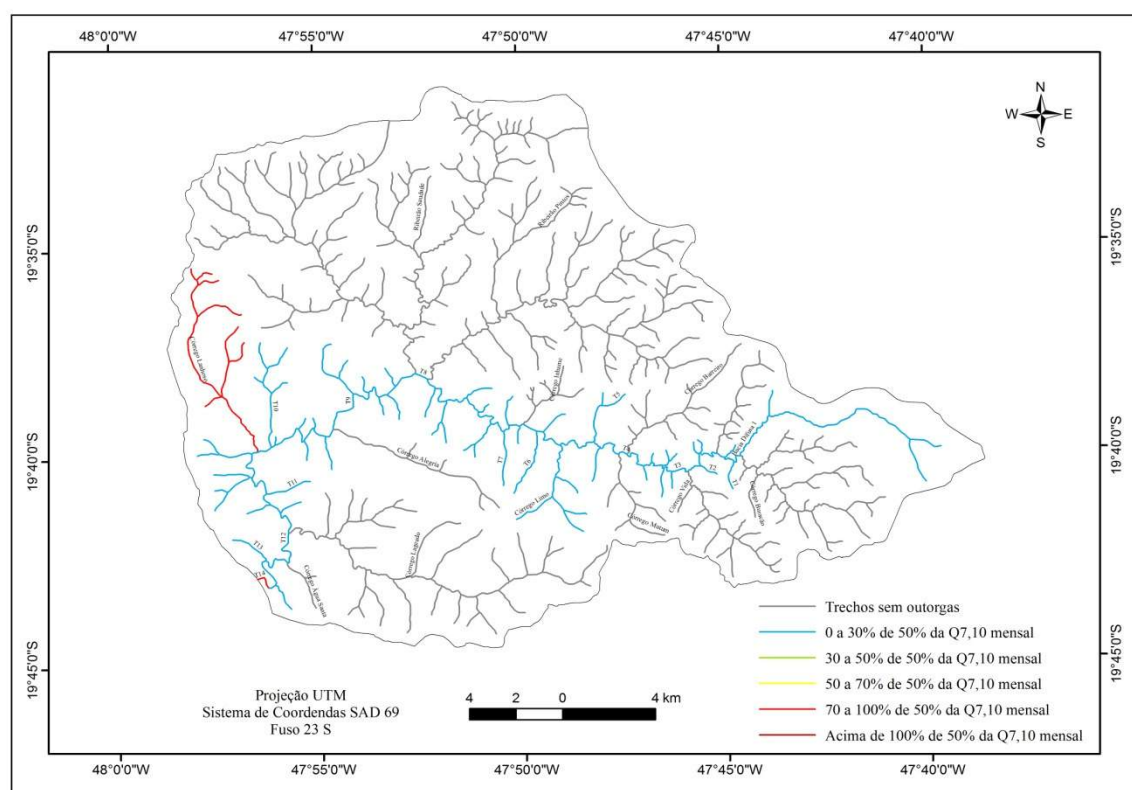
(b)

Fonte: O autor (2014).

Figura 43 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 50% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, (a) novembro e (b) dezembro



(a)



(b)

Fonte: O autor (2014).

Diante dos resultados obtidos ao aplicar o critério de 50% da $Q_{7,10}$ calculada em base mensal, observa-se que mesmo com este critério bem menos restritivo, a hidrografia apresentou conflitos em diversos meses, sendo eles, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. Nesses meses citados, os casos mais críticos estão na sub-bacia do córrego Lanhoso e no trecho T14. O trecho “Bacia difusa 1” apresentou percentual acima de 100% de utilização da parcela permitida para outorga nos meses de setembro e outubro.

Para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio, a situação otimizada apresentou significativo resultado na disponibilidade hídrica, visto que nesses meses todas as sub-bacias e todos os trechos apresentaram baixo percentual de utilização dos recursos hídricos. Observa-se que nos meses de janeiro e fevereiro todas sub-bacias e todos os trechos apresentaram percentual de utilização da água de 0 a 30% da parcela permitida para outorga, enquanto que nos meses de março, abril e maio esse mesmo cenário prevaleceu, com exceção para o córrego Lanhoso e para o trecho T14, visto que no mês de março o trecho T14 apresentou utilização da água variando de 30 a 50%, no mês de abril o trecho T14 e o córrego Lanhoso apresentaram percentual utilizado de 30 a 50%, e no mês de maio esses mesmos trechos apresentaram percentual de utilização da água de 50 a 70% da parcela permitida para outorga.

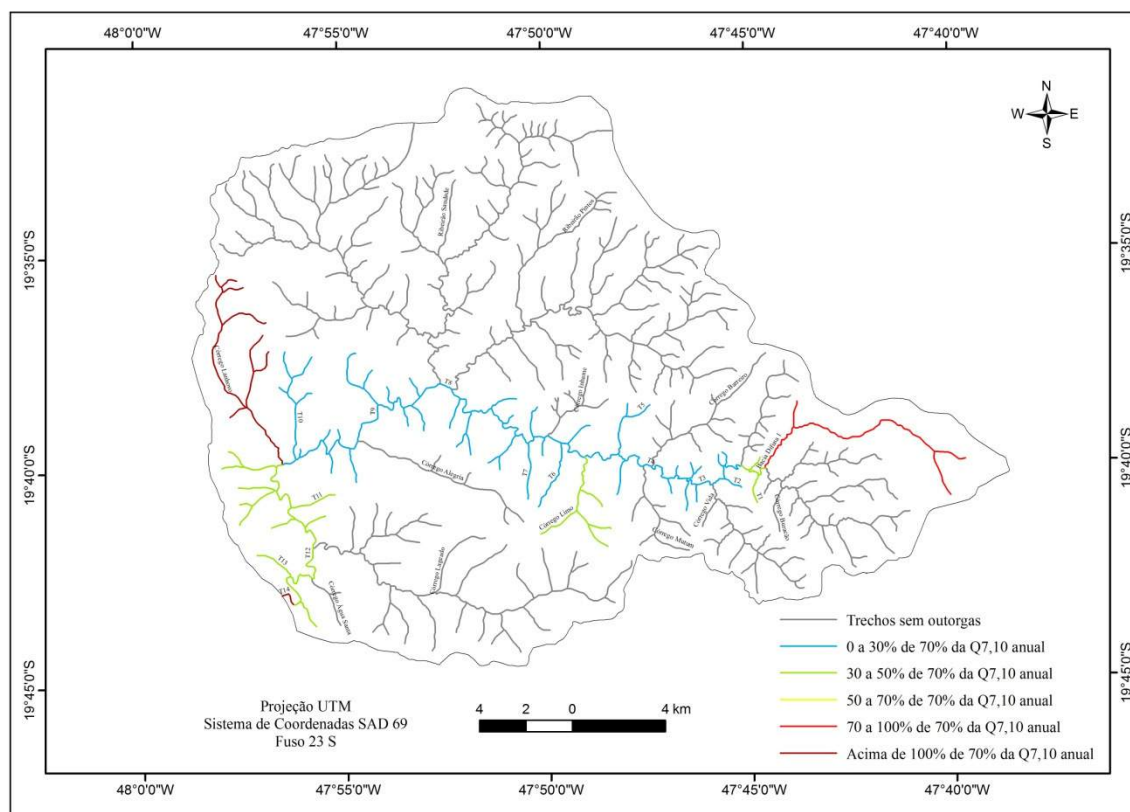
Diante dos resultados de avaliação da disponibilidade hídrica utilizando uma situação otimizada, sendo ela a base de cálculo da vazão $Q_{7,10}$ em base mensal, nota-se que o trecho “Bacia difusa 1”, T14, e o córrego Lanhoso merecem maior atenção na gestão de seus recursos hídricos, pois as outorgas concedidas para essas sub-bacias ultrapassam a vazão permitida.

De acordo com os resultados sobre a diferença relativa obtidos no Item 4.4, apenas o mês de outubro não apresentou diferença relativa positiva, sendo que todos os outros meses mostraram satisfatórias a mudança na base de cálculo da vazão $Q_{7,10}$. Esses resultados indicam que as vazões outorgadas ultrapassam os valores permitidos pela legislação, indicando maior atenção do órgão competente para esta área.

4.5.3 Critério baseado no uso de 70% da $Q_{7,10}$ anual

O critério de avaliar a disponibilidade hídrica baseado no uso de 70% da $Q_{7,10}$ anual foi proposto com o intuito de superestimar o volume outorgado, e consequentemente minimizar os conflitos pelo uso da água. Ao analisar a disponibilidade hídrica utilizando o referido critério observa-se, através da Figura 44, que alguns trechos do alto curso do rio Uberaba ainda encontram-se fora de conformidade com o critério proposto. Porém a maior parte da hidrografia apresentou disponibilidade hídrica positiva, indicando que ainda há volume disponível a ser outorgado.

Figura 44 - Análise do percentual hídrico utilizado, baseado em 70% da vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual



Fonte: O autor (2014).

A situação mais crítica encontra-se no trecho inicial do rio “Bacia difusa 1”, T14, e no córrego Lanhoso. Avaliando os critérios baseados em 30, 50 e 70% da $Q_{7,10}$ anual, esses dois trechos citados encontram coloridos na cor marrom, indicando que a vazão outorgada foi acima de 100% da vazão de referência. Avaliando esse critério que superestima a vazão disponível para outorga, e alcançando resultados de baixa disponibilidade hídrica para

esses trechos, corrobora a situação crítica dos mesmos, ressaltando que os órgãos gestores devem apresentar alternativas para regularização desta parte da hidrografia.

4.6 SIMULAÇÃO DA SÉRIE SINTÉTICA DE VAZÕES NA APA ATRAVÉS DOS MODELOS TÉMEZ E HBV E CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

Este item apresenta os resultados da simulação da série sintética de vazões na foz a APA, em que nas proximidades a sua jusante está instalada a estação fluviométrica monitorada pela CPRM (estação com o código identificador nº 61794000). A simulação foi realizada com o auxílio da ferramenta EVALHID. Os parâmetros dos modelos hidrológicos chuva-vazão de Témez e HBV foram calibrados através do algoritmo evolutivo de calibração SCE-UA.

A Tabela 8 apresenta os valores dos parâmetros calibrados dos modelos hidrológicos e o valor da função $F_{\text{média}}$ utilizada pelo algoritmo.

Tabela 8 - Parâmetros calibrados e valores da $F_{\text{média}}$ obtidos pelo algoritmo evolutivo de calibração SCE-UA

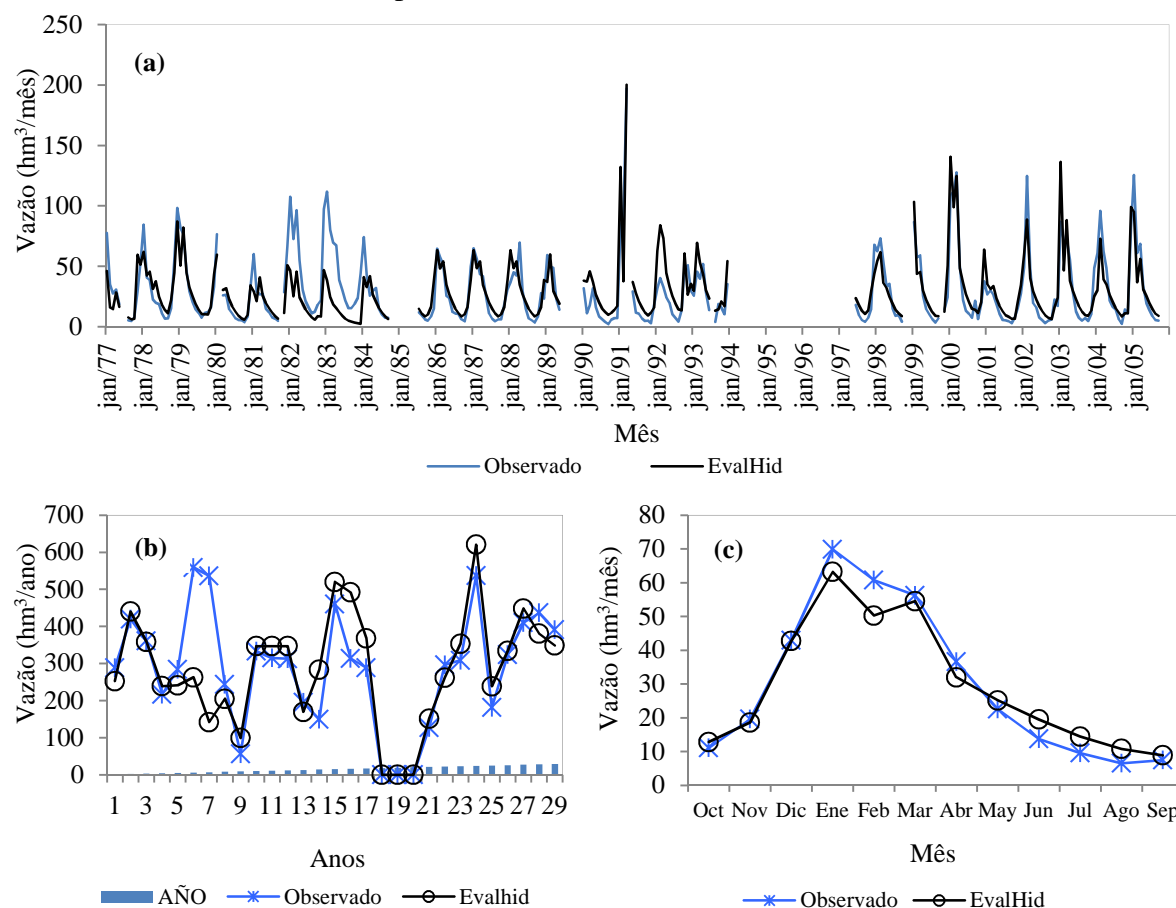
Parâmetros	
Modelo Témez	
$H_{\text{máx}}$ (mm)	176,0718
C (---)	0,1005
$I_{\text{máx}}$ (mm/mês)	266,9121
$Alfa$ (mês ⁻¹)	0,2996
$F_{\text{média}}$	0,78
Modelo HBV	
$L_{\text{máx}}$ (mm)	0,0015
K_0 (dia ⁻¹)	0,3954
K_1 (dia ⁻¹)	0,3001
K_2 (dia ⁻¹)	0,0267
K_{perc} (dia ⁻¹)	0,2857
PWP (mm)	190,2242
FC (mm)	400,6223
β (---)	1,000
$F_{\text{média}}$	0,64

Fonte: O autor (2014).

As Figuras 45 e 46 ilustram a comparação entre os dados observados na estação fluviométrica localizada nas proximidades da foz da APA e a série sintética obtida por

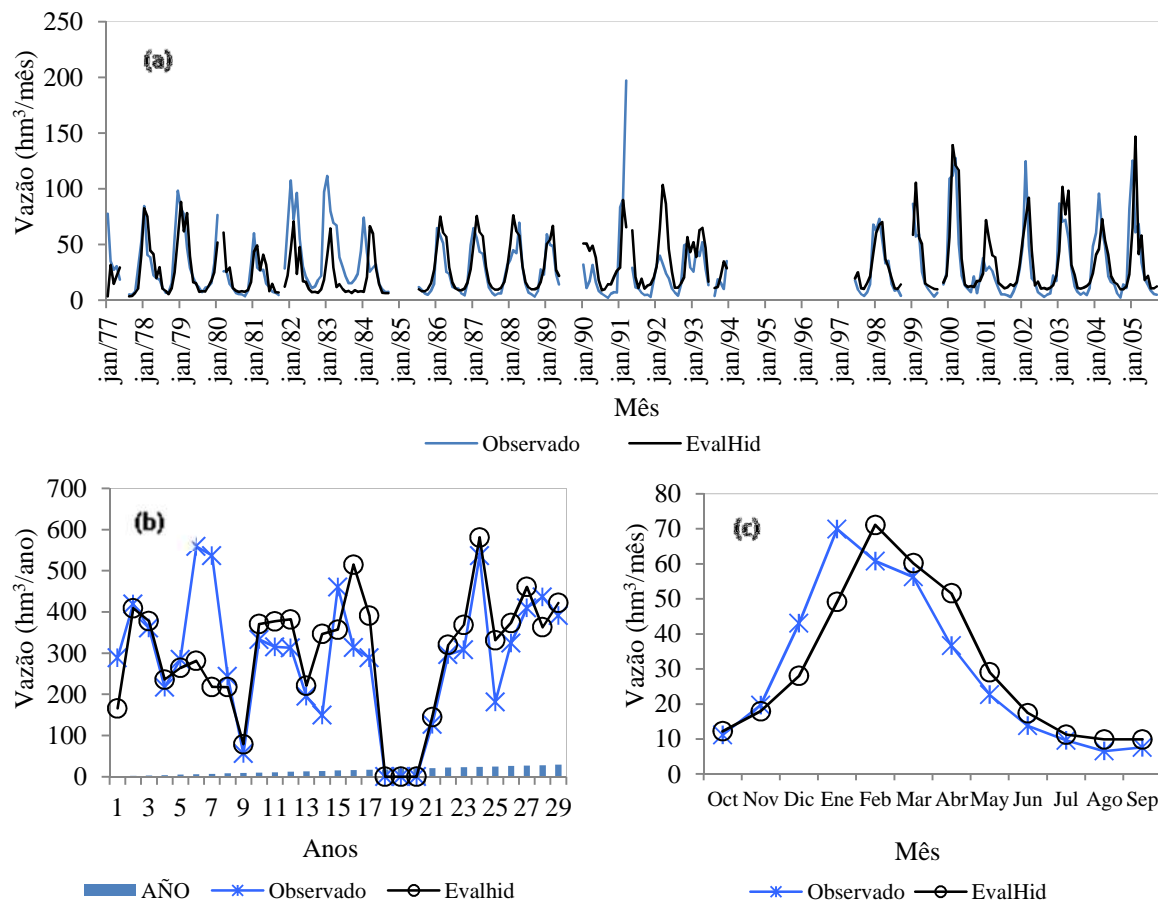
meio da ferramenta EVALHID após a calibração dos parâmetros dos modelos Témez e HBV, respectivamente. Nestas figuras, (a) representa o ajuste entre os dados observados e simulados de vazão total, (b) representa a variação da vazão anual e (c) representa a variação da vazão média mensal no período de simulação.

Figura 45 - Comparação entre os dados observados e a série sintética após a calibração dos parâmetros do modelo Témez



Fonte: O autor (2014).

Figura 46 - Comparação entre os dados observados e a série sintética após a calibração dos parâmetros do modelo HBV



Fonte: O autor (2014).

Os resultados da calibração dos parâmetros indicam que o modelo Témez obteve valor da função $F_{\text{média}}$ de 0,78 e o modelo HBV o valor de 0,64. De acordo com esses resultados, observa-se que o modelo Témez obteve melhor ajuste dos parâmetros.

O melhor ajuste dos parâmetros do modelo Témez em relação ao modelo HBV também foi observado por Salla et al. (2015), que utilizou tais modelos para simulação de vazões no alto curso do rio Araguari. Os autores obtiveram valores da função $F_{\text{média}}$ variando de 0,413 a 0,866 para o modelo Témez e valores variando de 0,602 a 0,767 para o modelo HBV. Constatação contrária foi detectada por Mas (2013), na avaliação de vazões na bacia hidrográfica do rio Túria (Espanha), onde a função $F_{\text{média}}$ variou entre 0,63 a 0,66 para o modelo Témez e entre 0,78 a 0,80 para o modelo HBV.

Segundo Salla et al. (2015), diversos trabalhos da literatura demonstram que existe uma grande discrepância entre os valores dos parâmetros calibrados pelos modelos, justamente pelas distintas características das bacias hidrográficas estudadas, tais como uso e ocupação do solo, declividade do solo, forma da bacia hidrográfica, configuração da rede de drenagem natural, etc. Dentre estes trabalhos, destacam-se os realizados por García et al. (2012) na bacia do rio Grande Morelia (México), Pizarro et al. (2005) na bacia do rio Purapel (Chile) e Maidment & Tarboton (2013) na bacia do rio Blando (Espanha).

Após constatar, através dos valores da $F_{\text{média}}$, que o modelo hidrológico chuva-vazão Témez obteve melhor ajuste dos parâmetros, simulou-se a série sintética de vazões para cada sub-bacia da APA, como pode ser observado na sequência de Figuras 56 a 70, no APÊNDICE A. As referidas séries sintéticas foram utilizadas com dados de entrada na topologia da APA, a fim de estimar as vazões ao longo dos quatorze trechos no alto curso do rio Uberaba (ver APÊNDICE B).

4.7 VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

Como já mencionado anteriormente, em cursos de água naturais que não têm a capacidade hídrica para suprir uma determinada demanda fixa a partir de uma barragem a fio de água, principalmente nos meses críticos de estiagem, a solução usualmente utilizada é a implantação de reservatório de acumulação.

Esta problemática de escassez hídrica no alto curso do rio Uberaba pode ser observada na Figura 47, cujo registro fotográfico foi realizado no decorrer do ano de 2014.

Figura 47 - Registro fotográfico da captação superficial a fio de água no rio Uberaba, considerando em (a) o período chuvoso e em (b) o período de estiagem



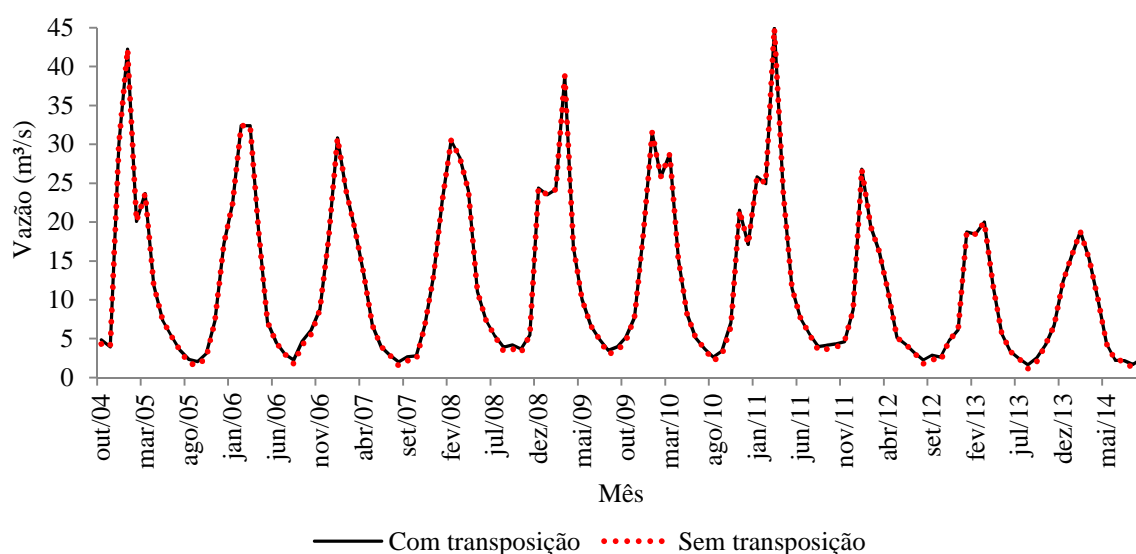
Fonte: O autor (2014).

A Figura 47a representa o local de captação de água entre os meses de novembro a julho, de forma que o rio apresenta vazão suficiente para suprir a demanda de abastecimento público, e ainda garante uma vazão a jusante acima do limite mínimo definido pela legislação. Já a Figura 47b representa o mesmo local, porém no período seco, entre os meses de agosto e outubro. Observa-se que, nesse período seco, o rio apresenta vazão muito baixa, mesmo com a transposição de água do rio Claro, comprometendo a captação para o abastecimento público.

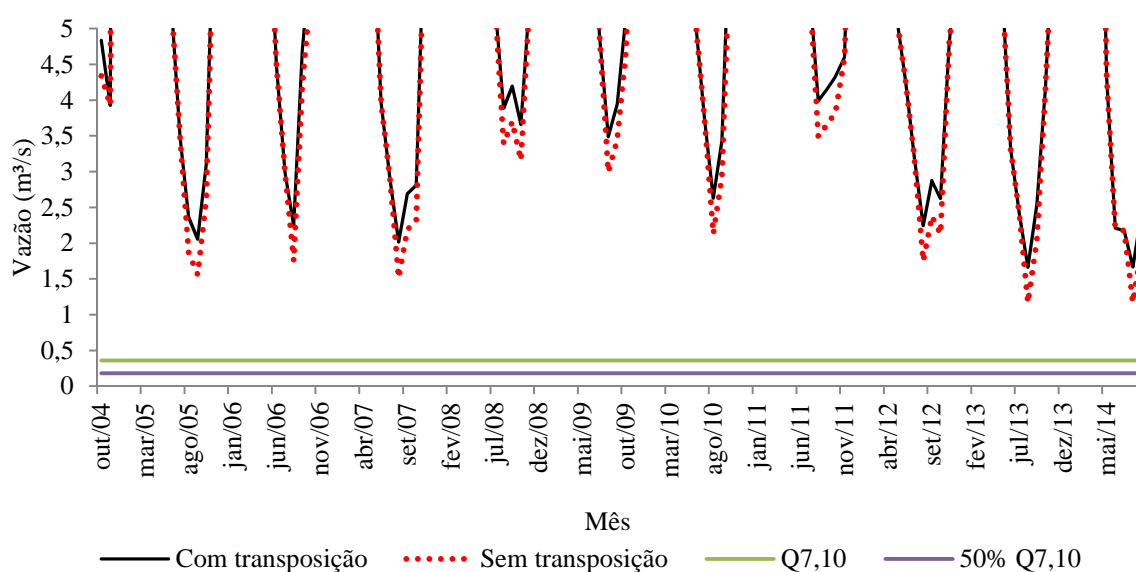
Considerando as séries sintéticas de vazão em todos os afluentes da APA, a demanda atual para abastecimento público na cidade de Uberaba e as demandas superficiais outorgadas até junho de 2014, foi possível realizar o balanço hídrico de vazão para o período de 2004 a 2014, considerando e não considerando a transposição de água do rio Claro. O balanço hídrico foi realizado com o auxílio da ferramenta computacional AQUATOOL.

A partir desse balanço hídrico tentou-se confirmar a escassez hídrica no rio Uberaba para os meses de estiagem e, consequentemente, confirmar a necessidade de implantação do reservatório de acumulação. A Figura 48a apresenta a série sintética de vazão na barragem a fio de água, considerando e não considerando a transposição de água do rio Claro. Para melhor análise desses resultados, a escala do gráfico foi reduzida, focando-se nas vazões mínimas, cujos valores das vazões foram confrontados com a vazão $Q_{7,10}$ obtida neste local, de acordo com a Figura 48b.

Figura 48 - Série sintética de vazão na barragem com captação a fio de água, considerando e não considerando a transposição de água do rio Claro



(a)



(b)

Fonte: O autor (2015).

Uma simples análise da Figura 48b mostra que as vazões mínimas, que correspondem aos meses mais secos do ano (agosto, setembro e outubro), ficam sempre acima da vazão $Q_{7,10}$ estimada no ponto de captação superficial (como apresentado no item 4.3, esta vazão corresponde a $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$), mantendo perfeitamente o residual de 50% da $Q_{7,10}$ conforme estabelecido pela legislação. Dentro do período analisado, o mês de agosto de 2013 apresentou a menor disponibilidade hídrica, igual a 1,66 e $1,16 \text{ m}^3/\text{s}$ considerando e não considerando a transposição de água do rio Claro, respectivamente. Com a ausência da transposição do rio Claro, a disponibilidade hídrica no mês de agosto de 2013 ainda seria aproximadamente 323% acima do residual de 50% da $Q_{7,10}$.

Estes resultados apresentados na Figura 48 são contraditórios com as imagens de escassez hídrica mostradas na Figura 47. A sequência mostrará que esta contradição é motivada pelas demandas pontuais utilizadas como dados de entrada no balanço hídrico, lembrando que a análise aqui realizada considerou as outorgas de direito de uso da água fornecidas pela SUPRAM até junho de 2014.

Todavia, a vazão realmente retirada do rio Uberaba é superior às outorgadas cadastradas na SUPRAM e de difícil quantificação. De acordo com o CODAU, existem captações irregulares em diversos pontos do rio Uberaba, especificamente dentro da APA. Algumas evidências dessas captações são apresentadas no ANEXO A, que traz notícias disponibilizadas na página eletrônica do CODAU e em jornais da região de Uberaba. De acordo com Ribeiro e Lanna (2003), as captações irregulares prejudicam os estudos de disponibilidade hídrica em escala de bacia hidrográfica.

Focando-se no mês de agosto de 2013, pode-se estimar que atualmente existe uma retirada irregular de água na APA, com valor próximo à vazão atualmente outorgada pelo IGAM, que é de $0,984 \text{ m}^3/\text{s}$. Independente do resultado do balanço hídrico (ver Figura 48), as imagens ilustradas na Figura 47 e os noticiários publicados pela Autarquia Municipal de Água e Esgoto confirmam a necessidade de instalação de reservatório de acumulação na APA.

4.8 DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ACUMULAÇÃO

Neste item são apresentados os dados obtidos para o dimensionamento do reservatório, de acordo com as metodologias descritas no item 3.9.

4.8.1 Estimativa da população de projeto

A previsão da população futura foi realizada através de método matemático geométrico, conforme Equações (27) e (28). Foram considerados os seguintes parâmetros de entrada: P_1 é igual a 244.238 habitantes (população no ano 2000); t_1 corresponde ao ano 2000; P_2 é igual a 289.376 habitantes (população no ano 2010); t_2 corresponde ao ano 2010.

Após os cálculos, o número de habitantes para a cidade de Uberaba, em um horizonte de 30 anos, foi de 480.451 habitantes.

4.8.2 Vazão de abastecimento

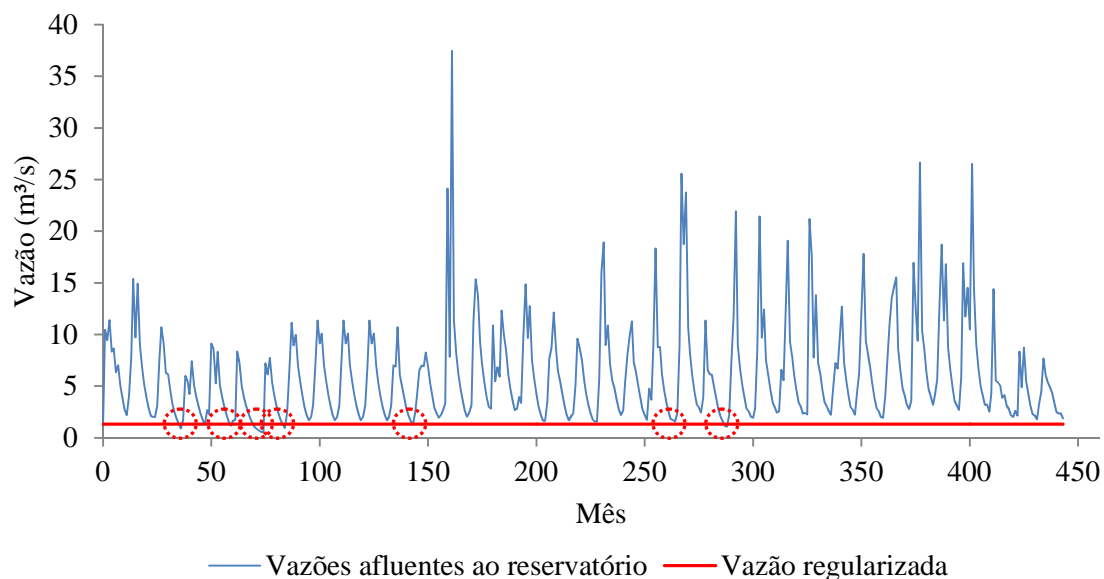
A vazão de abastecimento Q_{abast} foi obtida através da Equação (29), cujo valor resultante foi de 1,334 m³/s, lembrando que este valor foi utilizado como vazão de regularização, uma vez que o reservatório simulado é destinado apenas para o abastecimento público.

4.8.3 Cálculo do volume do reservatório

A série sintética da vazão afluente ao reservatório (para o período de 1977 a 2014) e a vazão de regularização são dados de entrada na metodologia de cálculo do volume do reservatório. A série sintética da vazão afluente ao reservatório juntamente com a vazão fixa de regularização estão ilustradas na Figura 49.

Como pode ser observado na Figura 49, os círculos em vermelho indicam os meses nos quais a vazão afluente ao reservatório é inferior à vazão de regularização, indicando um déficit na capacidade de suprir a demanda para abastecimento público da cidade de Uberaba.

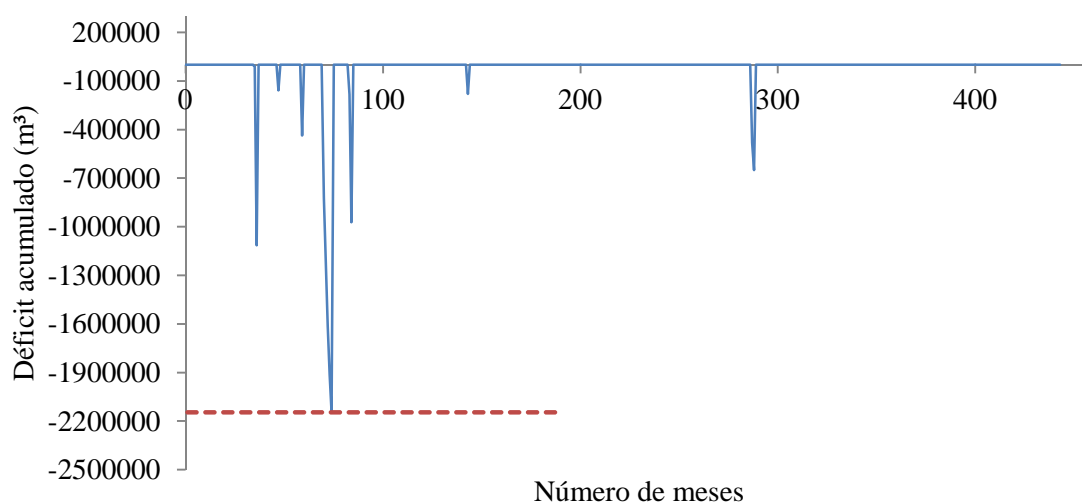
Figura 49 - Série sintética da vazão afluyente ao reservatório juntamente com a vazão fixa de regularização



Fonte: O autor (2014).

Após a aplicação do Método do Máximo Déficit Acumulado, o valor encontrado e que equivale ao volume do reservatório corresponde a 2.146.176,00 m³ ou 2,146 hm³, como pode ser observado na Figura 50. A planilha de cálculo encontra-se no APÊNDICE C.

Figura 50 - Volume de reservação obtido a partir do método Máximo Déficit Acumulado



Fonte: O autor (2014).

4.8.4 Obtenção das curvas Cota x Área e Cota x Volume

A Tabela 9 traz os dados obtidos para traçar as curvas Cota x Área e Cota x Volume. Esses dados foram utilizados na ferramenta AQUATOOL na descrição do elemento reservatório.

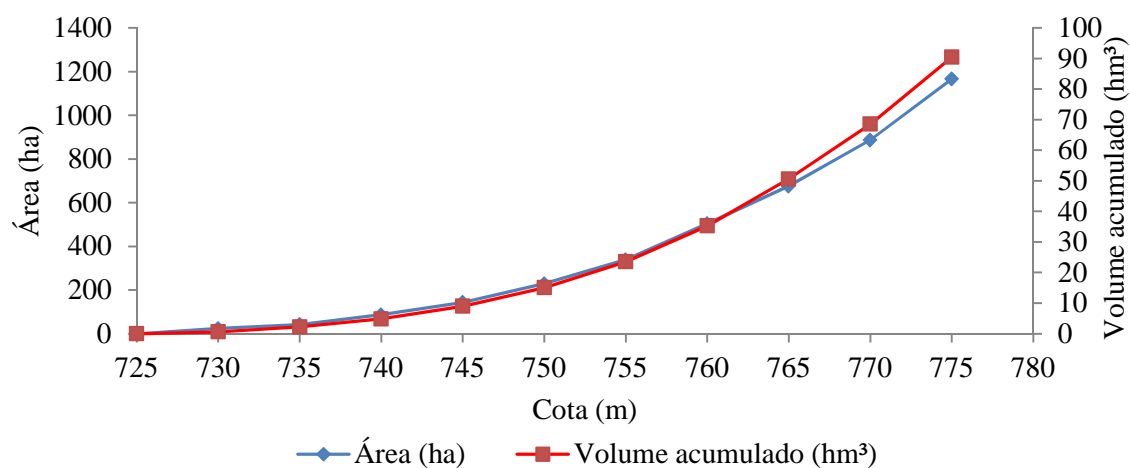
O ponto de locação do reservatório teve como cota inicial 725 m, que corresponde ao valor altimétrico do eixo da barragem. A partir desta cota, foram levantadas outras dez cotas, variando de 5 em 5 m, que possibilitou calcular pares de valores Cota x Área de inundação e Cota x Volume Acumulado, representados na Figura 51 .

Tabela 9 - Dados obtidos para traçar as curvas Cota x Área e Cota x Volume

Cota (m)	Volume (m ³)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Volume acumulado (hm ³)	Volume acumulado (m ³)	Área (ha)
725	0	0	0	0	0	0
730	595523,225	0,23820929	0,595523225	0,595523225	595523,225	23,82093
735	1646369,39	0,420338466	1,64636939	2,241892615	2241892,615	42,03385
740	3215527,7	0,865872614	3,2155277	4,86189709	4861897,09	86,58726
745	5749165,92	1,433793754	5,74916592	8,96469362	8964693,62	143,3794
750	9316491,23	2,292802738	9,31649123	15,06565715	15065657,15	229,2803
755	14207408,06	3,390160485	14,20740806	23,52389929	23523899,29	339,016
760	21071873,04	5,038588729	21,07187304	35,27928109	35279281,09	503,8589
765	29492748,33	6,758510602	29,49274833	50,56462136	50564621,36	675,8511
770	39071428,02	8,870060606	39,07142802	68,56417635	68564176,35	887,0061
775	51337224,84	11,66482933	51,33722484	90,40865286	90408652,86	1166,483

Fonte: O autor (2014).

Figura 51 - Curvas Cota (m) x Área inundada (ha) e Cota (m) x Volume acumulado (hm³)



Fonte: O autor (2014).

4.9 CENÁRIOS APÓS IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO

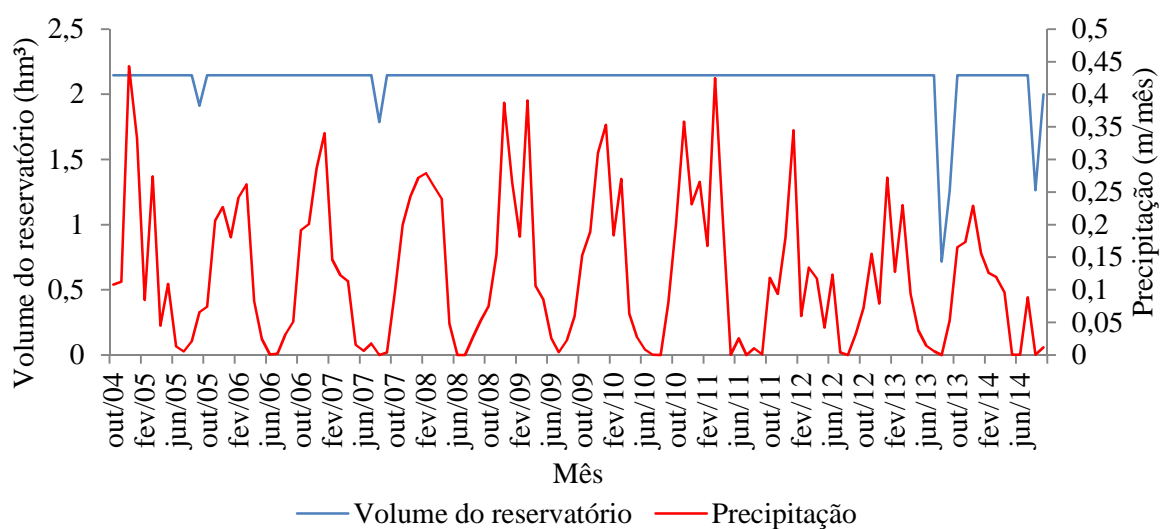
Neste item são apresentados dois cenários após a implantação do reservatório de acumulação no rio Uberaba. Para cada cenário foi avaliado o comportamento hídrico no reservatório (variação de volume reservado), foi verificado o déficit no abastecimento público e foi verificado a conformidade ou não da vazão com as legislações ambientais vigentes no Estado de Minas Gerais em trecho imediatamente a jusante do reservatório de acumulação (trecho compreendido entre os nós 19 e 12 na Figura 27).

No Cenário 1 foram consideradas as outorgas concedidas pelo IGAM até junho de 2014, enquanto que, no Cenário 2, foram adotados os valores máximos permitidos para outorga em cada afluente e em cada trecho do rio Uberaba, mantendo o máximo outorgável de 50% da vazão $Q_{7,10}$.

4.9.1 Cenário 1

A Figura 52 apresenta os resultados do volume final do reservatório de acumulação para o Cenário 1. Para esta análise, o volume e suas variações foi confrontado com os dados de precipitação no período de outubro de 2004 até setembro de 2014.

Figura 52 - Variação do volume do reservatório e dados de precipitação para o Cenário 1



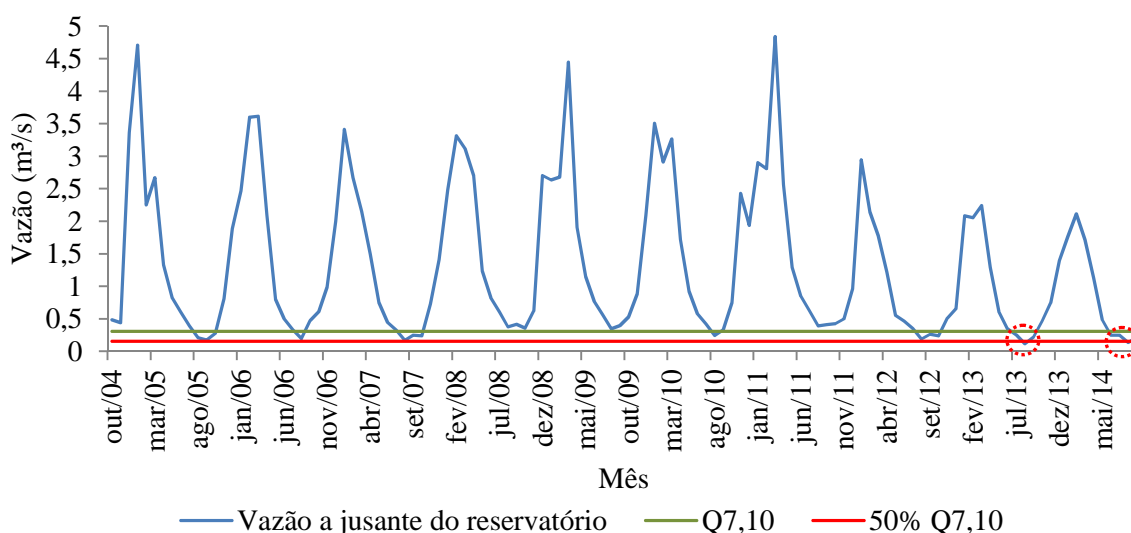
Fonte: O autor (2014).

Como pode ser observado na Figura 52, as variações do volume do reservatório ocorreram nos meses que compreendem o período seco do ano, entre agosto e outubro, fato que corrobora para a necessidade de sua implantação. De acordo com a simulação, o reservatório apresentou variação em seu volume nos anos 2005, 2007, 2013 e 2014. Nessas variações, o reservatório teve o volume mínimo em 2005 igual a 1,912 hm³, em 2007 igual a 1,787 hm³, em 2013 igual a 0,716 hm³ e no ano 2014 igual a 1,264 hm³. Para a configuração simulada no cenário 1, a manutenção de volume reservado em todo o período simulado mostra que não haveria déficit na demanda de abastecimento público.

A variação do volume reservado tem relação direta com a precipitação na APA. Observando os dados de precipitação nos anos 2006, 2008, 2009, 2010, 2011 e 2012, nota-se que os picos de precipitação foram maiores, o que permitiu manter o reservatório cheio. Em contrapartida, observa que nos períodos em que houve variação de volume, o período chuvoso foi maior, porém os picos de precipitação foram menores.

Quanto às vazões no trecho imediatamente a jusante do reservatório, os resultados estão apresentados na Figura 53. Esses resultados foram confrontados com o valor da vazão $Q_{7,10}$ para o trecho T11 (ver Figura 27) obtido no item 4.3, que permitiu avaliar a conformidade das vazões a jusante com o residual que deve ser mantido de acordo com a legislação vigente, que corresponde a 50% da vazão $Q_{7,10}$.

Figura 53 - Vazões a jusante do reservatório para o Cenário 1



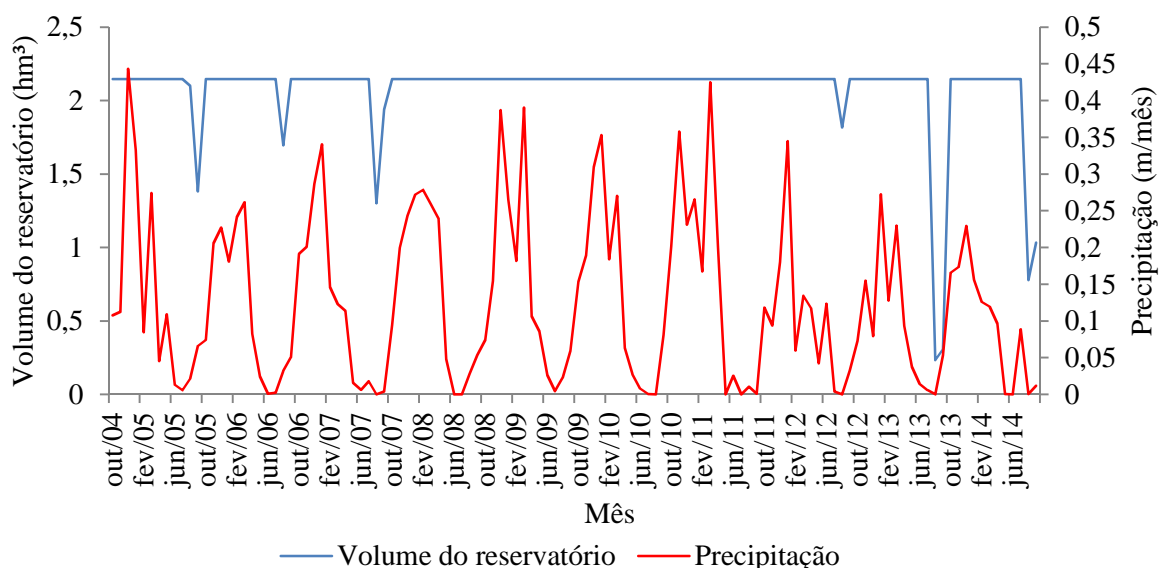
Fonte: O autor (2014).

Para o trecho T11, a vazão $Q_{7,10}$ obtida foi de $0,305 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto que a vazão residual exigida pela legislação é de $0,152 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde a 50% da $Q_{7,10}$. De acordo com a Figura 53, observa-se que as vazões a jusante do reservatório, no período crítico de cada ano, manteve-se acima do residual exigido em quase todo o período, com exceção aos anos de 2013 e 2014, cujas vazões foram de $0,115$ e $0,133 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. As precipitações modestas nesses anos possivelmente influenciaram nas baixas vazões a jusante do reservatório. Para melhor identificação desses referidos períodos críticos em que a vazão ficou abaixo do residual exigido, os mesmos foram destacados com círculos em vermelho na Figura 53.

4.9.2 Cenário 2

A Figura 54 apresenta os resultados do volume final do reservatório de acumulação para o Cenário 2. Para esta análise, o volume e suas variações foi confrontado com os dados de precipitação no período de outubro de 2004 até setembro de 2014. Se comparado ao Cenário 1, nota-se que o reservatório no Cenário 2 teve maior variação do volume reservado.

Figura 54 - Variação do volume do reservatório e dados de precipitação para o Cenário 2



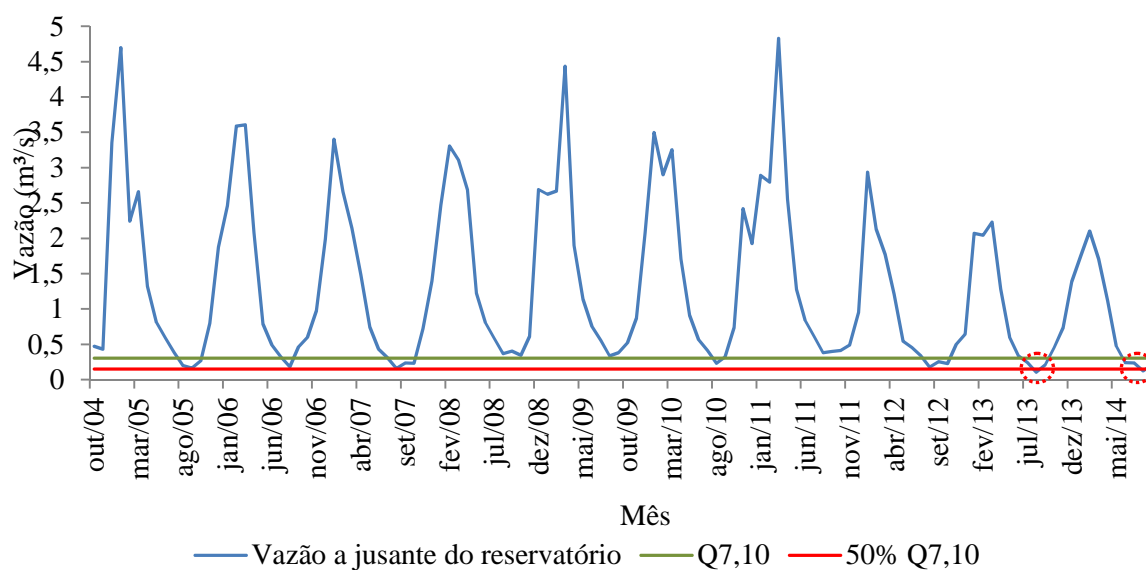
Fonte: O autor (2014).

De acordo com os resultados obtidos na simulação, o reservatório teve variação em seu volume nos anos 2005, 2006, 2007, 2012, 2013 e 2014, cujo volume mínimo no ano de 2005 foi de 1,382 hm³, em 2006 foi de 1,696 hm³, em 2007 foi de 1,301 hm³, em 2012 foi de 1,817 hm³, em 2013 foi de 0,234 hm³ e no ano 2014 foi de 0,778 hm³. Para a configuração simulada no Cenário 2, a manutenção de volume reservado em todo o período simulado mostra que não haveria déficit na demanda de abastecimento público. Porém, no ano de 2013, o volume do reservatório ficou muito reduzido, podendo comprometer a qualidade da água captada para o abastecimento público.

Como observado no Cenário 1, a variação do volume reservado do Cenário 2 também apresenta relação direta com a precipitação na APA. Observando os dados de precipitação nos anos 2008, 2009, 2010 e 2011, o reservatório manteve-se cheio devido aos altos picos de precipitação, e nos períodos em que houve variação de volume, o período chuvoso foi maior, porém os picos de precipitação foram menores.

Quanto às vazões no trecho imediatamente a jusante do reservatório, os resultados estão apresentados na Figura 55. Esses resultados foram confrontados com o valor da vazão $Q_{7,10}$ para o trecho T11 (ver Figura 27) obtido no item 4.3, que permitiu avaliar a conformidade das vazões a jusante com o residual que deve ser mantido de acordo com a legislação vigente, que corresponde a 50% da vazão $Q_{7,10}$.

Figura 55 - Vazões a jusante do reservatório para o Cenário 2



Fonte: O autor (2014).

As vazões a jusante do reservatório no Cenário 2 teve comportamento semelhante às vazões a jusante do reservatório no Cenário 1, visto que o regime pluviométrico utilizado nas simulações foi o mesmo para os dois cenários, apesar de que as vazões pontuais demandadas na APA são distintas. As vazões obtidas nos meses críticos do ano, de acordo com a Figura 55, não se encontram em conformidade com a legislação nos anos 2013 e 2014, cujas vazões foram de 0,105 e 0,124 m³/s, respectivamente, e que foram destacadas com círculos em vermelho na mesma Figura.

4.9.3 Análise dos cenários

De acordo com os Cenários 1 e 2 nota-se que o reservatório supriu a demanda de abastecimento público nos meses críticos do ano, sem apresentar déficit em sua demanda para abastecimento público da cidade de Uberaba, tornando possível o descarte do atual sistema de transposição de água do rio Claro.

A maior influência das diferentes demandas outorgadas nos Cenários 1 e 2 está relacionada a variação de volume do reservatório, enquanto que o reservatório de acumulação garantiu valores da vazão muitos próximos no trecho do rio Uberaba imediatamente a jusante do reservatório.

Acredita-se que o comportamento do Cenário 2 está próximo do comportamento atual após a instalação de reservatório, uma vez que é elevada a quantidade de vazão captada de forma irregular, conforme já relatado anteriormente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Concluiu-se que o estudo da disponibilidade hídrica é fundamental para o planejamento e gestão das bacias hidrográficas, visto que a partir do conhecimento das outorgas já concedidas, tem-se conhecimento da quantidade hídrica disponível para a concessão de futuras outorgas, de acordo com a vazão de referência estabelecida pela legislação de cada Estado. Nesse sentido, com base nas informações fornecidas pela SUPRAM referente às vazões outorgadas na APA, confrontando as mesmas com a vazão $Q_{7,10}$ calculada em base anual e mensal, avaliando novos critérios de outorga, foi possível realizar o estudo sobre a disponibilidade hídrica na área. Tal estudo apontou que a substituição da base de cálculo da $Q_{7,10}$ de anual para mensal, teve aumento significativo na disponibilidade hídrica na maior parte do ano, apresentando maior volume a ser captado nos cursos de água, e consequente redução dos conflitos pelo usos da água. Quantos aos critérios de outorga avaliados (30% da $Q_{7,10}$ anual, 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal e 70% da $Q_{7,10}$ anual), os resultados apontaram que o critério baseado em 50% da $Q_{7,10}$ mensal, apresenta maior potencial na disponibilidade hídrica, visto que a base de cálculo mensal aumenta a disponibilidade hídrica e consequente aumento no volume disponível para outorga.

Neste trabalho a ferramenta EVALHID, juntamente com o algoritmo evolutivo de calibração SCE-UA, apresentaram resultados satisfatórios a partir dos modelos de Témez e HBV.

Os resultados do balanço hídrico realizado na APA (no período de 2004 a 2014) por meio da ferramenta AQUATOOL, não foi condizente com a realidade do local no período crítico do ano, visto que as simulações indicaram vazão suficiente no rio Uberaba para captação destinada ao abastecimento público da cidade. Porém esta discrepância nos resultados foi

justificada pelas captações irregulares na APA, as quais foram apontadas por meio de denúncias e por fiscalização da equipe do CODAU, e divulgadas através dos meios de comunicação. Esse fato ressalta a importância da constante fiscalização por parte dos órgãos gestores.

A implantação do reservatório de acumulação a montante do atual sistema de captação a fio de água reduz os efeitos advindos das ações antrópicas, visando manter a qualidade da água destinada ao abastecimento público da cidade de Uberaba-MG.

Após identificada a melhor posição para instalação do reservatório de acumulação, a ferramenta AQUATOOL permitiu simular o comportamento hídrico por meio de dois cenários. Nestes cenários, para o período de 2004 a 2014, constatou-se a eficácia na implantação de reservatório, uma vez que supriu o déficit no abastecimento público nos meses críticos. Porém, os dois cenários apontaram que nos anos de 2013 e 2014 a vazão a jusante do reservatório não manteve o residual de 50% da $Q_{7,10}$, como exigido na legislação, o que indica que mesmo com a implantação do reservatório, a concessão de outorgas a montante do mesmo deve ser criteriosamente analisada.

De uma forma geral, a ferramenta AQUATOOL atendeu as necessidades deste trabalho quanto ao balanço hídrico em escala mensal na APA, onde sua topologia permitiu reproduzir a configuração exata da hidrografia na APA, além do que permite introduzir novos elementos na hidrografia para a otimização do aproveitamento hídrico. Outro aspecto favorável à ferramenta é o fácil manuseio, sendo que a mesma possui manuais técnico e de usuário de fácil entendimento. Contudo, a utilização da ferramenta AQUATOOL no planejamento e gestão dos recursos hídricos na APA auxiliará os órgãos gestores municipais e estaduais na tomada de decisões quanto aos aspectos quantitativos de água nesta região.

REFERÊNCIAS

ABEBE, N. A.; OGDEN, F. L.; PRADHAN, N. R. Sensitivity and uncertainty analysis of the conceptual HBV rainfall–runoff model: Implications for parameter estimation. *Journal of Hydrology*, v. 389, n. 3-4, August, p. 301-310, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Brasília, DF, 2014. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 5 jun. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil; Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil*. Brasília, DF, 2007. (Caderno de Recursos Hídricos, 4).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Plano estratégico de recursos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia*. Brasília, DF, 2009. (Relatório Síntese).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. Brasília, DF, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Subsídios para a discussão da compatibilização da geração de energia hidrelétrica com expansão da agricultura irrigada na bacia do rio São Marcos*. Brasília, DF, 2014.

AMORIM JÚNIOR, J. C. *Disponibilidade hídrica para outorga de captação: critérios anual e mensal para definição de vazões mínimas de referência*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2014.

ANDREU, J.; CAPILLA, J.; SANCHÍS, E. AQUATOOL: a generalized decision support-system for water-resources planning and operational management. *Journal of hidrology*, v. 177, n. 3-4, p. 269-291, 1996.

BAEZA, B. S. *Revisión, análisis y actualización del modelo de Témez en el ámbito de las comarcas de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante)*. 2011. Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2011.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Ed UFRGS/ABRH, 2013.

BOF, L. H. N. *Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos*. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. *A integração das águas: revelando o verdadeiro aquífero Guarani*. Curitiba: Ed. da Autora, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei nº 13.183, de 21 de janeiro de 1999.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2011*. Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Projeto São Francisco*. 2014. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/image/image_gallery?uuid=5c9898c1-c8d1-4372-856f-d6daae78ed59&groupId=47109&t=1386791863943>. Acesso em: 31 jul. 2014.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. *Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva*. Brasília, DF, 2006.

BRITO, D. MP apura denúncia de captação irregular no rio Uberaba. *JM Online (Jornal da manhã)*. Uberaba, 29 ago. 2014. Disponível em: <<http://www.jmonline.com.br/novo/?noticias,1,GERAL,98820>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

CÂMARA, G., DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 21 ago. 2014.

CARVALHO, T. M de. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, PE, v. 01, n. 01, p. 73-85, 2008.

CEZAR FILHO, A. *Instalação e calibração da seção fluviométrica experimental Ponte Prainha-Montante, rio de Ondas, Bahia*. 2013. Monografia (Graduação) - Universidade Federal da Bahia, Barreiras, 2013.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacia através de interpolação e em Sistemas de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51. 2002.

CHEN, J.; WU Y. Advancing representation of hydrologic processes in the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) through integration of the TOPographic MODEL (TOPMODEL) features. *Journal of Hydrology*, vol. 420-421, p. 319-328, february, 2012.

CHEREM, C. E. Polícia Militar destrói barragens irregulares em Minas Gerais. *Uol notícias cotidiano*. 28 out. 2014. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2014/10/28/policia-militar-destroi-barragens-irregulares-em-minas-gerais.htm#fotoNav=27>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SABESP. 2014. Disponível em: <www.sabesp.com.br>. Acesso em: 3 jun 2014.

COSTA, E. S.; SCHMIDT, M. A. R.; OLIVEIRA, N. F. de. Identificação da expansão urbana na cidade de Uberlândia-MG, utilizando imagens do satélite da série Landsat. In: XII SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Natal, RN, 2014.

CRUZ, L. B. S. *Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG*. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2003.

DAKHLAOUI, H.; BARGAOUI, Z.; BÁRDOSSY, A. Toward a more efficient Calibration Schema for HBV rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*, v. 444-445, June, p. 161-179, 2012.

ELVIRA, N. L.; PAREDES-ARQUIOLA J.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A. *Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos*. Manual de Usuario v1.03. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2011.

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

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no Estado de Minas Gerais. Estudo de caso. *Irrigação & Tecnologia Moderna*, nº 71/72, 3º e 4º Trimestres 2006.

FALKENMARK, M.; LUNDQVIST, J.; WIDSTRAND, C. Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches: aspects of vulnerability in semi-arid development. *Natural Resources Forum*. v. 13, p. 258-267, 1989.

FAN, C.; KO, C. H.; WANG, W. S. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on river Water quality simulation. *Journal of Environmental Management*, vol. 90, n. 5, p. 1824-1832, april, 2009.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n.3, p.270–276, 2011.

FERREIRA, A. M. *Capacidade de autodepuração nos cursos médio e baixo do rio Uberaba, UPGRH-GD8*. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2014.

FISCALIZAÇÃO investiga captações irregulares de água no rio Uberaba. *Jornal de Uberaba*, Uberaba, 11 set. 2014. Disponível em: <<http://www.jornaldeuberaba.com.br/cadernos/justica/16405/fiscalizacao-investiga-captacoes-irregulares-de-agua-no-rio-uberaba>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

- FREITAS, A. J. Gestão de recursos hídricos. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. *Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000.
- GARCÍA, L. D. P.; SÁNCHEZ, T. S. Q.; HERNÁNDEZ, J. B. Obtención de Escurrimientos con Efecto del Cambio Climático en la cuenca del rio Grande de Morelia. *XXII Congreso Nacional de Hidráulica*, Acapulco, Guerrero, México, 2012.
- GETIRANA, A. C. V.; AZEVEDO, J. P. S. de.; MAGALHÃES, P. C. de. Conflitos pelo Uso da Água no Setor Agrícola no Norte Fluminense (I): Propostas de Soluções e Análises Através de Programação Linear. *Revista Brasileira de Recurso Hídricos*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 27-38 – abr/jun, 2007.
- GIMÉNEZ, P. O. *Modelización Distribuida del Impacto del Cambio Climática en Componentes del Ciclo Hidrológico a Escala Mensual*. 2012. Máster Universitario en Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2012.
- GUEDES, M. J. F.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. Alternativas de gerenciamento da demanda de água na escala de uma cidade. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 51-62 - jul/set, 2014.
- HIDROWEB: Sistema de Informações Hidrológicas. 2014. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 28 jul. 2014.
- HUNDECHA, Y.; BÁRDOSSY, A. Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, v. 292, n. 1-4, p. 281-295, 2004.
- IBGE. Base digitalizada topográfica. Folha: SE-23-Y-C-IV. Brasília, DF, 1972. Escala 1:100.000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 12 jun. 2014.
- IBGE. *Cidades*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 5 maio 2014.
- IGAM investiga irregularidades na captação de água do Rio Uberaba. G1 do Triângulo Mineiro, Uberaba, 10 set. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/noticia/2014/09/igam-investiga-irregularidades-na-captacao-de-agua-do-rio-uberaba.html>>. Acesso em: 28 nov. 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). *BDMEP - Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa*. [2014]. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 24 jul. 2014.
- INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE. *Helping the world adapt to water scarcity*. 2007.
- JIA, Q. Y.; SUN, F. H. Modeling and forecasting process using the HBV model in Liao river delta. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p. 122-128, 2012.

LANNA, A. E. L. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Ed UFRGS/ABRH, 2013.

MAIDMENT, D. R.; TARBOTON, D. G. *The Témez odel, Application with GIS*. Semester Report. The University of Texas, Austin, 2013.

MAS, A. G. C. *Evaluación del recurso hídrico en la cuenca del río Turia (España) mediante la aplicación de modelos semiagregados de Precipitación-Escorrentía*. 2013. Proyecto Final de Carrera. Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 147 p., 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. *Introdução ao Processamento de Imagem de Sensoriamento Remoto*. 2012.

MINAS GERAIS. *Portaria IGAM nº 010, de 30 de dezembro de 1998*.

MINAS GERAIS. *Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548, de 29 de março 2012*.

MORAES, E. C. de. *Fundamentos de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: DSR/INPE, 2002. Cap. 1. Disponível em: <http://www.selperbrasil.org.br/cursos/spring/SenRemoto_intro.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

MOREIRA, M. C. *Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água*. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

MOREIRA, G. F. *Classificação automatizada do uso e cobertura do solo utilizando imagens Landsat no município de Araponga, MG*. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação*. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da.; LARA, M. dos. S.; PRUSKI, F. F. Índices de conflito pelo uso da água da bacia do Ribeirão entre Ribeiros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 221-228 - jan/mar, 2014.

MURILLO, J. M.; NAVARRO, J. A. Aplicación del modelo de Témez a la determinación de la aportación superficial y subterránea del sistema hidrológico Cornisa-Vega de Granada para su implementación en un modelo de uso conjunto. *Boletín Geológico y Minero*, v. 122, n. 3, p. 363-387, 2011.

OLIVEIRA, J. R. S. de. *Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros*. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

OLIVEIRA, J. R. de; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de Águas Superficiais na Bacia do Ribeirão entre Ribeiros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 4, 157-172, 2013.

OTT MEDIOAMBIENTE IBERIA. *Operating instructions: móbile river discharge measurement system OTT Qliner2*. [201-].

PAREDES-ARQUIOLA J.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; ELVIRA, N. L. *Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos*. Manual Técnico v 1.0. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2011.

PAREDES-ARQUIOLA, J.; ÁLVAREZ, J. A.; SOLERA, A. A decision support system for water quality issues in the Manzanares River (Madrid, Spain). *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 12, p. 2576–2589, 2010a.

PAREDES-ARQUIOLA, J.; ÁLVAREZ, J. A.; MONERRIS, M. M.; SOLERA, A. Water quantity and quality models applied to the Jucar River Basin, Spain. *Water Resources Management*, v. 24, n. 11, p. 2759-2779, 2010b.

PIZARRO, R. T.; SOTO, M. B.; FARIAS, C. D.; JORDAN, C. D. Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica, para la estimación de caudales medios mensuales, en dos cuencas de Chile central. *Bosque*, v. 26, n. 2, p. 123-129, 2005.

Processamento digital. *Landsat-8: Novas Combinações de Bandas e Informações Técnicas*. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2013/06/02/landsat-8-novas-combinacoes-de-bandas/>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

REIS, P. A.; SCHMIDT, M. A. R. Diagnóstico da expansão urbana de Patrocínio, MG, por classificação supervisionada. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA e I ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA URBANA, 4., 2013, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, UFRJ, 2013.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 151-168, 2003.

RODRIGUES, T. R. I.; ROCHA, A. M.; PEREZ FILHO, A. Mapeamento de uso e ocupação das terras na Bacia do Baixo Curso do Rio São José do Dourados-SP por sistemas de informações geográficas e imagem de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, INPE, 2007.

ROSA, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SALLA, M. R.; PAREDES-ARQUIOLA J.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; OLIVEIRA, A. L. de. Integrated modeling of water quantity and quality in the Araguari River basin, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, Valparaíso, v. 42, n. 1, p. 224-244, 2014a.

- SALLA, M. R.; PAREDES-ARQUIOLA J.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; OLIVEIRA, A. L. de. Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 189-204. 2014b.
- SALLA, M. R.; CHUERUBIM, M. L. Planejamento e gestão ambiental em escala de bacia hidrográfica: principais dificuldades no manuseio de ferramentas computacionais. *Educação Ambiental em Ação*, v. 13, n. 49, p. 01-12, 2014c.
- SALLA, M. R. Herramienta AQUATOOL en Brasil. Posibles cuestiones del usuario principiante. In: Solera, A.; Paredes-Arquiola, J.; Álvarez, J. A.; Monzonís, M. P. (Org.). *Aplicaciones de Sistemas Soporte a la Decisión en Planificación y Gestión Integradas de Cuencas Hidrográficas*. 1 ed. Barcelona: Marcombo, v. 1, p. 10-20. 2014d.
- SALLA, M. R.; PAREDES-ARQUIOLA J.; ELVIRA, N. L.; ALAMY FILHO, J. E.; COSTA, E. S. Aplicação da ferramenta EvalHid para calibração de parâmetros e simulação de vazões no alto curso do rio Araguari, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n.1. p. 189-204. 2015.
- SANTOS, M. L. F. dos; SOUSA, L. H. G. de; SILVA NETO, C. F. da. Análise do uso e ocupação do solo da Área de Proteção Ambiental Tambaba - litoral sul da Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba, INPE, 2011.
- SCHMIDT, M. A. R.; SALLA, M. R.; CHUERUBIM, M. L.; COSTA, E. S. Planejamento e gestão de recursos hídricos: dificuldades conceituais e de compilação de dados. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria, v. 13, n.5. p. 3837-3846. 2014.
- SECHI, G.M.; SULIS, A. Water system management through a mixed optimization-simulation approach. *Journal of Water Resources Planning and Managment*, vol. 135, n. 3, p. 160–170, 2009.
- SEIBERT, J. *HBV light version 2*, User's Manual, Uppsala University, Institute of Earth Sciences, Department of Hydrology, Uppsala, Sweden, 2005.
- SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. In: MACHADO, C. J. S. (Org.). *Gestão de águas doces*. Rio de Janeiro: Ed Interciência, 2004.
- SILVA, D. D. da; MARQUES, F. de A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 17, n. 5, p. 392-403. 2009.
- SILVA, R. T.; PORTO, M. F. A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 17, n. 47, p. 129-145. 2003.

SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R. de; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 374-380, 2006.

SILVA, B. M. B. da. *Influência da sazonalidade da disponibilidade hídrica nos critérios de outorga de uso da água e avaliação de índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba*. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

SILVA, L. S.; FRANÇA, C. A. S. S. de M. SIG como ferramenta de mapeamento das formas de uso e ocupação do solo na APA Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, INPE, 2013.

SILVA JÚNIOR, C. A. da. *Análise regional de funções hidrológicas aplicáveis à avaliação de vazões mínimas nas bacias hidrográficas dos rios Itapemirim e Itabapoana (ES)*. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2014.

SOLERA, A.; PAREDES-ARQUIOLA, J.; ANDREU, J. *AQUATOOLDMA*: Entorno de desarrollo de sistemas de ayuda a la decisión en materia de planificación de la gestión de cuencas hidrográficas incluyendo utilización conjunta y criterios de calidad de aguas. Manual de usuario. Valência: UPV, 2007.

SOUSA, H. T. de. *Sistema computacional para regionalização de vazões*. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOUSA, H. T. de; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECON, P. R.; SOUZA, J. R. C. *SisCAH 1.0*: Sistema computacional para análises hidrológicas. Brasília, DF, Agência Nacional de Águas. 2009.

SULIS, A.; SECHI, G. M. Comparison of generic simulation models for water resource systems. *Environmental Modelling & Software*, v. 40, p. 214-225, 2013.

TOSTES, J. O. *Conflitos na gestão das águas da bacia do Piranga: a democracia do “parlamento das águas” afogada por relações assimétricas de poder*. Monografia (Graduação). Departamento de Artes e Humanidades Curso Geografia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. *Gestão da água no Brasil*. Brasília, DF: UNESCO, 2001.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Cenários da gestão da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.5, n.3, p. 31-43, 2000.

UBERABA. Prefeitura Municipal. Secretaria de Meio Ambiente. *Diagnóstico ambiental da APA – Rio Uberaba*. Uberaba, 2004.

UBERABA. Prefeitura Municipal. Secretaria de Meio Ambiente. *Plano de manejo APA – Rio Uberaba*. Uberaba, [2003].

UBERABA. Prefeitura Municipal. Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Turismo. *Uberaba em dados*. Uberaba, 2008.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Managing Water under Uncertainty and Risk: UN word water development report 4 (WWDR4)*. Paris: UNESCO Publishing, 2012.

USGS science for a changing world. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 nov. 2014.

VON SPERLING, M. *Estudos e modelagem da qualidade da água em rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZACION. *WMO statement on the status of the global climate in 2013*. 2014.

XU, X.; HUANG, G.; ZHAN H.; QU, Z.; HUANG Q. Integration of SWAP and MODFLOW-2000 for modeling groundwater dynamics in shallow water table areas. *Journal of Hydrology*, vol. 412-413, p. 170-181, january, 2012.

ANEXO A

Reportagens divulgadas sobre as captações irregulares na APA.

Notícia 1

Polícia Militar destrói barragens irregulares em Minas Gerais

Carlos Eduardo Cherem

Do UOL, em Belo Horizonte 28/10/2014, 12h24



Fonte: Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba/Divulgação.

A crise no abastecimento de água em Uberaba (477 km de Belo Horizonte), município de 320 mil habitantes no Triângulo Mineiro, que enfrenta um longo período de estiagem, deflagrou uma operação da prefeitura e da Polícia Militar de Meio Ambiente de Minas Gerais para destruir barragens ilegais construídas em áreas privadas do município.

De acordo com a Secretaria de Meio Ambiente de Uberaba, foram identificadas 29 represas irregulares no município. Duas delas, no ribeirão São Pedro e no rio Claro foram destruídas na semana passada.

Membros da Promotoria Pública de Defesa do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Grande e Paranaíba e técnicos da CODAU (empresa de saneamento e água do município) também participam das operações.

Na demolição das duas barragens na semana passada, a PM utilizou uma retro escavadeira. A PM Ambiental ainda multou em R\$ 2.911,60 cada um deles dos proprietários dos terrenos.

No ribeirão São Pedro, utilizado no sistema de abastecimento do município, o volume desviado irregularmente chegava a 90% do curso d'água.

"O fazendeiro fez uma intervenção no curso da água e estava represando mais de 90% do ribeirão São Pedro para sua propriedade. A legislação não permite isso", afirmou o secretário de Meio Ambiente de Uberaba Ricardo Lima.

Segundo ele, embora o proprietário tenha outorga para retirar água do ribeirão, a lei prevê uma quantidade específica, distante da quantidade que estava sendo retirada.

"Estamos tomando providências enérgicas e vamos dar continuidade a esse trabalho até que todos atuem corretamente no que tange à sustentabilidade", disse Lima.

O comandante da PM Ambiental no município, tenente Rivaldo Luciano Oliveira, disse que as captações irregulares aumentam em períodos de estiagem. "Muitas vezes, a pessoa desvia o curso d'água e prejudica todos os demais", afirmou.

"A tolerância é zero contra as captações clandestinas e contra os infratores", disse Oliveira.

50 denúncias

Foram feitas até agora 50 denúncias de captação irregular de água em Uberaba. "Aconselhamos que todos os proprietários de terras se conscientizem sobre a importância do uso devido da água e se regularize. Estamos tomando providências e vamos dar continuidade a esse trabalho até que todos atuem corretamente no que tange à responsabilidade", afirmou o secretário do Meio Ambiente de Uberaba.

Uberaba enfrenta um longo período de seca. O município decretou estado de emergência no início do mês passado e a população tem sido orientada a não desperdiçar água. Quem é flagrado desperdiçando água paga multa de até R\$ 180, de acordo com o decreto municipal 44.844, de outubro de 2014.

Notícia 2

MP apura denúncia de captação irregular no rio Uberaba

Daniela Brito - 29/08/2014

Ministério Público apura denúncia de captação irregular de água na área de Preservação Ambiental (APA) do Rio Uberaba. A informação é do promotor de Justiça Carlos Valera, titular da Coordenadoria Regional das Promotorias de Justiça de Defesa do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Grande e Baixo Rio Grande.

A irregularidade veio à tona por meio do engenheiro Luiz Guaritá Neto, presidente do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU), após mapeamento realizado por helicóptero. O trabalho identificou 29 pontos suspeitos de captação de água irregular.

A partir do recebimento da denúncia, o promotor encaminhou a documentação à diretora geral do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Marília Carvalho de Melo. Ela será responsável pela conferência das informações detalhadas no levantamento. A intenção do promotor é verificar nos locais apontados pela autarquia, se existe a outorga ou não e, ao mesmo tempo, o volume outorgado. A partir desta primeira análise, Carlos Valera adianta que pretende fazer diligência in loco em todos os 29 pontos destacados pelo CODAU.

Caso as irregularidades sejam confirmadas, o promotor diz que o responsável pode ser penalizado por infrações administrativas, civil e até criminal, pois se trata de crime contra o meio ambiente. Porém, ele revela que cada caso deverá ser analisado individualmente. “Não podemos generalizar. Temos que aguardar a vistoria do técnico para verificar se houve dano ou não e a extensão deste dano”, explica Valera.

Notícia 3**Fiscalização investiga captações irregulares de água no rio Uberaba**

11/09/2014

Equipe de fiscalização da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) está em Uberaba para vistoriar as captações de água realizadas por usuários particulares dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba. A ação é decorrente de denúncia proposta pelo CODAU ao Ministério Público Estadual após constatação de que a vazão do rio Uberaba, na Estação de Captação, está oscilando constantemente.

Luiz de Freitas Júnior, que coordena a equipe da Diretoria de Fiscalização de Recursos Hídricos, Atmosféricos e do Solo (DFHAS), explica que a ação é em nível administrativo, para verificar se todas as propriedades rurais, apontadas por vistoria aérea feita pelo CODAU, têm a documentação correta para retirar água do rio Uberaba ou de seus afluentes ou mesmo manter atividades de mineração. Caso não estejam legalizadas, será emitida uma autuação e as infrações podem gerar multas que ultrapassam R\$ 100 mil.

A equipe fica em Uberaba até este final de semana e, logo após as vistorias, será formatado um relatório para o Ministério Público Estadual, através da Coordenadoria Regional das Promotorias de Justiça do Meio Ambiente das Bacias dos Rios Paranaíba e Baixo Rio Grande. O promotor Carlos Alberto Valera está à frente desta investigação. O presidente do CODAU espera que a fiscalização aponte os problemas de vazão que estão sendo detectados no rio. Hoje, o sistema de transposição da bacia do rio Claro está com todas as três bombas ligadas, transpondo 560 l/s, e, mesmo assim, a vazão do rio Uberaba continua diminuindo. “Não estamos acusando ninguém de captar essa água ilegalmente, mas nossa prioridade agora é o abastecimento humano e, por isso, pedimos uma fiscalização para descobrir o que está acontecendo”, esclareceu Guaritá.

O CODAU apresentou um relatório técnico de vistoria aérea para o MP contendo 29 pontos de irrigação, com pivôs centrais, extração de areia, barramentos, desmatamentos e até desvios de cursos d’água, todos devidamente identificados por GPS.

Luiz Guaritá explicou que a direção da autarquia, até o momento, não trabalha com a possibilidade de racionamento, mas que atitudes mais drásticas podem ser tomadas caso o rio não sustente a demanda de abastecimento da cidade.

Uma delas seria o município decretar Estado de Emergência de Desabastecimento, que permitirá fiscalização com o objetivo de constatar o desperdício de água distribuída, entre outras providências. “O momento é crítico em todo o país. Inclusive, em Uberlândia, que já comunicou oficialmente o racionamento e multas pesadas para quem desperdiçar água. Em Uberaba, ainda não há necessidade de racionamento, mas todas as nossas fontes de captação estão no limite máximo. Não temos mais onde buscar nenhum tipo de recurso e, basicamente, a prioridade é o consumo humano”, revelou o presidente do CODAU.

Notícia 4

IGAM investiga irregularidades na captação de água do Rio Uberaba

Uso irregular dos recursos naturais pode estar prejudicando vazão do rio.
De 10 propriedades visitadas, apenas duas estão com licença regularizada

10/09/2014

Técnicos do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) investigam irregularidades em propriedades particulares e públicas, que fazem captação de água do Rio Uberaba. As equipes cumprem determinação do Ministério Público. Segundo a denúncia, o uso irregular dos recursos naturais pode estar prejudicando a vazão do rio.

Os fiscais percorreram fazendas particulares e áreas públicas, como a que pertence ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), onde a água captada do Rio Uberaba é usada para irrigação, através de pivô. Os técnicos também foram até a margem de um córrego, onde fica a captação. Eles verificaram o sistema de bombeamento e fotografaram o local.

De dez propriedades já visitadas na região, apenas duas estão com a licença regularizada. Segundo o promotor de Meio Ambiente, Carlos Valera, o IFTM é uma das propriedades com outorga para uso da água. De acordo com o representante do Ministério Público, o IGAM tem três semanas para concluir os laudos.

“Para aqueles que perpetrarem danos ambientais há três tipos de responsabilidade: a administrativa, ou seja, eles serão multados pelo dano e por utilização do recurso hídrico sem a devida outorga; serão obrigados a repararem estes danos provocados e, dependendo da hipótese, podem responder por processos criminais”, explicou.

A denúncia foi feita em agosto, depois que técnicos do Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba (CODAU) notaram que o volume do rio estava variando. A suspeita, segundo o presidente do CODAU, é de que algumas propriedades estejam captando um volume maior de água do que seriam autorizadas. “Temos que garantir, de qualquer forma, que a população de Uberaba não fique sem água em detrimento de qualquer tipo de outra atividade econômica. Talvez teremos que decretar calamidade pública e priorizar, acima de tudo, a água para a cidade”, afirmou Luiz Guaritá Neto.

Enquanto a suspeita é investigada, a vazão do rio Uberaba continua diminuindo. Na barragem, o volume está tão baixo, que tem trechos com mais pedras do que água. Devido à forte seca no rio Uberaba, a transposição de água do Rio Claro foi acionada no nível máximo. São captados 560 l/s, o equivalente à metade da água necessária para abastecer a cidade.

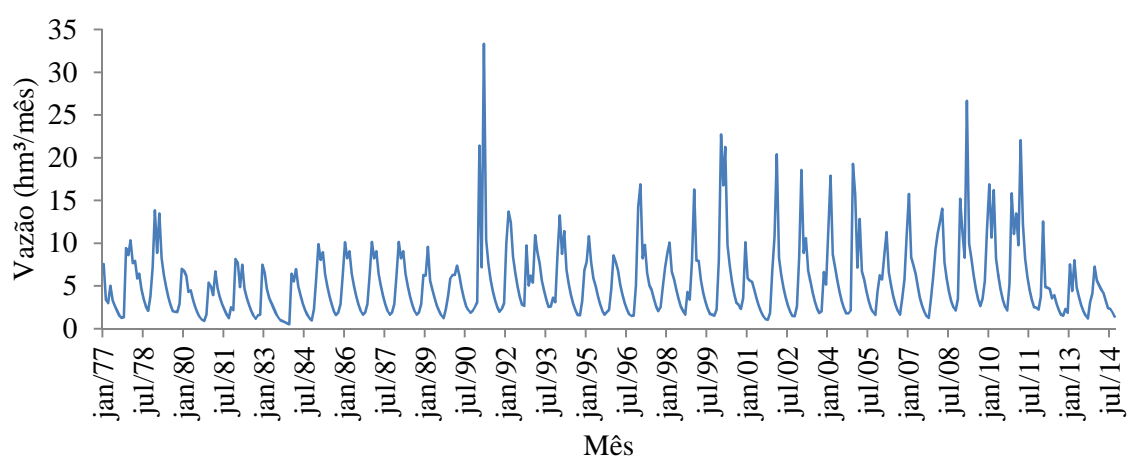
“O momento é crítico em todo o país. Inclusive, em Uberlândia, há muitas pesadas para quem desperdiçar água. Ainda não há necessidade de racionamento, mas se a seca continuar, teremos que tomar atitudes mais drásticas, as quais à população serão informadas. Todas as nossa fontes de captação estão no limite máximo. Não temos mais onde buscar nenhum tipo de recurso para tirar essas atividades de água que não são basicamente prioridade do consumo humano”, revelou o presidente do CODAU.

O promotor diz que em caso de grave racionamento, a população tem prioridade. “No caso de conflito de uso do recurso hídrico, dois usos devem ser atendidos de forma prioritária: o consumo humano e a dessedentação de animais. Todos os demais usos podem ser impedidos”, completou.

APÊNDICE A

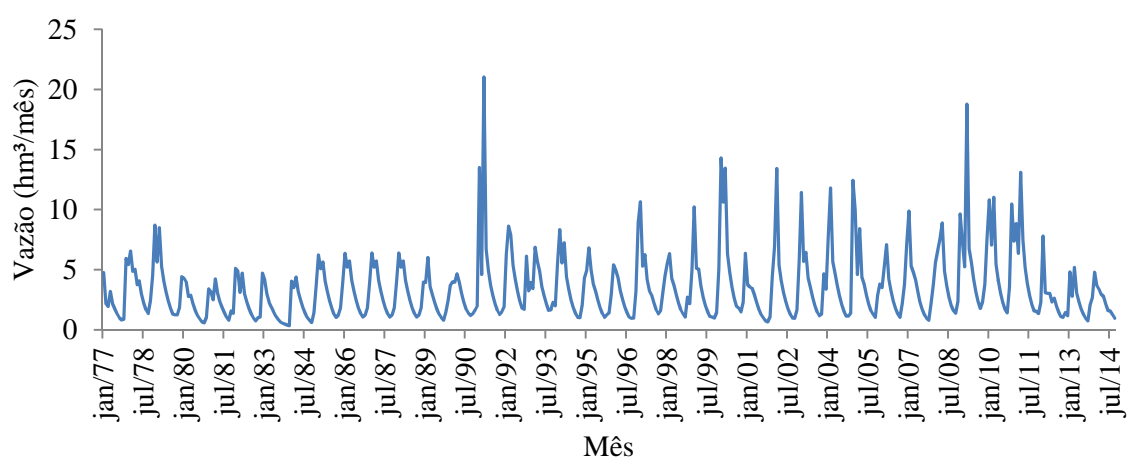
Série sintética de vazões para cada sub-bacia do alto curso do rio Uberaba.

Figura 56 – Série sintética de vazões do Ribeirão Saudade



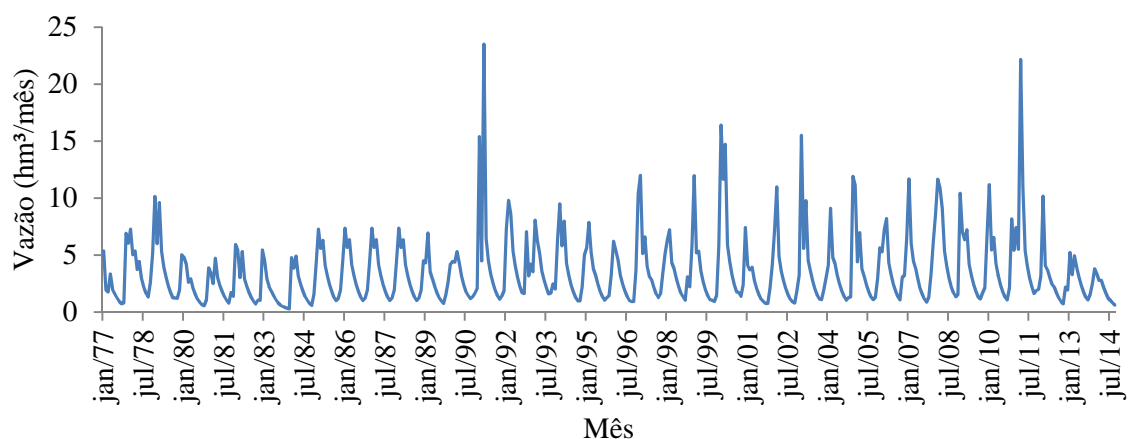
Fonte: O autor (2014).

Figura 57 – Série sintética de vazões do Ribeirão dos Pintos



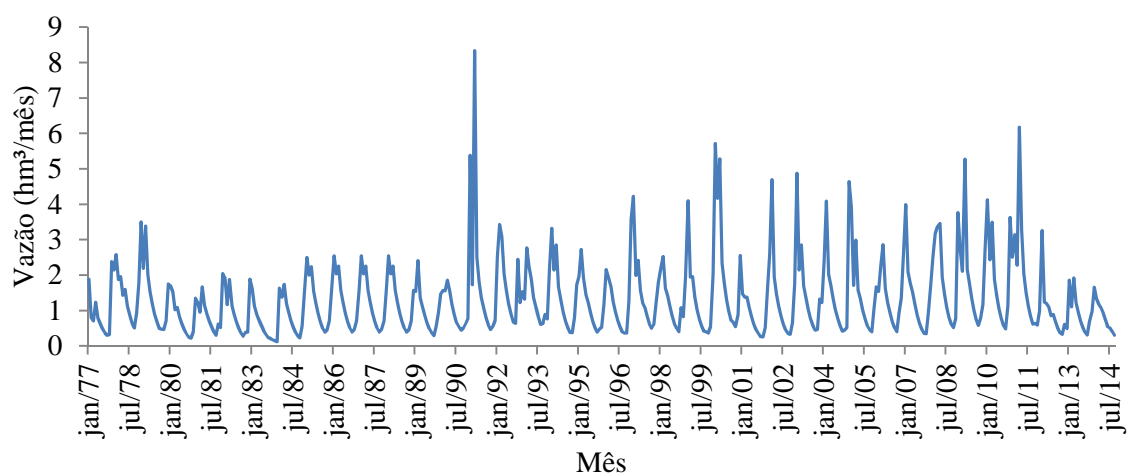
Fonte: O autor (2014).

Figura 58 – Série sintética de vazões do Córrego Lageado



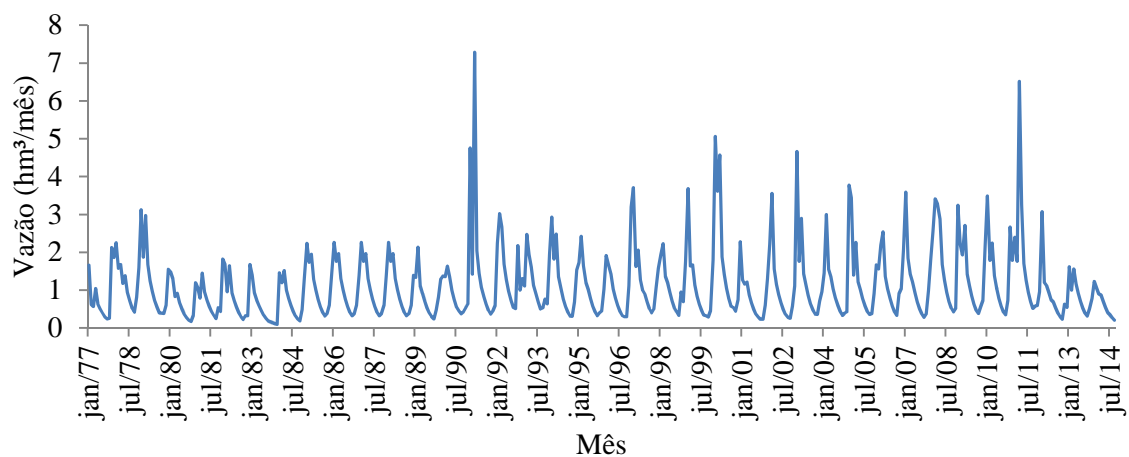
Fonte: O autor (2014).

Figura 59 – Série sintética de vazões do Córrego Buracão



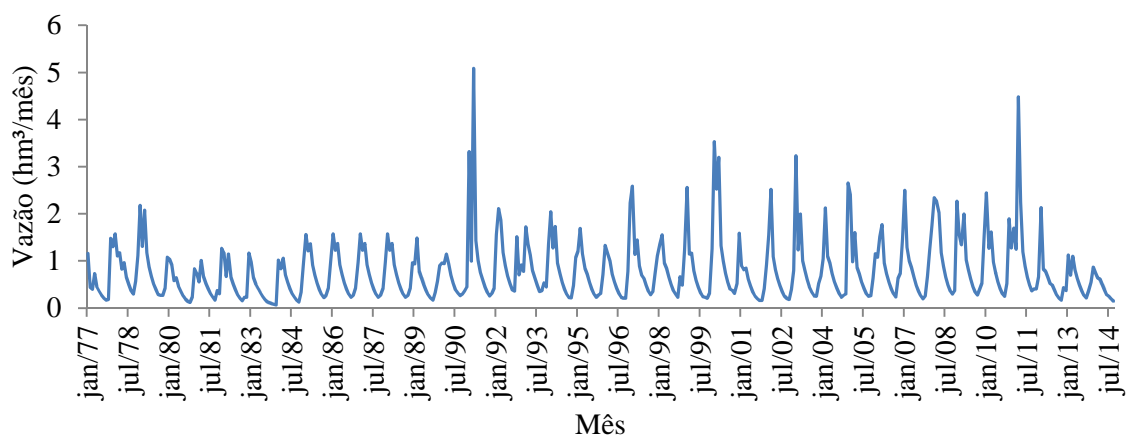
Fonte: O autor (2014).

Figura 60 – Série sintética de vazões do Córrego Lanhoso



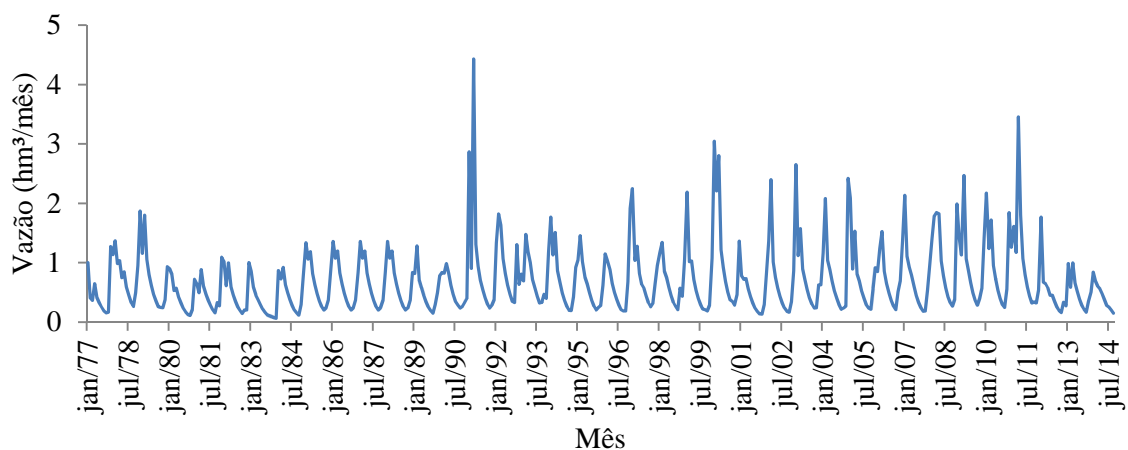
Fonte: O autor (2014).

Figura 61 – Série sintética de vazões do Córrego Alegria



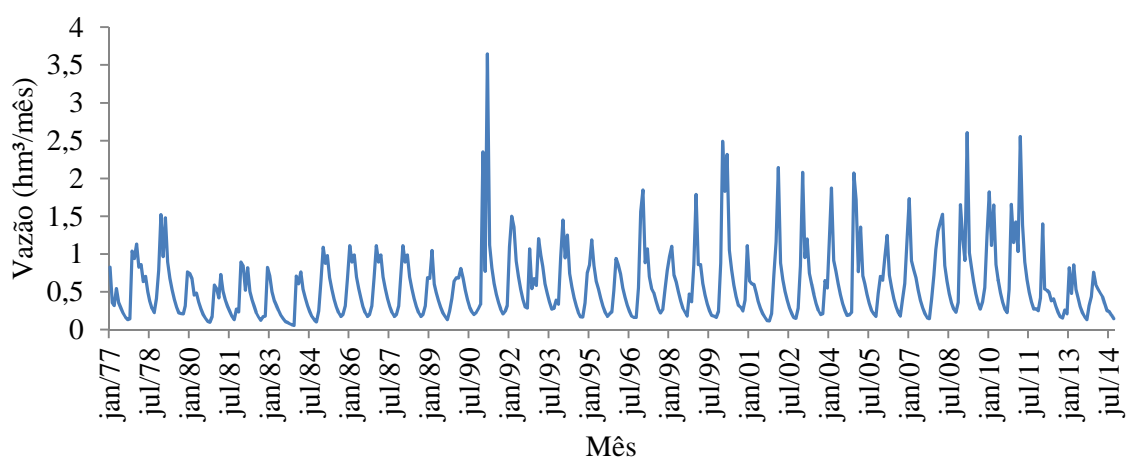
Fonte: O autor (2014).

Figura 62 – Série sintética de vazões do Córrego Vida



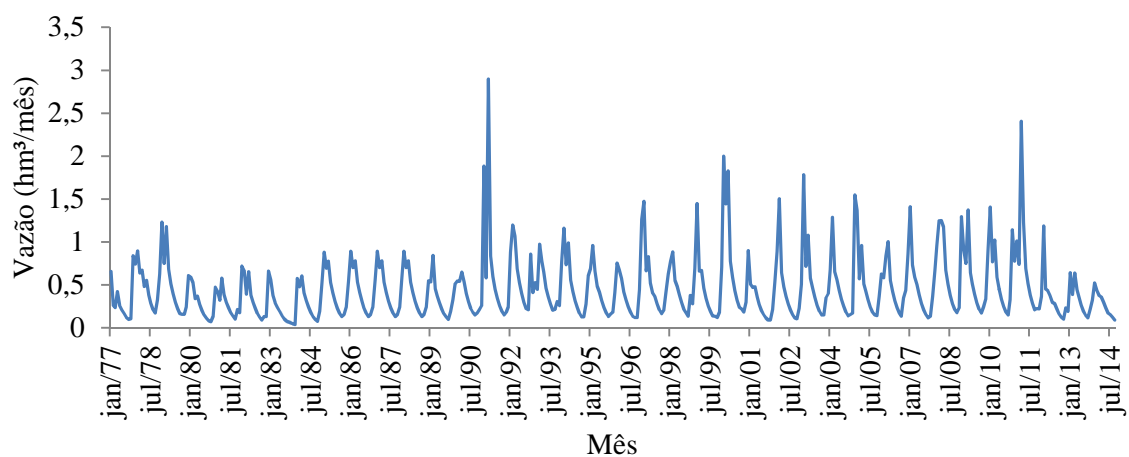
Fonte: O autor (2014).

Figura 63 – Série sintética de vazões do Córrego Barreiro



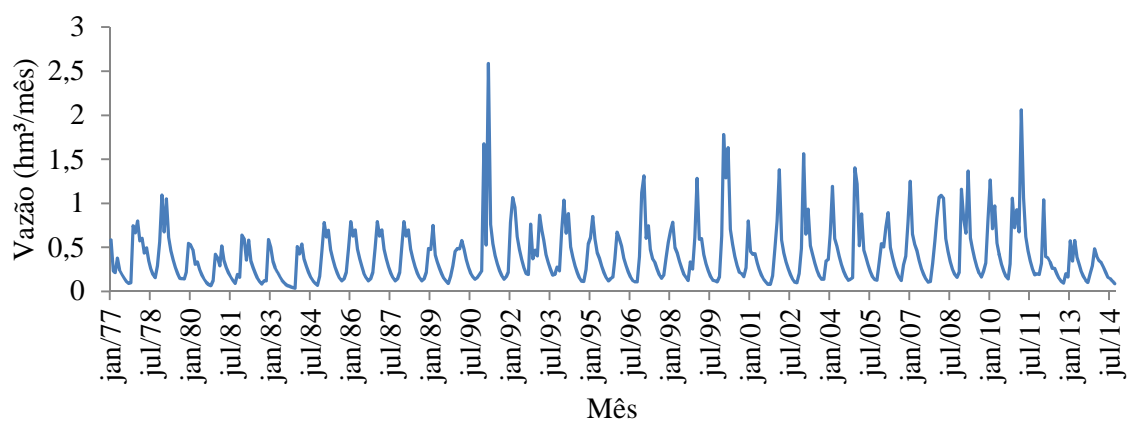
Fonte: O autor (2014).

Figura 64 – Série sintética de vazões do Córrego Limo



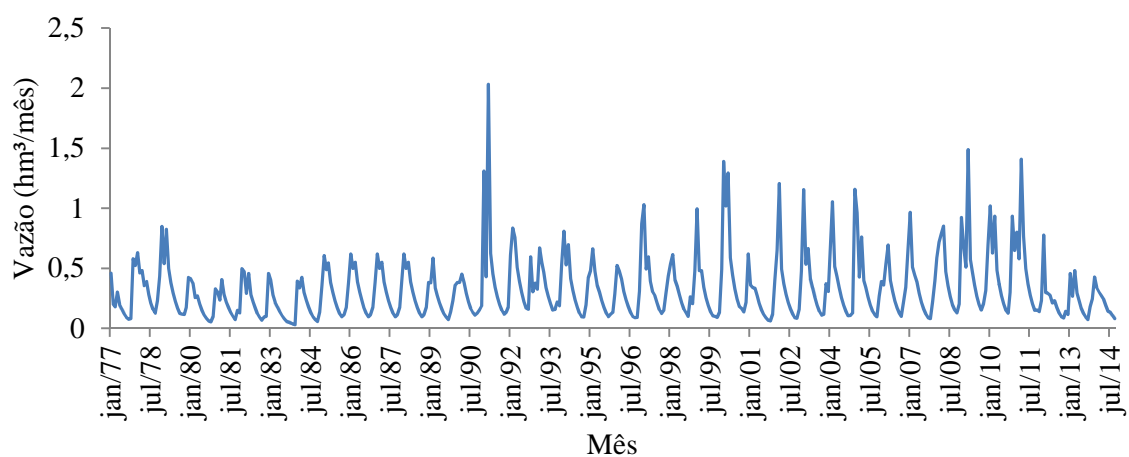
Fonte: O autor (2014).

Figura 65 – Série sintética de vazões do Córrego Mutum



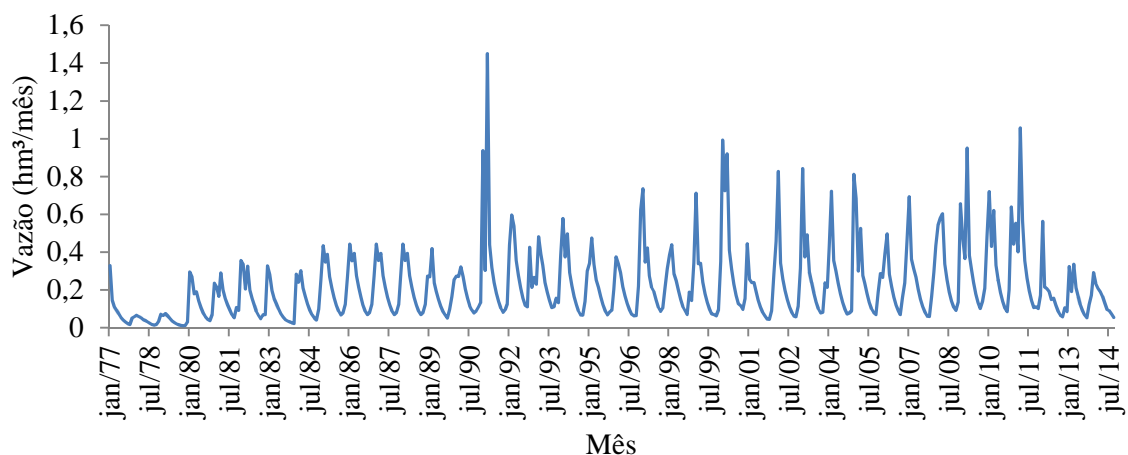
Fonte: O autor (2014).

Figura 66 – Série sintética de vazões do Córrego Sapecado



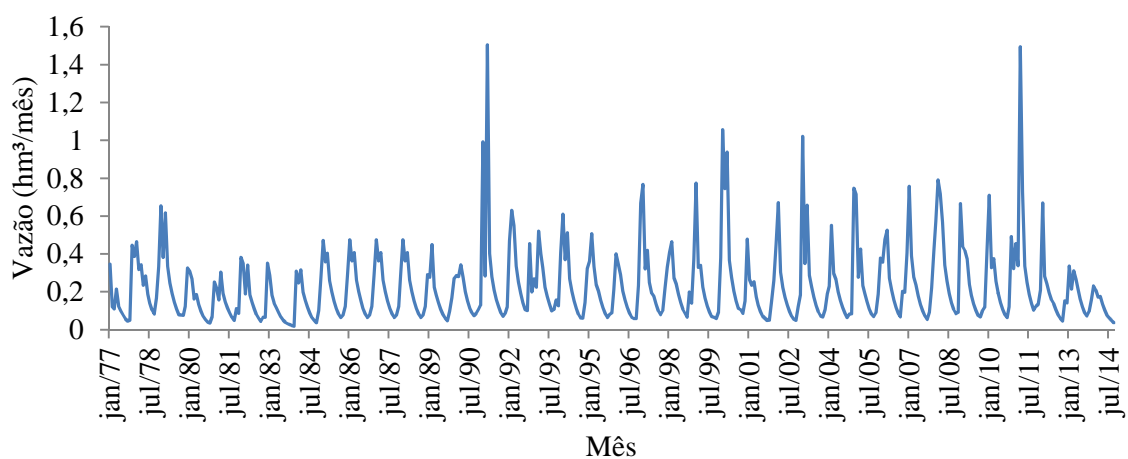
Fonte: O autor (2014).

Figura 67 – Série sintética de vazões do Córrego Inhame



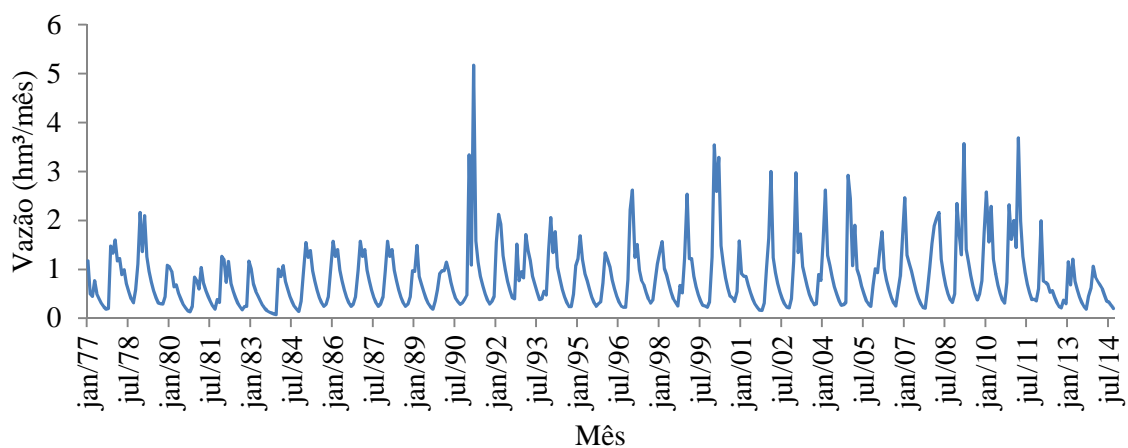
Fonte: O autor (2014).

Figura 68 – Série sintética de vazões do Córrego Água Santa



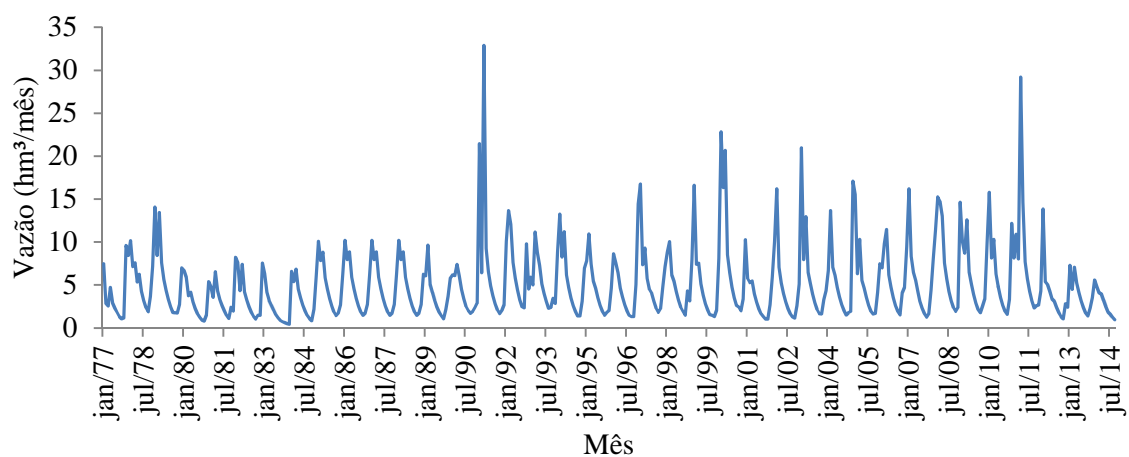
Fonte: O autor (2014).

Figura 69 – Série sintética de vazões da sub-bacia “Bacia Difusa 1”



Fonte: O autor (2014).

Figura 70 – Série sintética de vazões da área difusa do alto curso do rio Uberaba

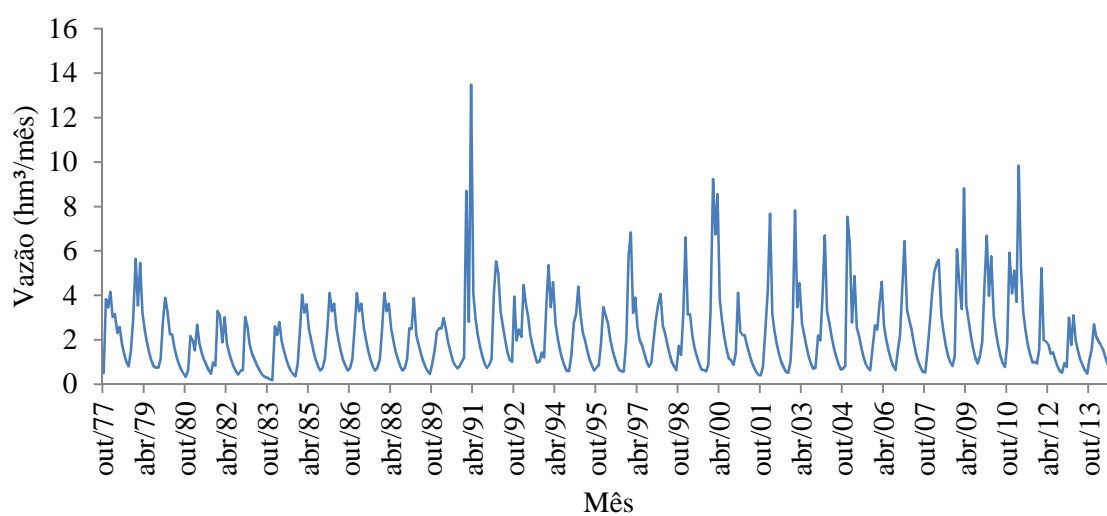


Fonte: O autor (2014).

APÊNDICE B

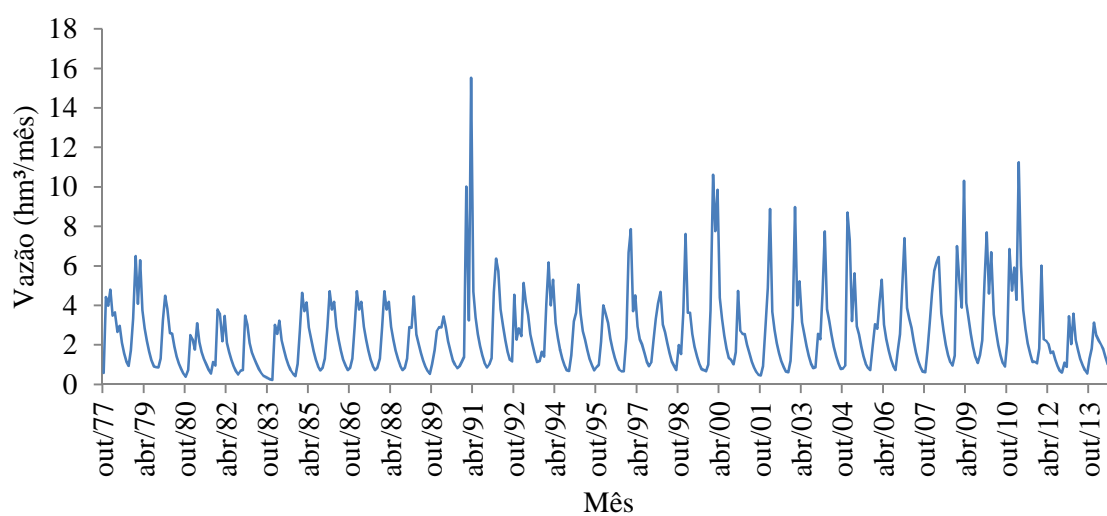
Série sintética de vazões ao longo dos trechos do alto curso do rio Uberaba

Figura 71 – Série sintética de vazões do trecho T1



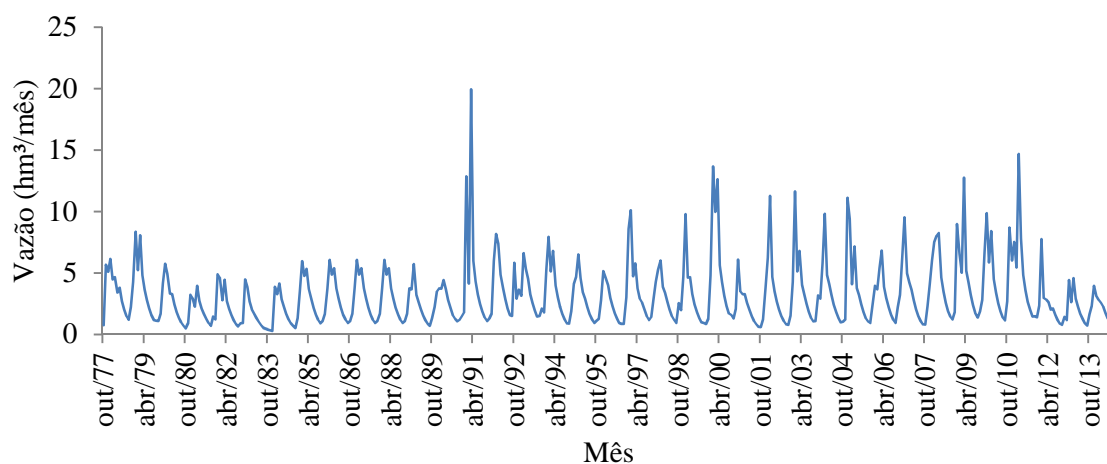
Fonte: O autor (2014).

Figura 72 – Série sintética de vazões do trecho T2



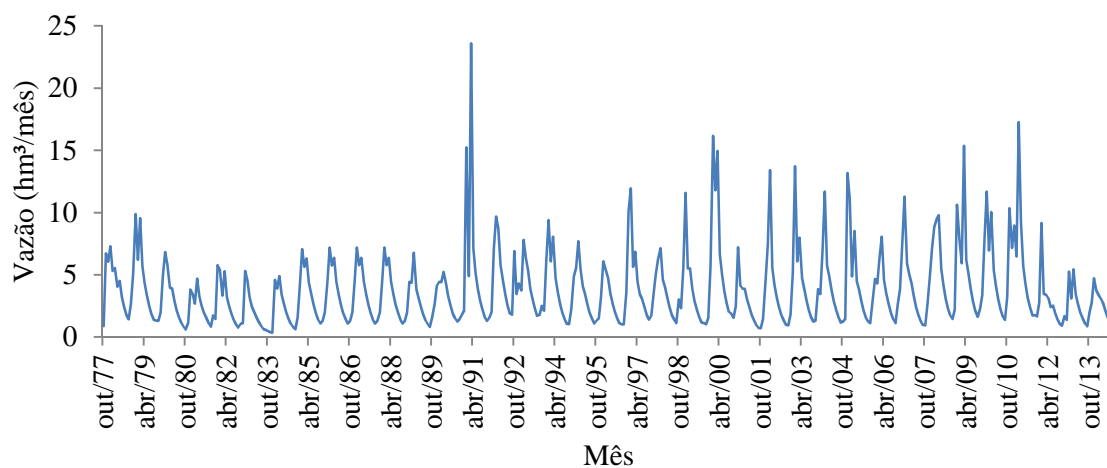
Fonte: O autor (2014).

Figura 73 – Série sintética de vazões do trecho T3



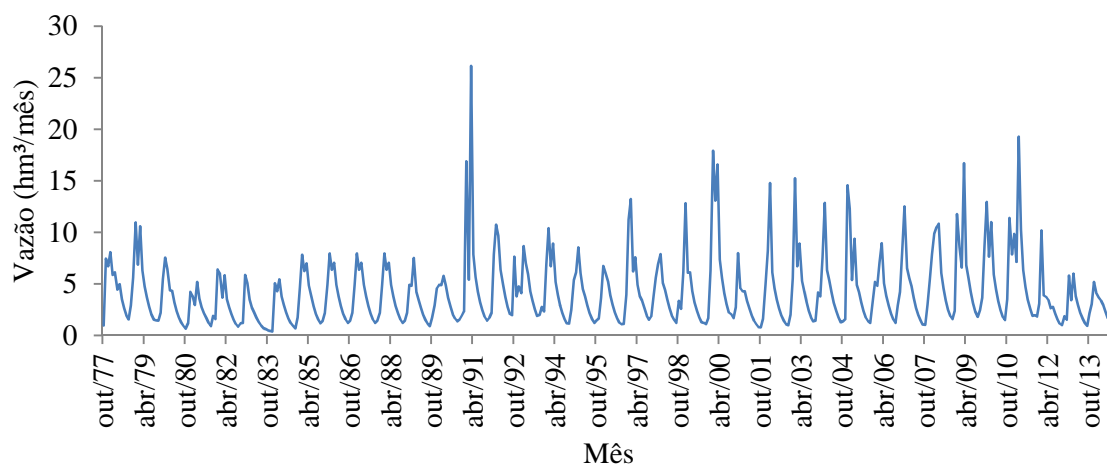
Fonte: O autor (2014).

Figura 74 – Série sintética de vazões do trecho T4



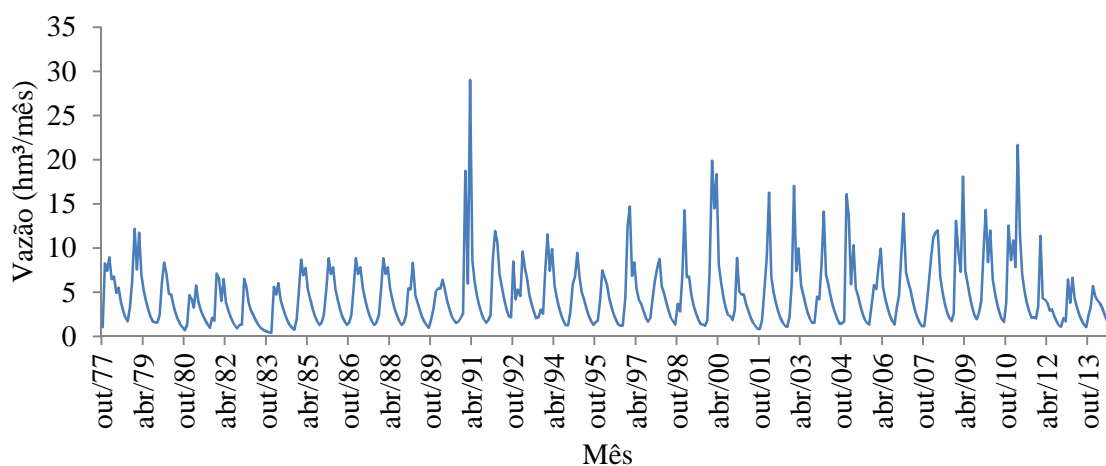
Fonte: O autor (2014).

Figura 75 – Série sintética de vazões do trecho T5



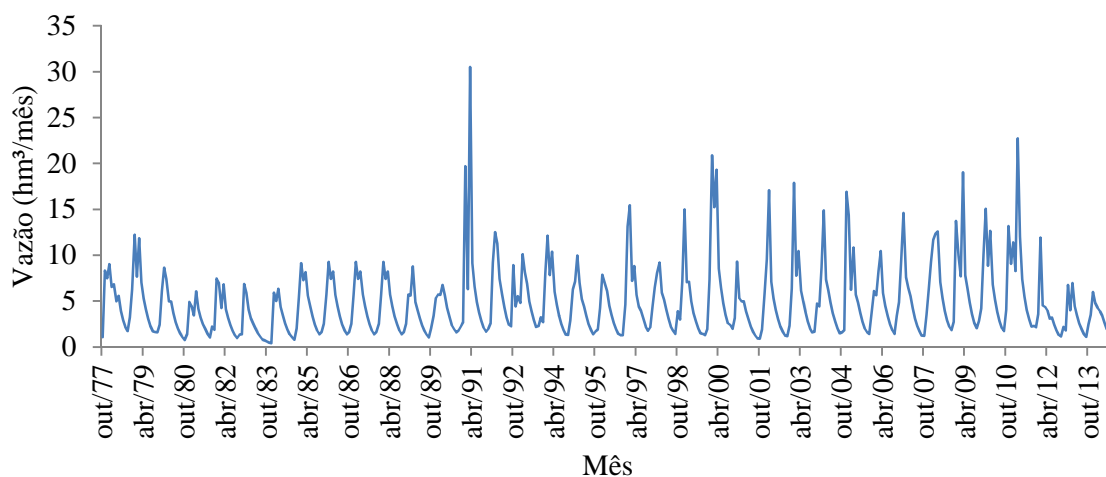
Fonte: O autor (2014).

Figura 76 – Série sintética de vazões do trecho T6



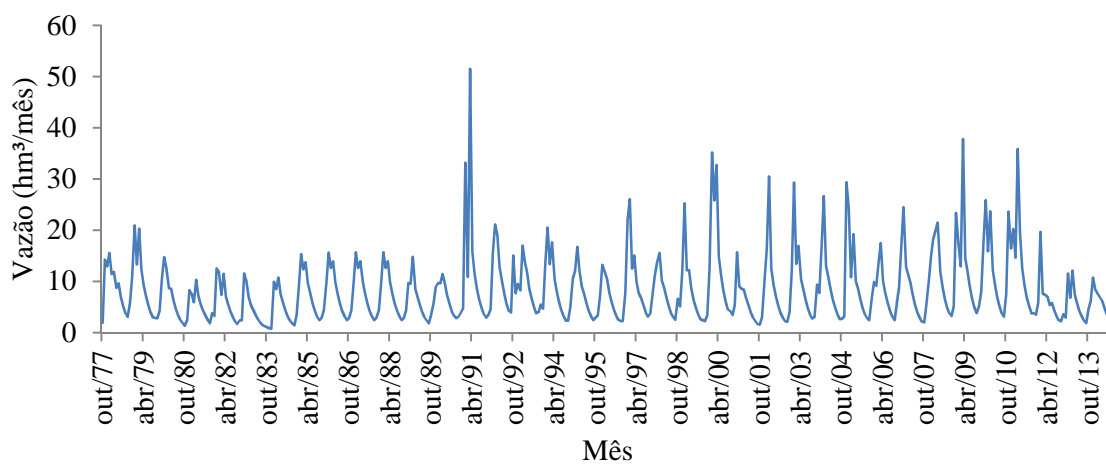
Fonte: O autor (2014).

Figura 77 – Série sintética de vazões do trecho T7



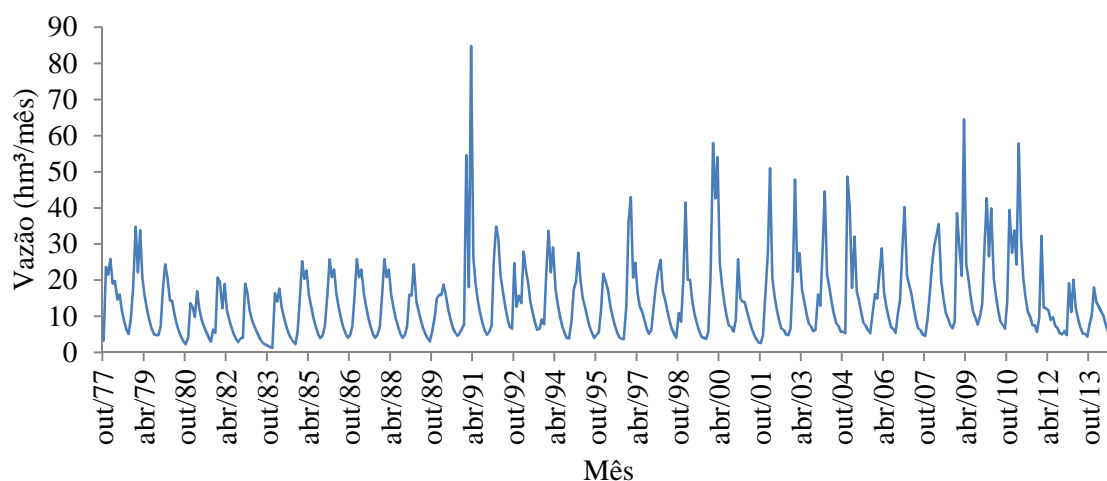
Fonte: O autor (2014).

Figura 78 – Série sintética de vazões do trecho T8



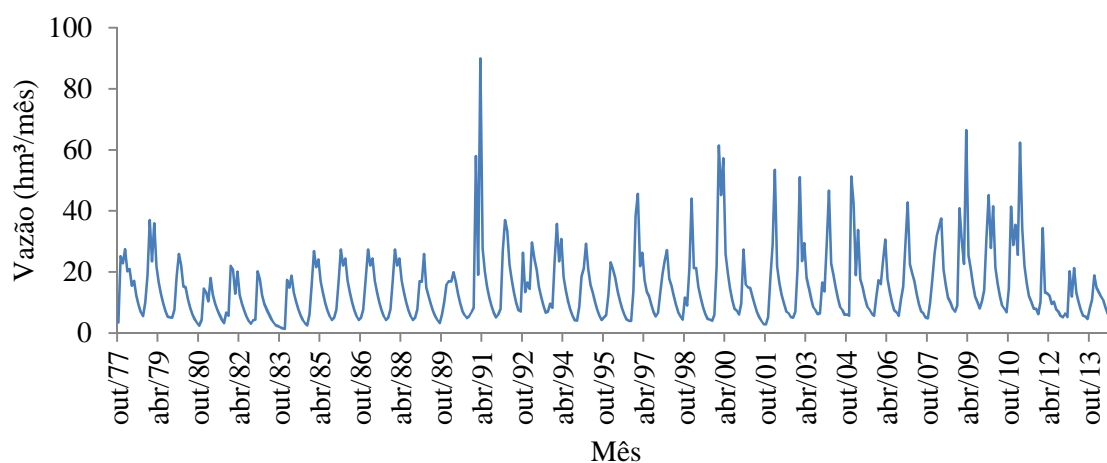
Fonte: O autor (2014).

Figura 79 – Série sintética de vazões do trecho T9



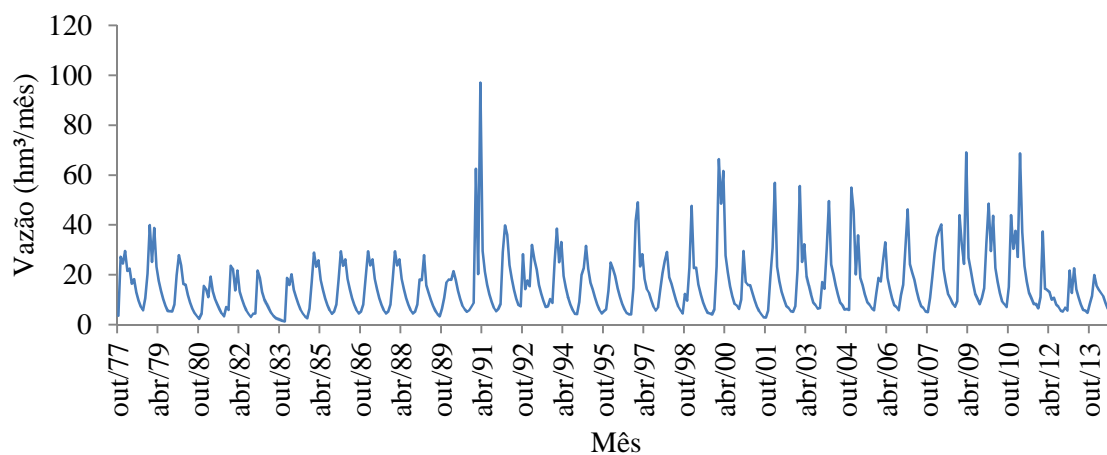
Fonte: O autor (2014).

Figura 80 – Série sintética de vazões do trecho T10



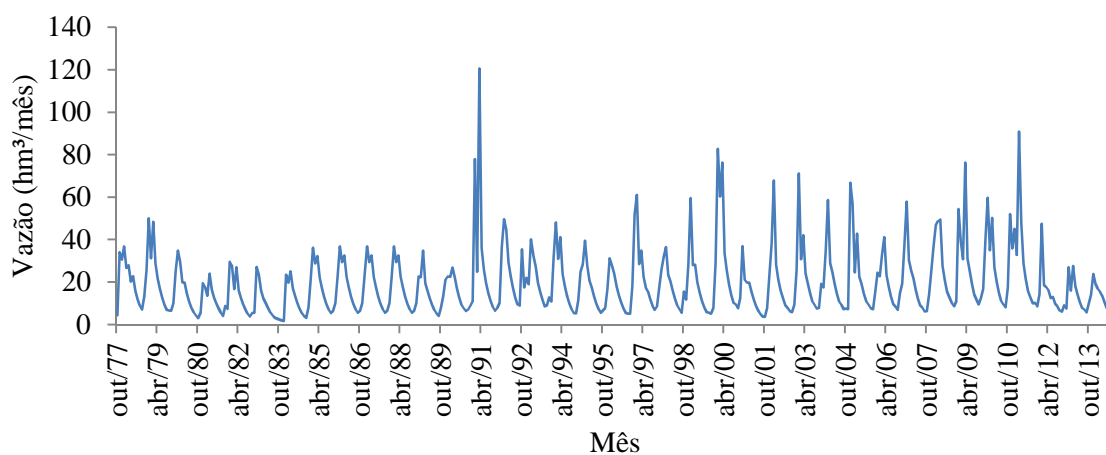
Fonte: O autor (2014).

Figura 81 – Série sintética de vazões do trecho T11



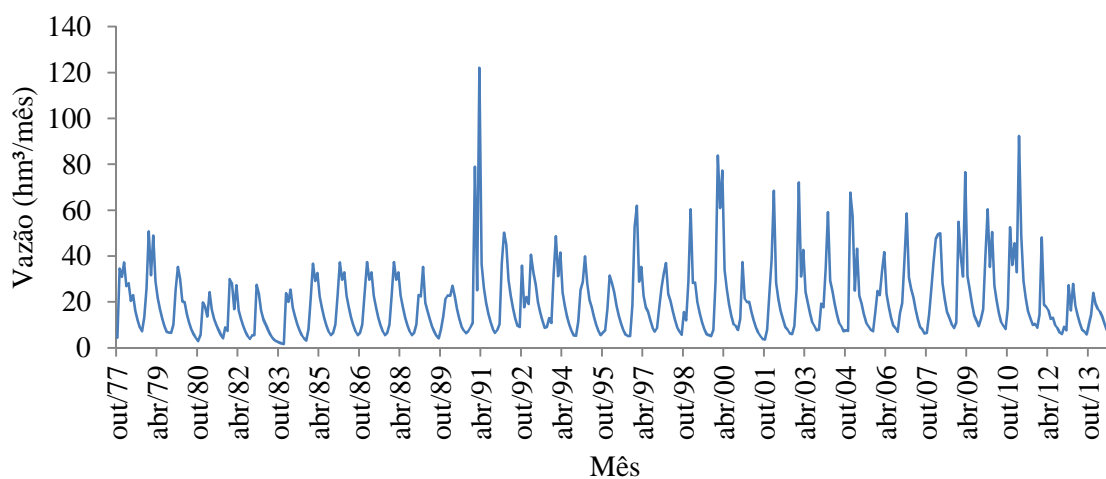
Fonte: O autor (2014).

Figura 82 – Série sintética de vazões do trecho T12



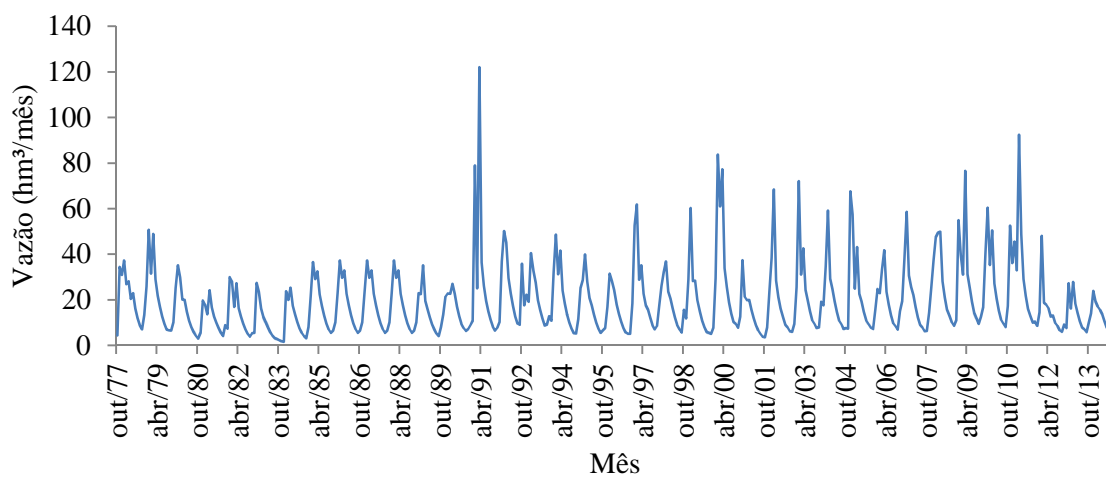
Fonte: O autor (2014).

Figura 83 – Série sintética de vazões do trecho T13



Fonte: O autor (2014).

Figura 84 – Série sintética de vazões do trecho T14



Fonte: O autor (2014).

APÊNDICE C

Planilha elaborada em Excel para estimar o volume do reservatório através do Método do Máximo Déficit Acumulado.

Método do Máximo Déficit Acumulado								
Índice	Ano	Mês	Q (m³/s)	Qr (m³/s)	Vi (m³/s x mês)	Vr (m³/s x mês)	(Vi - Vr)	Σ(Vi-Vr)
1	1977	Out	1,363	1,334	3532896,0	3457728,0	75168,0	0
2	1977	Nov	10,469	1,334	27135648,0	3457728,0	23677920,0	0
3	1977	Dez	9,457	1,334	24512544,0	3457728,0	21054816,0	0
4	1978	Jan	11,391	1,334	29525472,0	3457728,0	26067744,0	0
5	1978	Fev	8,321	1,334	21568032,0	3457728,0	18110304,0	0
6	1978	Mar	8,663	1,334	22454496,0	3457728,0	18996768,0	0
7	1978	Abr	6,341	1,334	16435872,0	3457728,0	12978144,0	0
8	1978	Mai	7,036	1,334	18237830,4	3457728,0	14780102,4	0
9	1978	Jun	4,999	1,334	12957408,0	3457728,0	9499680,0	0
10	1978	Jul	3,729	1,334	9665568,0	3457728,0	6207840,0	0
11	1978	Ago	2,755	1,334	7140960,0	3457728,0	3683232,0	0
12	1978	Set	2,205	1,334	5715360,0	3457728,0	2257632,0	0
13	1978	Out	4,094	1,334	10611648,0	3457728,0	7153920,0	0
14	1978	Nov	7,867	1,334	20391264,0	3457728,0	16933536,0	0
15	1978	Dez	15,398	1,334	39911616,0	3457728,0	36453888,0	0
16	1979	Jan	9,712	1,334	25173504,0	3457728,0	21715776,0	0
17	1979	Fev	14,931	1,334	38701152,0	3457728,0	35243424,0	0
18	1979	Mar	8,970	1,334	23250240,0	3457728,0	19792512,0	0
19	1979	Abr	6,777	1,334	17565984,0	3457728,0	14108256,0	0
20	1979	Mai	5,242	1,334	13587264,0	3457728,0	10129536,0	0
21	1979	Jun	3,961	1,334	10266912,0	3457728,0	6809184,0	0
22	1979	Jul	2,914	1,334	7553088,0	3457728,0	4095360,0	0
23	1979	Ago	2,139	1,334	5544288,0	3457728,0	2086560,0	0
24	1979	Set	2,048	1,334	5308416,0	3457728,0	1850688,0	0
25	1979	Out	2,017	1,334	5228064,0	3457728,0	1770336,0	0
26	1979	Nov	3,097	1,334	8027424,0	3457728,0	4569696,0	0

(Continua)

(Continuação)

27	1979	Dez	7,684	1,334	19916928,0	3457728,0	16459200,0	0
28	1980	Jan	10,728	1,334	27806976,0	3457728,0	24349248,0	0
29	1980	Fev	9,177	1,334	23787820,8	3457728,0	20330092,8	0
30	1980	Mar	6,270	1,334	16251840,0	3457728,0	12794112,0	0
31	1980	Abr	6,159	1,334	15964128,0	3457728,0	12506400,0	0
32	1980	Mai	4,589	1,334	11894688,0	3457728,0	8436960,0	0
33	1980	Jun	3,385	1,334	8773920,0	3457728,0	5316192,0	0
34	1980	Jul	2,487	1,334	6446304,0	3457728,0	2988576,0	0
35	1980	Ago	1,822	1,334	4722624,0	3457728,0	1264896,0	0
36	1980	Set	1,330	1,334	3447360,0	3457728,0	-10368,0	-10368,0
37	1980	Out	0,904	1,334	2343168,0	3457728,0	-1114560,0	-1114560,0
38	1980	Nov	1,721	1,334	4460832,0	3457728,0	1003104,0	0
39	1980	Dez	5,998	1,334	15546816,0	3457728,0	12089088,0	0
40	1981	Jan	5,488	1,334	14224896,0	3457728,0	10767168,0	0
41	1981	Fev	4,243	1,334	10997856,0	3457728,0	7540128,0	0
42	1981	Mar	7,424	1,334	19243008,0	3457728,0	15785280,0	0
43	1981	Abr	5,144	1,334	13333248,0	3457728,0	9875520,0	0
44	1981	Mai	3,949	1,334	10235808,0	3457728,0	6778080,0	0
45	1981	Jun	3,101	1,334	8037792,0	3457728,0	4580064,0	0
46	1981	Jul	2,387	1,334	6187104,0	3457728,0	2729376,0	0
47	1981	Ago	1,747	1,334	4528224,0	3457728,0	1070496,0	0
48	1981	Set	1,273	1,334	3299616,0	3457728,0	-158112,0	-158112,0
49	1981	Out	2,701	1,334	7000992,0	3457728,0	3543264,0	0
50	1981	Nov	2,286	1,334	5925312,0	3457728,0	2467584,0	0
51	1981	Dez	9,119	1,334	23636448,0	3457728,0	20178720,0	0
52	1982	Jan	8,613	1,334	22324896,0	3457728,0	18867168,0	0
53	1982	Fev	5,272	1,334	13665024,0	3457728,0	10207296,0	0
54	1982	Mar	8,337	1,334	21609504,0	3457728,0	18151776,0	0
55	1982	Abr	5,073	1,334	13149216,0	3457728,0	9691488,0	0
56	1982	Mai	3,930	1,334	10186560,0	3457728,0	6728832,0	0
57	1982	Jun	2,980	1,334	7724160,0	3457728,0	4266432,0	0
58	1982	Jul	2,191	1,334	5679072,0	3457728,0	2221344,0	0
59	1982	Ago	1,601	1,334	4149792,0	3457728,0	692064,0	0
60	1982	Set	1,166	1,334	3022272,0	3457728,0	-435456,0	-435456,0
61	1982	Out	1,663	1,334	4310496,0	3457728,0	852768,0	0
62	1982	Nov	1,721	1,334	4460832,0	3457728,0	1003104,0	0
63	1982	Dez	8,366	1,334	21684672,0	3457728,0	18226944,0	0
64	1983	Jan	7,236	1,334	18755712,0	3457728,0	15297984,0	0
65	1983	Fev	5,030	1,334	13037760,0	3457728,0	9580032,0	0
66	1983	Mar	3,889	1,334	10080288,0	3457728,0	6622560,0	0
67	1983	Abr	3,196	1,334	8284032,0	3457728,0	4826304,0	0
68	1983	Mai	2,516	1,334	6521472,0	3457728,0	3063744,0	0

(Continua)

(Continuação)

69	1983	Jun	1,864	1,334	4831488,0	3457728,0	1373760,0	0
70	1983	Jul	1,381	1,334	3579552,0	3457728,0	121824,0	0
71	1983	Ago	1,017	1,334	2636064,0	3457728,0	-821664,0	-821664,0
72	1983	Set	0,863	1,334	2237932,8	3457728,0	-1219795,2	-1219795,2
73	1983	Out	0,712	1,334	1845504,0	3457728,0	-1612224,0	-1612224,0
74	1983	Nov	0,596	1,334	1544832,0	3457728,0	-1912896,0	-1912896,0
75	1983	Dez	0,506	1,334	1311552,0	3457728,0	-2146176,0	-2146176,0
76	1984	Jan	7,205	1,334	18675360,0	3457728,0	15217632,0	0
77	1984	Fev	6,136	1,334	15904512,0	3457728,0	12446784,0	0
78	1984	Mar	7,747	1,334	20080224,0	3457728,0	16622496,0	0
79	1984	Abr	5,396	1,334	13986432,0	3457728,0	10528704,0	0
80	1984	Mai	4,240	1,334	10990080,0	3457728,0	7532352,0	0
81	1984	Jun	3,187	1,334	8260704,0	3457728,0	4802976,0	0
82	1984	Jul	2,340	1,334	6065280,0	3457728,0	2607552,0	0
83	1984	Ago	1,712	1,334	4437504,0	3457728,0	979776,0	0
84	1984	Set	1,263	1,334	3273696,0	3457728,0	-184032,0	-184032,0
85	1984	Out	0,959	1,334	2485728,0	3457728,0	-972000,0	-972000,0
86	1984	Nov	2,459	1,334	6373728,0	3457728,0	2916000,0	0
87	1984	Dez	6,563	1,334	17011296,0	3457728,0	13553568,0	0
88	1985	Jan	11,133	1,334	28856736,0	3457728,0	25399008,0	0
89	1985	Fev	8,939	1,334	23169888,0	3457728,0	19712160,0	0
90	1985	Mar	9,971	1,334	25844832,0	3457728,0	22387104,0	0
91	1985	Abr	6,949	1,334	18011808,0	3457728,0	14554080,0	0
92	1985	Mai	5,399	1,334	13994208,0	3457728,0	10536480,0	0
93	1985	Jun	4,062	1,334	10528704,0	3457728,0	7070976,0	0
94	1985	Jul	2,998	1,334	7770816,0	3457728,0	4313088,0	0
95	1985	Ago	2,204	1,334	5712768,0	3457728,0	2255040,0	0
96	1985	Set	1,689	1,334	4377888,0	3457728,0	920160,0	0
97	1985	Out	2,003	1,334	5191776,0	3457728,0	1734048,0	0
98	1985	Nov	3,119	1,334	8084448,0	3457728,0	4626720,0	0
99	1985	Dez	6,978	1,334	18086976,0	3457728,0	14629248,0	0
100	1986	Jan	11,352	1,334	29424384,0	3457728,0	25966656,0	0
101	1986	Fev	9,126	1,334	23654592,0	3457728,0	20196864,0	0
102	1986	Mar	10,084	1,334	26137728,0	3457728,0	22680000,0	0
103	1986	Abr	7,050	1,334	18273600,0	3457728,0	14815872,0	0
104	1986	Mai	5,473	1,334	14186016,0	3457728,0	10728288,0	0
105	1986	Jun	4,116	1,334	10668672,0	3457728,0	7210944,0	0
106	1986	Jul	3,037	1,334	7871904,0	3457728,0	4414176,0	0
107	1986	Ago	2,233	1,334	5787936,0	3457728,0	2330208,0	0
108	1986	Set	1,710	1,334	4432320,0	3457728,0	974592,0	0
109	1986	Out	2,019	1,334	5233248,0	3457728,0	1775520,0	0
110	1986	Nov	3,130	1,334	8112960,0	3457728,0	4655232,0	0

(Continua)

(Continuação)

111	1986	Dez	6,986	1,334	18107712,0	3457728,0	14649984,0	0
112	1987	Jan	11,359	1,334	29442528,0	3457728,0	25984800,0	0
113	1987	Fev	9,131	1,334	23667552,0	3457728,0	20209824,0	0
114	1987	Mar	10,087	1,334	26145504,0	3457728,0	22687776,0	0
115	1987	Abr	7,052	1,334	18278784,0	3457728,0	14821056,0	0
116	1987	Mai	5,475	1,334	14191200,0	3457728,0	10733472,0	0
117	1987	Jun	4,118	1,334	10673856,0	3457728,0	7216128,0	0
118	1987	Jul	3,038	1,334	7874496,0	3457728,0	4416768,0	0
119	1987	Ago	2,233	1,334	5787936,0	3457728,0	2330208,0	0
120	1987	Set	1,710	1,334	4432320,0	3457728,0	974592,0	0
121	1987	Out	2,019	1,334	5233248,0	3457728,0	1775520,0	0
122	1987	Nov	3,131	1,334	8115552,0	3457728,0	4657824,0	0
123	1987	Dez	6,986	1,334	18107712,0	3457728,0	14649984,0	0
124	1988	Jan	11,359	1,334	29442528,0	3457728,0	25984800,0	0
125	1988	Fev	9,131	1,334	23667552,0	3457728,0	20209824,0	0
126	1988	Mar	10,087	1,334	26145504,0	3457728,0	22687776,0	0
127	1988	Abr	7,053	1,334	18281376,0	3457728,0	14823648,0	0
128	1988	Mai	5,475	1,334	14191200,0	3457728,0	10733472,0	0
129	1988	Jun	4,118	1,334	10673856,0	3457728,0	7216128,0	0
130	1988	Jul	3,038	1,334	7874496,0	3457728,0	4416768,0	0
131	1988	Ago	2,233	1,334	5787936,0	3457728,0	2330208,0	0
132	1988	Set	1,710	1,334	4432320,0	3457728,0	974592,0	0
133	1988	Out	2,019	1,334	5233248,0	3457728,0	1775520,0	0
134	1988	Nov	3,131	1,334	8115552,0	3457728,0	4657824,0	0
135	1988	Dez	6,986	1,334	18107712,0	3457728,0	14649984,0	0
136	1989	Jan	6,893	1,334	17866656,0	3457728,0	14408928,0	0
137	1989	Fev	10,723	1,334	27794016,0	3457728,0	24336288,0	0
138	1989	Mar	6,103	1,334	15818976,0	3457728,0	12361248,0	0
139	1989	Abr	4,955	1,334	12843360,0	3457728,0	9385632,0	0
140	1989	Mai	3,867	1,334	10023264,0	3457728,0	6565536,0	0
141	1989	Jun	2,898	1,334	7511616,0	3457728,0	4053888,0	0
142	1989	Jul	2,171	1,334	5627232,0	3457728,0	2169504,0	0
143	1989	Ago	1,645	1,334	4263840,0	3457728,0	806112,0	0
144	1989	Set	1,265	1,334	3278880,0	3457728,0	-178848,0	-178848,0
145	1989	Out	2,448	1,334	6345216,0	3457728,0	2887488,0	0
146	1989	Nov	4,163	1,334	10790496,0	3457728,0	7332768,0	0
147	1989	Dez	6,518	1,334	16894656,0	3457728,0	13436928,0	0
148	1990	Jan	6,991	1,334	18120672,0	3457728,0	14662944,0	0
149	1990	Fev	6,949	1,334	18011808,0	3457728,0	14554080,0	0
150	1990	Mar	8,253	1,334	21391776,0	3457728,0	17934048,0	0
151	1990	Abr	6,942	1,334	17993664,0	3457728,0	14535936,0	0
152	1990	Mai	5,257	1,334	13626144,0	3457728,0	10168416,0	0

(Continua)

(Continuação)

153	1990	Jun	3,964	1,334	10274688,0	3457728,0	6816960,0	0
154	1990	Jul	2,916	1,334	7558272,0	3457728,0	4100544,0	0
155	1990	Ago	2,365	1,334	6130080,0	3457728,0	2672352,0	0
156	1990	Set	1,959	1,334	5077728,0	3457728,0	1620000,0	0
157	1990	Out	2,215	1,334	5741280,0	3457728,0	2283552,0	0
158	1990	Nov	2,744	1,334	7112448,0	3457728,0	3654720,0	0
159	1990	Dez	3,355	1,334	8696160,0	3457728,0	5238432,0	0
160	1991	Jan	24,115	1,334	62506080,0	3457728,0	59048352,0	0
161	1991	Fev	7,829	1,334	20292768,0	3457728,0	16835040,0	0
162	1991	Mar	37,439	1,334	97041888,0	3457728,0	93584160,0	0
163	1991	Abr	11,390	1,334	29522880,0	3457728,0	26065152,0	0
164	1991	Mai	8,237	1,334	21350304,0	3457728,0	17892576,0	0
165	1991	Jun	6,168	1,334	15987456,0	3457728,0	12529728,0	0
166	1991	Jul	4,702	1,334	12187584,0	3457728,0	8729856,0	0
167	1991	Ago	3,555	1,334	9214560,0	3457728,0	5756832,0	0
168	1991	Set	2,634	1,334	6827328,0	3457728,0	3369600,0	0
169	1991	Out	2,051	1,334	5316192,0	3457728,0	1858464,0	0
170	1991	Nov	2,433	1,334	6306336,0	3457728,0	2848608,0	0
171	1991	Dez	3,184	1,334	8252928,0	3457728,0	4795200,0	0
172	1992	Jan	11,228	1,334	29102976,0	3457728,0	25645248,0	0
173	1992	Fev	15,353	1,334	39794976,0	3457728,0	36337248,0	0
174	1992	Mar	13,853	1,334	35906976,0	3457728,0	32449248,0	0
175	1992	Abr	9,211	1,334	23874912,0	3457728,0	20417184,0	0
176	1992	Mai	7,118	1,334	18449856,0	3457728,0	14992128,0	0
177	1992	Jun	5,406	1,334	14012352,0	3457728,0	10554624,0	0
178	1992	Jul	3,984	1,334	10326528,0	3457728,0	6868800,0	0
179	1992	Ago	2,997	1,334	7768224,0	3457728,0	4310496,0	0
180	1992	Set	2,807	1,334	7275744,0	3457728,0	3818016,0	0
181	1992	Out	10,908	1,334	28273536,0	3457728,0	24815808,0	0
182	1992	Nov	5,488	1,334	14224896,0	3457728,0	10767168,0	0
183	1992	Dez	6,834	1,334	17713728,0	3457728,0	14256000,0	0
184	1993	Jan	5,913	1,334	15326496,0	3457728,0	11868768,0	0
185	1993	Fev	12,322	1,334	31938624,0	3457728,0	28480896,0	0
186	1993	Mar	10,019	1,334	25969248,0	3457728,0	22511520,0	0
187	1993	Abr	8,495	1,334	22019040,0	3457728,0	18561312,0	0
188	1993	Mai	6,141	1,334	15917472,0	3457728,0	12459744,0	0
189	1993	Jun	4,814	1,334	12477888,0	3457728,0	9020160,0	0
190	1993	Jul	3,672	1,334	9517824,0	3457728,0	6060096,0	0
191	1993	Ago	2,702	1,334	7003584,0	3457728,0	3545856,0	0
192	1993	Set	2,820	1,334	7309440,0	3457728,0	3851712,0	0
193	1993	Out	3,946	1,334	10228032,0	3457728,0	6770304,0	0
194	1993	Nov	3,360	1,334	8709120,0	3457728,0	5251392,0	0

(Continua)

(Continuação)

195	1993	Dez	9,820	1,334	25453440,0	3457728,0	21995712,0	0
196	1994	Jan	14,859	1,334	38514528,0	3457728,0	35056800,0	0
197	1994	Fev	9,665	1,334	25051680,0	3457728,0	21593952,0	0
198	1994	Mar	12,760	1,334	33073920,0	3457728,0	29616192,0	0
199	1994	Abr	7,515	1,334	19478880,0	3457728,0	16021152,0	0
200	1994	Mai	5,701	1,334	14776992,0	3457728,0	11319264,0	0
201	1994	Jun	4,221	1,334	10940832,0	3457728,0	7483104,0	0
202	1994	Jul	3,106	1,334	8050752,0	3457728,0	4593024,0	0
203	1994	Ago	2,280	1,334	5909760,0	3457728,0	2452032,0	0
204	1994	Set	1,668	1,334	4323456,0	3457728,0	865728,0	0
205	1994	Out	1,625	1,334	4212000,0	3457728,0	754272,0	0
206	1994	Nov	3,523	1,334	9131616,0	3457728,0	5673888,0	0
207	1994	Dez	7,660	1,334	19854720,0	3457728,0	16396992,0	0
208	1995	Jan	8,739	1,334	22651488,0	3457728,0	19193760,0	0
209	1995	Fev	12,153	1,334	31500576,0	3457728,0	28042848,0	0
210	1995	Mar	8,626	1,334	22358592,0	3457728,0	18900864,0	0
211	1995	Abr	6,469	1,334	16767648,0	3457728,0	13309920,0	0
212	1995	Mai	5,460	1,334	14152320,0	3457728,0	10694592,0	0
213	1995	Jun	4,195	1,334	10873440,0	3457728,0	7415712,0	0
214	1995	Jul	3,092	1,334	8014464,0	3457728,0	4556736,0	0
215	1995	Ago	2,269	1,334	5881248,0	3457728,0	2423520,0	0
216	1995	Set	1,701	1,334	4408992,0	3457728,0	951264,0	0
217	1995	Out	2,066	1,334	5355072,0	3457728,0	1897344,0	0
218	1995	Nov	2,365	1,334	6130080,0	3457728,0	2672352,0	0
219	1995	Dez	5,181	1,334	13429152,0	3457728,0	9971424,0	0
220	1996	Jan	9,603	1,334	24890976,0	3457728,0	21433248,0	0
221	1996	Fev	8,662	1,334	22451904,0	3457728,0	18994176,0	0
222	1996	Mar	7,508	1,334	19460736,0	3457728,0	16003008,0	0
223	1996	Abr	5,580	1,334	14463360,0	3457728,0	11005632,0	0
224	1996	Mai	4,297	1,334	11137824,0	3457728,0	7680096,0	0
225	1996	Jun	3,231	1,334	8374752,0	3457728,0	4917024,0	0
226	1996	Jul	2,385	1,334	6181920,0	3457728,0	2724192,0	0
227	1996	Ago	1,750	1,334	4536000,0	3457728,0	1078272,0	0
228	1996	Set	1,566	1,334	4059072,0	3457728,0	601344,0	0
229	1996	Out	1,579	1,334	4092768,0	3457728,0	635040,0	0
230	1996	Nov	5,635	1,334	14605920,0	3457728,0	11148192,0	0
231	1996	Dez	16,043	1,334	41583456,0	3457728,0	38125728,0	0
232	1997	Jan	18,936	1,334	49082112,0	3457728,0	45624384,0	0
233	1997	Fev	8,994	1,334	23312448,0	3457728,0	19854720,0	0
234	1997	Mar	10,875	1,334	28188000,0	3457728,0	24730272,0	0
235	1997	Abr	7,088	1,334	18372096,0	3457728,0	14914368,0	0
236	1997	Mai	5,511	1,334	14284512,0	3457728,0	10826784,0	0

(Continua)

(Continuação)

237	1997	Jun	4,894	1,334	12685248,0	3457728,0	9227520,0	0
238	1997	Jul	3,765	1,334	9758880,0	3457728,0	6301152,0	0
239	1997	Ago	2,768	1,334	7174656,0	3457728,0	3716928,0	0
240	1997	Set	2,185	1,334	5663520,0	3457728,0	2205792,0	0
241	1997	Out	2,664	1,334	6905088,0	3457728,0	3447360,0	0
242	1997	Nov	5,407	1,334	14014944,0	3457728,0	10557216,0	0
243	1997	Dez	7,979	1,334	20681568,0	3457728,0	17223840,0	0
244	1998	Jan	9,846	1,334	25520832,0	3457728,0	22063104,0	0
245	1998	Fev	11,259	1,334	29183328,0	3457728,0	25725600,0	0
246	1998	Mar	7,316	1,334	18963072,0	3457728,0	15505344,0	0
247	1998	Abr	6,348	1,334	16454016,0	3457728,0	12996288,0	0
248	1998	Mai	5,018	1,334	13006656,0	3457728,0	9548928,0	0
249	1998	Jun	3,802	1,334	9854784,0	3457728,0	6397056,0	0
250	1998	Jul	2,795	1,334	7244640,0	3457728,0	3786912,0	0
251	1998	Ago	2,226	1,334	5769792,0	3457728,0	2312064,0	0
252	1998	Set	1,736	1,334	4499712,0	3457728,0	1041984,0	0
253	1998	Out	4,763	1,334	12345696,0	3457728,0	8887968,0	0
254	1998	Nov	3,680	1,334	9538560,0	3457728,0	6080832,0	0
255	1998	Dez	8,793	1,334	22791456,0	3457728,0	19333728,0	0
256	1999	Jan	18,347	1,334	47555424,0	3457728,0	44097696,0	0
257	1999	Fev	8,769	1,334	22729248,0	3457728,0	19271520,0	0
258	1999	Mar	8,784	1,334	22768128,0	3457728,0	19310400,0	0
259	1999	Abr	6,191	1,334	16047072,0	3457728,0	12589344,0	0
260	1999	Mai	4,592	1,334	11902464,0	3457728,0	8444736,0	0
261	1999	Jun	3,393	1,334	8794656,0	3457728,0	5336928,0	0
262	1999	Jul	2,494	1,334	6464448,0	3457728,0	3006720,0	0
263	1999	Ago	1,827	1,334	4735584,0	3457728,0	1277856,0	0
264	1999	Set	1,728	1,334	4478976,0	3457728,0	1021248,0	0
265	1999	Out	1,568	1,334	4064256,0	3457728,0	606528,0	0
266	1999	Nov	2,384	1,334	6179328,0	3457728,0	2721600,0	0
267	1999	Dez	8,991	1,334	23304672,0	3457728,0	19846944,0	0
268	2000	Jan	25,589	1,334	66326688,0	3457728,0	62868960,0	0
269	2000	Fev	18,736	1,334	48563712,0	3457728,0	45105984,0	0
270	2000	Mar	23,771	1,334	61614432,0	3457728,0	58156704,0	0
271	2000	Abr	10,677	1,334	27674784,0	3457728,0	24217056,0	0
272	2000	Mai	8,052	1,334	20870784,0	3457728,0	17413056,0	0
273	2000	Jun	5,952	1,334	15427584,0	3457728,0	11969856,0	0
274	2000	Jul	4,390	1,334	11378880,0	3457728,0	7921152,0	0
275	2000	Ago	3,231	1,334	8374752,0	3457728,0	4917024,0	0
276	2000	Set	2,973	1,334	7706016,0	3457728,0	4248288,0	0
277	2000	Out	2,435	1,334	6311520,0	3457728,0	2853792,0	0
278	2000	Nov	3,907	1,334	10126944,0	3457728,0	6669216,0	0

(Continua)

(Continuação)

279	2000	Dez	11,373	1,334	29478816,0	3457728,0	26021088,0	0
280	2001	Jan	6,555	1,334	16990560,0	3457728,0	13532832,0	0
281	2001	Fev	6,145	1,334	15927840,0	3457728,0	12470112,0	0
282	2001	Mar	6,091	1,334	15787872,0	3457728,0	12330144,0	0
283	2001	Abr	4,878	1,334	12643776,0	3457728,0	9186048,0	0
284	2001	Mai	3,760	1,334	9745920,0	3457728,0	6288192,0	0
285	2001	Jun	2,783	1,334	7213536,0	3457728,0	3755808,0	0
286	2001	Jul	2,074	1,334	5375808,0	3457728,0	1918080,0	0
287	2001	Ago	1,559	1,334	4040928,0	3457728,0	583200,0	0
288	2001	Set	1,148	1,334	2975616,0	3457728,0	-482112,0	-482112,0
289	2001	Out	1,083	1,334	2807136,0	3457728,0	-650592,0	-650592,0
290	2001	Nov	2,175	1,334	5637600,0	3457728,0	2179872,0	0
291	2001	Dez	7,353	1,334	19058976,0	3457728,0	15601248,0	0
292	2002	Jan	11,904	1,334	30855168,0	3457728,0	27397440,0	0
293	2002	Fev	21,923	1,334	56824416,0	3457728,0	53366688,0	0
294	2002	Mar	8,973	1,334	23258016,0	3457728,0	19800288,0	0
295	2002	Abr	6,712	1,334	17397504,0	3457728,0	13939776,0	0
296	2002	Mai	5,108	1,334	13239936,0	3457728,0	9782208,0	0
297	2002	Jun	3,857	1,334	9997344,0	3457728,0	6539616,0	0
298	2002	Jul	2,837	1,334	7353504,0	3457728,0	3895776,0	0
299	2002	Ago	2,579	1,334	6684768,0	3457728,0	3227040,0	0
300	2002	Set	2,047	1,334	5305824,0	3457728,0	1848096,0	0
301	2002	Out	1,957	1,334	5072544,0	3457728,0	1614816,0	0
302	2002	Nov	2,851	1,334	7389792,0	3457728,0	3932064,0	0
303	2002	Dez	8,570	1,334	22213440,0	3457728,0	18755712,0	0
304	2003	Jan	21,446	1,334	55588032,0	3457728,0	52130304,0	0
305	2003	Fev	9,698	1,334	25137216,0	3457728,0	21679488,0	0
306	2003	Mar	12,422	1,334	32197824,0	3457728,0	28740096,0	0
307	2003	Abr	7,538	1,334	19538496,0	3457728,0	16080768,0	0
308	2003	Mai	6,095	1,334	15798240,0	3457728,0	12340512,0	0
309	2003	Jun	4,649	1,334	12050208,0	3457728,0	8592480,0	0
310	2003	Jul	3,423	1,334	8872416,0	3457728,0	5414688,0	0
311	2003	Ago	3,013	1,334	7809696,0	3457728,0	4351968,0	0
312	2003	Set	2,444	1,334	6334848,0	3457728,0	2877120,0	0
313	2003	Out	2,578	1,334	6682176,0	3457728,0	3224448,0	0
314	2003	Nov	6,590	1,334	17081280,0	3457728,0	13623552,0	0
315	2003	Dez	5,557	1,334	14403744,0	3457728,0	10946016,0	0
316	2004	Jan	11,685	1,334	30287520,0	3457728,0	26829792,0	0
317	2004	Fev	19,091	1,334	49483872,0	3457728,0	46026144,0	0
318	2004	Mar	9,314	1,334	24141888,0	3457728,0	20684160,0	0
319	2004	Abr	7,818	1,334	20264256,0	3457728,0	16806528,0	0
320	2004	Mai	6,104	1,334	15821568,0	3457728,0	12363840,0	0

(Continua)

(Continuação)

321	2004	Jun	4,631	1,334	12003552,0	3457728,0	8545824,0	0
322	2004	Jul	3,424	1,334	8875008,0	3457728,0	5417280,0	0
323	2004	Ago	3,015	1,334	7814880,0	3457728,0	4357152,0	0
324	2004	Set	2,341	1,334	6067872,0	3457728,0	2610144,0	0
325	2004	Out	2,417	1,334	6264864,0	3457728,0	2807136,0	0
326	2004	Nov	2,263	1,334	5865696,0	3457728,0	2407968,0	0
327	2004	Dez	21,180	1,334	54898560,0	3457728,0	51440832,0	0
328	2005	Jan	17,633	1,334	45704736,0	3457728,0	42247008,0	0
329	2005	Fev	7,774	1,334	20150208,0	3457728,0	16692480,0	0
330	2005	Mar	13,809	1,334	35792928,0	3457728,0	32335200,0	0
331	2005	Abr	7,205	1,334	18675360,0	3457728,0	15217632,0	0
332	2005	Mai	6,153	1,334	15948576,0	3457728,0	12490848,0	0
333	2005	Jun	4,695	1,334	12169440,0	3457728,0	8711712,0	0
334	2005	Jul	3,457	1,334	8960544,0	3457728,0	5502816,0	0
335	2005	Ago	3,040	1,334	7879680,0	3457728,0	4421952,0	0
336	2005	Set	2,526	1,334	6547392,0	3457728,0	3089664,0	0
337	2005	Out	2,238	1,334	5800896,0	3457728,0	2343168,0	0
338	2005	Nov	4,827	1,334	12511584,0	3457728,0	9053856,0	0
339	2005	Dez	7,242	1,334	18771264,0	3457728,0	15313536,0	0
340	2006	Jan	6,695	1,334	17353440,0	3457728,0	13895712,0	0
341	2006	Fev	9,911	1,334	25689312,0	3457728,0	22231584,0	0
342	2006	Mar	12,711	1,334	32946912,0	3457728,0	29489184,0	0
343	2006	Abr	7,284	1,334	18880128,0	3457728,0	15422400,0	0
344	2006	Mai	5,548	1,334	14380416,0	3457728,0	10922688,0	0
345	2006	Jun	4,097	1,334	10619424,0	3457728,0	7161696,0	0
346	2006	Jul	3,014	1,334	7812288,0	3457728,0	4354560,0	0
347	2006	Ago	2,727	1,334	7068384,0	3457728,0	3610656,0	0
348	2006	Set	2,222	1,334	5759424,0	3457728,0	2301696,0	0
349	2006	Out	4,528	1,334	11736576,0	3457728,0	8278848,0	0
350	2006	Nov	6,181	1,334	16021152,0	3457728,0	12563424,0	0
351	2006	Dez	12,002	1,334	31109184,0	3457728,0	27651456,0	0
352	2007	Jan	17,801	1,334	46140192,0	3457728,0	42682464,0	0
353	2007	Fev	9,336	1,334	24198912,0	3457728,0	20741184,0	0
354	2007	Mar	8,054	1,334	20875968,0	3457728,0	17418240,0	0
355	2007	Abr	6,933	1,334	17970336,0	3457728,0	14512608,0	0
356	2007	Mai	5,256	1,334	13623552,0	3457728,0	10165824,0	0
357	2007	Jun	3,873	1,334	10038816,0	3457728,0	6581088,0	0
358	2007	Jul	2,848	1,334	7382016,0	3457728,0	3924288,0	0
359	2007	Ago	2,587	1,334	6705504,0	3457728,0	3247776,0	0
360	2007	Set	2,023	1,334	5243616,0	3457728,0	1785888,0	0
361	2007	Out	1,937	1,334	5020704,0	3457728,0	1562976,0	0
362	2007	Nov	4,139	1,334	10728288,0	3457728,0	7270560,0	0

(Continua)

(Continuação)

363	2007	Dez	7,365	1,334	19090080,0	3457728,0	15632352,0	0
364	2008	Jan	10,926	1,334	28320192,0	3457728,0	24862464,0	0
365	2008	Fev	13,526	1,334	35059392,0	3457728,0	31601664,0	0
366	2008	Mar	14,587	1,334	37809504,0	3457728,0	34351776,0	0
367	2008	Abr	15,520	1,334	40227840,0	3457728,0	36770112,0	0
368	2008	Mai	8,631	1,334	22371552,0	3457728,0	18913824,0	0
369	2008	Jun	6,476	1,334	16785792,0	3457728,0	13328064,0	0
370	2008	Jul	4,778	1,334	12384576,0	3457728,0	8926848,0	0
371	2008	Ago	4,027	1,334	10437984,0	3457728,0	6980256,0	0
372	2008	Set	3,204	1,334	8304768,0	3457728,0	4847040,0	0
373	2008	Out	2,774	1,334	7190208,0	3457728,0	3732480,0	0
374	2008	Nov	3,596	1,334	9320832,0	3457728,0	5863104,0	0
375	2008	Dez	16,930	1,334	43882560,0	3457728,0	40424832,0	0
376	2009	Jan	12,412	1,334	32171904,0	3457728,0	28714176,0	0
377	2009	Fev	9,383	1,334	24320736,0	3457728,0	20863008,0	0
378	2009	Mar	26,624	1,334	69009408,0	3457728,0	65551680,0	0
379	2009	Abr	10,319	1,334	26746848,0	3457728,0	23289120,0	0
380	2009	Mai	8,468	1,334	21949056,0	3457728,0	18491328,0	0
381	2009	Jun	6,407	1,334	16606944,0	3457728,0	13149216,0	0
382	2009	Jul	4,747	1,334	12304224,0	3457728,0	8846496,0	0
383	2009	Ago	3,996	1,334	10357632,0	3457728,0	6899904,0	0
384	2009	Set	3,175	1,334	8229600,0	3457728,0	4771872,0	0
385	2009	Out	4,153	1,334	10764576,0	3457728,0	7306848,0	0
386	2009	Nov	5,621	1,334	14569632,0	3457728,0	11111904,0	0
387	2009	Dez	12,715	1,334	32957280,0	3457728,0	29499552,0	0
388	2010	Jan	18,706	1,334	48485952,0	3457728,0	45028224,0	0
389	2010	Fev	11,364	1,334	29455488,0	3457728,0	25997760,0	0
390	2010	Mar	16,810	1,334	43571520,0	3457728,0	40113792,0	0
391	2010	Abr	8,747	1,334	22672224,0	3457728,0	19214496,0	0
392	2010	Mai	6,609	1,334	17130528,0	3457728,0	13672800,0	0
393	2010	Jun	4,896	1,334	12690432,0	3457728,0	9232704,0	0
394	2010	Jul	3,607	1,334	9349344,0	3457728,0	5891616,0	0
395	2010	Ago	3,149	1,334	8162208,0	3457728,0	4704480,0	0
396	2010	Set	2,692	1,334	6977664,0	3457728,0	3519936,0	0
397	2010	Out	5,827	1,334	15103584,0	3457728,0	11645856,0	0
398	2010	Nov	16,915	1,334	43843680,0	3457728,0	40385952,0	0
399	2010	Dez	11,733	1,334	30411936,0	3457728,0	26954208,0	0
400	2011	Jan	14,525	1,334	37648800,0	3457728,0	34191072,0	0
401	2011	Fev	10,510	1,334	27241920,0	3457728,0	23784192,0	0
402	2011	Mar	26,515	1,334	68726880,0	3457728,0	65269152,0	0
403	2011	Abr	14,329	1,334	37140768,0	3457728,0	33683040,0	0
404	2011	Mai	9,035	1,334	23418720,0	3457728,0	19960992,0	0

(Continua)

(Continuação)

405	2011	Jun	6,690	1,334	17340480,0	3457728,0	13882752,0	0
406	2011	Jul	4,949	1,334	12827808,0	3457728,0	9370080,0	0
407	2011	Ago	4,143	1,334	10738656,0	3457728,0	7280928,0	0
408	2011	Set	3,177	1,334	8234784,0	3457728,0	4777056,0	0
409	2011	Out	3,225	1,334	8359200,0	3457728,0	4901472,0	0
410	2011	Nov	2,520	1,334	6531840,0	3457728,0	3074112,0	0
411	2011	Dez	4,269	1,334	11065248,0	3457728,0	7607520,0	0
412	2012	Jan	14,393	1,334	37306656,0	3457728,0	33848928,0	0
413	2012	Fev	5,537	1,334	14351904,0	3457728,0	10894176,0	0
414	2012	Mar	5,359	1,334	13890528,0	3457728,0	10432800,0	0
415	2012	Abr	5,034	1,334	13048128,0	3457728,0	9590400,0	0
416	2012	Mai	3,871	1,334	10033632,0	3457728,0	6575904,0	0
417	2012	Jun	4,148	1,334	10751616,0	3457728,0	7293888,0	0
418	2012	Jul	3,118	1,334	8081856,0	3457728,0	4624128,0	0
419	2012	Ago	2,787	1,334	7223904,0	3457728,0	3766176,0	0
420	2012	Set	2,188	1,334	5671296,0	3457728,0	2213568,0	0
421	2012	Out	1,999	1,334	5181408,0	3457728,0	1723680,0	0
422	2012	Nov	2,632	1,334	6822144,0	3457728,0	3364416,0	0
423	2012	Dez	2,146	1,334	5562432,0	3457728,0	2104704,0	0
424	2013	Jan	8,361	1,334	21671712,0	3457728,0	18213984,0	0
425	2013	Fev	4,897	1,334	12693024,0	3457728,0	9235296,0	0
426	2013	Mar	8,726	1,334	22617792,0	3457728,0	19160064,0	0
427	2013	Abr	5,457	1,334	14144544,0	3457728,0	10686816,0	0
428	2013	Mai	4,195	1,334	10873440,0	3457728,0	7415712,0	0
429	2013	Jun	3,116	1,334	8076672,0	3457728,0	4618944,0	0
430	2013	Jul	2,290	1,334	5935680,0	3457728,0	2477952,0	0
431	2013	Ago	2,172	1,334	5629824,0	3457728,0	2172096,0	0
432	2013	Set	1,798	1,334	4660416,0	3457728,0	1202688,0	0
433	2013	Out	3,213	1,334	8328096,0	3457728,0	4870368,0	0
434	2013	Nov	4,423	1,334	11464416,0	3457728,0	8006688,0	0
435	2013	Dez	7,687	1,334	19924704,0	3457728,0	16466976,0	0
436	2014	Jan	6,065	1,334	15720480,0	3457728,0	12262752,0	0
437	2014	Fev	5,423	1,334	14056416,0	3457728,0	10598688,0	0
438	2014	Mar	4,906	1,334	12716352,0	3457728,0	9258624,0	0
439	2014	Abr	4,375	1,334	11340000,0	3457728,0	7882272,0	0
440	2014	Mai	3,380	1,334	8760960,0	3457728,0	5303232,0	0
441	2014	Jun	2,483	1,334	6435936,0	3457728,0	2978208,0	0
442	2014	Jul	2,357	1,334	6109344,0	3457728,0	2651616,0	0
443	2014	Ago	2,384	1,334	6179328,0	3457728,0	2721600,0	0
444	2014	Set	1,874	1,334	4857408,0	3457728,0	1399680,0	0

Fonte: O autor (2014).